



**INFORME FINAL**

Evaluación del stock desovante de anchoveta  
en la XV, I y II Regiones, año 2009

**FIP N° 2009-01 / Junio-2010**



## **INFORME FINAL**

Evaluación del stock desovante de anchoveta  
en la XV, I y II Regiones, año 2009

**FIP N° 2009-01 / Junio-2010**

### **REQUIRENTE**

#### **FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA**

Presidente Consejo de Investigación Pesquera:  
**Pablo Galilea Carrillo**

### **EJECUTOR**

#### **INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP**

Jefe División Investigación Pesquera  
**Mauricio Braun Alegría**

Director Ejecutivo  
**Jorge Antonio Toro Da'Ponte**



**FIP N° 2009-01 / Junio-2010**

**JEFE DE PROYECTO**

**Mauricio Braun Alegría**

**AUTORES**

*Abundancia y distribución de huevos de anchoveta*

**Mauricio Braun A.**

**Paola Moreno G.**

**Vivian Valenzuela C.**

*Condiciones oceanográficas*

**Hernán Reyes R.**

**Jaime Letelier P.**

**Milena Pizarro R.**

**Mauricio Braun A.**

*Estimación de la proporción sexual en peso y peso promedio de hembras, producción diaria de huevos, proporción de estadios de madurez sexual microscópicos, fecundidad, frecuencia de desove y biomasa del stock desovante*

**Gabriel Claramunt Q.**

**Mauricio Braun A.**

**Eduardo Díaz D.**

**Gustavo Herrera U.**

**Cristian Azócar**

**Gabriela Böhm S.**

*Distribución espacial de huevos y variables oceanográficas*

**Juan Saavedra N.**

**Mauricio Braun A.**

**Víctor Catasti B.**

**Jaime Letelier P.**





## I. RESUMEN EJECUTIVO

---

El crucero efectuado dentro del marco del proyecto FIP 2009-01 “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2009”, hace referencia a la continuidad del estudio reproductivo de la anchoveta en la zona norte del país, particularmente entre Arica (18°25’S) y Carrizalillo (26°03’S), línea que compromete distintas áreas de interés emanadas del estudio de la biomasa desovante que se cuantifica mediante la aplicación del Método de Producción de Huevos.

Para determinar el inicio del crucero tanto para la fase de huevos como de adultos, se realizó un seguimiento de los indicadores microscópicos y macroscópicos de la actividad de desove de la anchoveta, encontrándose que los mayores valores del IGS se comenzaron a observar durante los meses de otoño, señalando con ello una reactivación de la maduración de las gónadas, manifestándose el período de máxima actividad de desove a partir del mes de julio, con valores altos hasta octubre. A su mismo el análisis microscópico realizado a las muestras de anchoveta de la zona norte, confirmó el desarrollo del proceso reproductivo a partir del mes de junio.

Por lo anterior, el crucero para la obtención de ejemplares adultos y de huevos se desarrolló durante el período de mayor actividad reproductiva de anchoveta, período que contempló el mes de Agosto y parte de Septiembre. Para el muestreo de huevos, el crucero abarcó una extensión longitudinal comprendida entre la costa y las 80 mn, se efectuó a bordo del PAM “Eperva 57”, perteneciente a la Empresa Pesquera Corpesca S.A. Para la recolección de los adultos participaron los barcos cerqueros industriales “Parina I”, “Intrépido”, “Relámpago” y “Atacama V”, perteneciendo los tres primeros a la Empresa Pesquera Corpesca y el último a



la Compañía Pesquera Camanchaca S. A., los cuales cubrieron la zona de estudio desde las 5 mn hasta las 80 mn.

El PAM “Eperva 57” que operó en la recolección de los huevos, realizó un total de 44 transectas, dentro de las que se muestrearon 773 estaciones, siendo 41 de estas, positivas a la presencia de huevos, obteniéndose una media por estaciones positivas equivalente a 115, lo que representa un decrecimiento respecto del año 2008, cercano al 60%. La densidad promedio de las estaciones positivas por transecta disminuyó desde la costa hacia la zona oceánica y de norte a sur, siendo el desove netamente costero, concentrándose más del 90% dentro de las primeras 15 mn de la costa. La mayor concentración del recurso, donde de los 91 lances efectuados, 38 fueron positivos, fue acorde a la de los huevos, encontrándose el mayor porcentaje de registros positivos de huevos y de lances entre Arica y Pisagua.

El Pacífico Ecuatorial ha presentado desde mediados de 2009 una condición cálida “El Niño”, al cual se le pronostica una duración hasta otoño de 2010. Durante el Crucero MPH 2009 no se registraron en la zona norte de Chile condiciones cálidas asociadas a este proceso, las que si se manifestaron desde el mes de noviembre. Tal condición se debería a que “El Niño” en desarrollo es un evento singular llamado Madoki, que no afectó la costa sudamericana durante la fecha de realización del crucero. A este respecto, la información oceanográfica recopilada durante el crucero señala la presencia de eventos locales y de mesoescala, pero no la influencia del evento cálido en el Pacífico Sur. Así también, la información que se presenta en este informe permite indicar que la actividad de mesoescala y el campo horizontal de viento separan la zona de estudio en dos áreas, una al norte y otra al sur de los 22° S, como también caracterizan el periodo y zona de estudio como de baja productividad biológica. Las características particulares que se han presentado en este evento “El Niño”



2009, que no afectó la costa sudamericana durante el periodo del crucero, condicionan una baja respuesta del primer modo de la temperatura, densidad y huevos de anchoveta.

La distribución de tallas de las hembras analizadas presentó el rango más amplio de toda la serie histórica analizada, con una moda muy baja, de 13 cm.

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó una amplitud comprendida entre 0,10 y 0,70 con un promedio de 0,43, una varianza igual a 0,00045 y un coeficiente de variación de 5,0%.

El peso promedio del cuerpo de las 30 primeras hembras maduras, obtenidas en los 38 lances, fluctuó entre 13,67 a 26,8 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 17,96 gramos, con una varianza de 0,396 y un coeficiente de variación de 3,5%.

La producción diaria de huevos estimada para el modelo de Lo fue de 148,65 huevos/0,05m<sup>2</sup>/día con un coeficiente de variación de 0,54. En el modelo multinomial la estimación fue de 111,46 huevos/0,05m<sup>2</sup>/día, con un coeficiente de variación de 0,64.

El análisis histológico de los ovarios indicó que el 100% de las hembras se encontraban activas.

Al combinar las estimaciones del núcleo migrante (EMM 5); Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM 7) como pertenecientes al grupo de desove que desovará dentro de las próximas 24 horas y los FPO de I al IV (Excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 AM) como correspondientes a hembras que desovaron la noche anterior



(con edades menores a 24 horas), la fracci3n diaria de hembras desovantes se estima en 0,309, con una varianza de 0,00031 y un coeficiente de variaci3n de 5,7%.

La fecundidad parcial promedio, utilizando el ajuste correspondiente a los del 2008 y para los 37 lances efectivos vari3 de 5.872 a 13.585 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional result3 de 8.410 ovocitos, con una varianza de 124.468 y un coeficiente de variaci3n de 4,2%.

La biomasa desovante estimada por el modelo tradicional de  $L_0$  fue igual a 287.916 t, con una varianza de  $5.283E+11$  y un coeficiente de variaci3n de 252%. Por el Modelo Multinomial, se estim3 una biomasa de 215.886 t, con una varianza de  $4.172E+11$  y un coeficiente de variaci3n de 299%

El patr3n distribuci3n de los huevos se3al3 que los mayores focos se encontraron asociados a aguas cuyas temperaturas oscilaron entre los 15 y 16°C y a salinidades comprendidas entre 34,8 y 35 psu.



## II. ÍNDICE GENERAL

---

	<b>Página</b>
<b>I. RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>1</b>
<b>II. ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>5</b>
<b>III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS y ANEXOS</b> .....	<b>7</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
1. Objetivo general.....	20
2. Objetivos específicos.....	20
<b>V. ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	<b>22</b>
<b>VI. DESARROLLO METODOLÓGICO</b> .....	<b>30</b>
1. Área de estudio .....	30
2. Monitoreo reproductivo que fundamentó el inicio y término del cruce .....	32
3. Metodología por objetivo específico .....	43
3.1 Objetivo específico 2.1 .....	43
3.2 Objetivo específico 2.2 .....	49
3.3 Objetivo específico 2.3 .....	60
3.4 Objetivo específico 2.4 .....	67
3.5 Objetivo específico 2.5 .....	85
3.6 Objetivo específico 2.6 .....	89
3.7 Objetivo específico 2.7 .....	93
3.8 Objetivo específico 2.8 .....	94



<b>VII. RESULTADOS .....</b>	<b>101</b>
1. Monitoreo reproductivo que fundamenta el inicio del crucero .....	101
2. Objetivo espec3fico 2.1 .....	104
3. Objetivo espec3fico 2.2 .....	106
4. Objetivo espec3fico 2.3 .....	125
5. Objetivo espec3fico 2.4 .....	128
6. Objetivo espec3fico 2.5 .....	136
7. Objetivo espec3fico 2.6 .....	139
8. Objetivo espec3fico 2.7 .....	140
9. Objetivo espec3fico 2.8 .....	141
<b>VIII. DISCUSI3N .....</b>	<b>154</b>
<b>IX. CONCLUSIONES .....</b>	<b>164</b>
<b>X. BASE DE DATOS .....</b>	<b>167</b>
<b>XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>174</b>

## FIGURAS

## TABLAS

## ANEXOS:

- Anexo 1.** Instructivo de muestreo a realizar a bordo por parte de los observadores cient3ficos.
- Anexo 2.** Procedimientos de recopilaci3n, transmisi3n y almacenamiento de datos.
- Anexo 3.** Criterios para la descripci3n de las condiciones oceanogr3ficas en la zona de estudio.
- Anexo 4.** Composici3n y organizaci3n del equipo profesional y t3cnico.
- Anexo 5.** Taller de difusi3n y discusi3n de resultados.



### III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS y ANEXOS

---

#### FIGURAS

- Figura 1.** Rango latitudinal de operación de los barcos cerqueros industriales que trabajaron en forma conjunta en la recolección de adultos de anchoveta. Crucero MPH 2009.
- Figura 2.** Ubicación geográfica de a) estaciones bio-oceanográficas y b) estaciones con muestreo de clorofila y oxígeno (estaciones oceanográficas profundas). Crucero MPH – Invierno 2009.
- Figura 3.** Evolución mensual del índice gonadosomático de la anchoveta de la zona norte.
- Figura 4.** Evolución semanal del índice gonadosomático de la anchoveta en la zona norte, año 2009..
- Figura 5.** Evolución mensual del índice de Actividad de Desove (**IAD**) e índice de Atresia Ovárica (**IAO**). Año 2009.
- Figura 6.** Evolución semanal de los índices de actividad de desove (**IAD**) y atresia ovárica (**IAO**). Año 2009.
- Figura 7.** Distribución geográfica de las estaciones planctónicas con presencia y ausencia de huevos de anchoveta. Crucero MPH 521(3)09 Eperva 57 - Invierno 2009.
- Figura 8.** Distribución y abundancia de huevos de anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2009.



- Figura 9.** Distribución de la densidad promedio de huevos de anchoveta con respecto a la distancia de la costa (a) y con respecto a la latitud (b). Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 10.** Distribución espacial y abundancia de huevos de anchoveta. Cruceros MPH Inviernos 1992 - 2009.
- Figura 11.** Distribución espacial de los lances de pesca v/s los huevos de anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2009. Color azul: lances efectivos; color negro lances no efectivos y color rojo huevos de anchoveta.
- Figura 12.** (a) Densidad media de huevos estimada para el período 1992-2009, a través del estimador de la media de una distribución delta y (b) proporción de estaciones positivas (con huevos), período 1992 - 2009.
- Figura 13.** Distribución espacial de huevos y velocidades geostróficas (cm/s) durante agosto de 2009. (fuente: AVISO).
- Figura 14.** Información de a) dirección e intensidad del viento (m/s), b) índice de surgencia promedio de las observaciones en las primeras 30 mn por grado de latitud y c) índice de turbulencia promedio costero y oceánico por grado de latitud del viento predominante medido en las estaciones oceanográficas. Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 15.** Distribución superficial de a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (psu) y d) anomalía de salinidad (psu). Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 16.** Distribución de a) temperatura (°C) en el nivel de 50 m de profundidad, b) diferencia térmica (°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 2009.

- Figura 17.** Distribución vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en las transectas oceanográficas 1, 5, 9, 13, 17 y 21. Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 18.** Distribución vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en las transectas oceanográficas 25, 29, 33, 37, 41 y 46. Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 19.** Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas oceanográficas 1, 5, 9, 13, 17 y 21. Crucero MPH - invierno 2009.
- Figura 20.** Distribución vertical de salinidad ( $^{\circ}\text{C}$ ) en las transectas oceanográficas 25, 29, 33 y 37. Crucero MPH - invierno 2009.
- 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 2009.
- Figura 22.** Distribución de a) Densidad superficial ( $\sigma\text{-t}$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ), b) profundidad de la isoterma de  $15^{\circ}\text{C}$  (m), c) anomalía de profundidad de la isoterma  $15^{\circ}\text{C}$  (m) y d) espesor de la capa de mezcla (m). Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 23.** Distribución vertical de densidad ( $\sigma\text{-t}$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) en las transectas oceanográficas 1, 5, 9, 13, 17 y 21. Crucero MPH - invierno 2009.
- Figura 24.** Distribución vertical de densidad ( $\sigma\text{-t}$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) en las transectas oceanográficas 25, 29, 33 y 37. Crucero MPH - invierno 2009.
- Figura 25.** Distribución de a) concentración de oxígeno disuelto superficial ( $\text{mL}/\text{L}$ ) y b) profundidad de la isolínea de  $1 \text{ mL}/\text{L}$  de oxígeno disuelto (m). Crucero MPH - Invierno 2009.



- Figura 26.** Distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L), transectas 1 a la 46. Crucero MPH - invierno 2009.
- Figura 27.** Distribución superficial de a) clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ), b) feopigmentos ( $\mu\text{g/L}$ ), c) clorofila integrada ( $\text{mg/m}^2$ ) y d) feopigmentos integrados ( $\text{mg/m}^2$ ) Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 28.** Distribución vertical clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ), transectas 1 a la 46. Crucero MPH - invierno 2009.
- Figura 29.** Distribución vertical feopigmentos ( $\mu\text{g/L}$ ), transectas 1 a la 46. Crucero MPH - invierno 2009.
- Figura 30.** Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales a) entre el 5 y 12 de agosto y b) 21 al 28 de agosto de 2009. La semana del 13 al 20 de agosto la nubosidad impidió el registro de datos. Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 31.** Distribución superficial promedio semanal de la clorofila-a satelital en la zona norte de Chile. Las imágenes del satélite MODIS-A corresponden a promedios semanales a) entre el 5 y 12 de agosto y b) 21 al 28 de agosto de 2009. La semana del 13 al 20 de agosto la nubosidad impidió el registro de datos. La línea negra gruesa marca la isolínea de  $1 \mu\text{g/L}$  y la línea negra delgada marca la concentración de  $0,25 \mu\text{g/L}$ . Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 32.** Distribución espacial de la anomalía diaria de nivel del mar (cm) y velocidad geostrófica (cm/s) correspondientes a la zona norte de Chile de los días a) 3, b) 10 y b) 20 de agosto de 2009. Las imágenes diarias son representativas de la situación prevaleciente durante el crucero. Crucero MPH - Invierno 2009.



- Figura 33.** Distribución espacial del promedio semanal del viento y la magnitud (m/s) del viento (colores) en la zona norte de Chile, correspondiente a promedios semanales a) entre el 3 y 10 de agosto, b) 10 al 17 de agosto y c) 17 al 24 de agosto de 2009, proveniente de imágenes satelitales Quikscat. Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 34.** Transporte de Ekman diario calculado en base a los datos de viento de los aeropuertos a) Diego Aracena de Iquique y b) Cerro Moreno de Antofagasta entre enero y septiembre de 2009 (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile).
- Figura 35.** Anomalías de nivel del mar (cm) en Puerto de Iquique entre 2005 y 2009 (Fuente: CENDHOC del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada).
- Figura 36.** Distribución espacial de los lances de pesca. Crucero MPH – Invierno 2009. (Color azul: lances efectivos; color negro: lances no efectivos)
- Figura 37.** Distribución de tamaños de anchoveta capturadas entre la I y II Regiones, (a): por sexo (M: machos; H: hembras) y (b): Total. Crucero MPH - Invierno 2009.
- Figura 38.** Distribución de tallas de las hembras muestreadas en cada año de aplicación del método de producción de huevos en la zona norte de Chile. Línea roja vertical es solo referencial (13 cm).
- Figura 39.** Frecuencia ( $N^0$ ) de huevos de anchoveta por estadio de desarrollo para cada año de crucero ictioplanctónico. Barras: Frecuencia (%) del año. Línea: Frecuencia (%) considerando todos los cruceros.
- Figura 40.** Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubación.



- Figura 41.** Estimaciones de Producción diaria de huevos ( $N^{\circ}/0,05 \text{ m}^2/\text{día}$ ), ponderado por el área, para anchoveta de la zona norte, en base a las dos metodologías aplicadas.
- Figura 42.** Análisis del cociente para los años 1992-2009 en anchoveta del norte de Chile. Barras se refieren a la variable independiente (Lat, Long o Temperatura, de izquierda a derecha). Línea roja continua es la frecuencia de estaciones con huevos. Línea roja segmentada es el intervalo de confianza. Línea negra segmentada indica el umbral sobre el cual habría una asociación significativa entre huevos y la variable ambiental.
- Figura 43.** Densidad de huevos de anchoveta en la zona norte ( $N^{\circ}/\text{m}^2$ ) estimadas por modelo GAM en función de Latitud, Longitud y Temperatura para los años 1992, 1995 y 2002 (izquierda a derecha). Circulos rojos son estaciones positivas.
- Figura 44.** Densidad de huevos de anchoveta en la zona norte ( $N^{\circ}/\text{m}^2$ ) estimadas por modelo GAM en función de Latitud, Longitud y Temperatura para el año 2009. Circulos rojos son estaciones positivas.
- Figura 45.** Abundancia de zooplancton ( $N^{\circ}/\text{m}^3$ ) menor a 3,25 mm (Diámetro Circular Equivalente) y abundancia de huevos (Círculos), para los años 2001 y 2004.
- Figura 46.** Profundidad de la termoclina ( $15^{\circ}\text{C}$ , en metros) y abundancia de huevos (Círculos) para los años 1999 al 2004 (Izquierda a derecha)
- Figura 47.** Distribución temporal de los estadios madurez microscópica y FPO de la zona norte de Chile. Líneas azules verticales representan el pico de desove (23:00 h). Línea roja representa un ajuste de distribución normal (Con hora acumulada a partir de las 12:00). Línea



negra delgada (FPO 1) es la repetición de la distribución estimada para FPO 1. Información acumulada del 2004 al 2008 (Claramunt *et al*, 2007).

- Figura 48.** Edades medias de los estadios de FPO según ajuste por modelo de tipo Normal en base a la hora acumulada a partir de las 12:00. Círculos: Edades medias. Líneas verticales: Desviación estándar. Líneas negras horizontales: Intervalo al 99%. Flecha azul horizontal: Pico de desove (23:00). Líneas rojas horizontales: Indica período de 24 horas (18:00 a 18:00). En paréntesis se indica la hora del día en ciclo de 24:00 (Sin acumular).
- Figura 49.** Fecundidad parcial en función del peso corporal para el año 2009.
- Figura 50.** Regresiones de Fecundidad parcial en función del Peso Corporal para distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.
- Figura 51.** Biomosas desovantes estimadas en cada año de aplicación del Método de producción Diaria de Huevos.
- Figura 52.** Áreas de cruceo y de desove para cada año de aplicación del Método de producción Diaria de Huevos.
- Figura 53.** Distribución espacial y temporal de los huevos de anchoveta. Período 1992-2009.
- Figura 54.** Distribución espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Período 1992-2009.
- Figura 55.** Distribución espacial y temporal de la salinidad superficial. Período 1992-2009.



- Figura 56.** Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de: a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y b) salinidad (psu). Período 1992-2009.
- Figura 57.** Distribución espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de huevos de anchoveta. Período 1992-2009.
- Figura 58.** Densidad media de huevos para el total de estaciones y estaciones positivas y proporción de estaciones con presencia de huevos de anchoveta, por año y total. Cruceros realizados entre la I y II Región, desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.
- Figura 59.** 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. Desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.
- Figura 60.** 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. Desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.



- Figura 61.** 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. Desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.
- Figura 62.** Primer (a) y segundo (b) modo de variación temporal de las variables TSM, densidad del agua de mar y huevos de anchoveta.
- Figura 63.** Correlaciones cruzadas entre los primeros modos de variación temporal de las variables TSM, densidad del agua de mar y huevos de anchoveta.
- Figura 64.** Primer modo de variación espacial de las variables TSM, densidad del agua de mar y huevos de anchoveta y el porcentaje de explicación del primer modo para cada variable analizada.
- Figura 65.** Valores históricos del índice multivariado Ecuatorial entre el período 2002-2009 (Fuente: Earth system research Laboratory (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>)).
- Figura 66.** Temperaturas promedio a 10 metros (°C) de profundidad de los cruceros del MPH en la zona norte de Chile. Líneas verticales representan la desviación estándar y líneas horizontales los valores mínimos y máximos.
- Figura 67.** Relación entre área de desove ( $\text{mn}^2$ ) y la Biomasa desovante (ton) estimada por el MPDH.
- Figura 68.** Relación entre el área de desove ( $\text{mn}^2$ ) y la captura total del año (ton). Captura para el año 2009 es una cifra preliminar a Noviembre.



## TABLAS

- Tabla 1.** Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos (Wallace y Selman, 1981; Hunter y Macewicz, 1985).
- Tabla 2.** Clasificación histológica de los folículos postovulatorios (FPO) de anchoveta, según grado de degeneración (Claramunt *et al.*, 2007)
- Tabla 3.** Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario. (Santander *et al.*, 1984).
- Tabla 4.** Características de los estadios morfohistológicos de los folículos postovulatorios (FPO) de *Engraulis encrasicolus* (ICES, 2005; Alday *et al.*, 2006).
- Tabla 5.** Evolución semanal de los indicadores reproductivos (IGS, IAD e IAO) de la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta, enero-octubre, 2009.
- Tabla 6.** Densidad promedio, constancia y rangos de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, en invierno de los años 1992, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009.
- Tabla 7.** Posición geográfica de los lances efectuados durante el crucero MPH, módulo adultos, en la XV, I y II Región, agosto - septiembre 2009.
- Tabla 8.** Parámetros de la ecuación combinada para estadio y temperatura ajustada a los datos de anchoveta de la zona norte (Soto, 2001) (E.S.= Error estándar; MSE= Error estándar residual).
- Tabla 9.** Resultados del ajuste del modelo probabilístico para la edad de los estadios de huevos en anchoveta zona norte.



- Tabla 10.** Resultados del ajuste de producción diaria de huevos en función de la edad de los huevos para las dos metodologías (Rutinas *eggs* y *eggsplore* en plataforma R). *Intercept* corresponde al estimado del logaritmo de  $P_o$  ( $N^o$  huevos/ $m^2$ /día). *Age* corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos ( $Z$ , en horas). *Std. Error* en el caso de  $P_o$  corresponde al coeficiente de variación de  $P_o$  y para  $Z$  es el error estándar.  $n$  es el número de observaciones.  $Pr(>|z|)$  es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). *AIC* es el criterio de información de Akaike.
- Tabla 11.** Comparación de la producción diaria de huevos expandida al área (huevos/día,  $\times 10^{11}$ ) y tasa diaria de mortalidad total ( $hora^{-1}$ ) de anchoveta. Zona Norte según los diferentes métodos utilizados.
- Tabla 12.** Número de lances y total de hembras muestreadas en los distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.
- Tabla 13.** Distribución horaria de la frecuencia (%) de los estadios de Folículos Postovulatorios y Estadios de Madurez Ovárica (Núcleo Migrante e Hidratados). Información acumulada del 2004 al 2008.
- Tabla 14.** Parámetros del ajuste de un modelo de distribución tipo Gamma y Normal a la frecuencia de FPO por hora (Hora acumulada a partir de las 12:00 AM).  $a$  y  $b$ : Parámetros de la función Gamma. SCE: Suma de cuadrados del error.
- Tabla 15.** Parámetros de las regresiones entre fecundidad parcial y peso corporal para cada año de aplicación del MPH en la zona norte de Chile.
- Tabla 16.** Parámetros de adultos obtenidos en las distintas aplicaciones del MPH en la zona norte.



- Tabla 17.** Resumen de los datos de los lances. Hora del lance en hora y fracción de hora. Estadios de Madurez Microscópico (EMM), Folículos postovulatorios (FPO), número de hembras (n), peso total (PT; Corregido) fecundidad parcial estimada (FECUND) y Proporción de hembras en peso (PROP. H).
- Tabla 18.** Estimaciones de la producción diaria de huevos (huevos/0,05 m<sup>2</sup>/día), su varianza y coeficiente de variación (CV, %), área de desove, área de estudio y biomasa de anchoveta en cada año de aplicación del método. (\*: Se utilizó función global de fecundidad parcial).
- Tabla 19.** 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 20.** 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 m<sup>2</sup> de las estaciones positivas desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.
- Tabla 21.** 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 desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.
- Tabla 22.** 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. Desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.
- Tabla 23.** 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. Desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.



## **ANEXOS**

- Anexo 1.** Instructivo de muestreo a realizar a bordo por parte de los observadores científicos.
- Anexo 2.** Procedimientos de recopilación, transmisión y almacenamiento de datos.
- Anexo 3.** Criterios para la descripción de las condiciones oceanográficas en la zona de estudio.
- Anexo 4.** Composición y organización del equipo profesional y técnico.
- Anexo 5.** Taller de difusión y discusión de resultados.



## IV. OBJETIVOS

---

### 1. Objetivo general

Cuantificar mediante la aplicaci3n del M3todo de Producci3n de Huevos la biomasa desovante de anchoveta, comprendida en la zona costera desde el l3mite norte de la Rep3blica hasta los 26°03' L.S.

### 2. Objetivos espec3ficos

- 2.1.1 Determinar la distribuci3n y abundancia de huevos de anchoveta.
- 2.1.2 Registrar las condiciones oceanogr3ficas asociadas al crucero de huevos de anchoveta.
- 2.1.3 Estimar la proporci3n sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas.
- 2.1.4 Estimar la producci3n diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instant3nea de los huevos.
- 2.1.5 Estimar la proporci3n de estad3os de madurez sexual microsc3picos y la fracci3n diaria de hembras desovantes de anchoveta con su varianza asociada.



- 2.1.6** 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.
  
- 2.1.7** Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.
  
- 2.1.8** 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

---

Durante el per3odo enero – diciembre 2009, el valor de las exportaciones pesqueras totaliz3 una cifra de 3.798 millones de d3lares FOB, mostrando una disminuci3n del 7,6%, respecto a igual per3odo del a3o anterior. En relaci3n al valor (FOB) de las exportaciones totales chilenas, las exportaciones del sector pesquero para este per3odo, contribuyeron aproximadamente con un 7,2% (Fuente: Elaborado por IFOP en base a informaci3n del Servicio Nacional de Aduana y Banco Central de Chile).

Los desembarques del sector se sostienen principalmente en la extracci3n de unas pocas especies pel3gicas y demersales, distingui3ndose entre los recursos pel3gicos la anchoveta (*Engraulis ringens*), el jurel (*Trachurus murphyi*) y la caballa (*Scomber japonicus*) los cuales representan una fracci3n relevante de la captura total (Informe Sectorial SUBPESCA, 2010). Al respecto, durante los 3ltimos a3os, la actividad pesquera de la zona norte se ha cimentado fundamentalmente en las capturas de anchoveta, jurel y caballa, contribuyendo en el desembarque total del a3o 2009, con el 98%.

En la zona norte de Chile, la pesquer3a de peque3os pel3gicos comenz3 hacia finales de los a3os '60 y se bas3 casi exclusivamente en la captura de anchoveta hasta mediados de la d3cada del '70. Posteriormente, esta pesquer3a muestra tres per3odos principales: el primero (1973-1986) con un crecimiento sostenido, alcanzando hasta 3,4 millones de toneladas a mediados de los '80; en este per3odo 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 regi3n. La segunda fase (1986-1996) es un per3odo 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 XV, I y II Región está fuertemente vinculada a la disponibilidad del recurso anchoveta, la cual 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 oscilaciones, asociados a la inestabilidad del stock, provocada por la sobreexplotación del recurso, y fluctuaciones de las condiciones ambientales a diferentes escalas temporales y espaciales (Martínez *et al.*, 1995; Yáñez *et al.*, 1995). A pesar que los términos básicos de referencia se refieren específicamente al efecto de "El Niño", es necesario señalar que la zona norte esta afectada por otros procesos físicos importantes como "El Viejo" y las ondas atrapadas a la costa (**OAC**), además en esta zona normalmente asociada a la surgencia costera, están presentes estructuras oceanográficas como giros de mesoescala (Hormazabal *et al.*, 2004). "El viejo" esta asociado a períodos decadales fríos y cálidos que afectan a todo el océano. "El Niño" produce un calentamiento anómalo mediante la advección de aguas cálidas desde el Pacífico Ecuatorial Occidental hacia latitudes altas a lo largo del continente americano. Por otro lado, las **OAC**, que han sido registradas durante el verano austral y períodos de "El Niño", modifican intraestacionalmente las condiciones de la columna de agua, produciendo un ascenso y descenso de la capa



de mínimo de oxígeno, característica de la corriente subsuperficial hacia el Polo (Hormazabal *et al.*, 2001; Morales *et al.*, 1999; Strub *et al.*, 1998). Estos cambios en el medio físico, diferentes al ciclo anual normal, condicionan de manera importante la cobertura geográfica de los recursos y su abundancia (García, 1993), como también afectan sus estadios de desarrollo (huevos y larvas). Debido a la escasez de datos, los procesos decadales como “El Viejo” son casi imposibles de abordar. Por otro lado, y paralelamente al ciclo anual, fluctuaciones en la duración de la estación de surgencia o en la intensidad de la surgencia, como también la presencia de giros de mesoescala, podrían también llegar a afectar la abundancia, disponibilidad y el transporte de estadios tempranos de los pequeños pelágicos de la zona norte de Chile (Bakun, 2006).

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.*, 2004a), 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.



- **Antecedentes del M3todo de Producci3n de Huevos (MPH)**

El M3todo de Producci3n de Huevos define la biomasa desovante como la fracci3n de peces capaces de desovar durante el per3odo 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 condici3n 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 relaci3n entre la producci3n diaria de huevos (huevos evacuados al mar en un d3a por la poblaci3n total de hembras) y la fecundidad espec3fica diaria de la poblaci3n adulta (huevos potenciales de ser desovados por d3a por tonelada m3trica). La producci3n 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 espec3fica diaria de la poblaci3n adulta, se determina mediante el procesamiento de muestras de peces obtenidas durante un crucero de pesca, las cuales proporcionan informaci3n respecto de la fecundidad parcial, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporci3n de sexos.

La aplicaci3n del M3todo de Producci3n de Huevos para la determinaci3n de la biomasa de peces pel3gicos multidesovantes con fecundidad indeterminada, como anchoveta y sardina, tuvo dificultades debido al desconocimiento de m3todos 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 podr3a ser determinada a trav3s de la incidencia de los fol3culos postovulatorios, logran mediante la inducci3n 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 una 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.

La aplicación del MPH a pequeños pelágicos ha sido un éxito y es considerada una herramienta fundamental para la administración de la pesquería de anchoveta en la zona norte. En Chile, el MPDH convencional se ha aplicado para evaluar el stock desovante de la anchoveta en la zona norte de Chile (XV, I y II Regiones) desde el año 1992, la anchoveta y sardina común de la zona centro-sur (V-X Regiones) desde el 2002 al 2005; y desde el año 2000 en jurel a través de proyectos financiados por el Fondo de Investigación Pesquera. En la aplicación del MPDH a estos recursos, ha participado prácticamente el mismo equipo de trabajo, lo que constituye una ventaja desde el punto de vista de mantener consistencia al momento de establecer una serie de tiempo.

Una conclusión importante del análisis de los resultados del MPH como serie de tiempo, es 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 la 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).

El MPDH convencional, desarrollado en la primera mitad de los años 80, sólo permite determinar un estimado puntual de la biomasa desovante, descuidándose la componente espacial tanto de la producción diaria de huevos como de la fecundidad específica diaria. Uno de los aspectos fundamentales del método convencional lo constituyen los criterios de post-estratificación del área de desove, muchas veces no muy bien desarrollada o descrita en forma explícita. Por otra



parte, la estimación de los parámetros reproductivos exige ciertos protocolos y procedimientos que deben ser considerados en términos espacio-temporales.

En la actualidad, se cuenta con mejoras metodológicas importantes al MPDH, las que se han desarrollado por investigadores europeos. Un avance importante es el logrado en el Taller de trabajo realizado en Iquique con el Dr. Miguel Bernal (España), en el marco del proyecto FIP N° 2006-06 “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Región, año 2006”, donde se desarrollaron y aplicaron software específicos para la estimación de parámetros involucrados en el MPH. Bernal *et al.*, (2001), desarrollaron un procedimiento innovativo y estadísticamente fundamentado de asignación de edad a los huevos, y fue desarrollado e integrado dentro de las rutinas GAM del MPDH. Los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) han demostrado ser una poderosa herramienta para modelar la distribución de huevos y la producción diaria de huevos (e.g. Borchers *et al.*, 1997; Bernal, 1999; Stratoudakis *et al.*, 2003), pero varios problemas metodológicos no habían podido ser resueltos para ser utilizados adecuadamente en el MPDH. Dichos problemas metodológicos han sido superados recientemente a través de un proyecto de la Unión Europea “Using environmental variables with improved DEPM methods to consolidate the series of sardine and anchovy estimates” (EU Study 99/080, <http://ruwpa-st.andrews.ac.uk/depmodel>), cuyas mejoras se pueden resumir en:

- Rutinas para la selección de modelos utilizando GAM, lo que previamente había sido realizado sobre una base *ad hoc* con elementos subjetivos.
- Modelación independiente del sistema de coordenadas en GAM, de esta manera los modelos deberían ser insensitivos a cambios en el sistema de coordenadas.



- Modelación de interacciones con GAM, cuyo principal tópicos es cómo escalar la covarianza relativa de las variables.
- Mejor desempeño de la inferencia con modelos GAM.
- Asegurar estabilidad del modelo con datos que se caracterizan por una alta presencia de ceros.
- Facilitar el uso de las nuevas rutinas a usuarios interesados en mejorar estimaciones con el MPDH.

Se destaca que gran parte de los tópicos mencionados necesitaron de cambios en la metodología estadística básica en GAM. Por ejemplo, la estimación de la producción diaria de huevos ( $P_0$ ) y la tasa de mortalidad diaria ( $Z$ ) es un problema específico del MPDH. Por esta razón, varias mejoras estadísticas fueron desarrolladas a través del proyecto de la UE, que fueron aplicadas en la problemática general de la producción diaria de huevos de anchoveta en el año 2008.

Dentro de este contexto, y considerando la importancia de este tipo de estudios para incrementar la comprensión de la distribución y abundancia de los recursos y sus fluctuaciones espacio temporales, el Consejo de Investigación Pesquera teniendo presente lo informado al efecto por la Subsecretaría de Pesca y la conveniencia de mantener una línea de investigación respecto al stock desovante de anchoveta, ha decidido incluir el presente proyecto en el programa de investigación pesquera correspondiente al año 2008.



## VI. DESARROLLO METODOLÓGICO

---

De conformidad con la metodología presentada en la propuesta técnica y con la finalidad de determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta, registrar las condiciones oceanográficas físicas, 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 2009.

### 1. Zona de estudio

Los datos oceanográficos físicos, de huevos y las capturas de los adultos fueron obtenidos durante el mes de agosto e inicios de septiembre de 2009, efectuándose de manera ininterrumpida las respectivas recolectas. Así, el crucero para la recolección de huevos abarcó una extensión longitudinal comprendida entre la costa y las 80 mn de la costa y se efectuó a bordo del PAM “Eperva 57”, perteneciente a la Empresa Pesquera Corpesca S.A. En la recolección de los ejemplares adultos de anchoveta, participaron los barcos cerqueros industriales “Parina I”, “Intrépido”, “Relámpago” y “Atacama V”, perteneciendo los tres primeros a la Empresa Pesquera Corpesca y el último a la Compañía Pesquera Camanchaca S. A., los cuales cubrieron la zona de estudio desde las 5 mn hasta las 80 mn, asignándoles a cada uno de ellos, un rango latitudinal de operación (**Figura 1**). Cabe señalar que el PAM “Relámpago” fue reemplazado durante la prospección por la nave “Don Gino”.



El PAM “Eperva 57” operó desde el 04 de agosto hasta el 03 de septiembre de 2009, abarcando la zona comprendida entre Arica (18°25’S) y Carrizalillo (26°03’S), realizando 47 transectas perpendiculares a la costa, equidistantes entre sí cada 10 millas. De éstas, 44 transectas se realizaron de acuerdo a lo establecido en la oferta técnica del proyecto, es decir, desde la costa hasta una distancia máxima de 80 mn, cubriendo la extensión latitudinal comprendida entre el Río Lluta (18°25’S) y caleta Agua Salada (24°10’S) y desde punta Posallaves (24°50’S) a punta Carrizalillo (26°00’S). Entre punta Tres Picos (24°20’S) y punta Piedras (24°40’S) y debido a las condiciones meteorológicas imperantes y problemas mecánicos de la nave, no pudo realizarse a completitud la grilla de estaciones y cuyo detalle se entrega en el siguiente cuadro:

<b>Número de transecta</b>	<b>Localidad</b>	<b>Latitud</b>	<b>Número de estaciones efectuadas</b>
37	Punta Tres Picos	24°20’S	11 (1 a 50 mn)
38	Caleta Botijo	24°30’S	9 (1 a 40 mn)
39	Punta Piedra	24°40’S	9 (1 a 40 mn)

El total de estaciones zooplanctónicas recolectadas mediante la red CalVET fue de 773, cifra 7,8% mayor respecto a la obtenida en agosto-septiembre de 2008.

En forma paralela, la recolecta de los adultos se efectuó con la operación de cuatro embarcaciones pesqueras industriales, entre el 04 de agosto y el 07 de septiembre de 2009, ambas fechas inclusive, de acuerdo a la Resolución N° 2611 del 31 de julio de 2009, de Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca,



siendo posteriormente apoyados una vez finalizada la veda, por las naves “Trueno I” y “Aventurero” de la Empresa Pesquera CORPESCA y “Licanten” de la Empresa Pesquera Camanchaca, efectuando entre todas ellas un total de 91 lances de pesca, de los cuales 38 fueron positivos, es decir, con captura de anchoveta.

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

Con el fin de establecer con certeza la fecha de inicio del crucero de huevos y adultos, en el período de máxima actividad reproductiva, se monitoreó la actividad de desove de la anchoveta mediante el seguimiento del Índice gonadosomático y de indicadores de naturaleza histológica, tales como el Índice de Actividad de Desove (**IAD**) e Índice de Atresia Ovárica (**IAO**). Este seguimiento forma parte del proyecto “Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona norte, año 2009”, que incorpora el monitoreo de la variabilidad semanal y mensual del **IGS** en el ciclo anual y de indicadores microscópicos (**IAD e IAO**) en el período de incremento del **IGS**. El análisis conjunto permitió definir el período de máxima actividad de desove, caracterizado por la permanencia de valores medios referenciales de **IGS** mayores a 5,5% y de mayor incidencia de hembras hidratadas y de ovarios con evidencia de desove (folículos postovulatorios), sin presentar atresia ovocitaria masiva.

### **2.1 Procesamiento biológico**

El muestreo reproductivo de la anchoveta consideró el ciclo anual de 2009 en los principales puertos de la zona norte (Arica - Antofagasta), registrándose la información biológica de la especie, consignándose entre otros, datos de longitud, peso, sexo y estadios de madurez.



El procedimiento aplicado consistió en recolectar ovarios de anchoveta de la captura comercial, los que fueron inmediatamente fijados en formalina al 10%, con el fin de determinar mediante técnicas macroscópicas (variaciones del índice gonadosomático) y microscópicas (índice de actividad de desove e índice de atresia ovárica) la condición reproductiva de la especie. Para ello se analizaron macroscópicamente durante los meses de enero a octubre de 2009, 6.889 hembras y microscópicamente en el período de incremento del **IGS**, a partir de la primera semana de junio de 2009, 1.723 ovarios de anchoveta, cifras 27% y 30% menor respecto a las analizadas en el año 2008, respectivamente.

La componente metodológica considero 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.

#### **Población objetivo**

La población objetivo es el stock de anchoveta del norte grande de Chile y los ejemplares capturados para efectos de este estudio, por las flotas industrial y artesanal, corresponden a la primera muestra de la población.



## **B. Plan operativo**

### **Fuentes de captación de datos**

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

### **Antecedentes para la selección de centros de muestreo**

La estrategia de captación de datos consideró una cobertura de centros de desembarque, asegurando 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 ésta.

En la pesquería pelágica de la XV, 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 XV, I y II Región, en tanto la flota artesanal se concentra básicamente en la XV y I Región.

### **Principales puertos de desembarque en la XV, I y II Región**

#### **Flota Industrial**

- Iquique
- Arica
- Tocopilla
- Mejillones



### **Tamaño de la flota industrial**

En la actualidad existe un total de 64 embarcaciones industriales operando en esta pesquería (L. Ossa, 2009 com. pers.), las que se distribuyen de la siguiente forma:

- Arica : 14
- Iquique : 43
- Mejillones : 7

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

### **Formularios para la captación de los datos**

Los datos recopilados fueron registrados en el formulario "Muestreo Biológico" y las variables en estudio fueron las siguientes:

- Especie
- Fecha
- Código barco
- Zona de pesca
- Cuadrícula
- Longitud total (cm)
- Peso total (g)
- Peso eviscerado (g)
- Madurez sexual
- Peso gónadas (g)
- Sexo



### **Operación y organización del sistema de recolección**

El sistema de toma de datos fue coordinado por un equipo de profesionales estadísticos que se encargaron del desarrollo del diseño y aseguramiento de la calidad de los datos. El "**staff**" de observadores científicos para esta pesquería, distribuidos desde Arica a Mejillones, dependen de un Coordinador de Campo, el que además de participar en la toma de datos, vela porque las normas y pautas técnicas impartidas se cumplan, siguiendo los estándares y procedimientos que previamente se han definido (IFOP, 1985).

Se utilizó un total de 5 observadores científicos distribuidos de la siguiente forma:

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

Cuya función principal fue la captación de datos de las embarcaciones seleccionadas para el muestreo en tierra o a bordo, siguiendo los instructivos desarrollados para estos fines (**Anexo 1**).

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 inicia la recolección de datos de cada uno de los ejemplares, los que 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.

### **Digitación de datos**

Los datos obtenidos fueron digitados, generando para cada uno de ellos los archivos de muestreo biológico.

### **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 aseguro la confiabilidad de la información (**Anexo 2**).



## D. Plan de análisis

### Indicadores reproductivos

#### Indicador macroscópico: Índice gonadosomático (IGS)

Este indicador expresa los cambios estacionales en el peso de la gónada respecto al peso corporal, asociado a la madurez del ejemplar. Permite monitorear el desarrollo del evento reproductivo del recurso, cuya evolución refleja procesos de maduración, desove y de reposo gonadal.

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)

$$\hat{R}(IGS) = \frac{\sum_{i=1}^n W g_j}{\sum_{i=1}^n W_j} * 100$$



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

$$\hat{V}(\hat{R}(IGS)) = \frac{1}{n\hat{W}^2} \sum_{j=1}^n \frac{(W g_j - \hat{R} W_j)^2}{n-1}$$

– Coeficientes de variaci3n e intervalos de confianza

El coeficiente de variaci3n se calcul3 de acuerdo a:

$$CV(\hat{R})_{IGS} = \frac{\sqrt{\hat{V}_{\hat{R}(IGS)}}}{\hat{R}_{(IGS)}}$$

El intervalo de confianza se obtuvo como:

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

Donde:  $Z_{1-\alpha/2}$ : representa el coeficiente asociado al nivel de confianza  $(1-\alpha)$  de un modelo de probabilidad normal estandar, dado que la distribuci3n l3mite del estimador, conforme el tama1o de muestra aumenta ( $n > 30$ ), es normal ( $\alpha=0,05$ ).

En la interpretaci3n del **IGS** es importante considerar la estrategia reproductiva y el tipo de ovario (desarrollo de los ovocitos) de la especie en estudio.



La anchoveta se caracteriza por presentar un ovario con desarrollo de tipo asincrónico, lo que implica presencia simultánea de ovocitos en todos los estados de desarrollo, con modas de tamaños continuas y sucesivas que derivan en desoves parciales.

En los muestreos de anchoveta, por su carácter de tipo asincrónico y de desovador parcial, es posible encontrar ejemplares en distintos estadios de desarrollo, con predominio de algunos que determinan semanal, mensual y estacionalmente la condición ovárica, caracterizándose por la presencia de hembras en actividad de desove durante todo el año, con cambios en su incidencia e intensidad.

El comportamiento anual del **IGS** para esta especie iterópara es de carácter estacional, con una tendencia fluctuante (aumento en peso gonadal y desove) ascendente hasta alcanzar valores máximos mensuales que indican una sincronía poblacional en el proceso reproductivo, caracterizándose este período por una mayor inversión a la reproducción (desoves más frecuentes y mayor fecundidad parcial y relativa), que para el caso de la anchoveta, se presenta principalmente en el bimestre agosto-septiembre, período en que se visualizan los **IGS** máximos y una alta incidencia de ovarios con folículos postovulatorios (valores altos del indicador **IAD**). El descenso poblacional del **IGS**, refleja estado de desoves avanzados que disminuyen, en términos energéticos, la producción de ovocitos y por ende los pesos gonadales, hasta alcanzar una mayor proporción de ovarios inmaduros.

En el caso de una especie con ovario de tipo sincrónico por grupo, en que es posible diferenciar claramente el período de maduración gonadal y de desove, la



interpretación del **IGS**, indicaría mayor valor en el momento de alcanzar la máxima madurez, mientras que la caída del **IGS** indicaría el inicio del proceso de desove, debido a que se está liberando el stock de ovocitos maduros sin haber reposición, por lo que cada vez, el peso del ovario es menor, quedando claramente visualizado en el comportamiento del indicador.

**Indicador microscópico: Índice de actividad de desove (IAD) e Índice de atresia ovárica (IAO)**

El cálculo del índice de actividad de desove (**IAD**) requiere de la observación sistemática del ovario, contabilizándose la presencia de folículos postovulatorios de diferentes estadios y de los ovocitos hidratados, para estimar la proporción de individuos que alcanzaron este estado en el stock parental maduro (componente de la fracción adulta en actividad de desove inminente y reciente). El cálculo del índice de atresia ovárica (**IAO**) requiere conocer el porcentaje de hembras con presencia masiva de ovocitos atrésicos y resulta un indicador inverso al **IAD**. El análisis histomorfológico del parénquima gonadal se realizó de acuerdo a criterios señalados por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989) y Hunter y Macewicz (1985) (**Tabla 1**), orientados a identificar ovocitos en diferentes grado de desarrollo, de folículos postovulatorios y de estadios atrésicos.

Para efectos de la clasificación de los folículos postovulatorios, se utilizó la definición de estadios de degeneración de éstos, propuesta por Claramunt *et al.*, (2007) para la anchoveta, la que considera siete estadios (**Tabla 2**).

En el cálculo del **IAD**, las hembras fueron agrupadas considerando el estado de madurez ovárica y el estadio de degeneración del folículo postovulatorio, según la expresión:



$$\text{IAD} = \frac{\text{N}^\circ \text{ hembras de D}^\circ \text{a (0) y D}^\circ \text{a (-1)}}{\text{N}^\circ \text{ de hembras maduras}} \times 100$$

Donde:

- D<sup>o</sup>a (0): Corresponde a las hembras que desovar<sup>o</sup>n m<sup>o</sup>s la que desovar<sup>o</sup>n en la noche de la captura, cuyos ovarios presentan ovocitos hidratados y FPO I.
- D<sup>o</sup>a (-1): Corresponde a las hembras que desovar<sup>o</sup>n la noche anterior de la captura, cuyos ovarios presentan FPO II al IV.

Con respecto a un indicador inverso al **IAD**, se requiere conocer simult<sup>o</sup>neamente el **IAO**, el cual se define como:

$$\text{IAO} = \frac{\text{N}^\circ \text{ hembras en estado de atresia ov<sup>o</sup>rica}}{\text{N}^\circ \text{ de hembras maduras}} \times 100$$

### **An<sup>o</sup>lisis macrosc3pico y microsc3pico**

Se determin3 el per<sup>o</sup>do de m<sup>o</sup>xima intensidad reproductiva mediante el an<sup>o</sup>lisis de las tendencias, en base semanal y mensual de la anchoveta en los diferentes estadios de madurez del ovario; la evoluci3n de los indicadores histol3gicos **IAD** e **IAO** y las variaciones del **Indice Gonadosom<sup>o</sup>atico (IGS)**. Per<sup>o</sup>do que se asocia a la totalidad de la anchoveta adulta en estadios de madurez avanzados; con un incremento en el n<sup>o</sup>mero de hembras hidratadas y de ovarios con fol<sup>o</sup>culos postovulatorios y menor evidencia de regresi3n o atresia, caracteriz<sup>o</sup>ndose el per<sup>o</sup>do de m<sup>o</sup>xima actividad de desove por la ocurrencia y permanencia de altos valores de **IGS** e **IAD** y de bajos o nulos valores de **IAO**.



### 3. Metodología por objetivo:

#### 3.2 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 correspondió a un diseño sistemático, el cual permitió cubrir un área de aproximadamente 38.289 mn<sup>2</sup> y estuvo configurado por una grilla de 773 estaciones distribuidas en 47 transectas perpendiculares a la costa equidistantes 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 (**Figura 2a**).

El número de estaciones realizadas en el área de estudio se basó en el análisis de la densidad media de huevos por estación de los cruceros efectuados entre los años 2000 y 2006, excluyendo la información del crucero de 2001, debido a la alta concentración del desove en un área reducida que se observó en dicho año, comportamiento atípico en comparación con la distribución observada en la serie histórica 1992-2006. 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 utiliz3 la relaci3n:

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

Donde:  $n_0$  es el tama1o de muestra,  $Z$  es el percentil  $1-\alpha/2$  de la distribuci3n normal est1andar,  $S$  es la desviaci3n est1andar de la densidad de huevos,  $r$  corresponde al nivel de error de estimaci3n 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 n1mero total de estaciones  $n$ , la relaci3n porcentual entre las estaciones positivas ( $n^+$ ) y el total de estaciones. Al respecto, se encontr3 que tal relaci3n fue de:

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

De tal manera que determinando el n1mero de estaciones positivas ( $n^+ = n_0$ ) es posible establecer el n1mero total de estaciones.

Utilizando el valor estimado de la densidad media y la desviaci3n est1andar para las estaciones positivas de los cruceros, se pudo establecer que para un valor  $\alpha$  del 5% y un nivel de error de estimaci3n del 24%, se requieren 263 estaciones positivas. As3, conociendo la relaci3n entre el n1mero de estaciones positivas y las negativas de los cruceros anteriores, se estim3 un total de 658 estaciones a realizar, sin embargo, y de acuerdo a los antecedentes originados en el taller de divulgaci3n 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.

De esta forma, en el presente estudio, se realizó un total de 773 estaciones bio-oceanográficas (**Figura 2a**). 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 57", 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 m<sup>2</sup> 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 de 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.
- Enumeración y agrupación del resto del ictioplancton, bajo la denominación de “otras especies”.

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

#### **3.1.4.2 Análisis de la información planctónica**

Basado en los valores cuantitativos de los análisis y con el propósito de contar con antecedentes comparativos se determinaron algunos parámetros tales como el poblacional, densidad promedio respecto de las estaciones totales y positivas y los comunitarios, constancia y dominancia numérica.



Se incorporó además, la estimación de la densidad de huevos mediante la distribución Log-normal de acuerdo a (Pennigton, 1986):

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

$$c = \left( \frac{m}{n} \right) \exp(\bar{y}) G_m(r)$$

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:

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

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:

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

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 1992/2009, 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 oceanográficos**

En la zona de estudio se realizó un total de 44 transectas perpendiculares a la costa separadas cada 10 mn. En cada transecta se realizaron 17 estaciones oceanográficas separadas cada 5 mn, las que abarcaron hacia el oeste hasta las 80 mn (**Figura 2a**). En las transectas 37, 38 y 39 sólo se hicieron estaciones en forma parcial (11, 9 y 9 estaciones, respectivamente) dado que se presentaron condiciones de fuerte marejada lo que impidió realizar el muestreo planificado de 799.



En las estaciones del crucero se obtuvo registros continuos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y salinidad (psu) con profundidad (dbar) hasta un máximo de 100 m, mediante el uso de un CTD marca SEA BIRD modelo 19 y 19 plus, ambos equipados con bomba. Las estaciones exitosas con CTD fueron 708. La diferencia con las 773 indicadas inicialmente corresponde a 13 estaciones que no se hicieron con CTD acompañando el muestreo de ictioplancton debido a condiciones climáticas adversas y que no daban seguridad a la operación del equipo, mientras que 52 lances de CTD (estaciones 154 a 204) fueron descartadas por mal funcionamiento repentino del primer CTD (SB19) ocurrido en terreno, las cuales no pudieron ser corregidas posteriormente. Desde la estación 205 se utilizó un equipo nuevo (SB 19plusV2) luego de la recalada a Iquique.

Los datos de temperatura y salinidad de superficie y el nivel de 10 m de las estaciones faltantes y que son necesarios para el trabajo de plancton se calcularon por interpolación. El método de interpolación consistió en hacer una grilla con el programa SURFER con los datos disponibles para cada nivel y variable, y luego extraer de la grilla los valores de los puntos faltantes. Las grillas resultantes se presentan en las figuras entregadas en este informe excepto para el nivel de 10 m.

En las estaciones ubicadas a 1, 5, 10, 20, 40, 60 y 80 mn en las transectas de Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) (T01), punta Madrid ( $19^{\circ}0'S$ ) (T05), punta Junín ( $19^{\circ}40'S$ ) (T09), punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ) (T13), punta Lobos ( $21^{\circ}00'S$ ) (T17), punta Arenas ( $21^{\circ}40'S$ ) (T21), punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ) (T25), Mejillones ( $23^{\circ}0'S$ ) (T29), Bahía Moreno ( $23^{\circ}40'S$ ) (T33) y punta Tres Picos ( $24^{\circ}20'S$ ) (T37) se realizaron estaciones oceanográficas con CTD hasta una profundidad máxima de 500 m, análisis de clorofila y muestreo de oxígeno disuelto (**OD**) en la vertical. De estas



estaciones se realizaron un total de 83 y se les denominará en adelante estaciones oceanográficas profundas (**Figura 2b**).

Para la toma de muestras de agua conducentes a los análisis de clorofila - **a** y oxígeno disuelto se utilizaron botellas Niskin de 1,7 L de capacidad. El muestreo se realizó en las estaciones oceanográficas profundas en los niveles estándar de 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75 y 100 m como máximo. Con las muestras de agua recolectadas, se realizaron a bordo los análisis conducentes a la obtención de la concentración de oxígeno disuelto (OD), mediante el método Winkler modificado por Carpenter (1965), mientras que, los análisis de la concentración de clorofila-**a** se realizaron en los laboratorios de IFOP según la metodología descrita en **3.2.2**.

Datos de temperatura discretos de termómetros de inversión y muestras para análisis de salinidad se obtuvieron en las estaciones profundas a 1 y 80 mn de la costa, en superficie y a 100 m de profundidad. 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), intensidad y dirección del viento (valor predominante observado), altura y dirección de las olas. En el registro se utilizaron las normas, tablas y códigos del National Oceanographic Data Center (NODC, 1991).

### **3.2.2 Medición de la clorofila-a**

En las estaciones oceanográficas completas se colectaron 622 muestras para los análisis de clorofila-a. Se filtro *in situ* un volumen estandarizado de 50 mL con un sistema de filtrado múltiple Millipore, utilizando filtros de fibra de vidrio (MFS GF-



75, 0,7  $\mu\text{m}$ , 25 cm de diámetro) (Jeffrey *et al.*, 1997). Las muestras se congelaron con nitrógeno líquido hasta 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 de 24 horas y a  $-20^{\circ}\text{C}$ . 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 oceanográfica del crucero**

La información del CTD se procesó de acuerdo a procedimientos estándar recomendados por el fabricante (Seabird, 2004). Con los datos ya procesados se confeccionaron las cartas de distribución superficial y vertical de las variables temperatura y salinidad. Con los datos verticales se obtuvo información de la capa de mezcla (espesor), temperatura y salinidad en el nivel de 50 m y su diferencia con los valores superficiales, realizándose las respectivas cartas y su posterior análisis. Así también la profundidad de la isoterma de  $15^{\circ}\text{C}$  y su anomalía. Se confeccionaron además cartas verticales de cada transecta oceanográfica para el oxígeno disuelto y la clorofila a obtenidas del muestreo discreto.

Se consideró como espesor de la capa de mezcla, la profundidad de la capa de agua superficial que presente una diferencia menor a  $0,1^{\circ}\text{C}$ ,  $0,1 \text{ psu}$  y  $0,1 \text{ Kg/m}^3$  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.



Los valores de salinidad se entregan en forma adimensional, siguiendo recomendaciones de UNESCO (1981b); por conveniencia se anotan omitiendo el factor  $10^{-3}$ .

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

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

Con la información de viento registrado en las estaciones oceanográficas 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 instantáneo que se ubican hasta las 30 mn de la costa y cada  $1^{\circ}$  de latitud. Los valores del IS se expresan en  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  por 1.000 metros de costa. El IS instantáneo se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$M_x = t_y / f \quad (1)$$

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:

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

donde en (2) :

- $\omega$  = velocidad angular de la tierra
- $l$  = latitud del lugar

a su vez, de la ecuaci3n 1:

$$t_y = r_a C_d v |W| \quad (3)$$

donde en (3):

- $r_a$  = densidad del aire (1.25 Kg/m<sup>3</sup>)
- $C_d$  = 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 utiliz3 en los c3lculos fue igual a 0,0013 de acuerdo a Bakun y Parrish, (1982). Los valores **IS** promedio fueron graficados como flechas en una carta que representa la zona de estudio.

Con la informaci3n de viento registrado en las estaciones se determin3 tambi3n el 3ndice de turbulencia (**IT**), el cual corresponde al cubo de la magnitud de la velocidad del viento ( $W^3$ ) (Bakun y Parrish, op cit). Con la informaci3n de los datos individuales de **IT** se obtuvo un valor de **IT** promedio costero y uno oce3nico,



tomando en el primer caso los registros de viento entre la costa y las 30 mn, y en el de los oceánicos desde las 30 mn hasta las 80, dentro de un grado de latitud. Los valores promedio fueron graficados como barras en una carta que representa la zona de estudio.

Se obtuvo valores de anomalía vertical de temperatura y salinidad a lo largo de la transecta de bahía Moreno (23° 40'S), punta Lobos (21° 00'S) y Arica (18° 25'S), con los que se realizaron gráficos de distribución de anomalía. Los valores promedio de temperatura y salinidad de las transectas utilizados para el cálculo de anomalía corresponden al mes de septiembre (no disponibles para agosto) y estos fueron obtenidos con la serie histórica de IFOP desde 1963 al 1996. La metodología aplicada en la obtención de los promedios verticales de estas transectas corresponde a la indicada por Blanco *et al* (2001).

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  $\pm 1$  desviación estándar por sobre el promedio histórico en cada variable, discutiéndose la causa de la anomalía registrada (ver **Anexo 3**). 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, los posibles procesos que se desarrollaron en la zona.



La profundidad del límite de la capa de mínimo oxígeno disuelto corresponde a la profundidad de ubicación de la concentración de 1 mL/L de oxígeno disuelto. Dado que los datos obtenidos en terreno son discretos, la ubicación en la columna de agua de los límites superior e inferior de esta capa, se obtuvo por interpolación lineal.

Respecto a la clorofila-**a** (**cloa**), una vez cuantificadas las muestras, la información fue codificada, digitada y georeferenciada. Los resultados de clorofila-a y de los productos de degradación o feopigmentos se expresan en µg/L en las cartas superficiales y verticales de cada transecta.

La concentración de los productos de degradación de la cloa o feopigmentos (**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:

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

Donde:

$i$  son las profundidades de muestreo discretas definidas en el punto

### 3.2.2

$C_i$  y  $C_{i+1}$  son las concentraciones de clorofila (µg/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 c3lculo permite representar la clorofila - **a** de toda la columna, en unidades de 3rea ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ), de esta forma se incorporan adecuadamente los m3ximos sub-superficiales de la biomasa fitoplanct3nica, situaci3n que es subestimada muchas veces por la clorofila superficial. Esta informaci3n se entrega en cartas de distribuci3n tanto para la clorofila integrada como para los feopigmentos integrados.

### 3.2.4 Recopilaci3n de informaci3n Satelital coet3nea al crucero

Se obtuvo informaci3n satelital global de magnitud y velocidad del viento superficial correspondiente a los promedios semanales que abarcaron los periodos entre el 3 y 10, entre el 10 y 17 y finalmente entre el 17 y 24 de agosto. Esta informaci3n proviene del programa de distribuci3n de datos satelitales CERSAT perteneciente al IFREMER (<http://www.ifremer.fr>).

La informaci3n satelital global de temperatura superficial del mar (**TSM**) y clorofila-**a** (**Chloa**) corresponde a im3genes sat3litaes recolectadas por la serie de sat3lites MODIS, la cual es distribuida por el programa Ocean Color Web (<http://www.oceans.gsfc.nasa.gov>). El an3lisis se realiz3 en im3genes promedios semanales, que abarcaron los per3odos entre el 5 y 12 y entre el 21 y 28 de agosto. El per3odo entre el 13 y 20 de agosto, no presentaba informaci3n 3til debido a la cobertura nubosa sobre la zona. En el caso de la **TSM**, se obtuvieron im3genes promedio semanales de d3a y noche (ascendente y descendente) las cuales fueron promediadas en forma ponderada.



Paralelamente, se obtuvieron 30 imágenes diarias de anomalías de nivel del mar y velocidades geostróficas desde el programa AVISO (<http://www.jason.oceanobs.com>), de las cuales se presentaron 3, las que son representativas de la situación del crucero (3, 10 y 20 agosto).

#### **3.2.4.1 Procesamiento de la información satelital coetánea al crucero**

Los promedios semanales de viento fueron leídos desde el formato NETCDF del cual proceden. Cada imagen global es cortada para que cubra la zona del crucero. Una vez obtenida esta submatriz se leyeron los archivos y se extrajo en formato de número digital asociado a los valores de magnitud del viento (m/s) y a los valores de las componentes este-oeste (u) y norte-sur (v). Cada componente es corregida por un factor de escalamiento, que en este caso es 0.01. Después de esto, se eliminaron valores fuera de rango (magnitud > 1000), para posteriormente combinar en una gráfica la magnitud (m/s) y la componentes del viento (u y v).

Las imágenes semanales de **TSM** fueron leídas desde un formato HDF (Hierarchical Data Format) y se cortaron al área de cobertura del crucero. Para cada semana se obtuvo el número digital (ND), el cual fue transformado al valor de la variable (TSM), tanto para el día y la noche.

$$TSM=ND * 0.00071718 - 2$$

Las imágenes de día y noche se promediaron y se obtuvo la imagen semanal de **TSM**, presentada en un grafico de color con contornos de temperaturas.



Las Imágenes de **Chloa**, al igual que las de **TSM**, fueron leídas un formato HDF(Hierarchical Data Format) y se cortaron al área de cobertura del crucero. Desde lo archivos originales se extrajo el número digital el cual fue transformado al valor de la variable y presentado como imágenes en escala de colores logarítmica.

$$\text{Chloa} = 10^{(5.8137757 \text{ E-5} * \text{DNChloa}) - 2}$$

Las imágenes diarias de anomalía de nivel del mar y velocidad geostroficas, fueron leídas, cortadas al área del crucero y se presentan en forma gráfica y conjunta la magnitud de la anomalía del nivel del mar y la velocidad geostrofica diaria.

### **3.2.5. Series costeras de viento y nivel del mar en Iquique y Antofagasta.**

Se obtuvieron datos de viento de los aeropuertote Diego Aracena de Iquique y Cerro Moreno de Antofagasta, los cuales son distribuidos por la dirección meteorológica de Chile. Estos datos corresponden a promedios diarios de intensidad y dirección del viento entre enero y septiembre de 2009. Paralelamente, se obtuvo el registro de nivel del mar diario del puerto de Iquique distribuido por el Centro Nacional de datos Hidrográfico y Oceanográfico (CENDHOC) dependiente del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). Tradicionalmente, además de analizar el nivel del mar del puerto de Iquique, en este proyecto se ha analizado el nivel del mar en el puerto de Antofagasta, pero debido a fallas en el mareógrafo, no fue posible obtener información durante el período del crucero.



### **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 adultos**

El método de estimación de biomasa desovante requiere que simultáneamente con el desarrollo del crucero módulo huevos, se realicen lances 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 4 embarcaciones cerqueras industriales. Las naves autorizadas para tales efectos fueron los PAM “Parina I”, “Intrépido”, “Relámpago” y “Atacama V”, perteneciendo los tres primeros a la Empresa Pesquera Corpesca y el último a la Compañía Pesquera Camanchaca S. A., los cuales cubrieron la zona de estudio desde las 5 mn hasta las 80 mn, asignándoles a cada uno de ellos, un rango latitudinal de operación. Cabe señalar que el PAM “Relámpago” fue reemplazado durante la prospección por la nave “Don Gino”, según Resolución de Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca N° 2611 del 31 de julio de 2009. Además, colaboraron en la recolección de anchovetas adultas, una vez levantada la veda biológica del recurso, los PAM “Trueno I” y “Aventurero” de la Empresa Pesquera CORPESCA y “Licanten” de la Empresa Pesquera Camanchaca, efectuando entre todas ellas un total de 91 lances de pesca, de los cuales 38 fueron positivos, es decir, con captura de anchoveta.

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 t3rminos generales, son de 650 \* 70 brazas, con un embande de un 32%.

### 3.3.2 Determinaci3n del tamaño de muestra

En los cardúmenes de clupeideos, como la anchoveta, la distribuci3n de los peces es generalmente homog3nea, respecto al tamaño y a la condici3n de las g3nadas, por lo cual la estimaci3n de la fracci3n de hembras en desove se relaciona con el tipo de muestreo aplicado, situaci3n que es evidente durante la 3poca de mayor actividad de desove. De acuerdo al conocimiento del proceso reproductivo de 3sta especie, en per3odos sin perturbaci3n ambiental, los cardúmenes desovantes, caracterizados por el predominio de machos, se separan de aquellos que est3n en otra condici3n reproductiva. Este comportamiento ha sido observado por otros investigadores (Blaxter y Hunter, 1982; Oliva *et al.*, 1989; Mart3nez *et al.*, 1992, 1993, 1994; Claramunt *et al.*, 1996, 1997).

El diseño de muestreo orientado a estudiar los par3metros de adultos correspondi3 al de conglomerado bi-et3pico, 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 trece aplicaciones del MPH en el 3rea de estudio, ha permitido concluir que con 40 lances efectivos se puede estimar en forma 3ptima los par3metros de adultos. Al respecto, cabe señalear 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.*, 2005). En términos de número de peces procesados y en un sentido estadístico es más eficiente realizar un 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 XV, I y II Regiones, y fundamentó el inicio del crucero, señalando un pleno proceso de desove entre la segunda semana de julio y la quinta semana de octubre de 2009.

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



basófila. Los defectos del fijador pueden ser corregidos fácilmente mediante una postfijación.

### 3.3.3 Fracción de hembras (Proporción de sexo) ( $\bar{R}$ )

La fracción de hembras (proporción sexual) fue estimada para cada lance de una submuestra compuesta de los primeros 2.300 gramos de peces (Rojas y Oliva, 1993) o de 100 ejemplares recoleccionados al azar. Esta proporción fue estimada sobre la base del peso en vez del número.

Debido al efecto de la preservación, el peso registrado fue ajustado por un factor de corrección por fijación, donde el promedio de la muestra y la varianza fueron estimados de acuerdo a:

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

$$Var(\bar{\bar{R}}) = \frac{1}{n(n-1)} \frac{\sum_{i=1}^n m_i^{*2} (R_i - \bar{\bar{R}})^2}{\bar{m}^{*2}}$$

Donde:

$$R_i = \frac{W_i^H}{m_i^*}$$

$\bar{\bar{R}}$  : Proporción promedio de hembras sobre la base del peso por peso en porcentaje de todos los lances.

$W_i^H$  : Corresponde al peso del total de la muestra de hembras en el lance  $i$ .



$m_i^*$  : Corresponde peso de total de la muestra de ejemplares (machos y hembras) en el lance  $i$ .

$n$  : Número de lances.

### 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. El pesaje de los ejemplares se realizó en una balanza electrónica Sartorius, Modelo TE 1502S, con precisión de 0,01 g y capacidad máxima de 1500 g.

Se calculó el peso promedio para cada lance ( $W_i$ ) y la varianza de acuerdo a:

$$\bar{W} = \frac{\sum_{i=1}^{m_i} m_i * \bar{W}_i}{\sum_{i=1} m_i}$$

$$Var(\bar{W}) = \frac{1}{n(n-1)} \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{W}_i - \bar{W})^2}{\bar{m}^2}$$

Donde:

$$\bar{W}_i = \sum_{j=1}^{m_i} \frac{W_{ij}}{m_i}$$



- $\bar{W}_i$  : Peso promedio del cuerpo de las hembras maduras en el lance  $i$ .
- $\bar{W}$  : Peso promedio del cuerpo de las hembras maduras en todos los lances.
- $m_i$  : Número de peces submuestreados desde cada lance  $i$ .
- $n$  : Número de lances.

El peso total del cuerpo de las 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 resulte entre el peso total del cuerpo y el peso del cuerpo sin gónada.

### 3.3.5 Corrección debido al fijador

Debido a que los peces se preservaron en formalina hasta su procesamiento en laboratorio en tierra, se realizó la 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. Por lo que los efectos de preservación con este componente son muy específicos, es necesario una calibración para cualquier cambio de técnica, especie o estadio de vida. Este factor de corrección se calculó de la siguiente manera: Una muestra de 30 machos y 30 hembras se pesaron en fresco, para luego ser fijadas con la misma solución, e igual procedimiento utilizado a bordo, siendo nuevamente pesados 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 espec3fico 2.4 “Estimar la producci3n diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instant3nea de los huevos”.**

El an3lisis de las muestras de ictioplancton consisti3 en la identificaci3n y separaci3n de la totalidad de los de anchoveta y su posterior clasificaci3n por estadio de desarrollo.

La clasificaci3n de los estadios de desarrollo de los huevos de anchoveta se efectu3 en base a la escala de 11 estadios propuesta por Santander *et al.*, (1984), de acuerdo a los cambios morfol3gicos que se producen en el transcurso de la embriog3nesis (**Tabla 3**). Los huevos que no pueden ser asignados a ninguno de dichos estadios debido a opacidad o da3o en su estructura interna, se clasifican como deteriorados (**Det**). La suma de la totalidad de huevos separados por estadio debe ser coincidente con aquella obtenida en el conteo de huevos totales, en caso contrario se repite el conteo por estadio para esa muestra. Esta metodolog3a permite corregir eventuales errores de an3lisis (Stauffer y Picquelle, 1985), al contrario de aquella que analiza un n3mero constante de huevos por muestra.

Para la asignaci3n de edad y de acuerdo a los resultados del proyecto FIP 2006-38 “Mejoramiento del M3todo de Producci3n Diaria de Huevos aplicado en pel3gicos peque3os” (Claramunt *et al.* 2007), al igual que en el a3o 2007 se aplicaron dos metodolog3as: 1) El m3todo tradicional de Lo (1985) y 2) Modelo Multinomial (Ibaibarriaga *et al.*, 2007, Bernal *et al.* 2007b).



## 1) Método Tradicional:

Se basa en la metodología descrita por Lo (1985), es decir, a través de la estimación de la edad para cada estadio en función de la temperatura ambiental al momento de la captura. La temperatura a los 10 metros es obtenida desde los perfiles verticales de temperatura, como se sugiere en Santander *et al.* (1984).

El tiempo cero, o bien la hora del día del máximo de desove, fue considerada como las 23:00 h, de acuerdo a los resultados de Claramunt *et al.* (2007), el cual fue estimado con la información de la frecuencia horaria de estadios de desarrollo temprano (Estadio I). La edad de los huevos (en fracción de día) se calculó haciendo uso del modelo edad-temperatura (Lo, 1985) y ajustando la edad por la porción del día desde las 23:00 h previas hasta el momento de la recolección para el día más cercano, según el procedimiento “automatizado” descrito por Lo (1985), según la función:

$$y_{i,t,k} = y_{i,t} + k - \hat{T}$$

donde:

$y_{i,t}$	=	se obtiene del modelo temperatura dependiente.
$K$	=	hora del lance
$T$	=	remanente de $(y_{i,t} + 23) - 24$



Las decisiones de corrección según la hora de recolección son:

$$y_{i,t,k} = \begin{cases} y_{i,t} - G & \text{si } k < \hat{T} - G \\ y_{i,t} + k - \hat{T} & \text{si } \hat{T} - G < k < \hat{T} + G \\ y_{i,t} + G & \text{si } \hat{T} + G < k \end{cases}$$

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

Los huevos de categoría **DET** (desintegrados) se asignaron a un estadio de desarrollo según los siguientes criterios:

1. Huevos que pueden ser identificados dentro de un rango de estadios, fueron asignados en forma ponderada, de acuerdo a la proporción por estadio ya determinada para la muestra.
2. Las estaciones en que sólo se encuentren huevos **DES**, se asignaron aleatoriamente, siguiendo una distribución uniforme dentro del rango de estadios posibles.

## 2) **Modelo Multinomial:**

El método tradicional agrupa la abundancia de huevos en cohortes considerando su edad, y posteriormente una curva de mortalidad es ajustada a los datos de abundancia de cohortes diarias, dada la edad media ponderada (e.g. Piquelle y Stauffer, 1985). Sin embargo, sólo los estadios de desarrollo son variables verdaderamente observadas, y no la edad, y en la literatura se puede encontrar varios procedimientos para estadios de huevos (e.g. Lo 1985, Bernal *et al.*, 2001).



Bernal *et al.* (2001), desarrolló un procedimiento innovativo y estadísticamente fundamentado de asignación de edad y fue desarrollado e integrado dentro de las rutinas GAM del MPDH. El procedimiento utiliza la misma información que el método tradicional, i.e.

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

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



$$p(s | a, T)$$

que representa la probabilidad de permanecer en el estadio  $s$  dada la edad  $a$  y temperatura  $T$ .

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



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

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

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

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

- aunque fácil de implementar, asigna aleatoriedad a las variables equivocadas (edad, la cual es realmente fija y decidida por el investigador).
- esta compuesta de dos modelos diferentes, uno de edad media y otro de duración de estadios. La estimación de la edad media no es bien documentada en las diferentes implementaciones (Miranda *et al.*, 1990; Motos, 1994), y algunas veces es equivocadamente descrita o implementada. Los modelos asumidos para la duración de estadios también varía entre las diferentes implementaciones del método de Lo.



- El nuevo procedimiento tiene propiedades de cualquier método de verosimilitud, incluyendo insesgamiento y eficiencia, y facilita la comparación con otros métodos de verosimilitud.
- La incertidumbre de los datos provenientes del experimento de incubación se incorpora a través del modelo multinomial.

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

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



## Estimación de la producción diaria de huevos $P_{(t)}$ y tasa de mortalidad

El cálculo de la producción diaria de huevos, su varianza y tasa de mortalidad fue estimada por 1) el método tradicional de Lo (1985) por un ajuste usando **GLM**; 2) por un modelo probabilística utilizando la datación del modelo Multinomial y 3) un modelo espacial basado en un modelo GAM que utiliza como variables la posición geográfica (latitud y longitud) y la temperatura de la estación (Temperatura a 10 m). Estos están implementados en el programa eggs y eggsplore en plataforma R por Miguel Bernal.

El método tradicional de Lo (1985) se basa en un modelo de tipo exponencial (Picquelle y Stauffer, 1985) dado por:

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

Donde:

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

El ajuste está basado en un ajuste de un modelo lineal generalizado (**GLM**) que permite la utilización de la distribución binomial negativa con un parámetro de dispersión desconocido, la cual permite la alta dispersión de los datos a edades tempranas de huevos, situación muy común en este tipo de información. Además, utiliza ponderaciones proporcionales al área representada por cada estación. Se incluyen las estaciones negativas dentro del área de desove, se excluyen huevos



menores a 4 horas y el corte de edades superiores correspondió al 95% de la edad de eclosión de acuerdo a la temperatura de la estación.

El modelo multinomial incorpora por defecto un corte en las dos colas: a) en la cola de abajo el corte se controla por la amplitud de la asunción de sincronidad (desviación estándar de la hora pico de desove; 4 horas ( $2 \cdot sd$ )); b) en la cola de arriba el corte se controla automáticamente usando la edad máxima a la que eclosiona cierto porcentaje de huevos, la que se estima a partir del experimento de incubación y la temperatura de la estación. Para poder utilizar el modelo multinomial es necesario un proceso iterativo de estimación de mortalidad y utilizar dicha mortalidad en el proceso de datación.

$$\log\left(\frac{N_{age}}{area}\right) = \log(D_0) - z \cdot age \rightarrow \log(N_{age}) = \log(area) + \log(D_0) - z \cdot age$$

$$\mathbf{E} [ N_{age} ] = \mathbf{offset} + \mathbf{g}^{-1} [ \mathbf{a} + \mathbf{b} \cdot \mathbf{age} ]$$

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

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



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

Se utilizó el estimador de post-estratificación propuesto por Picquelle y Stauffer (1985) para el tratamiento del estrato positivo (área de desove,  $A_1$ ) y el estrato negativo (correspondiente al área sin presencia de huevos,  $A_0$ ). El cálculo de la producción diaria total ( $P$ ) se estimó desde el (los) valor(es) de  $P_1$  y el área ponderada por estratos, de acuerdo a:

$$P = \left( P_1 \frac{A_1}{A} + P_0 \frac{A_0}{A} \right) K$$

Donde:  $P_1$  y  $P_0$  corresponden a la producción diaria de huevos por unidad de muestreo para los estratos 1 y 0 respectivamente, donde  $P_0$  es cero por definición.  $A_1$  y  $A_0$  corresponden a las áreas geográficas ( $\text{mn}^2$ ) de los estratos 1 y 0, y  $A$  es el área total de desove ( $A_1 + A_0$ ), descontada el área del estrato 0, aquel definido por las estaciones negativas (sin huevos).  $K$  es un factor de conversión desde la unidad muestral a  $\text{mn}^2$ .

La varianza ajustada de  $P$  para post-muestreo estratificado se pudo estimar como:

$$S^2_{(P_i)} = \left( 1 + \frac{I}{n} \right) \left( \frac{A_1}{A} S^2_{(P_1)} + \frac{A_0}{A} S^2_{(P_0)} \right)$$

Donde la varianza de  $P_0$  es cero por definición.



## Modelo GAM espacial

Este nuevo enfoque utiliza modelos aditivos generalizados (GAM) que han sido especialmente dise~nadas para resolver los problemas y limitaciones de la aplicaci3n convencional del MPDH. Los Modelos Aditivos Generalizados (**GAM**) han demostrado ser una poderosa herramienta para modelar la distribuci3n de huevos y la producci3n diaria de huevos (e.g. Borchers *et al.*, 1997; Bernal, 2007a; Stratoudakis *et al.*, 2003), pero varios problemas metodol3gicos no habían podido ser resueltos para ser utilizados adecuadamente en el MPDH. Dichos problemas metodol3gicos han sido superados recientemente a trav3s de un proyecto de la Uni3n Europea “Using environmental variables with improved DEPM methods to consolidate the series of sardine and anchovy estimates” (EU Study 99/080, <http://ruwpa-st.andrews.ac.uk/depmodel>), cuyas mejoras se pueden resumir en:

- Rutinas para la selecci3n de modelos utilizando GAM, lo que previamente había sido realizado sobre una base *ad hoc* con elementos subjetivos.
- Modelaci3n independiente del sistema de coordenadas en GAM, de esta manera los modelos deberían ser insensitivos a cambios en el sistema de coordenadas.
- Modelaci3n de interacciones con GAM, cuyo principal t3pico es c3mo escalar la covarianza relativa de las variables.
- Mejor desempe~o de la inferencia con modelos GAM
- Asegurar estabilidad del modelo con datos que se caracterizan por una alta presencia de ceros
- Facilitar el uso de las nuevas rutinas a usuarios interesados en mejorar estimaciones con el MPDH.



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

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

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

donde  $N_i$  es la abundancia de huevos en la cohorte diaria  $i$ ,  $g^{-1}$  es el inverso de la función de enlace (link function), i.e. la función que relaciona la variable respuesta y el predictor lineal (e.g. logaritmo en el caso de Poisson);  $P_0$  es la producción diaria de huevos,  $\text{edad}$  es la edad media ponderada de la cohorte diaria  $i$ ;  $s(x_1, \text{by} = P_0)$  es la función suavizadora que describe la relación entre la producción de huevos (en escala logarítmica) y un conjunto de co-variables  $x_1$ , e.g.  $s(\text{Lat}, \text{Long}, \text{by} = P_0)$ ; y  $s(x_2, \text{by} = \text{edad})$  es la función suavizadora que describe la relación entre la mortalidad de los huevos y el conjunto de co-variables  $x_2$ , e.g.  $s(\text{TSM}, \text{by} = \text{edad})$ .

Las estimaciones de la edad y  $N_i$  son obtenidas directamente desde las muestras mediante un nuevo procedimiento de asignación de edad (ver más adelante). El parámetro *offset* es fijo y toma en cuenta diferencias en el tamaño de las muestras (i.e. volumen de agua filtrada o superficie efectiva muestreada). En nuestro caso se utiliza el área de la boca de la red CalVET.



Las funciones suavizadoras son automáticamente seleccionadas por el nuevo conjunto de algoritmos desarrollado para GAM utilizando validación cruzada general (General Cross-Validation, GCV). No obstante, el equipo de investigadores ha incursionado en el estudio de otro conjunto de co-variables para explicar la producción de huevos y la tasa de mortalidad, las que se entregan en este informe como una sobreoferta a las bases técnicas.

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

- Los límites exteriores son definidos por los puntos finales de cada transecta, pero se agrega una distancia equivalente a la mitad de la distancia entre puntos (estaciones) de la transecta.
- Límites sobre el comienzo y fin del crucero son definidos por los puntos de las transectas externas, pero agregando la mitad de la distancia entre transectas.
- Los límites internos (costeros) son definidos por una versión suavizada de la línea de costa. Esto es para evitar extrapolaciones a puntos cercanos a la costa. Sin embargo, en nuestra aplicación este tema quedó pendiente ya que es necesario modelar la línea de costa, con el objeto de que sea apropiada a los fines requeridos. Esta es una tarea pendiente para el mejoramiento del método de producción diaria de huevos en Chile.



La producci3n de huevos se mide en unidades de individuos por m<sup>2</sup> por d3a, as3 el 3rea de mar superficial representado por cada punto se necesita para obtener una estimaci3n de la producci3n diaria en el 3rea total del crucero. Es necesario evitar las extrapolaciones y estimar tan precisa como sea posible el 3rea exacta asociada a cada punto, en particular en puntos cercanos a la l3nea de costa donde una estimaci3n imprecisa podr3a generar extrapolaciones sobre la tierra. La estimaci3n del 3rea representada por cada punto dentro del 3rea del crucero, deber3a considerar la distancia desde el punto a cualquiera de los puntos que lo rodean y a los l3mites del 3rea del crucero de tal manera que el 3rea de cada punto no se sobreponga con otros y la suma del 3rea representada por dichos puntos sea igual al 3rea total del crucero. El programa implementado en el programa GAM, calcula autom3ticamente el 3rea que representa cada punto ya sea sobre una grilla regular o irregular.

### **Ajuste del modelo y selecci3n de modelos**

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

- Selecci3n de suavizadores de dispersi3n integrados utilizando GCV (General Cross-Validation) o unbiased risk estimation (Criterio de Informaci3n de Akaike, AIC).
- Representaci3n de rangos 3ptimos bajos de funciones suavizadoras componentes del modelo de un n3mero arbitrario de covariables.
- Una aproximaci3n rigurosa para la estimaci3n por intervalos sobre la base de un modelo Bayesiano del proceso de suavizaci3n



- Extensión de los modelos aditivos generalizados para incluir “offset multiplicativos” para los términos de suavizamiento.
- Una aproximación eficiente para utilizar un modelo de error binomial negativo en este esquema de trabajo con GAM.
- Desarrollo de un método numérico óptimamente estable de ajuste del modelo y selección de los suavizadores de dispersión utilizando GCV o AIC.
- El desarrollo de un paquete computacional completo en el que se implementa este esquema de trabajo flexible y disponible gratuitamente dentro del programa *R*.

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

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



- *mgcv*, es el programa principal para ajustar GAM. Los principales métodos estadísticos y computacionales han sido publicados (Wood, 2003) o están en preparación. El programa representa una notable mejoría del trabajo con GAM, particularmente en relación con: a) selección de modelos automática utilizando GCV o AIC; b) suavizadores multidimensionales utilizando la aproximación “thin plate” (Wood, 2003); y c) modelo de ajuste eficiente y robusto, que permite también ajustar datos altamente dispersos utilizando la distribución binomial negativa.
- *eggs*, permite una estimación GAM-basada del MPDH, incluyendo funciones para: a) ajuste de modelos a datos provenientes de experimentos de incubación utilizando un modelo flexible multinomial; b) asignación de edades a datos de huevos por estadios de desarrollo observados utilizando un nuevo método Bayesiano de asignación de edades, sobre la base del modelo de desarrollo de los datos de incubación y función densidad de probabilidad para la sincronía del desove; c) agrupación de huevos en cohortes diarias y estimación de la abundancia promedio y edad promedio; d) ajuste de un modelo GAM para estimar la producción diaria de huevos y la mortalidad; y e) obtención de muestras bootstrap no paramétricas para la producción diaria de huevos, con incertidumbre asociada al procedimiento de asignación de edades. Otras funciones generales para obtener resúmenes estadísticos, gráficos, entre otras facilidades son también incluidas en el programa.
- *geofun*, el programa está diseñado para modificar los datos espaciales para ser utilizados adecuadamente en la modelación espacial (e.g. usando GAM) y provee de funciones para representar mapas de distribución y salidas de los modelos. Las principales características son: a) transformación de pares de variables (usualmente latitud y longitud) a lo largo de una línea de referencia (e.g. línea de costa, isóbata) y perpendiculares a ésta; b) encuentra los límites



del área del crucero y detecta los puntos que están dentro de dichos límites; c) estima el área de los puntos de una grilla de muestreo regular o irregular dentro de los límites del crucero mediante Dirichlet Tessellation, d) estima el área representada por los puntos localizados en el borde del crucero; e) provee funciones para graficar los resultados de un modelo espacial (mapeo).

El enfoque descrito se aplicó a los datos de anchoveta, considerando que para estos cruceros existe una influencia de la temperatura a 10 metros de profundidad.

Aunque la fecundidad específica diaria también puede ser modelada en el espacio con modelos GAM, asumiendo un proceso isotrópico para la distribución de la fecundidad específica diaria en el espacio (latitud y longitud), y co-variables que podrían explicar tal distribución (e.g. temperatura, profundidad, distancia de la costa), este enfoque no se aplicó ya que para lograr una buena modelación el contraste espacial de los lances de pesca de adultos en el espacio es un requisito fundamental, situación que no se cumple para los datos disponibles en Chile.

El enfoque de modelamiento consistió en un análisis exploratorio de la densidad total en función de la latitud y longitud geográfica (influencia espacial del hábitat) y temperatura superficial del mar. La estructura de error consideró la familia quasipoisson con enlace log, y la forma de los suavizadores spline estuvieron restringidos a valores comprendidos entre 1/5 a 1/3 de los grados de libertad disponibles, con el objeto de minimizar la influencia de ocurrencia de pocos valores excesivamente altos de densidad de huevos. La devianza explicada, el puntaje de la validación cruzada general, y el examen visual de los resultados en el espacio fueron considerados para la selección de los modelos.



## **Asociación con otras variables ambientales**

Si bien el estudio de la asociación entre la localización de las áreas de desove con otro tipo de variables ambientales no ha sido considerado como objetivo dentro del proyecto, este tema ha sido abordado por los investigadores en forma personal, evaluando la oferta de alimento y la profundidad de la termoclina. Para evaluar la oferta de alimento como una variable que pudieran “preferir” las hembras de anchoveta al momento del desove, las muestras de los años 2001 y 2004 se volvieron a analizar para estimar la abundancia de zooplancton por espectro de tamaños (Diámetro Circular Equivalente, DCE) mediante el uso del software Zooimage (<http://www.sciviews.org/zooimage>), para lo cual la muestra es subdividida de acuerdo a la abundancia de la misma en un submuestreador Folsom. Cada submuestra es teñida con Rosa de Bengala (0.5%) por 20 minutos, luego se enjuaga en alcohol (70%) y en agua para eliminar el exceso de colorante. La submuestra teñida se trasvasija a placa petri de 10·10 cm (Cuadrada). Los organismos son separados manualmente antes de ser digitalizados, para evitar la sobreposición y contacto. Cada submuestra es escaneada a 800 dpi (24 bits en HP Scanjet 4070). El escáner permite un rápido y completo análisis de la muestra, almacenando en forma digital el set completo de muestras, la calidad de la imagen permite tomar las medidas morfométricas de los organismos. Para el caso de la termoclina se analizaron los perfiles de CTD.



**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”.**

**a) Análisis microscópico de los ovarios**

Las variaciones de la condición reproductiva se determinaron a través del análisis de la distribución mensual de los estadios de madurez de los ovarios, en base al diagnóstico histológico del parénquima gonadal, aplicando una escala microscópica específica. Para cálculos de fracción desovante solo hembras maduras (Estadios 2 al 8) son consideradas, descartando las virginales (Estadio I).

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

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

**Establecimiento de Criterios de definición estadios de Folículos postovulatorios (FPO):**

Para conseguir una mayor definición del proceso de degeneración de los Folículos Postovulatorios (**FPO**) se construyó una clasificación de estadios de degeneración



de estos, de acuerdo a lo planteado por Alday *et al.* (2008). El que consiste en subdividir el proceso de reabsorción de los **FPO** en varios estadios de degeneración. En la **Tabla 4** se muestra un ejemplo de la escala utilizada por Alday *et al.* (2008). Claramunt *et al.* (2007) construyeron una nueva escala ajustada a los requerimientos específicos para anchoveta y sardina común, tomando en cuenta aspectos como la forma celular y nuclear (ubicación y grado de picnosis), aspecto del citoplasma, relación límites de células vecinas, presencia de vacuolas citoplasmáticas, láminas celulares y pliegues, aspecto del conjunto y características del lumen.

Dependiendo de las características morfohistológicas de los **FPO** es factible determinar su incidencia en ciclos diarios de 24 horas, es decir, si la hembra tuvo un desove reciente, la noche anterior o dos noches antes de la captura (Cubillos *et al.*, 2005), lo que permite estimar con mayor precisión la frecuencia de desove. Además, la incidencia de algunos estadios ováricos también fue considerada para la estimación de la frecuencia de desove, según los criterios de Macewicz y Hunter (1993), estos son las gónadas que presentaron ovocitos con núcleo en migración e hidratados que permiten definir si la hembra desovaré al día siguiente o en el mismo día de la captura respectivamente.

Para dilucidar la distribución horaria de los siete estadios FPO y los estados de madurez sexual de Núcleo emigrante e Hidratado, se utilizó la información correspondiente a los años 2004 al 2008. 8153 hembras en total y 4032 FPO clasificados. A la distribución horaria de los estadios ováricos y FPO se les ajustó una función de distribución probabilística utilizando la hora acumulada a partir del mediodía (12:00 AM) de forma de dilucidar las noches de desove y el desplazamiento de los estadios ováricos.



Suponiendo que el muestreo de hembras hidratadas o de hembras de edad de día 1 (0 a 24 h) ó de día 2 (24 a 48 h) no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes por el lance  $i$  fue estimada de acuerdo a:

$$\bar{F}_i = \frac{m_{hi}}{m_i} \text{ O } \frac{m_{1i}}{m_i} \text{ O } \frac{m_{2i}}{m_i}$$

Donde:

$$m_i = m_{hi} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}$$

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:

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



De esta forma, la fracci3n desovante del lance i es:

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

A partir de esta expresi3n, se obtiene la fracci3n promedio de hembras desovantes total, de la forma:

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

Cuya varianza es:

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

Donde:

$\bar{\bar{F}}$  = Fracci3n promedio de hembras desovantes por d3a en todos los lances.

$m_{yi}$  =  $\left( \frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} \right) + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}$  = N3mero corregido de hembras maduras en el i3simo lance.

$\bar{m}$  = N3mero corregido de hembras maduras en el i3simo lance:

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

n = Tama3o 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 g.



El procedimiento t3cnico de conteo se inici3 con la absorci3n de l3quido superficial del ovario con papel filtro, submuestreando la mitad m3s 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 anal3tica, con una precisi3n de 0,0001 g. Posteriormente, se colocaron en una c3psula petri cubri3ndolas con gotas de glicerina (33%) y se contabilizaron bajo microscopio estereosc3pico.

El n3mero promedio de los ovocitos hidratados de las tres submuestras (metodolog3a descrita por Hunter *et al.*, 1985) fue utilizado para la estimaci3n del n3mero total de ovocitos hidratados del ovario (fecundidad parcial), de acuerdo a la siguiente expresi3n:

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

Donde:

$\bar{E}_i$  = Fecundidad parcial (n3mero total de ovocitos hidratados en el ovario).

$W_i$  = Peso h3medo del ovario (g).

$\bar{n}_o$  = N3mero promedio de ovocitos hidratados por gramo de submuestra.

El M3todo de Producci3n de Huevos requiere la estimaci3n de la fecundidad media poblacional o modal, es decir, del n3mero de ovocitos liberados por una hembra promedio representativa del total de la poblaci3n 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.

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

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 XV, I y II). Se determinó una regresión entre la fecundidad parcial (número de ovocitos hidratados) y el peso del cuerpo de hembras sin gónada.

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

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



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

Donde:

- $\bar{E}$  : Fecundidad media poblacional.  
 $m_i$  : N3mero de peces muestreados en el lance i.  
 $\bar{E}_i$  : Promedio de la fecundidad parcial en el lance i.

Dado que para el promedio se utiliza la fecundidad parcial estimada a 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:

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

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):

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

Donde:

- B : Biomasa desovante en toneladas m3tricas.
- P<sub>o</sub> : Producci3n diaria de huevos en el 3rea investigada (huevos producidos por 0,05 m<sup>2</sup> por d3a).
- W : Peso promedio de las hembras maduras (g) de la poblaci3n.
- R : Proporci3n de sexos (fracci3n de hembras de la poblaci3n en peso).
- F : Fracci3n de hembras maduras que desovan por d3a.
- E : Fecundidad parcial (n3mero promedio de huevos desovados por hembra por desove).
- K : Factor de conversi3n de gramos a toneladas m3tricas.

La varianza de la estimaci3n de la biomasa se calculo por el m3todo delta (Seber, 1973, Stauffer y Piquelle, 1980), como una funci3n de la varianza y covarianza de la estimaci3n de los par3metros:



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

**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”.**

**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 utilizaron los archivos de la base de datos correspondientes a 15 cruceros bio-oceanográficos realizados en el período de invierno entre los años 1992-2009. 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 provenientes de las estaciones oceanográficas.



## 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 implicó 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.



### **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.

#### **a) 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.



## b) Determinaci3n 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:

$$CG_n = \frac{\sum_{i=1}^m (Lat(Long)_{in}) * Den_{in}}{\sum_{i=1}^m (Den_{in})}$$

Donde  $CG_n$  : Centro de gravedad del n-ésimo crucero.  
 $Lat(Long)_{in}$  : Latitud (Longitud) de la i-ésima estaci3n.  
 $Den_{in}$  : Densidad de huevos de la i-ésima estaci3n.

## c) Modelamiento estadístico de la densidad de huevos asociado a variables ambientales

Existe más de una aproximaci3n 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 distribuci3n de probabilidades de las variables. Los datos que se analizan se caracterizan por presentar una proporci3n importante de estaciones negativas (muestras en las cuales no se reconocen huevos), los que siguen una distribuci3n 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 *et al.*, 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 amplia familia de distribuciones estadísticas. El término  $x_k$  es el valor de la  $k$ -ésima covariable. El término  $\beta_0$  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<sup>-2</sup>) 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 el 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.

**d) Análisis de correspondencia espacial entre los campos que explican la mayor parte de la variabilidad temporal de las variables ambientales y los huevos de anchoveta.**

Para analizar la variabilidad espacial y temporal de los campos horizontales de las variables oceanográficas y la densidad huevos de anchoveta, y su posible correspondencia, se recolectaron los resultados y registros de la temperatura y



densidad superficial del mar y de la abundancia de huevos de anchoveta de las estaciones bio-oceanográficas realizadas durante la ejecución de los 15 cruceros que abarcan los períodos 1995 - 1997, 1999 - 2009 y el año 1992. Estos cruceros cubren con similar distribución de estaciones la zona norte de Chile ( $18^{\circ}$ - $26^{\circ}$ S). Los datos de **TSM**, densidad y número de huevos, fueron interpolados espacialmente y llevados a una grilla regular. Las matrices estadísticamente interpoladas y grilladas de **TSM**, densidad y número de huevos de anchoveta, fueron importadas por el programa Matlab y se utilizó el método de Funciones Ortogonales Empíricas (**FOE**) para calcular los campos temporales y espaciales de variación (modos). Una vez calculados los principales modos de variación de las variables, se presentan gráficamente en series y cartas. El desarrollo de **FOEs** sigue el esquema descrito por Bjornsson y Venegas (1997)

Dada una matriz  $F$  de observaciones, donde cada columna es una grilla espacial y cada fila una serie temporal de cada punto.

- Extraer el promedio temporal de cada serie temporal.
- Calcular la matriz de covarianza  $R=F^t F$ .
- Calcular los valores propios y los vectores propios de  $R$ , resolviendo  $RC=CA$ .
- Encontrar los mayores valores propios y su correspondiente vector propio, las FEOs.
- Calcular los coeficientes de expansión por el cálculo de  $a_j= F \times \text{FEOs}_j$

$A$  es la matriz diagonal conteniendo los valores propios de  $R$  y,  $C$  es la matriz de vectores columnas los cuales corresponden a los vectores propios de  $R$ .



## VI. RESULTADOS

---

### 1. Monitoreo reproductivo que fundamentó el inicio del crucero

El monitoreo reproductivo, a través del análisis semanal y mensual del índice gonadosomático e indicadores histológicos de la actividad de desove y de la atresia ovárica, permitió definir la época de pleno desove de la anchoveta en las regiones XV, I y II.

El análisis macroscópico mediante el seguimiento del **IGS** en lo transcurrido del año 2009 (enero a octubre), a partir de 6.889 hembras analizadas, cifra 27% menor respecto a lo medido en el 2008 en igual fecha, indicó un descenso en enero (5,0%), llegando a valores mínimos en abril (3,8%), concordante con los meses de menor actividad reproductiva (otoño). En mayo, el indicador incrementó (**IGS**:4,5%) y se mantuvo en valores similares en junio (4,7%), comportamiento que señaló una reactivación gradual de la maduración gonadal y el inicio del evento reproductivo principal. En julio, la actividad reproductiva se intensificó (**IGS**: 5,7%), manifestándose el período de máxima actividad de desove con valores altos hasta el mes de octubre (6,2%) donde los mayores valores del **IGS** se obtuvieron durante los meses de agosto (7,4%) y septiembre (7,0%) de 2009 (**Figuras 3 y 4**).

En el cuadro 1, se entregan las estimaciones de varianzas, coeficiente de variación e intervalo de confianza para el **IGS** mensual.



**Cuadro 1.** Estimaciones de varianzas, coeficiente de variación e intervalo de confianza para el IGS mensual

Año	Mes	n	IGS (%)	Desv. Estándar	Varianza	Coef. Variación (%)	Intervalo de Confianza	
							Límite inferior	Límite superior
2009	Enero	235	5,0	1,3	1,7	26,5	4,8	5,2
2009	Febrero	1.307	4,2	2,2	5,0	52,9	4,1	4,3
2009	Marzo	1.189	4,0	1,9	3,7	48,2	3,9	4,1
2009	Abril	1.097	3,8	1,7	2,7	43,7	3,7	3,9
2009	Mayo	468	4,5	1,8	3,2	39,4	4,3	4,7
2009	Junio	484	4,7	1,4	1,9	29,4	4,6	4,8
2009	Julio	428	5,7	1,6	2,7	28,8	5,5	5,8
2009	Agosto	456	7,4	2,1	4,5	28,6	7,2	7,6
2009	Septiembre	236	7,0	1,9	3,6	27,4	6,7	7,2
2009	Octubre	989	6,2	1,9	3,6	30,7	6,1	6,3

El cálculo de los índices microscópicos se sustentó de la observación histológica de 1.723 hembras, cifra 30% menor respecto a lo observado en igual fecha de 2008, las que fueron muestreadas semanalmente desde la primera semana de junio hasta la quinta semana de octubre, a objeto de intensificar y precisar el monitoreo de la actividad reproductiva de la anchoveta en el período de incremento del **IGS**. El número de hembras analizadas resultó satisfactorio en la medida que el análisis microscópico entregó información precisa y detallada de los cambios que acontecieron asociado al proceso de maduración del ovario, confirmando la tendencia observada a través del **IGS**.

El análisis microscópico efectuado a las anchovetas recolectadas en la zona norte del país, confirmó en el mes de junio el desarrollo del proceso reproductivo, caracterizándose por la presencia masiva de ovarios con ovocitos en vitelogénesis.

El seguimiento del **IAD** mostró valores que sobresalieron desde el inicio del monitoreo en las semanas de junio, sin embargo, la permanencia de altos valores del indicador, sustentado por la presencia de ovarios en vitelogénesis y la alta incidencia de hembras con folículos postovulatorios, permitió definir el período de pleno proceso



de desove que se manifestó desde la segunda semana de julio hasta la quinta semana de octubre de 2009 (**Tabla 5; Figuras 5 y 6**).

El monitoreo del **IAO**, indicó registros inusuales fluctuantes de atresia ovárica, que se caracterizaron por una baja incidencia, visualizándose el máximo de esta condición en la primera semana de agosto (7%), lo que no alteró la mayor contribución de anchoveta al desarrollo del proceso reproductivo en la XV, I y II Regiones.

En el ciclo reproductivo normal, 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. Desde mediados de octubre, se visualiza un leve repunte, evidenciando los primeros indicios de la disminución de la intensidad de desove, la que se mantiene en valores relativamente estables hasta finales e inicio de cada año. Contrariamente, el mayor aporte de atresia se observa en otoño, durante el período de menor actividad reproductiva o de reposo sexual relativo.

El análisis macroscópico y microscópico de la actividad reproductiva para el año 2009, indicó que el mayor desove de la anchoveta se manifestó desde julio y se mantuvo hasta la quinta semana de octubre de 2009, visualizándose en este período los índices reproductivos más altos (**IGS e IAD**).



## 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 41 estaciones de un total de 773 realizadas (5,3%), con una densidad igual a 4.703 huevos/ 0,05 m<sup>2</sup>. La media de huevos por estación positiva alcanzó a 115 ejemplares (DS = 288,9), cifra 59,7% mayor respecto a la obtenida en invierno de 2008, período donde se detectaron menos dispersos (DS = 155,5), situación que señala una muy moderada actividad reproductiva en la zona de estudio (**Figuras 7 y 8; Tabla 6**).

El área prospectada fue de 38.289 mn<sup>2</sup>. El área de desove estimada correspondió a 1.743 mn<sup>2</sup>, la cual es la más baja de la serie histórica para anchoveta (**Tabla 6**).

En relación a la intensidad y extensión espacial del desove, las densidades promedio por estaciones positivas y totales, muestran una situación diferente para ambos índices. Es así, como la intensidad del desove, experimentó con respecto al invierno de 2008, un importante incremento igual a 59,7%, exhibiendo la cobertura geográfica del desove una significativa disminución igual a 57,1% (**Tabla 6**).

El patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta en el área de estudio, señala que el desove se verificó en el rango latitudinal comprendido entre Arica e islote Blanco – Taltal (25°20´S), no registrándose presencia de huevos, frente a Mejillones del Norte (19°50´S), entre Iquique y punta Chucumata (20°30´S), entre punta Urcos (21°50´S) y punta Yeves (22°50´S), frente a las caletas Herradura de Mejillones (23°10´S) y Bandurria del sur (23°20´S), desde punta Coloso (23°50´S) a rada Paposo (25°00´S) y desde punta San Pedro (25°30´S) a punta Carrizalillo (26°00´S) y longitudinalmente estuvieron presentes



hasta las 40 mn al oeste de punta Baquedano ( $18^{\circ}40'S$ ). En términos generales, la densidad promedio de las estaciones positivas por transecta para los huevos de anchoveta, tendió a disminuir de costa a mar afuera y de norte a sur. Con respecto a la modalidad de postura, ésta fue inminentemente costera, concentrándose más del 99,4% de los huevos de anchoveta dentro de las primeras 15 millas (**Figura 9 a,b**). No obstante lo anterior, los focos de desove más importantes ( $>300$  huevos/ $0,05m^2$ ) se localizaron en el sector costero frente a Arica, a 1mn frente a punta Baquedano y punta Argolla, frente a Guanillos del Norte, punta Chileno y punta Arenas, cuyas abundancias en conjunto representaron el 80,2% respecto del total de huevos de anchoveta cuantificados. El resto de los registros positivos exhibieron bajas abundancias, las que fluctuaron entre 1 y 203 huevos/ $0,05 m^2$ . En este contexto, la estación con la densidad más importante ( $> 1.658$  huevos), se localizó a 1 mn frente a punta Argolla ( $18^{\circ}50'S$ ) (**Figura 10**).

En relación al número de huevos el invierno de 2009 presentó un porcentaje de cambio igual a -51,8% con respecto al crucero MPH precedente, constituyéndose en el registro más bajo de la serie 1992 - 2009, siendo prácticamente igual al observado en invierno de 2007 (4.719 huevos) .

Entre la distribución espacial de los huevos y la del recurso, se observó una directa relación, al encontrarse el mayor porcentaje de los lances efectivos en la zona nerítica comprendida entre Arica y Pisagua, área donde se concentró mayoritariamente el estadio de huevos de anchoveta (**Figura 11**).

En la **figura 12**, se presenta la densidad media de huevos estimada para el período 1992-2009, a través del estimador de la media de una distribución delta y la proporción de estaciones positivas (con huevos) y en ella se aprecia que la densidad obtenida en el invierno de 2009 se constituye en el segundo registro más



bajo de la serie y en el menor con respecto a la proporción de estaciones con huevos.

Durante agosto de 2009, la recolección de huevos coincidió con un período en el cual a mediados de mes, disminuyó la intensidad del viento en toda la zona ( $< 4$  m/s y especialmente  $< 2$  m/s). Dentro de este contexto, en el cual disminuyó la surgencia, el transporte de Ekman y donde los frentes costeros prácticamente estuvieron ausentes (**Figura 13**), las corrientes fueron convergentes hacia la costa en las localidades donde se concentraron los huevos, es decir, en la zona nerítica entre Arica y Pisagua, sur de Iquique, bahía Moreno y rada Paposo. Estos procesos de circulación son similares a los que explicaron la distribución espacial de huevos durante el MPH del año 2008, pero no responden a la menor cantidad de huevos observados durante agosto de 2009.

### **3. Objetivo específico 2.2 “Registrar las condiciones oceanográficas asociadas al crucero de huevos de anchoveta”**

#### **3.1 Vientos, Índice de surgencia e Índice de turbulencia**

Los vientos horarios medidos durante las estaciones (**Figura 14a**), fueron en total 773. Se observó un amplio predominio de intensidades menores a 5 m/s, las cuales alcanzaron un 71% de los registros. Los vientos con intensidades de 5 a  $< 10$  m/s, representaron un 26% de los datos, mientras que sólo un 3%, correspondió a vientos de intensidad de 10 m/s o superior. Los vientos menores a 5 m/s, se distribuyeron en toda la zona, sin embargo hay áreas donde los vientos entre 5 y 10 m/s se registraron con mayor frecuencia, como el sector oceánico



frente a Pisagua, y desde Tocopilla a rada Paposo, tanto en la costa como en el área más oeste. Los vientos de intensidad  $> 10$  m/s, son escasos y no caracterizaron un área en particular. La dirección del viento de las mediciones realizadas, mostró que un 78% correspondieron al segundo y tercer cuadrante teniendo, por lo tanto, una componente favorable a la surgencia.

El índice de surgencia promedio (**ISP**) medido en la costa, es decir, en la franja de las primeras 30 mn (**Figura 14b**), exhibió un rango de valores comprendidos entre 43 y 710  $\text{m}^3/\text{s} \times 1000$  m de costa (en adelante sólo  $\text{m}^3/\text{s}$ ). El **ISP** mínimo se ubicó centrado en los  $25^{\circ}30'S$  y el máximo en los  $22^{\circ}30'S$ . Los mayores valores de **ISP** (460 a 710  $\text{m}^3/\text{s}$ ) se localizaron en aquellas áreas donde las intensidades fueron mayores: frente a Pisagua y entre Tocopilla y rada Paposo. En el caso de los **ISP** más bajos, éstos mostraron valores notablemente menores a los máximos (43 a 151  $\text{m}^3/\text{s}$ ) y se ubicaron en el resto de la zona, destacándose el área al sur de rada Paposo.

El índice de turbulencia promedio (**ITP**) (**Figura 14c**) presentó valores en la costa en el rango de 19 a 227  $\text{m}^3/\text{s}^3$  registrándose, en general, los mayores índices en el sector comprendido entre los paralelos  $22^{\circ}S$  y  $23^{\circ}S$ , mientras que los mínimos se ubicaron en ambos extremos de la zona, pero también se encontraron bajos **ITP** a lo largo del resto de la costa. Los **ITP** en el sector oceánico registraron dos valores comparativamente altos, con 397 y 438  $\text{m}^3/\text{s}^3$ , centrados en los  $22^{\circ}30'$  y  $24^{\circ}30'S$  respectivamente, mientras que los mínimos oceánicos se localizaron entre Arica y Tocopilla (38 a 56  $\text{m}^3/\text{s}^3$ ).



### 3.2 Temperatura y salinidad superficial del mar y sus respectivas anomalías

La temperatura superficial (**TSM**) (**Figura 15a**) durante el crucero, registró un rango comprendido entre 13,5°C a 17,7°C. El mínimo se midió en la estación de 1 mn al norte de punta Tres Picos (24°10'S) y el máximo en la estación de 10 mn frente a Punta Junín (19°30'S). Desde el límite norte se observa una intrusión de aguas más cálidas hacia el sureste, con temperaturas mayores a 17°C las cuales alcanzan hasta las cercanías de punta Junín, que es donde se registró el máximo térmico. Un foco de temperaturas mayores a 17°C, se posicionó también entre caleta Patillos y punta Arenas en las cercanías de la costa. Entre Arica y Tocopilla predominaron temperaturas de 16° a 17°C en el sector oceánico y menores a 16 en las primeras 10 mn desde la costa. Al sur de Tocopilla dominaron **TSM** comprendidas entre 15° y 16°C, observándose una lengua de aguas de **TSM** menor a 15°C que se forma desde el sector de Mejillones a punta Tres Picos y se extiende hacia el noroeste alcanzando al menos hasta las 50 mn. Una franja de **TSM** menores a 15°C se observa en el límite sur de la zona que se extiende desde la costa y llega hasta las 80 mn.

Las anomalías de **TSM** (**Figura 15b**) señalan, en general, que esta variable está dentro del rango de normalidad, es decir entre -1 y 1°C, pues el rango señalado predominó prácticamente toda la zona. No obstante lo anterior, se destaca que hay un mayor predominio de valores negativos (-1 a 0), ubicándose valores positivos hacia el sector más costero de la zona. Anomalías mayores a las indicadas para el rango de normalidad, formaron sólo pequeños focos en algunos sectores aislados.



La salinidad superficial (**Figura 15c**), por su parte, registró un rango total de valores que fue de 34,3 a 35,1 psu, midiéndose los máximos en la área norte a 25 mn frente a punta Madrid. Valores mayores a 35 psu, abarcaron todo el sector oceánico entre Arica y punta Junín, extendiéndose también más hacia el sur, pero formando focos que llegan hasta el área costera de punta Arenas (21°40'S). En esta misma área, las salinidades en la costa superaron las 34,8 psu, registrándose los máximos en el área de punta Camarones y caleta Chipana. Al sur de Tocopilla la salinidad muestra un rápido descenso, midiéndose valores mínimos que son menores a 34,5 psu en el borde sur. Las salinidades mínimas en la costa se midieron en bahía Moreno, las cuales no superaron las 34,4 psu.

Las anomalías de salinidad (**Figura 15d**) mostraron un amplio predominio de valores en el rango de -0,1 a +0,1 psu (rango de normalidad) entre Arica y punta Copaca, por el sector oceánico, y hasta Mejillones por el sector costero. En esta área se registraron dos focos de anomalías, uno positivo y otro negativo, en el sector costero y oceánico respectivamente, ambos frente a caleta Chipana. Desde la latitud 22°30'S hacia el sur las anomalías son negativas en el en rango -0,1 a -0,2 psu, destacándose en esta área un foco de anomalías negativas mayores a 0,2 psu en bahía Moreno, el cual se extendió hacia el noroeste hasta llegar a las 60 mn frente a punta Copaca. El sector costero entre punta Tres Picos y rada Paposo, registró también anomalías negativas menores a 0,1 psu (absoluto).

### **3.3 Temperatura y salinidad a 50 m y sus respectivas diferencias con la superficie**

Para el nivel de 50 m el rango de temperaturas es de 11,8° a 17,11°C (**Figura 16a**). En el sector costero predominaron valores entre 13° y 14°C, destacándose en este sentido, el área de Arica a bahía Moreno, para luego disminuir este rango



en 1°C al sur de esta localidad, donde se forma en el borde sur un foco que se extiende hacia el oeste hasta las 60 mn. Las mayores temperaturas (> 15°C) en este nivel, se registraron en dos focos, uno de menor tamaño en el borde noroeste de la zona y otro en el sector oceánico entre punta Arenas y punta Coloso. Este foco recién señalado, se extendió hacia la costa llegando aproximadamente a 30 mn frente a punta Coloso.

La diferencia de temperatura entre la superficie y el nivel de 50 m (**Figura 16b**) señala que los mayores valores se ubicaron en la mitad norte de la zona, siendo esta de 2°C y hasta un máximo de 4,1°C, con un predominio mayor de valores entre 2°C y 3°C. El sector oceánico de punta Arenas a punta Tres Picos, en la mitad sur de la zona, es el que registró las menores diferencias entre ambos niveles, las cuales están entre 0° y 1°C. En la costa de punta Plata y en punta Ballenita, extendiéndose hacia el oeste en esta última localidad, se registraron focos con diferencias que superaron los 2°C.

El rango total de esta variable en el nivel de 50 m, fluctuó entre 34,2 a 35,1 psu. Las mayores salinidades (**Figura 16c**) se registraron principalmente en el sector costero de la mitad norte de la zona, precisamente entre Arica y bahía Moreno, con valores que superaron los 34,8 psu, mientras que el máximo se ubicó en un pequeño foco centrado en las 60 mn frente a Arica. Un foco de valores mayores a 34,8 psu se ubicó en el sector oceánico central en la misma zona. Salinidades menores a 34,4 psu abarcaron prácticamente todo el sector oceánico desde punta Tres Picos hacia el sur. En el sector de Tocopilla hasta punta Tres Picos, se presentaron variaciones en los valores de salinidad, que provocaron la presencia de focos con salinidades de 34,5 a 34,7 psu.



Las diferencias de salinidad (**Figura 16d**) entre los dos niveles de profundidad señalados, entrega valores en el rango de -0,4 a +0,4. Estos datos siguen una distribución similar a la diferencia de temperatura, es decir, los máximos valores se encuentran en la mitad norte de la zona, con focos que superaron los 0,3 psu asociados a valores de diferencia térmica de  $>3^{\circ}\text{C}$ , como se observó en el sector oceánico de Arica, desde Iquique a punta Lobos y el sector costero y oceánico frente a caleta Chipana. Al sur de punta Arenas y hasta punta Tres Picos, la diferencia es en general mayor a 0,1 psu con un foco mayor a 0,2 psu a 40 mn frente a punta Ballenita.

### **3.4 Temperatura y salinidad en la vertical y sus respectivas anomalías**

La distribución de temperatura en la vertical (**Figuras. 17 y 18**) mostró una capa de gradientes térmicos más intensos en las secciones de Arica a bahía Moreno, centradas en los 50 m de profundidad como promedio. Las transectas de punta Copaca y bahía Moreno son las que presentaron la termoclina, comparativamente, más superficial dentro de las primeras 40 mn de la costa. Las temperaturas más altas de la capa superficial,  $> 17^{\circ}\text{C}$ , se midieron sólo en las secciones de Arica a punta Junín y en punta Arenas, siendo la primera, la que registró estos valores a lo largo de toda la sección. La transecta de punta Ballenita, ubicada en el extremo sur de la zona, registró en la capa que va desde la superficie a los 50 m, los más bajos valores ( $14^{\circ}\text{C}$  a  $15^{\circ}\text{C}$ ).

La mayoría de las secciones registra un ascenso de las isotermas en la costa producto de los procesos de surgencia. Una excepción a esto fueron punta Copaca, punta Hornos y punta Ballenita. Las isotermas ubicadas bajo los 100 m presentaron, en general, una variación de su profundidad, prácticamente en todas las transectas, llegando en algunas secciones a los 50 m de diferencia. Las



secciones de bahía Moreno, rada Paposos y punta Ballenita presentaron núcleos de inversiones térmicas entre los 50 y 150 m de profundidad.

En la distribución de salinidad en la vertical (**Figuras 19 y 20**) se observaron diversas estructuras o núcleos de máximos y mínimos salinos. En este sentido, destaca un núcleo de máxima superficial ( $> 34,9$  psu) que abarca la capa de los primeros 50 m y que se encuentra muy intenso entre Arica y punta Arenas, desapareciendo al sur de esta localidad.

Un núcleo de mínima salinidad se ubicó a nivel subsuperficial, entre 50 y 100 m, en las secciones de Arica a punta Hornos (34,8 a 34,9 psu), sin embargo al sur de esta sección, el núcleo se hace muy intenso y alcanza la superficie en la costa de las secciones de bahía Moreno a punta Tres Picos. En la sección del extremo sur, esta capa de agua de mínima salinidad se ubica desde la superficie hasta los 100 m, con su núcleo centrado en los 50 m y con valores desde los 34,3 psu.

En todas las secciones se observó un núcleo subsuperficial intenso y bien desarrollado de máxima salinidad, centrado en los 150 m. Sólo en las secciones entre punta Madrid y punta Gruesa, se observó un núcleo de máxima  $> 34,9$  psu, siendo de  $> 34,8$  a 34,9 psu, en el resto de las secciones del área señalada. Desde punta Tres Picos a punta Ballenita, en el sur de la zona, este núcleo disminuyó su salinidad al rango de 34,7 a 34,8 psu y desplazó su centro al nivel de 200 m de profundidad, debido a la presencia de un núcleo de mínima muy desarrollado que se encuentra sobre él.

Las anomalías de temperatura y salinidad de las secciones de Arica, punta Lobos y bahía Moreno se entregan en la **Figura 21**.



En general, las anomalías en ambas variables tienen un predominio de valores negativos, mayores a  $0,5^{\circ}\text{C}$  y  $0,05$  psu (absoluto), respectivamente en temperatura y salinidad, dentro de la capa de los primeros 100 m. Las de tipo positivo fueron escasas y de reducido tamaño.

La presencia de núcleos de anomalías de temperatura negativa se asoció a núcleos de salinidad del mismo tipo, aunque las de salinidad se pueden indicar como de mayor intensidad y por tanto pueden indicar que hay una condición normal en temperatura pero de tendencia a baja salinidad en los primeros 100 m de la columna de agua de las tres secciones.

En el sector oceánico de las secciones de Arica y punta Lobos se observaron anomalías mayores a  $0,5^{\circ}\text{C}$  en superficie. A nivel subsuperficial, estas secciones, tienen un núcleo que supera  $1^{\circ}\text{C}$ , pero en el caso de Arica éste se ubicó entre las 20 y 50 mn de la costa, mientras que en punta Lobos se presentó entre las 20 y 80 mn. La sección de bahía Moreno registró una delgada capa de anomalías subsuperficiales centrada entre los 75 y 100 m de profundidad. En la costa de esta misma sección, el núcleo se hace superficial y aumentó a  $-2^{\circ}\text{C}$  el valor de anomalía. En general, para esta variable, se puede indicar que las anomalías presentes en la columna de agua no fueron significativas.

En el caso de la salinidad, anomalías negativas mayores a  $0,1$  psu se ubicaron en núcleos extensos a lo largo de las tres secciones, siempre dentro de los primeros 100 m, no obstante en la sección de Arica, hay un núcleo negativo de  $0,1$  psu entre los niveles de 100 y 150 m, centrado en las 60 mn de la costa.



Las mayores anomalías negativas de salinidad, se ubicaron en la sección de bahía Moreno, en la cual un núcleo de 0,2 psu y algunos focos pequeños de 0,3 psu, se extendieron de este a oeste, con un ascenso a la superficie en la costa.

La sección de bahía Moreno, registró en las 50 mn un núcleo de valores positivos > 0,05 psu (con un máximo de 0,1 psu) ubicado entre 100 y 200 m de profundidad. En la costa de la transecta de Punta Lobos, se registró un núcleo de anomalías positivas en ambas variables, que señala un relajamiento de la surgencia.

### 3.5 Distribución superficial y vertical de densidad

La densidad superficial (**Figura 22a**) tuvo un valor mínimo de 25,4 kg/m<sup>3</sup> en la estación de 55 mn frente a rada Paposos y un máximo de 26,12 kg/m<sup>3</sup> en la estación costera (1 mn) frente a la península de Mejillones (23°20'S). El sector costero de la península de Mejillones, es el área que registró las máximas densidades, condición que se proyectó hacia el noroeste hasta las 50 mn de la costa. Si bien el rango de densidades es más amplio, predominaron en la zona valores entre 25,4 y 25,8 kg/m<sup>3</sup>. El sector costero en general registró las mayores densidades (> 25,7 kg/m<sup>3</sup>), sin embargo, en el área entre punta Plata y Tal Tal se observó una entrada de agua de menor densidad (25,5 a 25,6 kg/m<sup>3</sup>). El sector oceánico registró valores entre 25,5 a 25,6 kg/m<sup>3</sup>, formándose algunos focos de una densidad mayor en las proximidades de la península de Mejillones.

La densidad en la vertical (**Figuras 23 y 24**) mostró una fuerte e intensa estratificación en todas las secciones, donde la pycnoclina estuvo centrada entre los niveles de 50 y 80 m en las secciones entre Arica y punta Arenas y se ubicó más profunda, entre los 70 y 110 m en el resto de las secciones hacia el sur de la zona. Las isopícnas se ubicaron y comportaron en forma similar a las isotermas,



es decir, mostrando ascensos en el sector costero de las primeras 20 mn, que señalan procesos de surgencia, los que fueron más intensos en las secciones de punta Junín y de bahía Moreno a rada Paposo. Todas las transectas mostraron en general, cambios en la pendiente de las isopicnas ubicadas bajo los 100 m de profundidad. Sólo las secciones de punta Hornos y bahía Moreno mostraron menores cambios de profundidad de las isopicnas a lo largo de la sección en comparación con el resto de ellas.

### 3.6 Profundidad de la isoterma de 15°C y sus anomalías

La isoterma de 15°C (**Figura 22b**) presentó una profundidad máxima de 76 m, que se ubicó en las 65 mn frente a la punta sur de la península de Mejillones (punta Tetás). El sector costero exhibió profundidades en general menores a 20 m, excepto en algunos áreas puntuales, en la que destaca la que se extiende desde punta Coloso a punta Tres Picos, donde se midieron profundidades entre 30 y 40 m de profundidad. El sector oceánico presentó profundidades entre 30 y 50 m entre Arica y Tocopilla, mientras que de punta Arenas a punta Tres Picos predominaron valores entre 50 y 70 m. Al sur de punta Coloso, la profundidad de esta variable presentó una disminución rápida la cual no superó los 30 m, registrándose los mínimos frente a punta Ballenita (<10 m).

Las anomalías de esta variable (**Figura 22c**) fueron de -10 a +10 m en gran parte del área comprendida entre Arica y Tocopilla, tanto en el área oceánica como nerítica, y hasta Mejillones por la costa. En esta misma área, se presentaron focos pequeños de anomalías positivas de hasta 10 m en la costa frente a punta Camarones y hasta 30 m en las 60 mn frente a Arica. Al sur de Tocopilla, se registraron áreas con anomalías positivas y negativas que fueron mayores a 10 m, las cuales se alternan hasta el borde sur de la zona. En este sentido, de Tocopilla



a Mejillones, las profundidades superaron los -20 m en el sector oceánico central, aumentando a > 10 m y hasta 20 m en focos menores, hasta punta Tres Picos y hasta rada Paposo por la costa, finalizando en el sector sur oeste con anomalías negativas mayores a 20 y 30 m.

### 3.7 Capa de mezcla

La capa de mezcla (**CM**) en la zona (**Figura 22d**) tuvo un máximo de 54 m a 65 mn de la costa en la latitud 24°S. Aún cuando el máximo superó los 50 m, la zona presentó un amplio predominio de profundidades menores a 30 m. Areas de **CM** de 0 a 10 se ubicaron entre Iquique y punta Arenas y entre rada Paposo hasta el borde sur. Las áreas de **CM** de 10 a 30 se localizaron entre caleta Camarones e Iquique, frente a Tocopilla, y de Mejillones hasta rada Paposo.

### 3.8 Distribución superficial de oxígeno disuelto (OD) y de la profundidad de la isolínea de 1mL/L

La distribución de oxígeno disuelto (**OD**) superficial (**Figura 25a**) presentó un estrecho rango de concentraciones en el sector oceánico fuera de las 20 mn, entre 4,8 y 5,9 mL/L, mientras que en la costa, este rango se expandió a valores entre 3,6 y 6,7 mL/L. Las mayores variaciones se observaron entre Arica y Mejillones, con núcleos de **OD** < 5 mL/L, en los sectores costeros de punta Madrid, donde además se registraron las menores concentraciones del crucero, en una angosta franja entre punta Gruesa y punta Lobos, y en un foco ubicado en la punta norte de la península de Mejillones. En el sector oceánico, destacó un pequeño núcleo de concentración < 5 µg/L, ubicado a 80 mn de punta Junín, mientras que en general desde punta Lobos al norte el **OD** fluctuó entre > 5 y < 5,5 mL/L. Por otra parte, las concentraciones más elevadas en este sector, > 6 mL/L, se registraron en la estación costera de Mejillones



y de 5 mn frente a bahía Moreno. Desde Antofagasta al sur, el **OD** se mantuvo bastante homogéneo entre los 5,6 y 5,9 mL/L.

La distribución del límite superior de la capa de mínimo **OD (Figura 25b)**, representada por la isolínea de 1 mL/L mostró tres sectores, de norte a sur, el primero se extendió desde Arica hasta Antofagasta, presentando dentro de las primeras 5 mn, profundidades inferiores a 40 m, registrándose el mínimo, 14 m, en punta Madrid y a 5 mn de Mejillones, 15 m. Fuera de la costa, las profundidades aumentaron de 50 a > 100 m. En este sector, la transecta de punta Gruesa, fue la que presentó menor profundidad, resaltando un núcleo < 20 m, en las 60 mn. Por otra parte, las mayores profundizaciones de la isolínea, > 100 m, se observaron en un núcleo a 60 mn de Arica y entre las 60 y 80 mn frente a Mejillones.

Al sur de Antofagasta y hasta rada Paposos se observó el segundo sector, el que fue más homogéneo y de mayores profundidades, > 100 m, interrumpido sólo en la última transecta, por una elevación a 80 m en las 60 mn. El tercer sector en el extremo sur, punta Ballenita, presentó una elevación de la isolínea a menos de 70 m en las primeras 20 mn lo que produjo un gradiente zonal.

### **3.9 Distribución vertical de oxígeno disuelto (OD)**

La distribución vertical de oxígeno disuelto de las secciones se presenta en la **Figura 26**. Dentro de la capa de 100 m se observó claramente el gradiente vertical típico, definido por las isolíneas entre 1 y 5 mL/L. El gradiente fuera de las 10 mn para el área comprendida desde Arica a punta Copaca, se ubicó entre los 10 y 80 m, desplazándose a un rango que fluctuó entre los 30 y > 100 m, desde bahía Moreno al sur. En las estaciones más oceánicas no se detectó el límite inferior, observándose en general, una disminución de la fuerza del gradiente en el



mismo sentido norte-sur. En el sector costero de todas las transectas, aunque en intensidad variable, el gradiente ascendió hacia la superficie. Las isolíneas menores a 5 mL/L llegaron a interceptar la superficie en las transectas desde Arica a punta Lobos y punta Copaca a bahía Moreno. Los ascensos más importantes, se registraron en punta Hornos, desde 70 m, donde el efecto además sobrepasó las 40 mn, siguiéndole bahía Moreno y rada Paposos con 55 m.

En Arica, punta Junín, punta Lobos, punta Hornos y bahía Moreno se observó una inversión en la tendencia con un aumento del OD a niveles superficiales en las estaciones costeras, mientras que en el sector oceánico de punta Gruesa, destaca una elevación de las isolíneas de aproximadamente 30 m con respecto a las estaciones adyacentes, y en Arica una profundización de 30 m a 60 mn de la costa.

### **3.10 Distribución de Clorofila – a y feopigmentos superficiales**

La clorofila-a (**cloa**) superficial (**Figura 27a**) presentó un rango de concentraciones entre 0,11 y 12,85  $\mu\text{g/L}$ . De este rango, los valores  $> 1 \mu\text{g/L}$ , se observaron focalizados en dos sectores, entre Arica y punta Lobos y entre Mejillones y Antofagasta. En el primero de estos sectores, la franja de cloa  $> 1 \mu\text{g/L}$ , tuvo una máxima extensión hacia el oeste de 20 mn en punta Gruesa, manteniéndose por dentro de las primeras 5 mn en las demás transectas. En este sector, destacan dos núcleos de concentraciones  $> 5 \mu\text{g/L}$ , ubicados en Arica y entre punta Gruesa y punta Lobos, los que estuvieron restringidos a la primera milla de la costa.



Entre punta Arenas y punta Copaca, los valores de cloa sólo superaron los 0,5  $\mu\text{g/L}$  muy próximos a la costa. El segundo foco de importancia fue Mejillones, el cual presentó las mayores concentraciones  $> 10 \mu\text{g/L}$ , extendiéndose hacia Antofagasta con valores  $> 3 \mu\text{g/L}$ . Desde punta Tres Picos al sur, los valores costeros se mantuvieron entre  $> 0,5 \mu\text{g/L}$  y  $< 1 \mu\text{g/L}$ . En el sector oceánico entre Arica y punta Lobos, se observaron aislados núcleos de  $> 0,5 \mu\text{g/L}$ , mientras que desde punta Arenas al sur las concentraciones cayeron a  $< 0,2 \mu\text{g/L}$ .

Los feopigmentos superficiales (feop) (**Figura 27b**) presentaron muy bajas concentraciones en toda la zona de estudio, con un rango entre 0,03 y 0,45  $\mu\text{g/L}$ . Los máximos  $> 0,2 \mu\text{g/L}$ , se ubicaron en los sectores costeros entre Arica y Mejillones más un foco aislado a 40 mn de esta última localidad.

### 3.11 Distribución vertical de pigmentos

En la vertical, la clorofila-*a* (cloa) presentó un rango de concentraciones que abarcó entre 0,01 y 12,85  $\mu\text{g/L}$  (**Figura 28**). De este rango, se observaron núcleos de concentraciones  $> 1 \mu\text{g/L}$ , en siete de las doce transectas, entre Arica y punta Lobos, más punta Hornos y bahía Moreno. Los núcleos productivos en general estuvieron restringidos a los primeros 30 m de la columna de agua y dentro de las 5 mn de la costa. La excepción a esto, fué un segundo núcleo  $> 1 \mu\text{g/L}$  a 20 mn de punta Gruesa y la presencia de un segundo núcleo a 10 mn de punta Hornos, donde se registraron concentraciones  $> 5 \mu\text{g/L}$  en los primeros 10 m, siendo esta transecta, la que presentó el núcleo de mayor tamaño de todas las secciones.

Las mayores concentraciones,  $> 5 \mu\text{g/L}$ , se observaron en Arica, punta Junín, en el núcleo costero de punta Gruesa, en punta Lobos y finalmente frente a punta



Hornos, donde se registraron además las concentraciones más altas,  $> 10 \mu\text{g/L}$ , tanto en el núcleo costero como en el de las 10 mn.

En punta Arenas, punta Copaca y desde punta Tres Picos al sur, las concentraciones sólo superaron como máximo los  $0,5 \mu\text{g/L}$ , la mayoría restringidos a la milla, salvo la ubicada a 5 mn de punta Ballenita.

Los feopigmentos (feop) al igual que a nivel superficial, en la vertical presentaron muy bajos valores, con un rango comprendido entre  $0,01$  y  $0,55 \mu\text{g/L}$  (**Figura 29**). Los valores  $> 0,5 \mu\text{g/L}$ , se registraron en las transectas de punta Madrid y punta Junín, mientras que en las restantes, los feop fluctuaron en torno a los  $0,2 \mu\text{g/L}$ .

### 3.12 Clorofila integrada

La clorofila integrada (**cloaint**) (**Figura 27c**) presentó valores que fluctuaron entre  $10$  y  $150 \text{ mg/m}^2$ , los que mantuvieron un patrón similar al de la cloa superficial, con dos núcleos principales con valores  $> 100 \text{ mg/m}^2$ . El primero se extendió entre punta Junín y punta Lobos, y el segundo foco de menor extensión, se ubicó en la punta norte de la península de Mejillones, donde además se registró el máximo valor del crucero. En Arica, la cloaint sólo superó los  $60 \text{ mg/m}^2$  en el sector más costero. Los valores  $> 20 \text{ mg/m}^2$  alcanzaron su mayor extensión hacia el oeste,  $> 80$  mn, en el sector de punta Gruesa. Los feopigmentos integrados (feopint) (**Figura 27d**) al igual que a nivel superficial, presentaron muy bajos valores,  $4$  a  $30 \text{ mg/m}^2$ , manteniéndose en general estos por debajo de los  $20 \text{ mg/m}^2$  en la zona.



### 3.13 Monitoreo Satelital

#### 3.13.1 Temperatura superficial del mar satelital

Durante agosto de 2009 la zona norte de Chile presentó un alto grado de nubosidad, lo que impidió obtener información útil entre el 13 y 20 de agosto y entregó información parcial entre el 5 y 12, como también entre el 21 y 28 de agosto (**Figura 30a**). Durante los primeros días de agosto, se observaron al sur de Antofagasta, temperaturas entre 15° y 16°C en el sector oceánico, mientras que en la banda costera predominaron temperaturas menores de 14°C, especialmente desde bahía Coquimbo hacia el sur, donde se observaron temperaturas menores a 13°C. En la última semana de agosto (**Figura 30b**), en el sector costero al sur de Iquique, apareció un núcleo cálido (~ 20°C), mientras que hacia el sur de los 25°S, se mantienen aguas del orden de 14°C en la costa.

#### 3.13.2 Clorofila -a satelital

Al igual que la información de **TSM**, la distribución de **Cloa** durante el mes de agosto está muy limitada debido a la cobertura nubosa (**Figura 31**). Al sur de Chañaral, un núcleo de concentraciones mayores a 1 µg/L apareció al oeste de los 72°W. Una banda costera muy estrecha y limitada al oeste por concentraciones de 1 µg/L se observó al norte de Mejillones y frente a Iquique (**Figura 31a**). Durante la última semana de agosto (**Figura 31b**), con el sector costero más despejado, se apreció mejor la banda nerítica que, aunque aparece angosta, presentó concentraciones mayores a 1 µg/L entre los 17° y bahía Moreno, como también núcleos importantes al norte de Arica y sur de Iquique (> 5 µg/L). Cabe señalar que se desarrolló una lengua de surgencia mayor a 80 km hacia fuera de la costa con una base de más de 150 km a lo largo de la costa, en el sector de Iquique.



### 3.13.3 Anomalías de nivel del mar satelital

Los valores de anomalía de nivel del mar (cm) presentaron un predominio parcial de valores cercanos a 0 cm, con la presencia de núcleos de valores positivos (5 a 8 cm) y negativos (-5 cm) distribuidos heterogéneamente (**Figura 32**). Estos núcleos evolucionaron de una distribución relativamente equivalente en los primeros días de agosto, hacia una preponderancia de núcleos positivos (~ 8 cm) el día 20 de agosto. Cada núcleo corresponde a un giro de mesoescala del tipo ciclónico (negativo) o anticiclónico (positivo). La posición e intensidad de estos giros definieron parte de la variabilidad de las corrientes de mesoescala en la zona. En los primeros días se observaron 3 giros ciclónicos (21°S, 25°S y 26°30'S), asociados a una estructura ciclónica en la banda zonal entre Arica e Iquique. Paralelamente se registraron dos giros anticiclónicos, frente a la península de Mejillones y en los 25°30'S. El día 20 de agosto, los giros ciclónicos se debilitaron mientras que los anticiclónicos se intensificaron (> 20 cm/s), de hecho se registró el desprendimiento de uno desde la península de Mejillones, el cual se une al observado durante las semanas anteriores.

Las corrientes tienden a generar zonas de convergencia (sur de Iquique, Antofagasta) y divergencia (Mejillones) hacia la costa (>10 cm/s), mientras que al sur de bahía Moreno, las corrientes a lo largo de la costa apuntan hacia el sur (~10 cm/s). Hacia la semana del 20 de agosto, el desplazamiento de los giros generó que las corrientes apuntarán hacia el sur, entre Arica e Iquique, convergiendo hacia bahía Moreno y divergiendo frente a Chañaral (< 10 cm/s). Bajas velocidades fueron observadas entre el sur de Iquique y Mejillones (< 5 cm/s).



### 3.13.4 Viento satelital

La intensidad del viento entre la primera y última semana de agosto, presentó fluctuaciones en las cuales hubo una mayor intensidad en toda la zona en ambas semanas extremas del período, con una disminución notable en la semana intermedia (**Figura 33**). A este respecto, durante los primeros 10 días de agosto, las intensidades del viento fluctuaron entre 10 m/s en el sector oceánico suroeste de la zona y 4 m/s entre Arica e Iquique. Entre el 10 y 17 de agosto, la intensidad del viento disminuyó en toda la zona, registrándose en la costa solamente velocidades menores a 5 m/s al sur de bahía Moreno y menor a 3 m/s al norte de ésta localidad. Durante la semana entre el 17 y 24 de agosto, la intensidad del viento se incrementó en toda la zona con valores mayores a 5 y 6 m/s a lo largo de la costa. En cuanto a la dirección del viento, ésta fue hacia el Ecuador tomando una curvatura pronunciada hacia el noroeste desde el 72°W hacia el oeste, mientras que cerca de la costa, se favoreció la componente a lo largo de la costa.

### 3.14 Transporte de Ekman en la costa (Iquique y Antofagasta)

Durante el período del crucero, el transporte de Ekman diario en Iquique presentó una alta variabilidad (**Figura 34a**). La mayoría de los valores registrados fueron menores de 1000 m<sup>3</sup>/s, observándose 3 pulsos de intensidad mayor, pero que no superaron los 1500 m<sup>3</sup>/s. Dentro de este contexto, durante el año 2009, la tendencia mostró que, en relación a los meses anteriores, durante agosto se registraron los menores valores de transporte, lo que significa que durante el mes del crucero, se registró la menor cantidad de eventos de viento intenso que pudieran generar un mayor transporte de Ekman.



En lo que respecta a la localidad de Antofagasta (**Figura 34b**), los valores son levemente menores ( $< 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a los observados en Iquique. A pesar de lo anterior, y dentro del contexto anual de las observaciones de esta estación, se registraron los mayores valores del año 2009, los cuales estuvieron a una mayor frecuencia de eventos de transporte intenso. De hecho, en un evento se superó los  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  durante el período del crucero.

### **3.15 Anomalías de nivel del mar en la costa (Iquique y Antofagasta)**

Basados en registros de nivel del mar, se obtuvo para el puerto de Iquique la anomalía de esta variable. Tradicionalmente en estos informes se incluía también igual información de Antofagasta, pero debido a fallas mecánicas en los mareógrafos de la Armada, no fue posible obtener datos para el período del crucero.

Los registros de anomalías de nivel del mar en la zona de Iquique (**Figura 35**) permitieron apreciar fluctuaciones asociadas a la señal anual, donde el nivel del mar tiende a decaer durante los períodos de primavera ( $\sim -10 \text{ cm}$ ) elevándose entre el verano e invierno ( $\sim 10 \text{ cm}$ ), excepto el año 2006, que permaneció fluctuante durante todo el año. Asociada a estas oscilaciones anuales, se presentaron oscilaciones entre 30 y 60 días, las cuales estuvieron presentes durante casi todo el período. Los cruceros MPH tradicionalmente se han realizado a fines de invierno, cuando el nivel del mar está más bajo ( $\sim -10 \text{ cm}$ ), tal como ocurrió casi al finalizar el crucero 2009. Pero a diferencia del 2007 y 2008, el actual crucero se realizó cuando se encontraba el NM en fase positiva de una perturbación de mayor frecuencia, potencialmente la fase de “cima” de una onda atrapada a la costa.



#### **4. Objetivo espec3fico 2.3 “Estimar la proporci3n sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas”**

##### **4.1 N3mero de lances en muestreo de adultos**

Los lances de pesca efectuados por las distintas embarcaciones que participaron en la recolecci3n de los ejemplares de anchoveta fueron 91 en total, de 3stos, 38 resultaron efectivos. Por lo que si bien, el n3mero de lances es bajo, est3 cercano al m3nimo de 40 lances (**Tabla 7; Figura 36**).

##### **4.2 N3mero de anchovetas muestreadas en cada lance**

Se muestrearon 30 hembras en cada lance (Picquelle y Stauffer, 1985; Rojas y Oliva, 1993; Oliva *et al.*, op. cit), las que se analizaron histol3gicamente de acuerdo a lo propuesto por Rojas y Oliva (1993), con el fin de registrar la incidencia de fol3culos postovulatorios para la determinaci3n de la frecuencia de desove.

##### **4.3 Distribuci3n espacial de anchoveta**

La distribuci3n espacial adoptada por los ejemplares adultos de anchoveta durante el per3odo de estudio, fue reducida, extendi3ndose latitudinalmente desde el limite norte de la prospecci3n (Arica) hasta Antofagasta (23°15´S) y desde las 5 hasta una distancia m3xima de 50 mn.



Particularmente se detect3 anchoqueta en el sector comprendido entre Arica y caleta Camarones, congreg3ndose en este sector el 87,5% de los lances efectivos, el resto de los lances se concentraron al sur de Iquique entre caleta Patillo a Pabell3n de Pica con un 7,5% de los lances efectivos (**Figura 36**).

#### **4.4 Distribuci3n de tama1os de ejemplares de anchoqueta**

Durante el crucero se midieron 5.108 anchoquetas, cifra 30,8 % menor respecto al a1o 2008. Del total de anchoquetas medidas, 2.969 correspondieron a machos con longitudes comprendidas entre 10,5 a 17,5 cm de longitud total, con una moda en los 13,5 cm (21,5 %), mientras que las hembras (2.037) tambi3n presentaron un rango de tama1o comprendido entre los 10,5 y 17,5 cm de longitud total, con una moda en los 13 cm (16,1 %) (**Figura 37 a,b**). En este a1o, tambi3n se observaron ejemplares indeterminados (102) distribuidos en cinco lances en la zona de Arica, lo que represent3 el 1,9%, del total de ejemplares analizados, con longitudes comprendidas entre los 8,5 y 12,5 cm. En comparaci3n con las tallas observadas en igual per3odo del a1o 2008, se observan diferencias en la amplitud de talla en machos y hembras y en los valores modales de ambos.

#### **4.5 Proporc3n sexual en peso de hembras maduras**

La proporci3n de hembras en peso para el total de lances analizados, present3 una amplitud comprendida entre 0,10 y 0,70 (**Tabla 17**) con un promedio de 0,43, una variancia igual a 0,00045 y un coeficiente de variaci3n de 5,0%.



#### 4.6 Peso promedio de hembras maduras

La distribución de tallas de las hembras en el año 2009 presenta el rango más amplio dentro de la serie histórica (**Figura 38**), con una moda muy baja (13 cm) en comparación a años anteriores.

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.

El peso promedio del cuerpo de las 30 primeras hembras maduras, fluctuó de 13,67 a 26,8 gramos (**Tabla 17**). El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 17,96 gramos, con una varianza de 0,396 y un coeficiente de variación de 3,5%.

Cabe señalar que el cuidado y uso de los animales experimentales cumple con las normas y políticas nacionales. En el caso del proyecto en cuestión, los peces son muestreados desde la “parrilla” en el momento que son introducidos a la bodega del barco. De esta el muestreador recolecta muestras al azar que son dispuestas en contenedores. Los peces son procesados al término de la operación de pesca por razones de seguridad. Por tanto, cuando son sexados y posteriormente introducidos en formalina ya se encuentran muertos. Lamentablemente, no existen otros procedimientos para conservar peces que serán analizados histológicamente. Por otro lado, el número de peces sacrificados cumple con los tamaños mínimos estimados por métodos estadísticos, evitando el sobre muestreo y por ende la muerte excesiva de peces.



**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”.**

**Producción diaria de huevos**

El número de huevos por estadio de desarrollo, indicó una mayor representación en el estadio 3 y 4, observándose una disminución paulatina a partir de este, situación normal respecto del promedio histórico, en que el estadio 1 y 2 se encuentran subrepresentados (**Figura 39**) debido a su baja probabilidad de muestreo.

La distribución de huevos de anchoveta se muestra muy concentrada hacia la costa, con casi nula presencia hacia zonas más oceánicas (**Figura 8**).

**Asignación de edad a Huevos**

Como fue señalado en la metodología, se aplicaron dos métodos para la asignación de edad a los huevos de anchoveta, correspondientes a la metodología tradicional de Lo (1985) y al Modelo Multinomial.

Cabe destacar que para una mejor definición del desarrollo de los estadios de huevos en función de la temperatura, especialmente el último estadio 11, se debe especificar la edad de eclosión. De otro modo no se podría determinar la duración del estadio 11. Por tanto en realidad el estadio 12 mostrado en la Tabla 9, corresponde a la edad de eclosión.



## Estimaci3n tradicional de $L_0$

La ecuaci3n utilizada en esta oportunidad, a diferencia de aplicaciones anteriores del m3todo, corresponde a la ajustada para *Engraulis ringens* de la zona norte de Chile, en base a los datos del experimento de incubaci3n de Soto (2001) y que se encuentran detallados en Claramunt *et al* (2007). Los par3metros de la ecuaci3n se entregan en la **Tabla 8**.

## Modelo Multinomial

El modelo probabil3stico multinomial utilizado para la dataci3n de huevos de anchoveta de la zona norte se entrega en la **Figura 40 y Tabla 9**.

## Estimaci3n de $P_0$

En la **Tabla 10** se entregan los resultados de las estimaciones de  $P_0$  y  $Z$  seg3n las dos metodolog3as contenidas en los paquetes *eggs* y *eggsplore* de R. Se debe tener presente la diferencia entre el modelo de desarrollo estadio-temperatura dependiente y el proceso de dataci3n. El procedimiento automatizado de  $L_0$  (1985) utiliza la desviaci3n est3ndar (i.e  $2*DS$ ) para subir o bajar una edad dependiendo de la diferencia entre la hora de colecta y el pico de desove. El uso de  $\pm 2*ds$  es arbitrario e implica asumir que las edades a cualquier estadio son normalmente distribuidas alrededor de la edad media. Por tanto, en el "Modelo de  $L_0$  GLM" la desviaci3n est3ndar de la edad de los huevos para el estadio es tomado de los experimentos de incubaci3n. En cambio, en el modelo multinomial se asume que el proceso de desove es sincr3nico, el cual est3 definido por el pico de desove (tiempo de desove) y la desviaci3n est3ndar (extensi3n del periodo de



desove dentro de un día), por tanto se debe especificar la desviación estándar de la hora pico de desove (1,5 horas), la cual se especifica como el parámetro “Spawn.sig” dentro de “depm.control” en el paquete *eggs* de R. Estos criterios se basan en la frecuencia de la abundancia relativa del estadio I en función de la hora de colecta.

La producción diaria de huevos estimada para el modelo de Lo es de 148,65 huevos/0,05m<sup>2</sup>/día con un coeficiente de variación de 0,54. En el modelo multinomial la estimación es de 111,46 huevos/0,05m<sup>2</sup>/día, con un coeficiente de variación de 0,64.

Una vez ponderados por la proporción, que es el área positiva respecto del área total, la producción diaria de huevos (**Figura 41**), muestra situaciones similares entre los modelos de datación utilizados para el año 2009. El modelo de Lo entrega un brusca caída en comparación al año 2008 y el modelo Multinomial muestra una estabilidad desde el año 2007. Sin embargo, este último debe ser tomado con cautela dado que el parámetro de mortalidad de los huevos (Pendiente en el modelo de estimación) resultó no ser significativamente distinto de cero ( $P > 0,05$ ; **Tabla 10**).

Cabe señalar que los productos del programa en R (*eggs*) entrega los resultados en m<sup>2</sup>. Sin embargo, tradicionalmente en las aplicaciones del MPDH de la serie 1992-2009, la producción diaria de huevos se ha expresado en 0,05 m<sup>2</sup>, por tanto para efectos comparativos se mantiene esta unidad de medida. La conversión de unidades es un cálculo bastante simple.



## Modelo GAM espacial

Para la zona norte, los modelos GAM aplicados para evaluar la densidad y producción diaria de huevos han presentado un mal desempeño, debido a que las variables utilizadas (Latitud, Longitud y Temperatura) no explican la localización de las áreas de desove, las cuales son muy variables interanualmente, tanto en términos latitudinales como longitudinales. Esto se ve corroborado por el análisis del cociente (Van der Lingen *et al.*, 2001; **Figura 42**), los que describen la relación entre las abundancias de huevos y las variables ambientales. En la **Figura 42**, se observa que no existe una tendencia clara en cuanto a las “preferencias” de las hembras por desovar en áreas con características similares entre años, es así, que en 1992 aparece una predilección por temperaturas entre 13,5°C a 14,5°C y luego a los 17°C. Para el año 1995, sería bajo los 16°C. En 1996 estaría por los 16°C. En 1997, año con la influencia de “El Niño”, aparecen predilecciones por temperaturas mayores comprendidas entre los 17°C y los 19°C. Con la latitud sucede una similar situación, donde ciertos años aparecen preferencias por altas latitudes y en otros hacia bajas. En términos longitudinales, es decir, costa-océano, tampoco se puede identificar un patrón claro. Para el año 2009, el método del cociente indica una posible “preferencia” por temperaturas entre 15°C y 16°C.

Al ajustar los modelos GAM para la densidad de huevos, se observa que estos no reproducen bien la distribución observada. Es así, que a modo de ejemplo se presentan los resultados para los años 1992, 1995 y 2002. En la **Figura 43**, se muestran las densidades estimadas para los años 1992, 1995 y 2002, apreciándose que existen áreas con estaciones positivas que no son reproducidas por el modelo o al contrario, zonas en que no se encontraron huevos, pero el



modelo predice cierta abundancia. Para el año 2009, el modelo GAM tampoco reproduce bien la distribución de huevos (**Figura 44**), prediciendo su presencia en zonas donde no se encontraron huevos, como la zona oceánica comprendida entre los paralelos 20°S y 22°S y por el contrario, no recoge zonas donde si se encontraron huevos, como la zona frente al puerto de Antofagasta (**Figura 44**).

La producción diaria de huevos en el espacio modelada por los GAM, explica el 59% de la devianza para 1992:

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-7.607713	0.715611	-10.63	<2e-16 ***
age	-0.013103	0.000877	-14.94	<2e-16 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Est.rank	Chi.sq	p-value
s(Lat,Stand.long,Stand.fitemp)	59	46	5560	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.362 Deviance explained = 59.1%

UBRE score = 16.106 Scale est. = 1 n = 944



Para 1995 explica el 63,7%

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-1.328343	0.279772	-4.748	2.05e-06 ***
age	-0.010609	0.001236	-8.582	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Est.rank	Chi.sq	p-value
s(Lat,Stand.long,Stand.fitemp)	68	40	2474	<2e-16 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.607 Deviance explained = 63.7%

UBRE score = 7.5967 Scale est. = 1 n = 1071

Para el 2002 el 63,6%

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	1.8570503	0.2140901	8.674	<2e-16 ***
age	-0.0240201	0.0007014	-34.244	<2e-16 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Est.rank	Chi.sq	p-value
s(Lat,Stand.long,Stand.fitemp)	67	43	6552	<2e-16 ***

---



Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.445 Deviance explained = 63.6%

UBRE score = 18.882 Scale est. = 1 n = 1055

Para el año 2009 el modelo mejora un poco, pero básicamente debido al bajo número de estaciones positivas:

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-46.14	1.69	-27.3	<2e-16 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:

	edf	Est.rank	Chi.sq	p-value
s(Lat,Stand.long,Stand.fitemp)	9.997	10	5222	<2e-16 ***

---

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) = 0.425 Deviance explained = 79.6%

UBRE score = 10.066 Scale est. = 1 n = 773

Al comparar las estimaciones de Producción diaria de huevos estimados por los cuatro modelos (**Tabla 11**), se observa claramente que las estimaciones de Producción de huevos por el modelo GAM se encuentran bastante subestimadas en comparación a los otros métodos de estimación, que en el caso del año 2009 es un orden de magnitud inferior.



## Otras variables ambientales

Si bien el estudio de la asociación entre las áreas de desove con otro tipo de variables ambientales no ha sido considerado como objetivo dentro del proyecto, este tema ha sido abordado por los investigadores. Es así, que para evaluar la oferta de alimento como una variable que pudieran “preferir” las hembras de anchoveta, al momento del desove, las muestras de los años 2001 y 2004 se volvieron a analizar para estimar la abundancia de zooplancton por espectro de tamaños (Diámetro Circular Equivalente, DCE) mediante el uso del software Zooimage (<http://www.sciviews.org/zooimage>), sin embargo, los resultados (**Figura 45**) mostraron que ésta, tampoco es una variable que esté asociada a los sitios de desove, básicamente porque el alimento en la zona norte de Chile no es un factor limitante.

Otra variable ambiental que ha sido explorada es la profundidad de la termoclina (15°C), como proxy de la capa de mezcla y turbulencia en la zona (**Figura 46**), sin embargo tampoco resultó ser una variable explicativa de la localización de los sitios de desove.



**6. Objetivo espec3fico 2.5 “Estimar la proporci3n de estadios de madurez sexual microsc3picos y la fracci3n diaria de hembras desovantes de anchoveta con su varianza asociada”.**

Se analizaron 1.190 hembras, correspondientes a 37 lances provenientes de la pesca de investigaci3n (**Tabla 12**).

El an3lisis histol3gico de los ovarios indic3 que el 100% de las hembras se encontraban activas. El comportamiento reproductivo de la anchoveta evidencia que el crucero se efectu3 durante el m3ximo proceso de desove.

**Fracci3n diaria de hembras desovantes de anchoveta**

La distribuci3n horaria de los estadios ov3ricos y FPO (**Tabla 13**) obtenidos en los proyectos del 2004 al 2008 de acuerdo a la metodolog3a seguida por Claramunt *et al* (2007) se entrega en **Tabla 13** y es representada en la **Figura 47**. El ajuste de un modelo de distribuci3n horaria de los FPO indica que, en general, puede ser tratada como una distribuci3n normal, ya que si bien algunos estadios de FPO se ajustan mejor a un modelo tipo Gamma (i.e. con cierta asimetr3a), la suma acumulada de los errores es menor para el modelo de tipo Normal (**Tabla 14**). La **Figura 47** indica que el estadio de n3cleo migrante (EMM 5) se manifiesta a partir de las 23:00 horas y muestra un decaimiento hacia horas de la tarde, que coinciden con el incremento de las hembras hidratadas, las que tienen un m3ximo hacia las 16:00 horas. Hay un claro pico en la incidencia de hembras con FPO I entre las 23:00 y 2:00 hrs. Esta moda de los FPO I se va desplazando en el tiempo en los FPO II; III y IV. La amplitud (Desviaci3n est3ndar) se incrementa en el



estadio IV (**Figura 47 y Tabla 14**). La distribución del estadio FPO V presenta una gran amplitud, indicando un posible sobrelapso con una noche anterior de desove (i.e. > 24 horas). La evolución temporal de los estadios FPO VI y VII son casi similares, con un máximo relativo entre las 6:00 y 10:00 horas, pero que correspondería al 2º día después del desove. Al graficar las edades medias predichas por el ajuste del modelo normal (**Tabla 14**) se observa claramente la progresión en el tiempo del estadio I al II. Del estadio IV al VI se estabiliza y luego decae hacia el estadio VII. Esto último sería evidencia que una alta proporción de los estadios V al VII provienen de una noche anterior de desove (i.e. edades superior a las 24 horas). Incluso una pequeña proporción del estadio IV, un 6,1% aprox. estimado según ajuste (**Tabla 14**) y 6,5% observado (**Tabla 13; Figura 48**), provendría de la noche anterior de desove, esto es, las hembras con FPO IV capturadas entre las 18:00 PM y 2:00 h AM provendrían de la noche anterior de desove (i.e. Tienen más de 24 horas), ya que en este lapso se está produciendo el desove (FPO I) y la degeneración no es tan rápida.

Para el año 2009, la distribución horaria de los FPO (**Tabla 14**) muestra la misma tendencia que la obtenida para los años 2004 al 2008 (**Figura 47**), donde los FPO del I al IV provendrían de la misma noche de desove y por lo tanto, se consideran pertenecientes al grupo de menores de 24 horas. Los FPO V a VII tendrían una edad mayor a 24 h, sin embargo queda la duda si pueden corresponder al grupo de 24 a 48 h de edad, especialmente los FPO VII pueden corresponder a edades mayores a 48 h, por lo que no se recomienda su utilización para efectos de cálculo.



Considerando a los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5); Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM 7) como pertenecientes al grupo de desove que desovará dentro de las próximas 24 horas, la fracción desovante se estima en 0,34, con una varianza de 0,0009 y un coeficiente de variación de 8,86%. Considerando los FPO de I al IV (excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 AM) como correspondientes a hembras que desovaron la noche anterior, osea con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estima en 0,278 con una varianza de 0,00093 y un coeficiente de variación de 10,9%. Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,309, una varianza de 0,00031 y un coeficiente de variación de 5,7%.

Es necesario señalar, que los criterios de datación de los FPO cambiaron desde el año 2007 respecto de las evaluaciones anteriores, debido a los avances ya señalados en el proyecto FIP 2006-38 (Claramunt *et al*, 2007), por lo que no se pueden realizar comparaciones válidas con estimaciones de años anteriores al 2007.

Además, se debe explicitar que el término “Maduras”, se refiere a hembras que han desovado alguna vez en su vida. Esto es para distinguirlas de aquellas que no lo han hecho nunca (Virginales). El estadio de madurez 2, corresponde a hembras Maduras, esto es que han desovado en estaciones anteriores y podrán hacerlo en la presente estación reproductiva, por tanto entran en el cálculo para la estimación de biomasa.



**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 39 hembras que efectivamente clasificaron microscópicamente como hidratadas (**Figura 49**) 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.

$$\text{Fecundidad} = -2569,08 + 649,82 * (W)$$

$$n = 39$$

$$r^2 = 0,38$$

$$S_a = 3057,8$$

$$S_b = 135,8$$

$$S_{yx} = 1824,31$$



La regresión ajustada para el año 2009, predice fecundidades dentro del rango de la serie, (**Figura 50; Tabla 15 y 16**).

La fecundidad parcial promedio, utilizando el ajuste del año 2009 correspondiente a los 37 lances efectivos, varió de 5.872 a 13.585 ovocitos por hembra (**Tabla 17**). La fecundidad media poblacional resulta de 8.410 ovocitos, con una varianza de 124.468 y un coeficiente de variación de 4,2%. Este estimado resulta uno de los más bajos en comparación a años anteriores (**Tabla 16**).

Como comentario del evaluador, se señala que si bien la fecundidad parcial promedio fue la más baja de la serie histórica, la fecundidad relativa del 2009 fue superior a algunos de los valores de años previos. Al respecto es necesario mencionar que, en general, la fecundidad relativa es bastante estable (no exhibe diferencias significativas), sin embargo, es difícil su interpretación debido a que depende del peso de las hembras, del tamaño de los ovocitos, condición de las hembras, entre otros aspectos. En todo caso, coincidimos con el evaluador que esto merece una mayor atención.

**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 por el modelo tradicional de Lo fue igual a 287.916 t, con una varianza de 5.283E+11 y un coeficiente de variación de 252%. Por el Modelo Multinomial, se estimó una biomasa de 215.886 t, con una varianza de 4.172E+11 y un coeficiente de variación de 299%. Estas diferencias se explican por los distintos ajustes de acuerdo a la datación de los huevos y que en el caso



del Modelo Multinomial conducen a una estimación en la que el valor de la pendiente no es significativa ( $P > 0,05$ ; **Tabla 18**), aún cuando estima una producción diaria de huevos, similar a la proveniente del Modelo de Lo (**Figura 41**; **Tabla 18**). Sin embargo, ambas estimaciones están dentro de las más bajas de la serie (**Figura 51**). Esta baja biomasa también se ve influenciada por el hecho que el área de desove detectada en el año 2009, está dentro de las más bajas de la serie histórica (**Figura 52**).

**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 en relación con la temperatura y la salinidad**

La distribución geográfica de huevos se presenta en la **Figura 53**, para la estación de invierno durante el período 1992 - 2009. De la misma manera, en las **Figuras 54 y 55** se observan las reparticiones espaciales de la temperatura y salinidad del mismo período.

En el año 1992, la repartición espacial de los huevos se relacionó con regulares concentraciones. El foco que registró las mayores densidades se encontró entre Pisagua e Iquique en las primeras 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 (**Figuras 54 y 56a**). En el caso de la salinidad, éstas registraron altos valores asociados al evento “El Niño”, incluso



alcanzando las 35,5 psu al norte de Iquique (**Figura 55**). La asociación entre las variables muestra que los huevos se encuentran desde los 34,7 a 35,2 psu con una nítida predominancia en aguas con salinidades comprendidas entre 34,8 y 35 psu (**Figura 56b**).

En los años 1995 y 1996, los huevos exhibieron un bajo comportamiento territorial pero con focos que tuvieron mayores niveles de concentraciones; es así como es posible detectar núcleos muy densos que se localizaron entre Iquique y Tocopilla vinculados preferentemente a aguas de 14° - 16°C y a bordes de gradientes térmicos (**Figuras 54 y 56a**). En cuanto a las salinidades, se destaca el descenso de los registros, los cuales no superaron las 35,1 psu, situación por la cual los huevos de la especie, tienden a agruparse en un rango de salinidades más bajas de 34,3 a 34,9 psu, con una preferencia por los 34,5-34,7 psu (**Figura 56b**).

En el año 1997 se observó una repartición espacial diferente que años precedentes con una distribución mucho más desplazada hacia el sur debido a los efectos del fenómeno ENOS, detectándose tres núcleos principales: el primero se localizó frente a Arica muy próximo a la costa; el segundo se ubicó frente a punta Lobos ( 21°S) a una distancia de 40-50 mn y es el más importante; y el tercero se situó entre Mejillones y Antofagasta (**Figura 53**). Por su parte, la temperatura mostró un gran aumento debido al fenómeno ENOS, destacándose que el núcleo de mayor densidad de huevos esta relacionado con el borde costero de las aguas de 18° -19°C (**Figura 54**), en este año los huevos se presentaron en un rango de 15°-21°C, con una predilección por las temperaturas de 17°-18°C (**Figura 56a**). De igual manera la salinidad experimentó un importante incremento, en este año los huevos se distribuyen en el rango 34,7-35,2 psu, y se relacionan mayoritariamente a salinidades superiores a los 34,8 psu (**Figura 56b**).



En el período 1999-2001, la cobertura territorial de huevos disminuyó significativamente (a excepción del año 2000), sin embargo se detectaron núcleos de grandes densidades, un primer sector se extendió desde el sur de Iquique hasta las proximidades de Tocopilla en una zona que no sobrepasa las 25 mn de la costa; el segundo se observó a unas 50 mn frente a Tocopilla y el tercero se emplazó entre Mejillones-Antofagasta y se caracterizó por una altísima densidad de huevos (supera los 1.500 h/0,05m<sup>2</sup>) y por su cobertura netamente costera en las primeras 10-15 millas. 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 esta asociado a una masa de aguas frías de temperaturas de 13°-14°C (**Figura 54**), en estos años los huevos se ubicaron entre los 12° y 17°C, sin embargo las más altas concentraciones se encuentran relacionadas con aguas de 15° y 16,9°C. En cuanto a las salinidades observadas, éstas decaen considerablemente y se ubican en el estrato 34,1-35,2 psu, a su vez, estos años la ocupación espacial de los huevos es muy baja, no obstante la baja cantidad de huevos de la especie, éstos se concentraron en el estrato 34,7-35,1 psu y se asocian mayoritariamente a la moda de 34,7-34,89 psu (**Figuras 55 y 56b**).

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 destacaron dos grandes focos: el primero se localizó al sur de Arica y se extiende incluso hasta el oeste de los 71°W, este foco se caracteriza por presentar densidades intermedias y el segundo núcleo se ubicó entre Iquique y el río Loa y abarcó un área de casi 1.000 mn<sup>2</sup> y logro densidades superiores a los 1.000 h/0,05m<sup>2</sup>. En cuanto a su asociación con la temperatura, los núcleos se encontraron en aguas que fluctúan entre los 13 y 17°C y en sectores de gradientes térmicos relevantes (**Figuras 54 y 56a**). 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 (**Figuras 55 y 56b**).

Durante los años 2004-2006, 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 localizo frente al puerto de Arica y es un foco oceánico que registra las mayores concentraciones con densidades superiores a los  $1.000 \text{ h}/0,05\text{m}^2$  y que abarco aproximadamente  $280 \text{ mn}^2$ ; el segundo foco se ubicó frente a Iquique en un sector muy costero que esta restringido por el borde interno de las aguas surgentes de  $15^\circ\text{C}$  y cubre un área aproximada de  $700 \text{ mn}^2$ ; por último el tercer núcleo se sitúo entre punta Lobos y Tocopilla y también esta restringido por el borde interno de las aguas de  $15^\circ\text{C}$ , logra densidades superiores a los  $500 \text{ h}/0,05\text{m}^2$  en un área aproximada de  $800 \text{ mn}^2$ . En relación a la temperatura, como se mencionó anteriormente, los núcleos principales quedan restringidos por el borde interno de las aguas de  $15^\circ\text{C}$  y las mayores abundancias se logran en aguas de  $14^\circ$  y  $15^\circ\text{C}$ . 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 (**Figuras 55 y 56b**).

En los años 2007-2009 se vuelve a registrar una disminución geográfica de los huevos, siendo la menor de la serie analizada especialmente el año 2009. Estos años no se presentaron grandes densidades y solamente se obtienen buenos registros en el sector costero frente de Arica con registros superiores a los  $500 \text{ h}/0,05\text{m}^2$  y que abarcaron un área de aproximadamente  $100 \text{ mn}^2$ ; además se observaron focos relevantes entre Iquique y el río Loa en las primeras millas de la costa. En términos espaciales se puede visualizar que los mayores focos estuvieron asociados a los bordes que forman las aguas de  $15^\circ$  y  $16^\circ\text{C}$  y a gradientes térmicos moderados.



## 9.2 Análisis de los Centros de Gravedad (CG)

El estudio de los **CG** exhibió que éstos no mostraron un comportamiento territorial muy acotado. Sin embargo se lograron visualizar ciertas tendencias en algunos años. Así en el año 1992, el **CG** se localizó frente a Iquique siendo ésta una de las posiciones más septentrional de todo el período, debido a que los focos de mayor abundancia se localizaron al norte de Iquique (**Figuras 53 y 57**). Durante 1995 el **CG** sufrió una gran migración superando incluso la cuadra de Tocopilla, situándose en la posición más meridional de todo los años analizados, esto se debió a la repartición geográfica de los huevos que 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 vuelve a exhibir un cambio en la distribución de los huevos ya que virtualmente no existen registros de huevos 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 ubicará en una región bastante oceánica a 35 mn de la costa (**Figuras 53 y 57**).

En 1997 debido a que la zona de estudio estuvo bajo la influencia del evento ENOS, los huevos varían 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 fenómeno de “El Niño”, por lo que el **CG** también se traslado 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 al SW del río Loa, lo que es representativo de que en estos años, las mayores agregaciones se registraron en los alrededores de Tocopilla o en Mejillones. En este período, destacó el año 2001 que presentó un **CG** muy costero emplazado a unas 6-7 mn de la costa, debido a que en ese año los huevos se reportaron mayoritariamente en las primeras millas de la



costa. Durante los años 2002-2003, los **CG** se posicionan en la cercanías del río Loa pero más corridos 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 de la costa, en sectores de gradientes térmicos relevantes.

En los años 2004-2005, los **CG** migraron 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. 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 (**Figura 57**).

El 2007 debido a que la zona de estudio estuvo bajo la influencia del evento “La Niña”, los huevos cambian notablemente de comportamiento geográfico respecto de años precedentes, este año se observó una distribución mucho más desplazada hacia el norte, que es coincidente con aguas de 14° y 15°C, por lo que el **CG** también se trasladó en dirección norte y se situó frente a Pisagua a unas 30 mn de la costa. En tanto el 2008 el **CG** vuelve a posicionarse en las cercanías del río Loa a unas 10 mn de la costa.

Finalmente, el año 2009 el **CG** se desplazó fuertemente en dirección norte alcanzando el norte de Pisagua debido a las altas concentraciones frente de Arica y a la virtual desaparición de huevos de la especie desde Tocopilla al sur. Además, pese a que los modelos anunciaron la llegada del fenómeno “ENOS”, la zona exhibió bajos valores de temperatura, lo que beneficia el corrimiento hacia el norte del centro de gravedad.



### 9.3 Análisis exploratorio de datos

En los años analizados se han monitoreado un total de 9265 estaciones, de 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 19**), 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, aproximadamente un 25 % de éstas registró la presencia de huevos, observándose una densidad media por estación positiva del orden de 60 huevos/0,05 m<sup>2</sup> (**Tabla 20**).

En la **Tabla 20** se detalla por año el número de estaciones totales, el número de éstas con presencia y ausencia de huevos y la densidad media para las estaciones positivas y el total. En cuanto a la presencia de huevos, los años 2000 y 2002 presentaron la mayor proporción de estaciones positivas con presencias por sobre el 40 %; mientras que el número menor de estaciones con presencia de huevos correspondió al año 2009, con solo un 5 %. La disminución, para el año 2009 en el número de estaciones, representa un 82 % respecto del promedio histórico (**Figura 58**).

Respecto a la densidad de huevos para las estaciones positivas, los mayores índices se registraron los años 2001 y 2009 con valores por sobre los 110 huevos/0,05 m<sup>2</sup>, no obstante ambos años presentan las menores proporción de estaciones positivas registradas. Se observa un aumento en la densidad media de huevos a partir del año 1999 y hasta el año 2006 en comparación con los años



anteriores y el 2007, donde se registraron densidades medias entorno de los 40 huevos/0,05 m<sup>2</sup>. Los a1os 2003, 2005 y 2008 presentan las segundas mayores densidades medias con valores entre los 70 y 80 huevos/0,05 m<sup>2</sup> respectivamente. Los a1os 1999, 2000, 2002, 2004 y 2006 presentan densidades medias que var1an entre los 50 y 58 huevos/0,05 m<sup>2</sup> (**Figura 58, Tabla 20**).

La densidad media estimada para el total de estaciones, presenta los menores registros en los a1os 1996, 2007 y 2009, los dos primeros a1os producto de existir una baja presencia de estaciones con huevos y menores densidades medias para las estaciones positivas y para el 1ltimo a1o, solo debido a la baja proporci3n de estaciones con presencia de huevos. Similar a lo observado para las estaciones positivas, a partir del a1o 1999 y hasta el 2005, se observa un aumento en la densidad media con valores que fluct1an entre los 15 y 30 huevos/0,05 m<sup>2</sup>, y disminuyendo hacia el 1ltimo a1o. Las mayores densidades medias se registran los a1os 2000, 2002 y 2005 producto de una mayor proporci3n de estaciones con registro de huevos y densidades medias moderadas a altas.

Las estad1sticas descriptivas de las variables predictoras latitud, longitud, temperatura superficial y salinidad superficial, junto a las variables de inter1s, densidad de huevos se presentan en la **Tabla 21**. En los 15 a1os se cubri3 un 1rea muy similar, que abarca latitudinalmente de los 18°23'S y 26°3'S y longitudinalmente de los 70°5'W y 72°12'W. El a1o 1997 presenta la mayor temperatura superficial del mar promedio con 18°C, mientras que el a1o 2007 registr3 las menores temperaturas fluctuando entre los 12,4°C y 16°C con una media de 14°C. El a1o 2009 junto a los restantes a1os, registran una temperatura superficial del mar promedio entorno a los 16°C, con un rango de variaci3n m1ximo para el a1o 1995 de 7°C. Para la salinidad superficial del mar,



hist3ricamente se han observado promedios en el intervalo de los 34,66 y los 34,98 psu con un rango m3ximo de variaci3n de 1,4 psu el a3o 1999.

## 9.4 Modelamiento estadístico

Los resultados del ajuste de los modelos aditivos generalizados para cada set de datos se resumen en las **Tablas 22 y 23**. Los modelos de efectos principales de cuatro covariables (latitud, longitud, temperatura y salinidad superficial) y un factor correspondiente al a3o, fueron significativos, con pseudo- $R^2$  de 0,13 y 0,09 para los modelos de presencia de huevos y densidad de huevos para las estaciones positivas, respectivamente.

### 9.4.1 Análisis de presencia/ausencia de huevos

Para caracterizar la relaci3n entre la distribuci3n de huevos con variables de localizaci3n y oceanogr3ficas, se model3 la variable respuesta de presencia de huevos considerando una distribuci3n de probabilidades binomial, con funci3n de enlace logit y un ajuste robusto a trav3s de cuasi-verosimilitud.

Los predictores incorporados en el modelo presentaron un comportamiento no-lineal, confirmado a trav3s de la prueba F (**Tabla 22**). La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gr3ficamente a trav3s de los suavizadores splines c3bicos en la **Figura 59**.

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 3sta latitud, mostrando un efecto negativo. Por su parte, la longitud (Lon) tiene un



efecto positivo para valores entre los  $70^{\circ}36'W$  y  $71^{\circ}12'W$  y negativo a longitudes mayores, es decir el proceso de desove se vincula más a la zona costera que a la oceánica. En relación con la variable temperatura superficial (**TSM**), se observa una ventana positiva para valores entre los  $15^{\circ}C$  y  $17^{\circ}C$ , 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 (**Figura 59**).

Finalmente, a partir de los modelos ajustados se puede observar una señal interanual de la respuesta (**Figura 61**). La señal asociada a los años analizados indica que existió una menor probabilidad de éxito de encontrar estaciones con presencia de huevos los últimos tres años y los años 1995, 1996, 1999, 2001 y 2003. Los demás años presentan una mayor probabilidad de encontrar estaciones con presencia de huevos.

### **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 23**). La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines cúbicos en la **Figura 60**.



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°33' W. En relación a la temperatura, se puede observar que las estaciones con huevos se localizaron principalmente entre los 14° y 18° C y que temperaturas inferiores a los 17° 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 15,5° C y los 17,5° 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 33,8 y 35,3 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 (**Figura 60**).

La contribución parcial del factor período indica que este último año como los años 1995, 1996, 2001, 2003 y el 2007 se tuvo un efecto negativo en la densidad de huevos, coincidiendo con la mayoría de los años con una menor probabilidad de éxito de encontrar estaciones positivas.



### **9.5 Análisis de correspondencia espacial entre los campos que explican la mayor parte de la variabilidad temporal de las variables ambientales y los huevos de anchoveta.**

Los resultados muestran que el primer modo de variaci3n de la temperatura superficial del mar, la densidad de agua de mar y la presencia de huevos de anchoveta explican el 75%, 70% y 54% de la variaci3n temporal para cada variable respectivamente (**Figura 62 a**). Se observa una relaci3n directa entre el modo principal de la TSM y la presencia de huevos de anchoveta, con una importante variaci3n positiva durante en el 1997 y una variaci3n negativa durante el 2007. Durante gran parte del per3odo analizado, ambas series presentan variaciones en torno a cero y con una misma tendencia. En cambio, la densidad del agua de mar durante 1997 y 2007 presenta una relaci3n inversa con la TSM y la presencia de huevos, aunque para los a3os restantes las fluctuaciones se centran en torno a cero. Sin embargo, el segundo modo de variaci3n temporal, que explica valores bajos de variaci3n, su comportamiento es errático y no es posible concluir alguna relaci3n significativa, aunque su variabilidad es más amplia que la observada en el primer modo de variaci3n temporal (**Figura 62 b**).

El coeficiente de correlaci3n temporal que tiene el primer modo de variaci3n para la TSM, densidad y presencia de huevos fue evaluado mediante correlaciones cruzadas (**Figura 63**). Para una desfase de cero unidades de tiempo, la variabilidad observada en la TSM esta asociada positivamente ( $> 0,8$ ) con la variaci3n de la presencia de huevos de anchoveta, mientras que la densidad lo hace en forma inversa, pero a una misma magnitud. A desfases mayores, pareciera no haber una relaci3n significativa entre las variables mencionadas



anteriormente, dado por que estas relaciones no superarían los intervalos de confianza para estas estimaciones.

El primer modo de variación de la temperatura superficial del mar, la densidad y la presencia de huevos de anchoveta explican el 75%, 54% y 70% de la variación espacial para cada variable respectivamente (**Figura 64**). En general, la distribución espacial del primer modo mostró una mayor intensidad hacia el área norte y oceánica para cada una de las variables analizadas. Una banda costera de variación negativa es observada en la TSM y la densidad en torno a los 21°S y no así para la presencia de huevos de anchoveta. Al sur de la península de Mejillones, en la cual la TSM y la densidad muestran un comportamiento similar, con valores bajos de variabilidad espacial, la presencia de huevos también presenta una baja variabilidad pero en un área ligeramente desplazada hacia el sur.



## VIII. DISCUSIÓN

---

Durante el período del crucero, agosto 2009, en la zona norte de Chile la dirección predominante del viento fue hacia el Ecuador, tal como lo mostraron las observaciones de crucero y las satelitales. La variabilidad temporal presentó mayores intensidades de viento en la primera y tercera semana de agosto, mientras que en el período intermedio el viento fue relativamente débil. El transporte de Ekman, derivado de la información de viento costero confirma lo anterior, evidenciando que aunque en Iquique y Antofagasta los valores de transporte fueron similares, en Iquique es el período de menor intensidad del año mientras que en Antofagasta, es el período de mayor transporte desde mayo de 2009. Dentro de este contexto, las mayores intensidades del viento, transporte y turbulencia se concentraron frente a punta Cobija, seguidos por los registrados frente a Pisagua y al sur de punta Tres Picos y Antofagasta. En el resto de los sectores, la intensidad de estas variables fue relativamente débil.

Las temperaturas superficiales durante este período, que fluctuaron entre 14° y 17°C y con un rango en sus respectivas anomalías muy cercanas a 0°C, mostraron que el campo superficial de temperatura no evidencia perturbaciones asociadas al evento cálido que está afectando a la zona ecuatorial desde junio de 2009. Valores alrededor de 0°C en las anomalías en la vertical, sugieren la misma situación en la columna de agua. Las anomalías positivas del índice Ecuatorial multivariado (**MEI**)(Wolter & Timlin, 1998) (**Figura 65**) y en la **TSM** de la zona ecuatorial y el Pacífico norte (NOAA, 2009), como también los pronósticos señalan que la condición cálida “El Niño” se mantendría en la banda ecuatorial hasta otoño de 2010. Sin embargo, al mismo tiempo en que se desarrollaba “El Niño” en el Pacífico Ecuatorial, la costa sudamericana permaneció relativamente normal e incluso fría y solamente a partir de noviembre/diciembre de 2009 comenzaron a



aparecer anomalías positivas de **TSM** en el sur de Perú y de **TSM** y salinidad en la zona norte de Chile, las que en diciembre de 2009, llegaron a +2°C y 0,04 psu, respectivamente (NOAA, 2009, Reyes y Letelier, 2009, Reyes *et al*, 2010).

Dentro del contexto anterior, durante agosto de 2009 solamente se registraron anomalías cercanas a -1° C en núcleos muy locales asociados a la península de Mejillones y al sur de punta Coloso. Como se ha registrado en forma típica, las menores temperaturas se observaron a lo largo de la costa, asociadas a una estrecha banda costera encerrada por la isoterma de 16°C al norte de Tocopilla y la isoterma de 14°C al sur de Antofagasta. Paralelamente, se observó en **TSM** y salinidad superficial, una estructura de mesoescala en forma de lengua anticiclónica que se desprendió hacia el noroeste desde el sector de punta Coloso, proyectando menores **TSM** y mayores salinidades más allá de los 100 km desde la costa hacia el océano. Por otro lado, las salinidades superficiales fluctuaron entre 34,5 y 35 psu, con los mayores valores concentrados en el sector oceánico frente a Arica y las menores en el sector costero al sur de punta Coloso. Las anomalías al norte de Tocopilla fluctuaron alrededor de 0 psu, mientras que al sur de punta Copaca, predominaron valores cercanos a -0,1 con núcleos de 0,2 psu, en el eje de la proyección de la lengua anticiclónica que se desprendió desde el área de Antofagasta.

La advección asociada a esta lengua, no coincidió con la distribución superficial de clorofila y temperatura satelital, pero fué consistente con la dirección de las corrientes observadas en la altimetría, ya que el movimiento de aguas, aparece asociado con una corriente de chorro en dirección noroeste. Este tipo de estructura creó una lengua y filamento que llegó a influenciar la columna de agua hasta más de 50 m de profundidad, tal como lo muestran las distribuciones verticales de temperatura y salinidad de punta Hornos y bahía Moreno. Otra



evidencia de la presencia e importancia de este filamento, se observó en el anormal ascenso de la isoterma de 15°C, la cual aflora a superficie alrededor de la península de Mejillones. Este ascenso también es observado en punta Tres Picos y rada Paposo. Paralelamente, un leve descenso de la concentración superficial de oxígeno (~ 5 mL/L), respecto al circundante (~ 5,5 mL/L), también señala la presencia de esta lengua. Este tipo de lengua y filamento ha sido observado anteriormente (Fonseca & Farías, 1987; Sobarzo & Figueroa, 2001), como también el efecto de sombra de surgencia que se produce en bahía Moreno (Marín *et al.*, 2001; Marín *et al.*, 2003).

En cuanto a la distribución de clorofila-*a*, ésta mostró un desarrollo muy local y poco influenciado por los procesos de mesoescala, y al igual que en el año anterior, mantuvo focos aislados muy costeros desde Antofagasta al norte, con similar rango de los valores integrados en la columna (Braun *et al.*, 2008c). Los feopigmentos en toda la zona aparecieron en relativamente bajas concentraciones. Todas las variables sugieren que la zona de estudio presentó una baja producción biológica en términos fitoplanctónicos, los que se concentraron en núcleos subsuperficiales asociados a punta Gruesa, punta Hornos y punta Ballenita.

En relación con la profundidad del límite superior de la capa de mínimo oxígeno (1 mL/L), la distribución horizontal y vertical mostró que al norte de Mejillones, esta capa se ubicó a un nivel más superficial (~50m) que al sur de Antofagasta (~80 m), mientras que el gradiente de ascenso más intenso entre ambas áreas, está asociado al desarrollo del filamento que se proyecta hacia el noroeste. En toda la zona este límite descendió hacia el sector oceánico, bajando incluso hasta más de 100 m en punta Ballenita y a 50 m en punta Junin.



Parte de las diferencias entre ambas zonas para esta variable, serían consecuencia tanto de las variaciones en la intensidad del viento como en la actividad de mesoescala, ya que durante agosto, al norte de Tocopilla, se observó un solo giro de mesoescala asociado a corrientes desordenadas. Por otro lado, al sur de los 22°S se registraron 4 giros (2 ciclónicos y 2 anticiclónicos) los cuales se incrementaron a 6 después del 20 de agosto.

El análisis de nivel del mar observado para el puerto de Iquique, reveló una tendencia a la presencia de anomalías negativas siendo similar a la situación en la que se realizó el crucero 2007 y diferente a la del 2008, en la cual las anomalías son cercanas a cero. Las anomalías negativas de nivel del mar, podrían estar explicando el levantamiento de la capa de mínimo oxígeno a lo largo de la costa norte, ya que podrían deberse a la presencia de ondas atrapadas a la costa que, en este caso, levantan la termoclina y hunden el nivel del mar, especialmente si se está con la presencia de “El Niño” en el Ecuador (Zamudio *et al.* 2007).

Dentro del contexto temporal, la distribución de huevos de anchoveta, densidad y **TSM** del primer modo de variación de las componentes principales, mostró una asociación baja de variabilidad entre las variables. De hecho, las evidencias señalan una mejor correspondencia inversa entre la **TSM** y huevos respecto de la densidad durante los eventos “El Niño” 1997/98 y 2006/07, las correlaciones cruzadas confirman lo anterior. De hecho, esta correspondencia se invirtió en ambos eventos, es decir, fueron eventos diferentes y generaron diferentes respuestas en la columna de agua y los huevos. Esto no sucedió durante “El Niño” 2009, ya que como lo indica la condición regional, para el mes de agosto de 2009 aún no se ha sentido su influencia en la costa sudamericana. El segundo modo muestra un comportamiento errático de las variables donde la **TSM** y la densidad



tienen comportamiento inverso, mientras que los huevos mostraron alguna respuesta durante el 2007, cuando cayeron en forma importante. Los resultados asociados a la diferencia en la respuesta biol3gica y oceanogr3fica a los eventos “El Niño” a3n no es clara y ha sido discutida en el hemisferio norte, dando como posible explicaci3n que la forma de la onda atrapada a la costa que se propaga hacia el polo en ambos eventos fue diferente, una onda de surgencia y otra de hundimiento (Zamudio *et al.* 2007). En el caso de “El Niño” 2009, en la costa de Sudam3rica se han registrado condiciones fr3as y de baja salinidad. Estas condiciones reflejan la ocurrencia de un tipo de “El Niño” diferente al tradicional, en el cual el calentamiento se restringe solamente a la zona central del Océano Pacifico Ecuatorial. A este “Niño” se le ha dominado como “El Niño Madoki” (del japon3s, similar pero diferente) y para algunos investigadores es reflejo de un cambio derivado del proceso de calentamiento global del planeta (NOAA, 2009). Este particular tipo de “El Niño” explicaría la nula respuesta de las variables durante agosto de 2009.

De manera general, se observ3 que los huevos de la especie mostraron un comportamiento espacial m3s bi3n costero, en que las mayores agregaciones se encuentran en las 15-20 primeras millas de la costa. No obstante lo anterior, otros autores indican que en invierno las reparticiones espaciales del ictioplancton se encuentran en posiciones m3s oceánicas debido a una mayor cobertura territorial. En el presente crucero, los huevos de anchoveta presentaron una leve preferencia por las temperaturas de 15°-15,9°C, lo cual es coincidente a lo mencionado por Braun *et al.*, (2008c) 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 la distribuci3n espacio-temporal de los adultos de la especie ha sido relacionada con gradientes térmicos relevantes, Silva *et al.*, (2003). En cuanto a la



salinidad, se observó que los huevos de anchoveta muestran una nítida preferencia por el rango 34,7-34,89 psu.

La distribución espacial de los últimos años indicó que existen dos sectores principales, el primero está localizado en los alrededores del puerto de Arica y tiene una baja extensión espacial, un segundo núcleo se ubicó en las proximidades de Punta Lobos. Cabe destacar que 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*. No obstante lo anterior, desde el año 2007 la distribución varió y los huevos de anchoveta se ubicaron más al norte del área de estudio.

Por su parte, el patrón de distribución de los centros de gravedad indicó que éstos se posicionaron mayoritariamente en las primeras millas de la costa, no obstante lo anterior, se apreció que entre el 2004-2007 los **CG** tienden a localizarse en sectores más oceánicos. Sin embargo, en los años 2008 y 2009 los **CG** vuelven a posicionarse en sectores costeros. Lo anterior es concordante con lo mencionado por otros autores, que señalan que los focos más importantes de huevos de la especie tienden a ubicarse en las primeras millas de la costa (Oliva *et al.*, 2003 y Braun *et al.*, 2008c). También es importante destacar que en el año 2007, debido a la influencia del evento “La Niña” el centro de gravedad se desplazó hacia el norte, a su vez Yáñez *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 eventos ENOS.



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 (pseudó  $R^2$ ) 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°S 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. Por su parte, las salinidades no presentan un efecto claro sobre la presencia y densidad de huevos. Asimismo, el análisis integrado de los cruceros estacionales, indica que las menores probabilidades de éxito de encontrar huevos de anchoveta junto con las menores densidades correspondieron a los años 1995, 1996, 1999, 2001, 2003, 2007 y el 2009, este último año con una muy baja probabilidad de éxito de encontrar huevos.



En términos de las temperaturas a 10 m promedio del crucero, que son las utilizadas en los cálculos de edad de los huevos, el año 2009 se encuentra dentro de los rangos normales o ENSO neutro, después del fuerte evento “La Niña” del 2007 (**Figura 66**). El área de desove se presentó muy restringida a la zona costera y está dentro de las más bajas de la serie histórica.

La frecuencia de desove de anchoveta estimada para el invierno de 2009 es muy similar a la encontrada durante el año 2007 y 2008. Sin embargo, se debe tener cautela al comparar con años previos ya que existen diferencias metodológicas importantes a partir del 2007, debido al avance que significa el establecer siete categorías de FPO. La sucesión de los estadios de degeneración de los FPO es un proceso continuo con un solapamiento entre los estadios contiguos, lo cual es indicador de la variabilidad natural en el proceso degenerativo y probablemente en la variabilidad de la hora de desove. De acuerdo a los resultados para anchoveta de la zona norte, los primeros cuatro estadios tienen una duración inferior a 24 h, lo que es coincidente con lo reportado por Alday *et al.* (2008) para *Engraulis encrasicolus*. Para los siguientes estadios se necesitaría adoptar ciertas asunciones para clasificarlas en cohortes de desove, debido al fuerte solapamiento de las distribuciones horarias de los estadios. Por tanto el uso de FPO menores a 24 horas (1 día) es más objetivo y confiable para la estimación de fracción desovante. Un avance durante este año es la utilización de los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5), Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM 7) como pertenecientes al grupo de hembras que desovarán dentro de las próximas 24 horas, por tanto se puede utilizar como otro estimado y combinarlos con el grupo de desove de la noche anterior (FPO I al IV).



La relación de la fecundidad parcial con el peso corporal mantiene la tendencia general. Sin embargo, la fecundidad promedio poblacional es la mas baja de la serie, producto del bajo peso de las hembras. Esto último concordante con una reducida distribución de tallas.

No se observa una relación entre la fecundidad específica, esto es el resultado de los parámetros de adultos del modelo de estimación de biomasa ( $F \cdot E \cdot R / W$ ; N° huevos por gramo de población) y la producción diaria de huevos, de acuerdo a lo señalado por Somarakis *et al*, (2004) para anchovetas europeas. Según estos autores, esto se debería principalmente a que en áreas de upwelling, la producción diaria de huevos es generalmente mucho más alta para un estrecho rango de valores de fecundidad específica. Probablemente, la condición trófica y la capacidad de carga de las áreas de upwelling es mucho mayor que en los mares oligotróficos europeos, soportando mucha más alta biomasa por unidad de área de mar (Somarakis *et al*, 2004).

El Modelo Multinomial predice un valor de mortalidad diaria de huevos que no es significativamente distinto de cero, debido al bajo número de puntos para el ajuste y una alta dispersión, por lo que el estimado de biomasa debe ser tomado con cautela. Siendo para el año 2009 la biomasa proveniente del Modelo tradicional de Lo la mejor alternativa.

Somarakis *et al* (2004) encuentra una relación lineal entre el área de desove y la biomasa desovante estimada, que en el caso de la zona norte de Chile también se verifica, mostrando sin embargo mayor dispersión. El año 2009 se encuentra dentro de la tendencia general (**Figura 67**). Esta relación implica un uso denso-dependiente del hábitat de desove por parte de la anchoveta, es decir, es probable



que cuando la biomasa por unidad de área en la zona de desove excede cierto umbral, los peces tienden a esparcirse sobre una mayor área, para evitar interacciones intraespecíficas como competencia trófica y/o canibalismo de huevos (Somarakis *et al.*, 2004).

El coeficiente de variación asociada a la biomasa estimada es la más alta de la serie histórica, lo que se transmite desde la varianza asociada a la Producción diaria de huevos ( $P_o$ ), producto de un número muy bajo de puntos para el ajuste, debido a un bajo número de huevos distribuidos en una pequeña área.

Aún no se tiene una explicación para los cambios en la localización de las áreas de desove de la anchoveta de la zona norte. Las variables estudiadas hasta el momento (Temperatura, salinidad, oferta de alimento, profundidad de la termoclina) no explican las zonas de desove. En otras palabras, para la zona norte aún no se tiene una explicación para las “preferencias” de las hembras por el hábitat de desove. Sin embargo, la extensión de las áreas de desove (en términos de millas náuticas cuadradas) presenta una estrecha relación con las capturas totales del año (**Figura 68**), estando el año 2009 en la tendencia general. Esta relación se explicaría por los cambios en las áreas de desove en función de la disponibilidad o abundancia de anchoveta en la zona norte, asumiendo que la captura total del año es un buen indicador de la abundancia/disponibilidad. Es decir, cuando la abundancia/disponibilidad es alta, la anchoveta tiende a desovar en una zona más amplia en comparación a años de menor abundancia/disponibilidad, lo que implica una utilización denso-dependiente del hábitat de desove por la anchoveta.



## IX. CONCLUSIONES

---

Desde junio de 2009 un evento c3ldo, “El Ni3o”, se ha desarrollado en el cintur3n Ecuatorial y se pronostica su duraci3n hasta oto3o de 2010.

Durante agosto de 2009, no se encontraron evidencias de la influencia de “El Ni3o” en la zona norte de Chile, debido a la presencia de un fen3meno singular llamado “El Ni3o Madoki” que no afect3 la costa sudamericana durante el per3odo de realizaci3n del crucero.

Las anomal3as horizontales y verticales de temperatura y de salinidad se3alan la presencia de eventos locales y de mesoescala y pero no muestran una influencia de un evento c3ldo en el Pac3fico Sur.

La variabilidad del viento gener3 diferencias espaciales y temporales en la intensidad, transporte de Ekman y turbulencia. En t3rminos espaciales el transporte de Ekman fue similar entre Iquique y Antofagasta siendo un periodo con relativamente altos valores de transporte asociados a eventos cortos.

La actividad de mesoescala y el campo horizontal de viento permiten separar la zona de estudio en dos 3reas, una al norte y otra al sur de la latitud 22°S, ya que desde esa latitud al sur se registr3 una mayor actividad de giros y una mayor intensidad del viento durante el periodo del crucero en relaci3n al resto de la zona ubicada al norte.

El crecimiento y posterior desprendimiento de un giro de mesoescala desde la pen3nsula de Mejillones determina la formaci3n de un filamento de gran



envergadura espacial caracterizado por menores temperaturas y menores salinidades que se proyectó al noroeste alrededor de la península de Mejillones.

El desarrollo del filamento de mesoescala modificó la estructura vertical en la columna de agua desde punta Coloso a punta Gualaguala.

Máximos subsuperficiales de clorofila y bajos valores de feopigmentos sugieren una baja productividad biológica durante el periodo de muestreo.

Bajos niveles del mar sugieren el paso de una onda atrapada a la costa que genera un ascenso de la termoclina y la capa de mínimo oxígeno al norte de Mejillones.

Las características particulares de “El Niño” 2009, que no ha afectado la costa sudamericana, condicionan una baja respuesta del primer modo de la temperatura, densidad y huevos de anchoveta

El área prospectada fue de 38289 mn<sup>2</sup>. El área de desove estimada correspondió a 1743 mn<sup>2</sup>, la cual está dentro de las más bajas de la serie histórica para anchoveta.

La producción diaria de huevos estimada para el modelo de Lo es de 148,65 huevos/0,05m<sup>2</sup>/día con un coeficiente de variación de 54%. En el modelo multinomial la estimación es de 111,46 huevos/0,05m<sup>2</sup>/día con un coeficiente de variación de 0,64.



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.

Combinando el grupo de hembras que desovarán dentro de las próximas 24 horas, con el grupo de desove de la noche anterior, la fracción diaria de hembras desovantes se estima en 0,31 con una varianza de 0,00031 y un coeficiente de variación de 6%.

La fecundidad media poblacional resulta de 8410 ovocitos, con una varianza de 124.469 y un coeficiente de variación de 4%.

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó un promedio de 0,43, una varianza igual a 0,00045 y un coeficiente de variación de 5%.

El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 17,96 gramos, con una varianza de 0,396 y un coeficiente de variación de 4%.

La biomasa desovante estimada por el modelo tradicional de Lo resulta en 287.916 ton, con una varianza de 5.283E+11 y un coeficiente de variación de 252%. Por el Modelo Multinomial se estima una biomasa de 215.886 ton con una varianza de 4.172E+11 y un coeficiente de variación de 299%. Esta última debe considerarse con cautela debido a que el término asociado a la mortalidad de huevos en el modelo de decaimiento no es significativo.



## X. BASE DE DATOS

La estructura de las bases de datos, con toda la informaci3n recopilada durante la ejecuci3n del proyecto FIP 2009 - 01 "Evaluaci3n del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, a3o 2009" 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: **CRUCE521**, 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
institución	28	E 2
crucero	30	E 3
estación	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**

identificaci3n	1	35 (Repetici3n)
profundidad (m)	36	E 4
temperatura (°C)	40	R 4.2
salinidad	44	R 5.3
oxigeno (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: N3mero de columnas

Columna 28 y 29 - c3digos instituci3n : 01=SHOA, 02=IFOP, 03=UCV, 04=SSP y 05=otros

Columna 76 - c3digos del tipo de datos: B = botellas, C = CTD

Columna 80 - c3digo control : 1 identificaci3n de la estaci3n y 2 3ltimo dato observado

Los datos meteorol3gicos se encuentran codificados de acuerdo las normas y c3digos del NODC. A continuaci3n se entregan codificaciones realizadas a los datos meteorol3gicos.



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	periodo	
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 2009.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 MPH 2009

Nombre del archivo

cru-521- cloa: indica el número del crucero - variable clorofila

Estructura interna:

Columna A	CRU	número de crucero
Columna B	EST	estación
Columna C	PROF	profundidad
Columna D	CLOA	clorofila-a en µg/L
Columna E	FEOP	feopigmentos en µg/L



## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Aitchison, J., & J. A.C. Brown. 1957.** The lognormal distribution. Cambridge University Press, Cambridge, MA. 387 p.
- Alday, A., A. Uriarte, M. Santos, I. Marín, A. Martínez de Murgia y L. Motos. 2006.** Degeneration of postovulatory follicles of Bay of Biscay anchova (*Engraulis encrasicolus*). Resúmenes XXVI Congreso de Ciencias del Mar, Iquique 22-26 de Mayo. 191 p.
- Alday, A; A. Uriarte; M. Santos; I. Martín; A. Martinez and L. Motos. 2008.** Degeneration of postovulatory follicles of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.). *Scientia marina* 72(3): 565-575.
- Augustin, H.N. D.L. Borchers, E.D. Clarke, S.T. Buckland & M. Walsh. 1998.** Spatiotemporal medelling 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. Deparment of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 671, 103 pp.
- Bakun, A. 1975.** Daily and weekly upwellind indices, West Coast of North America, 1967 – 1973. U.S. Deparment 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.
- Bakun, A. 2006**. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptative response and competitive advantage, *Scientia marine*, 70S2, 105-122.
- 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., D.L. Borchers, I. Valdez, A.L. Lanzós, y S.T. Buckland. 2001**. A new ageing method for eggs of fish species with daily spawning synchronicity. *Can. J. Fish and Aquat. Sci*, 58:2330-2340.
- Bernal, M., Stratoudakis, Y., Coombs, S., Angelico, M., Lago de Lanzos, A., Porteiro, C., Sagarminaga, Y., Santos, M., Uriarte, A., Cunha, E.,Valdes, L. and Borchers, D. 2007a**. Sardine spawning of the European Atlantic coast: Characterization of and spatio-temporal variability in spawning habitat. *Progress in Oceanography*, 74: 210-227.



- Bernal, M., Ibaibarriaga, L., Lago de Lanzos, A., Lonergan, M., Hernandez, C., Franco, C., Rasines, I., Valdes, L. and Borchers, D. 2007b.** Using multinomial models to analyse data from sardine egg incubation experiments; a review of advances in fish egg incubation analysis techniques. ICES Journal of Marine Science (advance access). doi:10.1093/icesjms/fsm164.
- H. Bjornsson** and A. Venegas. 1997. A manual for EOF and SVD Analices of climatic data. 1997 (Center for climatic and global change research).
- 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 hidrographics conditions in the upweling region off nortern Chile. J. Geophis, 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 of the daily egg production method using generalized additive models. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 54: 2727 –2742.
- Braun, M.; H. Reyes; J. Osses, J. Castillo y V. Catasti. 2002.** Monitoreo de las condiciones bioceanográficas 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 entre la I y II regiones, año 2002. Informe Final. Fondo de Investigación Pesquera, Valparaíso, pp. 300.
- Braun, M., H. Reyes, V. Valenzuela, E. Pizarro, J. Castillo y V. Catasti. 2004a.** Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2002. Informe Final FIP N°2002-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 183 p + 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 la anchoveta en la I y II Regiones, año 2004. Informe Final Consolidado Corregido FIP N°2004-04, Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 154 p + Tablas, figuras y anexo.
- Braun, M., J. Letelier, V. Valenzuela, H. Reyes, E. Pizarro, V. Catasti & J. R. Cañon. 2008c.** Boletín N°11. Monitoreo Bio-Oceanográficos de la I a IV regiones, Año 2007 (II Licitación). Fondo de Investigación Pesquera, Valparaíso, pp. 23. <http://www.fip.cl>.
- Braun, M., V. Valenzuela, P. Moreno, H. Reyes, M. Pizarro, J. Letelier, G. Claramunt, E. Díaz, G. Herrera, J. Sanchez, A. Flores, J. Saavedra y V. Catasti. 2008c.** Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II regiones, año 2007. Informe Final FIP 2007-01, 180 p + 17 Tablas, 61 Figuras + Anexos.



**Butler, M., C. LeBlanc, J. Belbin y J. MacNeil. 1990.** Cartografía de recursos marinos: un manual de introducción. FAO, documento técnico de pesca N° 274. 281 p.

**Cañón, 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.

**Carpenter, J. H. 1965.** The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. And Oceanogr.*, 10: 141-143.

**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.

**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 + anexo.

**Claramunt, G., G. Herrera, P. Pizarro, J. Pizarro, R. Escribano, M. Oliva, A. Olivares y A. Zuleta. 1997.** Evaluación del stock desovante de anchoveta por el "Método de Producción de Huevos" en la I y II Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 96-01. Fondo de Investigación Pesquera. Universidad "Arturo Prat" Iquique. 75 p. + anexos.



**Claramunt, G., L. Cubillos, M. Braun, R. Serra, M. Canales, J. Sanchez, A. Flores, P. Moreno, K. Riquelme, C. Castillo y C. Valero. 2007.** Mejoramiento del método de producción diaria de huevos aplicado en pelágicos pequeños. Informe final FIP N° 2006-38. 233 p.

**Cochran. 1977.** Sampling techniques. John Wiley & Sons Inc. New York. 513p.

**Cubillos, L., Castro, L., Oyarzún, C. 2005.** Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004. Informe Final FIP 2004-03.

**Eastman, J.R. 1997.** IDRISI for windows: User's Guide, Version 2.0. Clark University, Worcester, MA, USA, 346 pp.

**Eilers, P.H.C., Marx, B.D. 1996.** Flexible smoothing with B-splines and penalties (with discussion). Statistical Science 11:89-121.

**Fonseca, T. & M. Farías. 1987.** Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. Investigaciones Pesqueras. 34: 33 - 46.

**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. & R. Tibshirani, 1990.** Generalized Additive Models. London. Chapman and Hall.

**Hormazabal, S., G. Shaffer, J. Letelier and O. Ulloa. 2001.** Local and remote forcing of the sea temperature in the coastal upwelling system off Chile, *Journal of Geophysical Research*, 106 (C8), 16657-16671.

**Hormazabal, S., G. Shaffer and O. Leth. 2004.** The coastal transition zone off Chile, *Journal of Geophysical Research*, 109 (C01021), doi:10.1029/2003JC001956, 2004.

**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.



- Ibaibarriaga, L.;** M. Bernal; L. Motos; A. Uriarte; D. Borchers; M. Lonergan and S. Wood. **2007.** Characterization of stage-classified biological processes using multinomial models: a case study of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) eggs in the Bay of Biscay. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. Vol. 64, N° 3 , pp. 539-553.
- Ihaka, R** and Gentleman, R. **1996.** R: A language for data analysis and graphics. Journal of Computational and Graphical Statistics. 5:299-314.
- Jeffrey, S. W.,** R. F. C. Mantoura y S. W. Wright. **1997.** Phytoplankton pigments in oceanography: methods. Monographs on Oceanographic Methodology. SCOR and UNESCO.
- 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 pelagig 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, cholophyll, and environmental conditions in frontal regions of the western Mediterranean Sea. Deep-Sea. Res. 35(5):793-810.



**Macewicz, B.J. and J.R.Hunter, 1993.** Spawning frequency and fecundity of Jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep. 34: 112-121.

**Macewicz, B. J.; J.J. Castro; C. E. Cotero and J.R.Hunter. 1996.** Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. CALCOFI-REP, 1996, vol 37, pp. 140-151.

**Marin, V., R. Escribano, L. Delgado, G. Olivares & P. Hidalgo. 2001.** Nearshore circulation in a coastal upwelling site off the Northern Humboldt current system. Continental Shelf Research. 21: 1317-1329.

**Marin, V., L. Delgado & R. Escribano. 2003.** Upwelling shadows at Mejillones Bay (northern Chilean coast): a remote sensing in situ analysis. Investigaciones Marinas. 31(2): 47-55.

**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. Pili, H. Hidalgo, P. Barría, R. Serra y M. Nilo. 1994. Diagnóstico de las principales pesquerías pelágicas zona norte 1993. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile 135 p.

**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.

**McCullagh,** P. & J. A. Nelder. **1983.** Generalized Linear Models. New York:Chapman and Hall. 261.p

**Miranda,** A., Cal, R.M. and Iglesias, J. **1990.** Effect of temperature on the development of eggs and larvae of sardine *Sardina pilchardus* Walbaum in captivity. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 140:69-77.

**Microimages.** **1997.** TNTmips The Map & Image Processing System 5.8, User's Guide and Technical References. MicroImages, Inc, Nebraska, USA.

**Morales,** C., S. Hormazabal and J.L. Blanco. 1999. Interannual variability mesoescala distribution on the depth of the upper boundary of the oxygen minimum layer off northern Chile (18-24°S): Implications for the pelagic system and biogeochemical cycling. Journal of marine Research 57, 909-932.



**Motos, L. 1994.** Estimación de la biomasa desovante de la población de anchoa del golfo de Viscaya, *Engraulis encrasicolus*, a partir de su producción de huevos. Bases metodológicas y aplicación. PhD Thesis, Leioa, Spain.

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

**NOAA. 2009.** Electronic Source: <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI>.

**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. Diaz, C. Montenegro, V. Catasti, G. Claramunt, G. Herrera, J. Pizarro, P. Pizarro y S. Soto. **2003**. Evaluación del stock desovante de anchoveta por el método de producción de huevos en la I y II Regiones, año 2002. Instituto de Fomento Pesquero. Preinforme final. FIP N° 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.

**Parker**, R.L., Rice, J.A. **1985**. Discussion on “some aspects of the spline smoothing approach to nonparametric regression curve fitting” (by B.W. Silverman). Royal Statistical Society Series B 47:40-42.



- Parsons, T. T., 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.
- Pepin, P. 1991.** Effect of temperature and size on development, mortality and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48:503-518.
- Picquelle, S.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.
- Reyes, H. y J. Letelier.** Condiciones oceanográficas. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la XV, I y II Regiones, año **2009**. Diciembre de 2009. Informe de Avance. Proyecto FIP 2009-07.



- Reyes, H., J. Letelier y M. Pizarro. 2010.** Condiciones oceanográficas. En: Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2010. Enero de 2010. Informe de Avance. Proyecto FIP 2009-02.
- 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](http://www.seabird.com/pdf_documents/manuals/SBEDataProcessing_5.32a.pdf).
- Seber, G.H.F.1973.** The estimation of animal abundante and related parameters. Hafner Press, N.Y. 506p.
- Selman, K. and R. Wallace. 1989.** Cellular aspects of oocyte growth in teleosts. Zoological Science. 6: 211-231.
- 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. y R. P. Hewitt. 1985.** Sea survey design and analysis for an egg production method of anchovy biomass assessment. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 17-26.



- 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.
- Sobarzo, M. & D. Figueroa. 2001.** The physical structure of a cold filament in a Chilean upwelling zone (Península de Mejillones, Chile, 23°S). Deep Sea Research I. 48 (2001): 2699-2726. doi:10.1016/S0967-0637(01)00031-0.
- Soto, S. 2001.** Tasa de desarrollo de huevos de *Engraulis ringens* Jenyns en función de la temperatura. Tesis para optar al título de Biologo Pesquero. Universidad Arturo Prat, Iquique.
- Stauffer, G.D. and S.J. Picquelle. 1985.** Procedures for sorting, staging, and ageing eggs. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 33-35.
- 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).
- 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.
- Stéfansson, G. 1996.** Analysis of groundfish survey abundance data; combining than GLM and delta approaches ICES J. Mar. Sci. 53: 577-588



- Stratoudakis, Y., M. Bernal, M.F. Borchers. 2003.** Changes in the distribution of sardine eggs and larvae off Portugal, 1985-2000. *Fisheries Oceanography*, 12:49-60.
- Strub, P., J. Mesías, V. Montecino, J. Rutlland & S. Salinas. 1998.** Coastal ocean circulation off western south America. Chapter 10. En. *The sea: The global coastal ocean, regional studies and synthesis*. vol.11 A. R. Robinson, & K. H. Brink (Eds.). John Wiley and Sons, Inc., New York. 273-313 pp.
- SUBPESCA, 2010.** Informe Sectorial de Pesca y Acuicultura. Diciembre 2009. Departamento de Análisis Sectorial, 22 p.
- 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.
- Van der Lingen, C., L. Hutchings, D. Merkle, J. van der Westhuizen and J. Nelson. 2001.** Comparative spawning habitats of anchovy (*Engraulis capensis*) and sardine (*Sardinops sagax*) in the southern Benguela upwelling ecosystem. P. 185-209. In: G. Kruse, N. Bez, T. Booth, M.Dorn, S. Hills, R. Lipcius, D. Pelletier, C. Roy, S. Smith and D. Witherell. (Eds). *Spatial processes and Management of Marine Populations*. University of Alaska Sea Grant, USA.



**Wahva, G. 1980.** Splines bases, regularization and generalized cross validation for solving approximation problems with large quantities of noisy data. In: Cheney, W. (Ed.) *Approximation Theory III*. Academic Press, New York.

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

**Wolter, K. & M. S. Timlin. 1998.** Measuring the strength of ENSO events - how does 1997/98 rank? *Weather.* 53: 315-324.

**Wood, S.N. 2002.** Modelling and smoothing parameter estimation with multiple quadratic penalties. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 62:413-428.

**Wood, S.N. 2003.** Thin plate regression splines. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 62: 95-114.

**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.



**Zamudio**, L, H Hurlburt, J Metzge & C Tilburg. **2007**. Tropical wave-induced oceanic eddies at Cabo Corrientes and the Maria Islands, Mexico. *Journal of Geophysical Research*. 112 (C05048): doi:10.1029/2006JC00401.

# FIGURAS

---



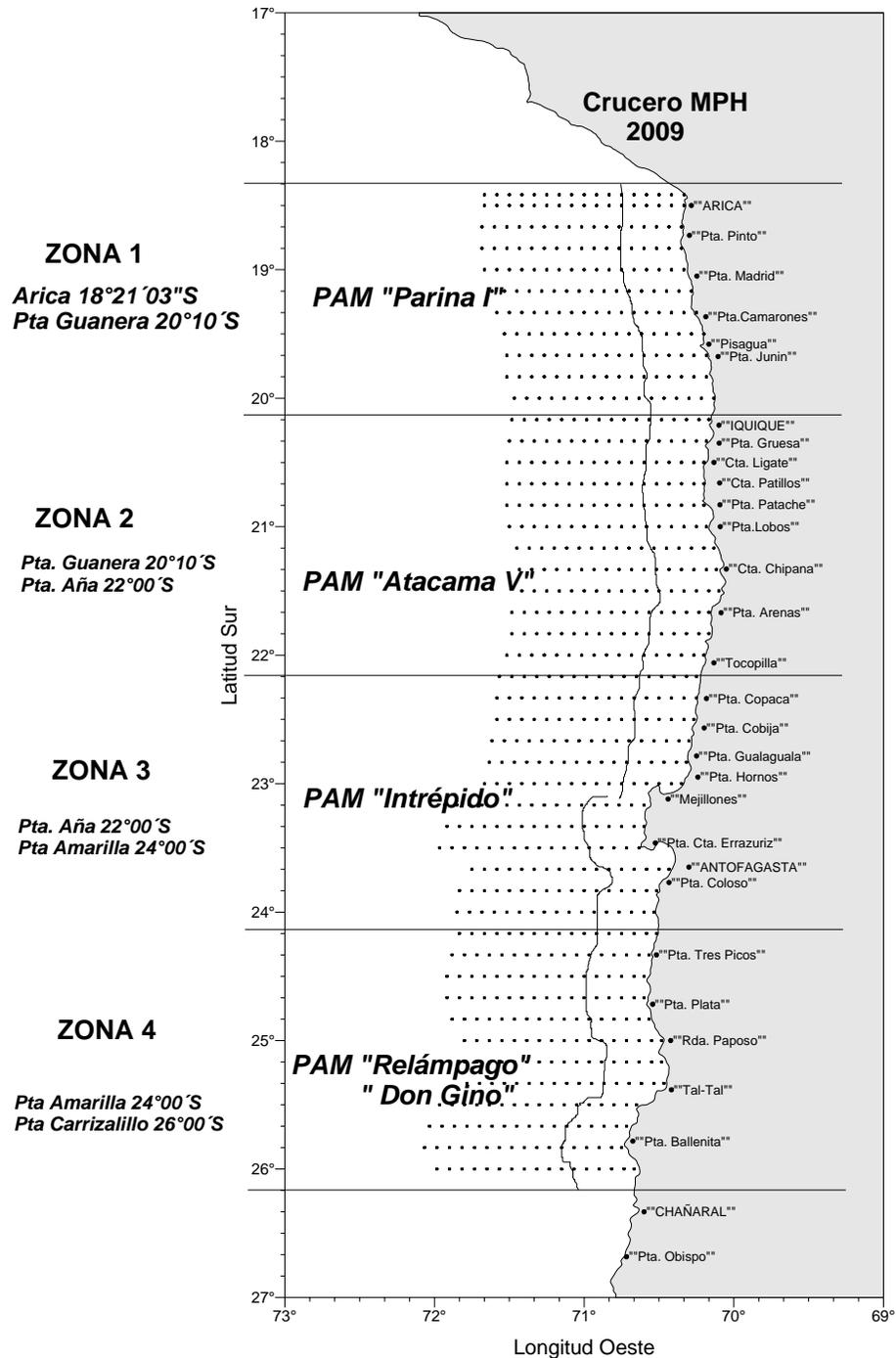


Figura 1. Rango latitudinal de operaci3n de los barcos cerqueros industriales que trabajaron en forma conjunta en la recolecci3n de adultos de anchoveta. Crucero MPH 2009.

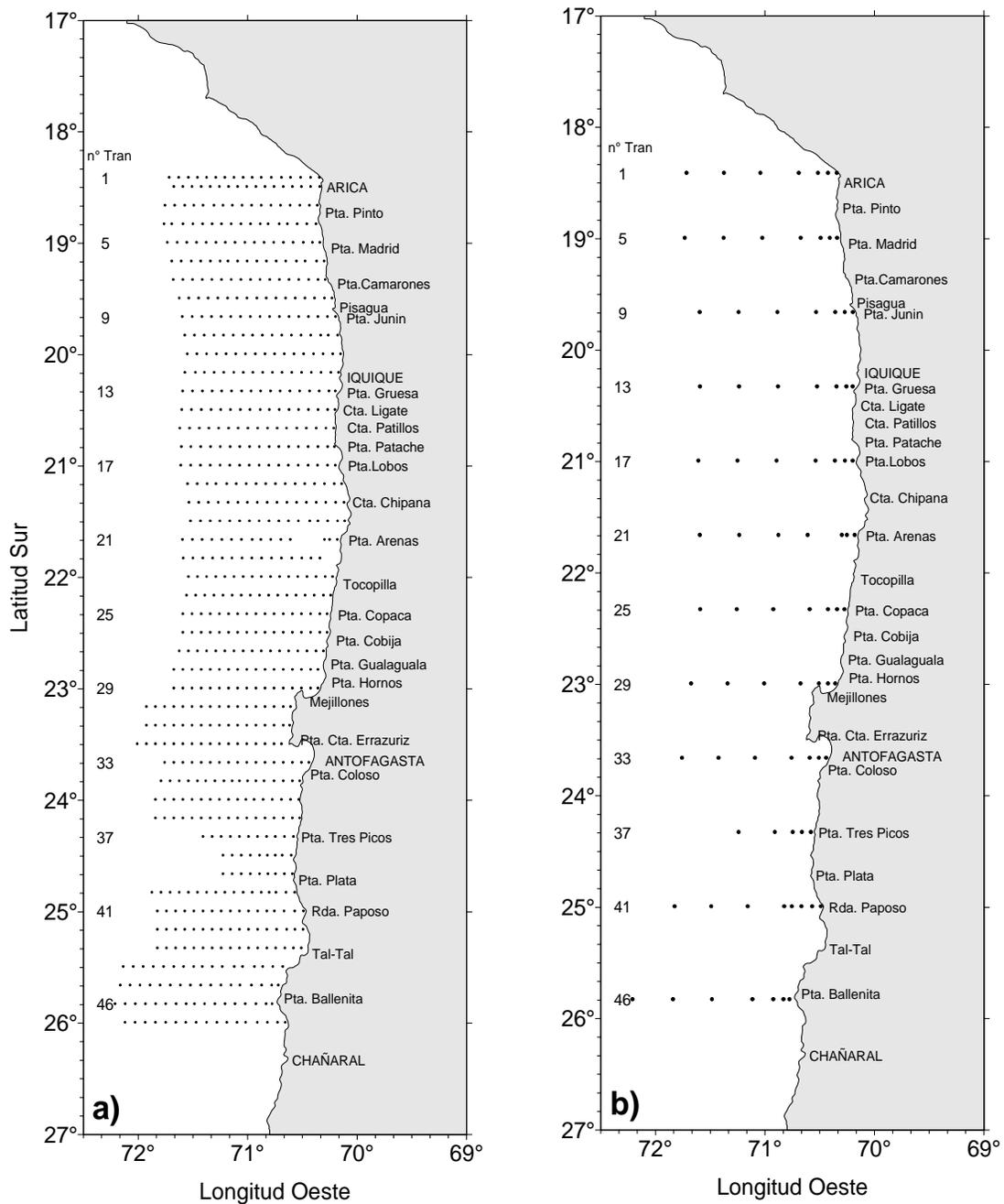


Figura 2. Ubicaci3n geogr3fica de a) estaciones oceanogr3ficas y b) estaciones con muestreo de clorofila y ox3geno (estaciones oceanogr3ficas profundas). Crucero MPH - Invierno 2009.

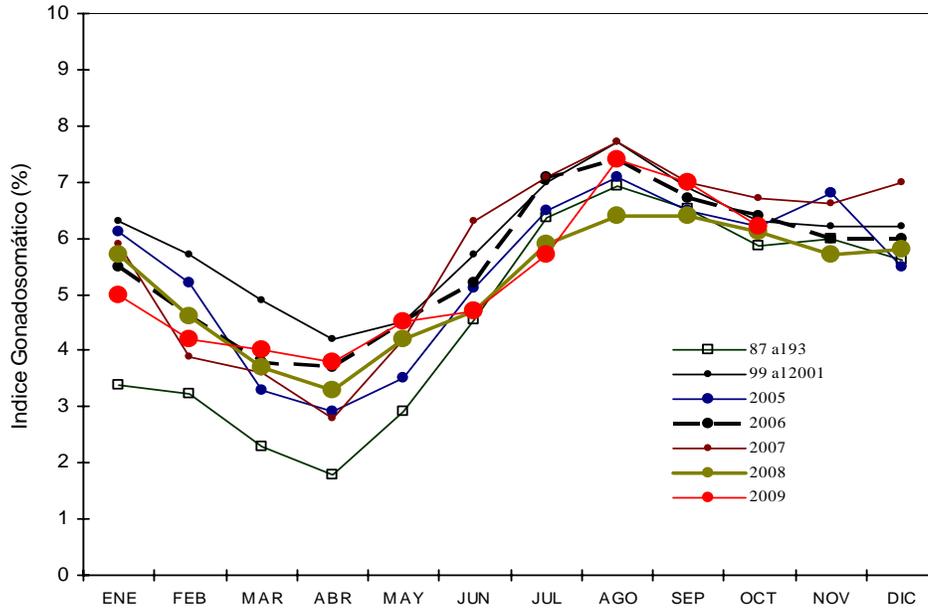


Figura 3. Evoluci3n mensual del indice Gonadosomático de la anchoveta en la Zona Norte.

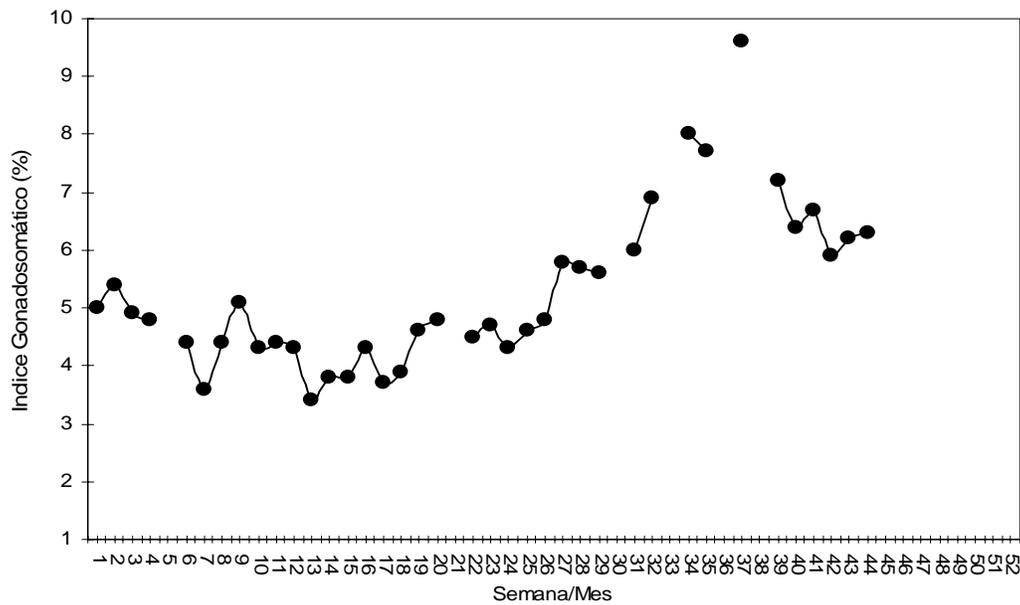


Figura 4. Evoluci3n semanal del Indice Gonadosomático de la anchoveta en la Zona Norte. Año 2009.

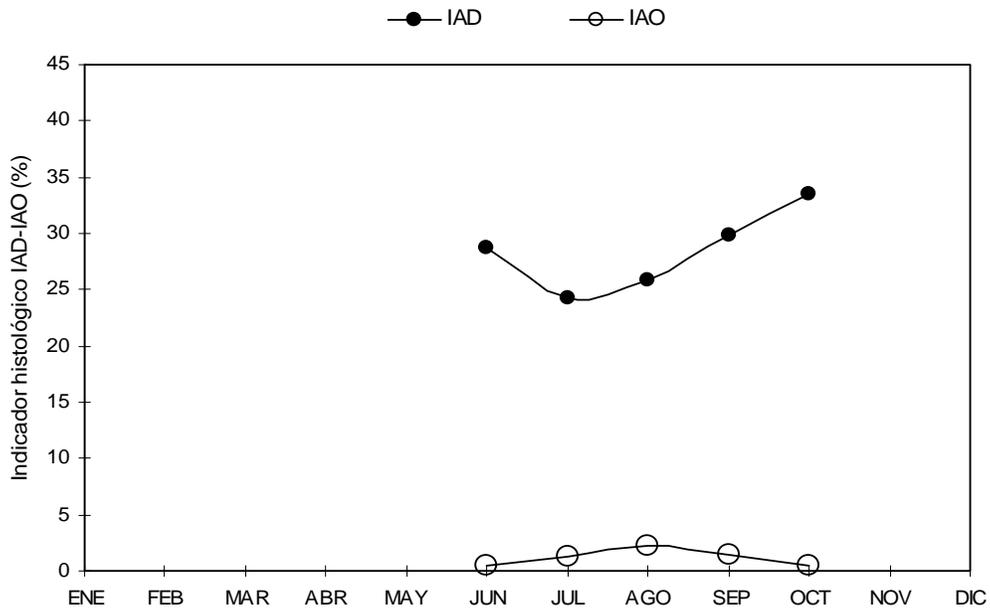


Figura 5. Evoluci3n mensual del 3ndice de Actividad de Desove (IAD) e 3ndice de Atresia Ov3rica (IAO). A3o 2009.

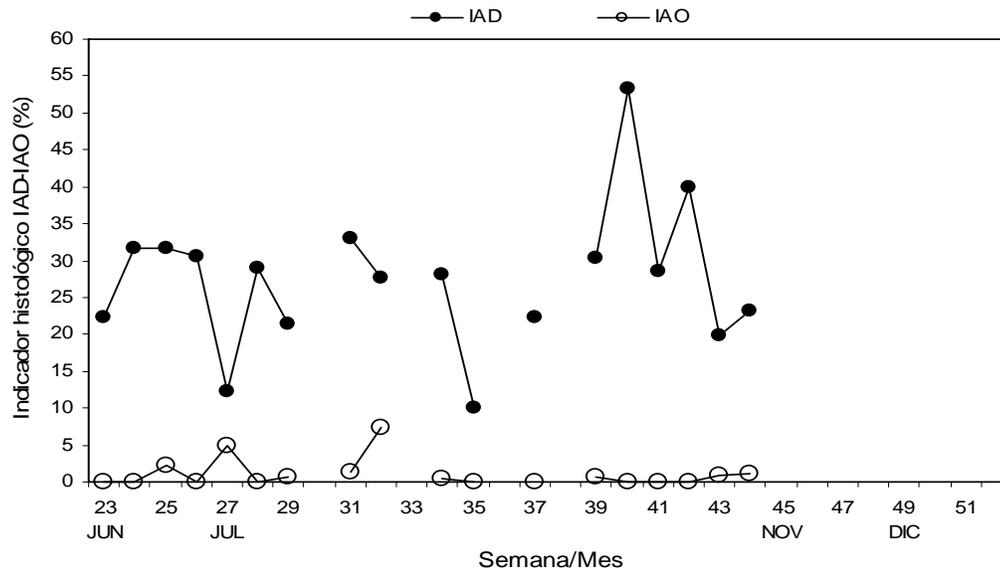


Figura 6. Evoluci3n semanal del 3ndice de Actividad de Desove (IAD) e 3ndice de Atresia Ov3rica (IAO). A3o 2009.

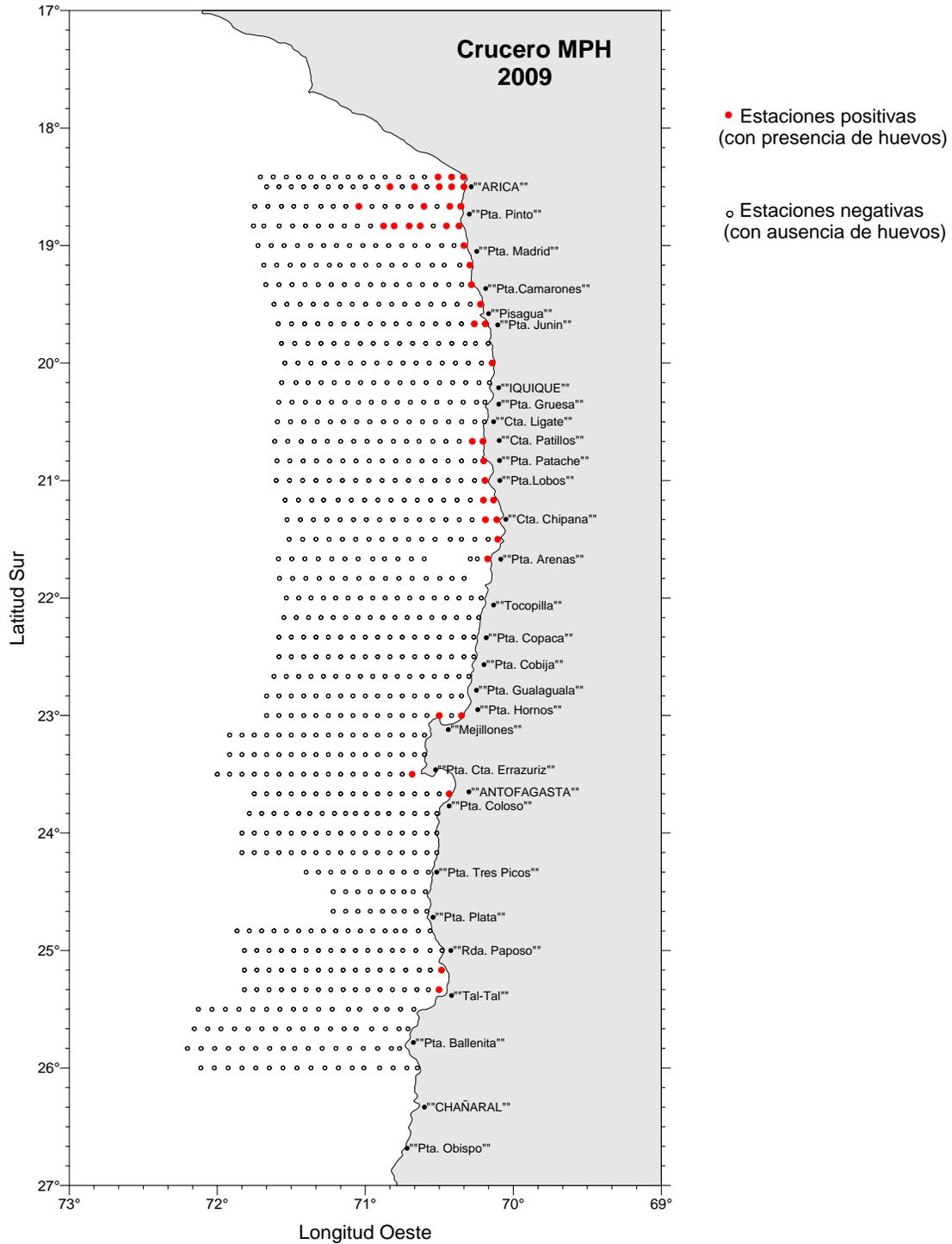


Figura 7. Distribuci3n geogr3fica de las estaciones planct3nicas con presencia y ausencia de huevos de anchoveta. Crucero MPH 521(3)09 Eperva-57 - Invierno 2009.

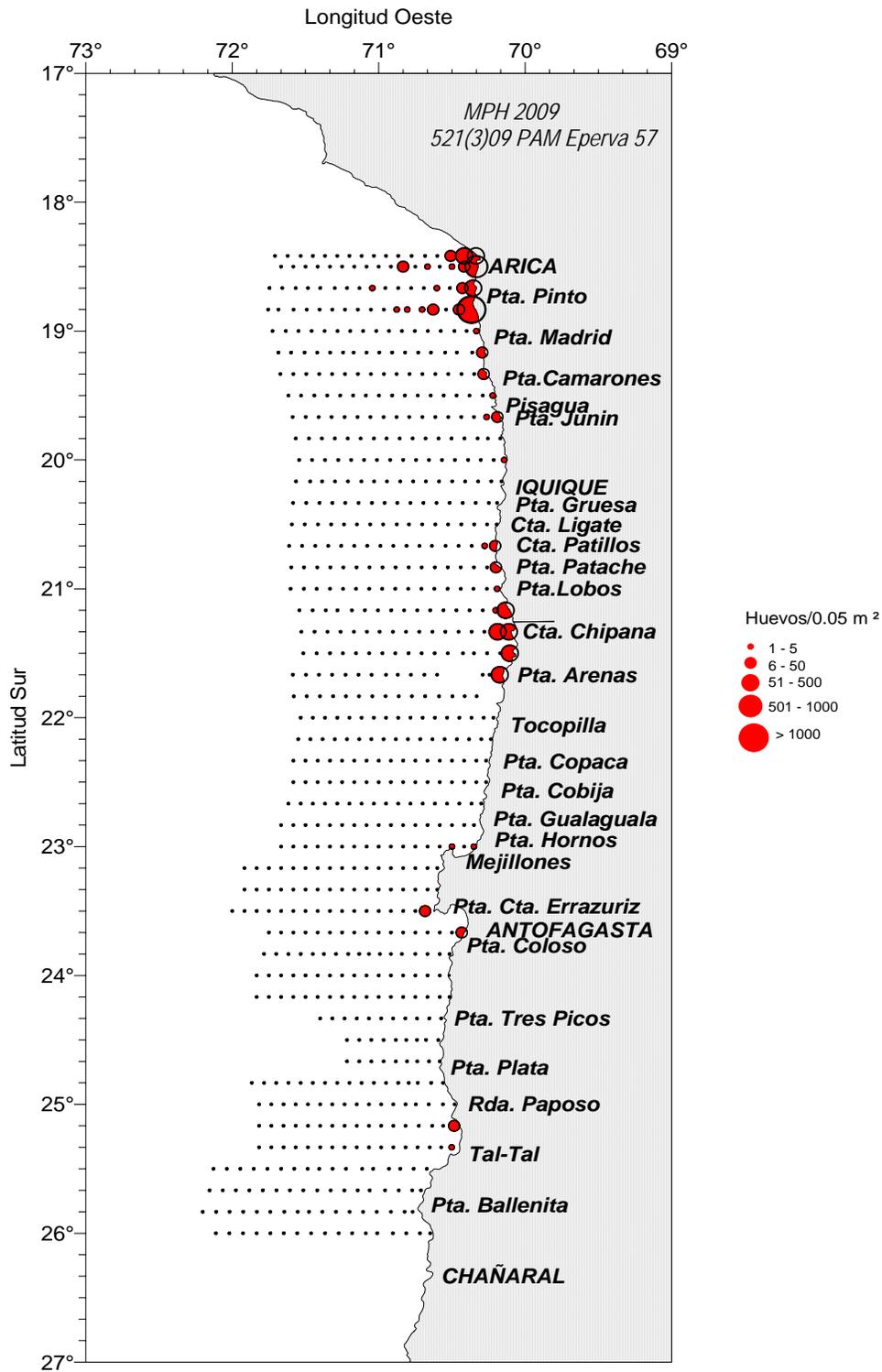
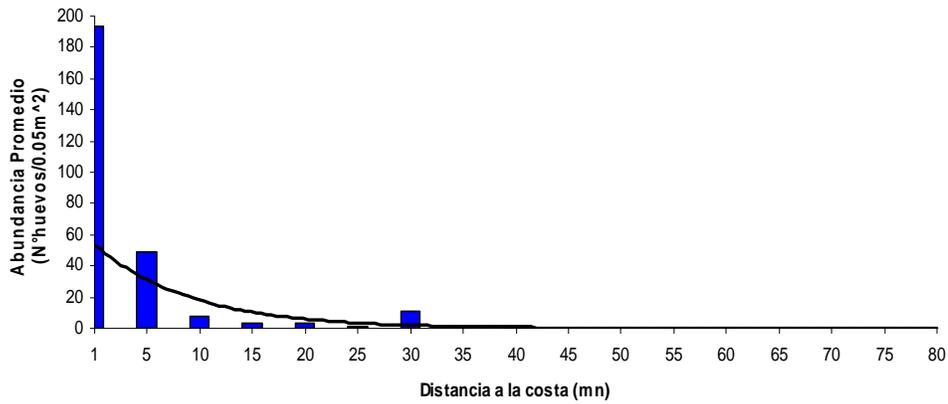


Figura 8. Distribuci3n y abundancia de huevos de Anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2009.



(a)



(b)

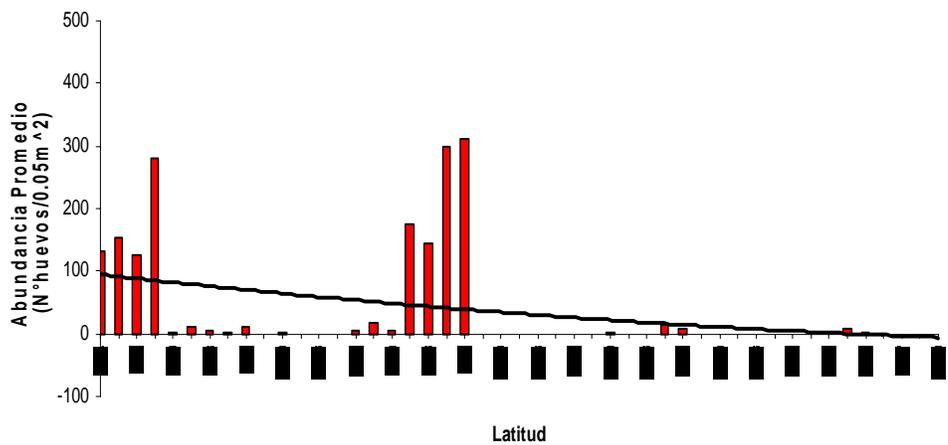


Figura 9. Distribuci3n de la densidad promedio de huevos de anchoveta con respecto a la distancia de la costa (a) y con respecto a la latitud (b). Crucero MPH – Invierno 2009.

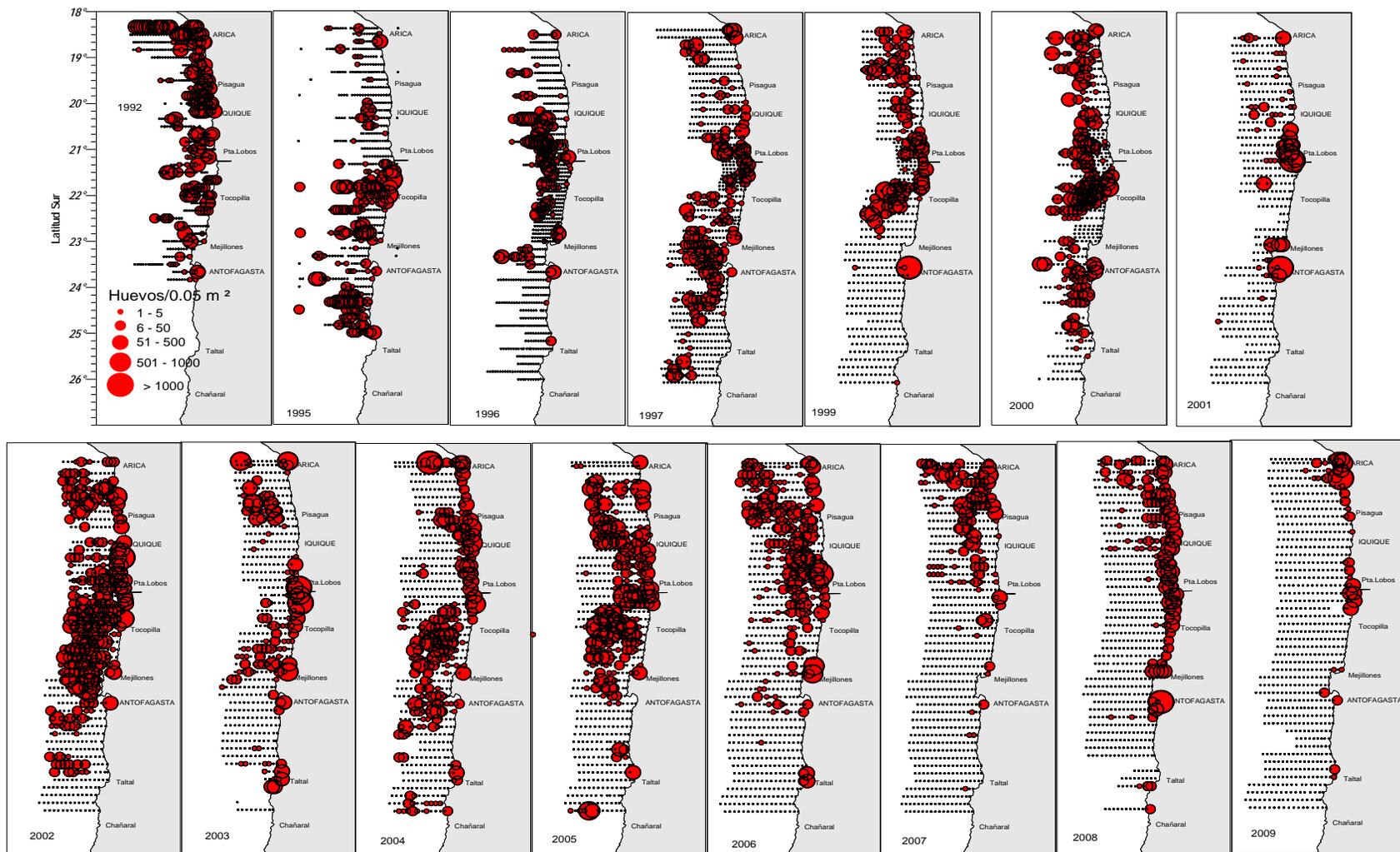


Figura 10. Distribuci3n espacial y abundancia de huevos de Anchoвета. Cruceos MPH Inviernos 1992 - 2009.

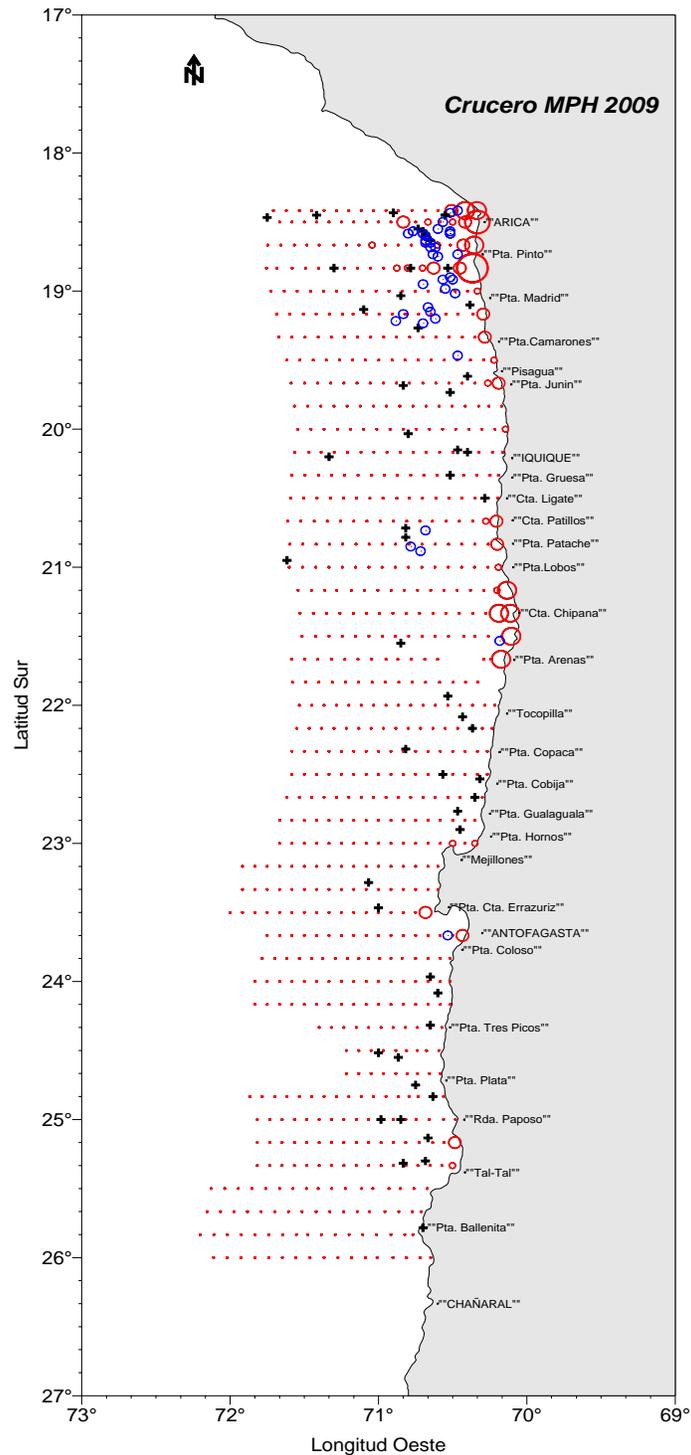


Figura 11. Distribuci3n espacial de los lances de pesca v/s los huevos de anchoveta. Crucero MPH Invierno 2009. Color azul: lances efectivos; color negro: lances no efectivos y color rojo: huevos de anchoveta.

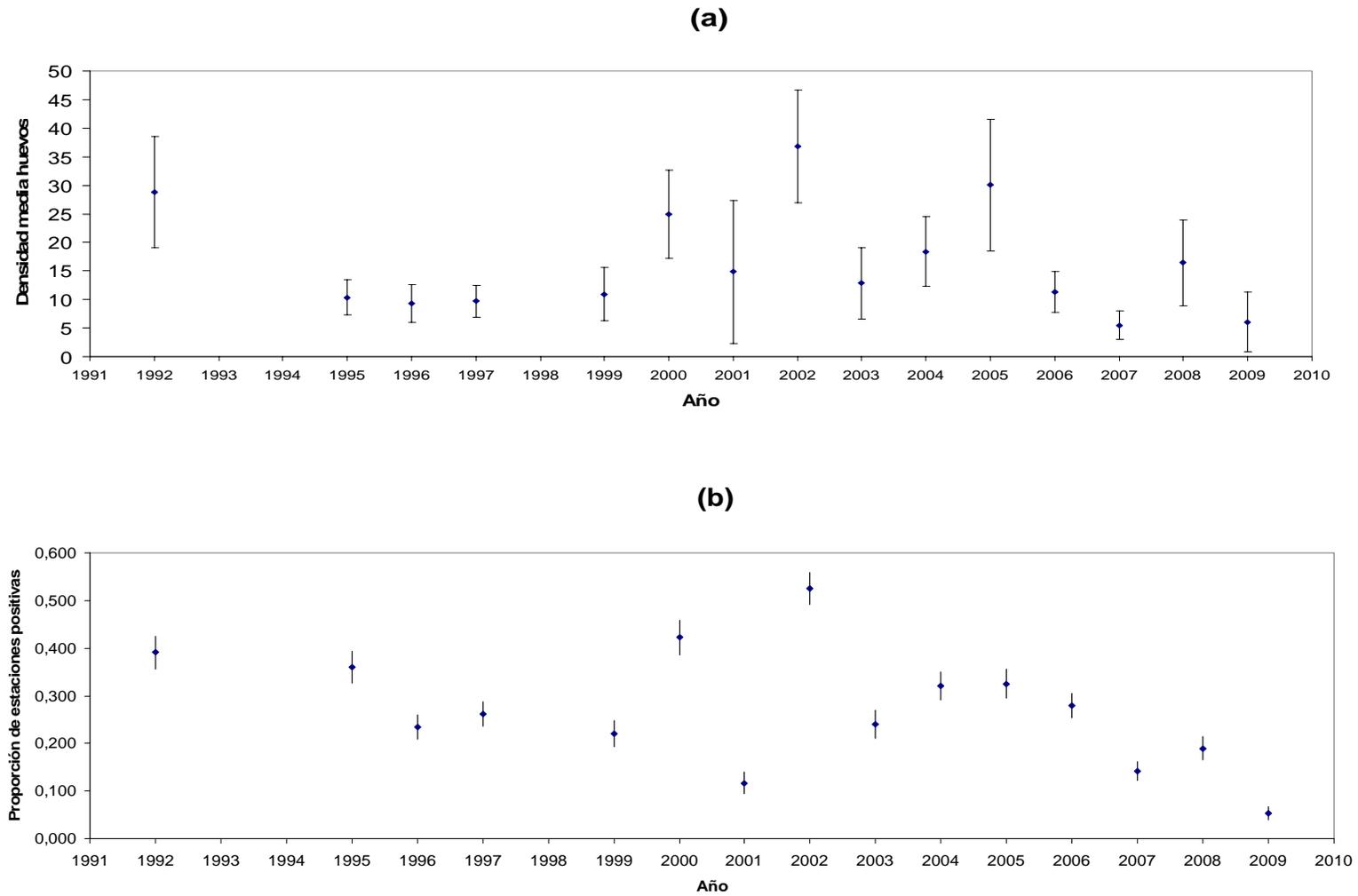


Figura 12. (a) Densidad media de huevos de anchoveta estimada para el período 1992-2009, a través del estimador de la media de una distribución delta y (b) proporción de estaciones positivas (con huevos), período 1992-2009.

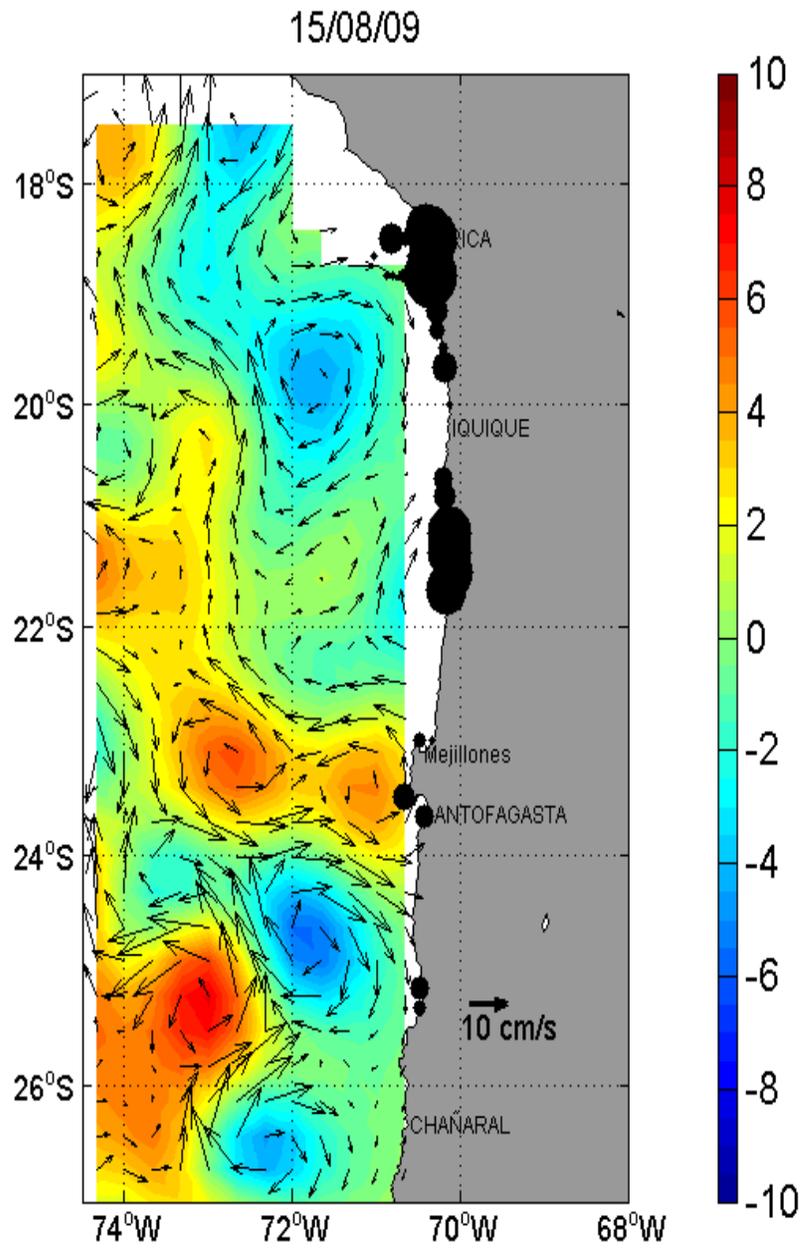


Figura 13. Distribuci3n espacial de huevos y velocidades geostróficas(cm/s) durante agosto de 2009.

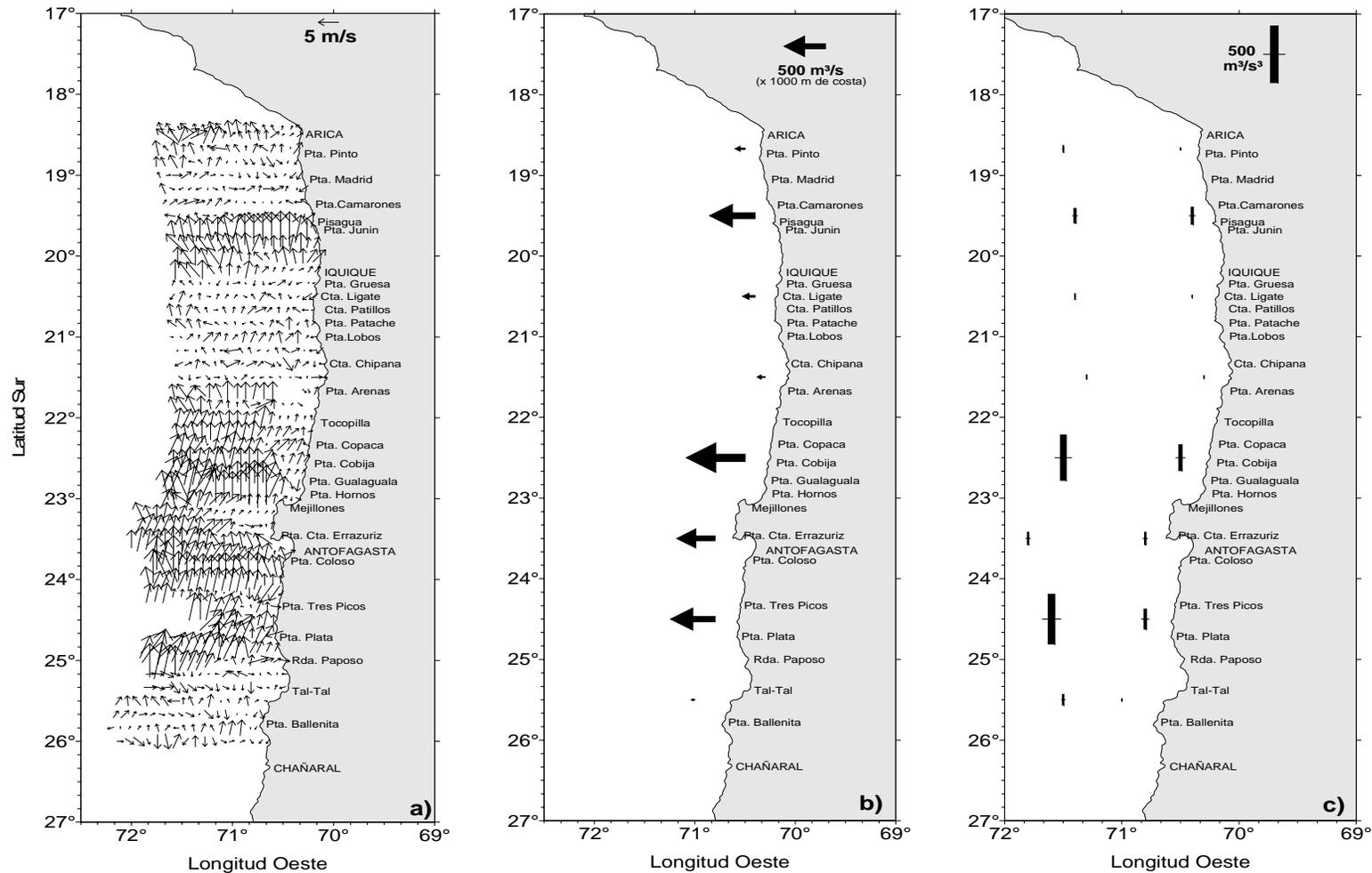


Figura 14. Informaci3n de a) direcci3n e intensidad del viento (m/s), b) índice de surgencia promedio de las observaciones en las primeras 30 mn por grado de latitud y c) índice de turbulencia promedio costero y oceánico por grado de latitud del viento predominante medido en las estaciones oceanográficas. Crucero MPH - Invierno 2009.

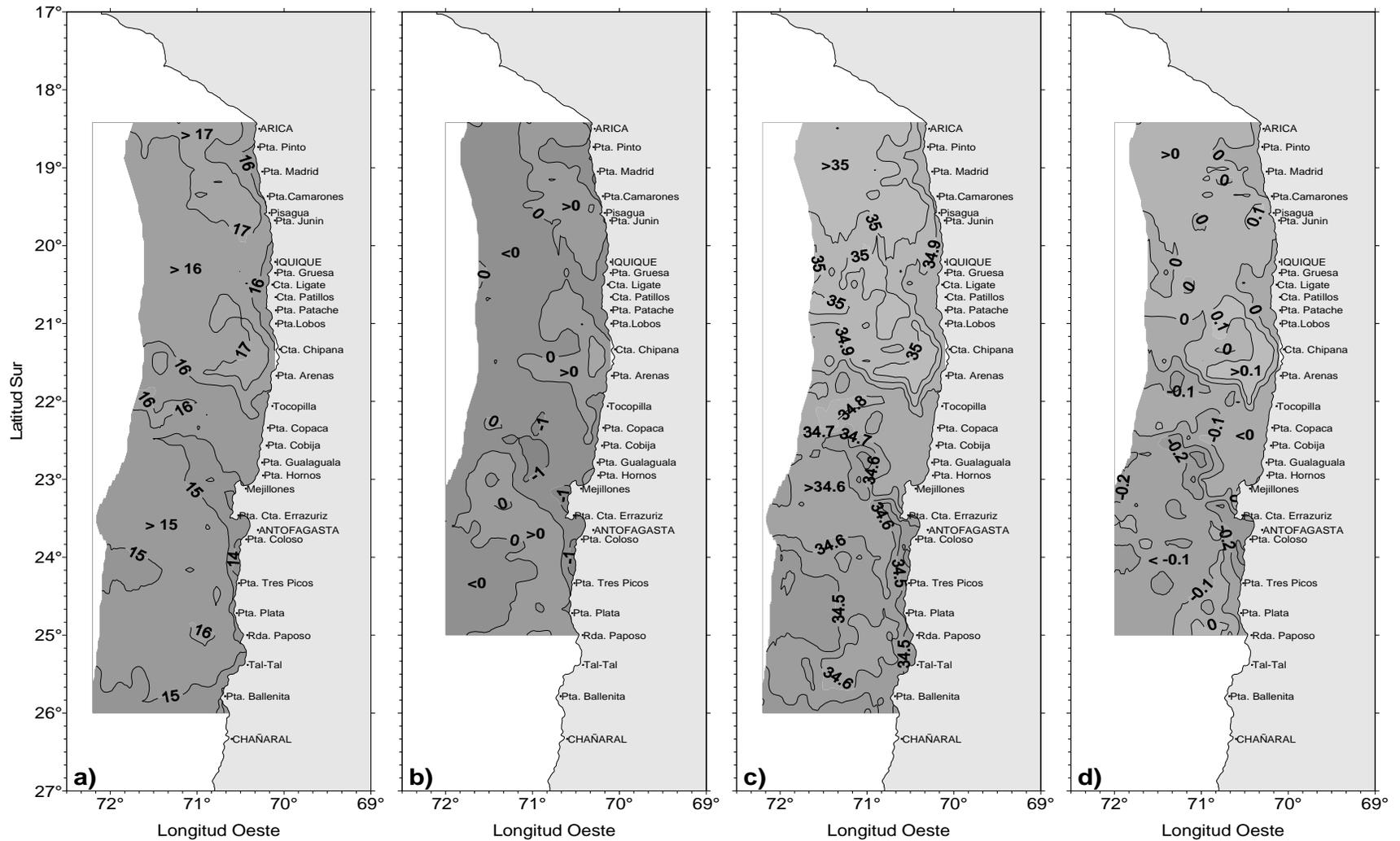


Figura 15. Distribuci3n superficial de a) temperatura ( $^{\circ}$ C), b) anomalía de temperatura ( $^{\circ}$ C), c) salinidad (psu) y d) anomalía de salinidad (psu). Crucero MPH - Invierno 2009.

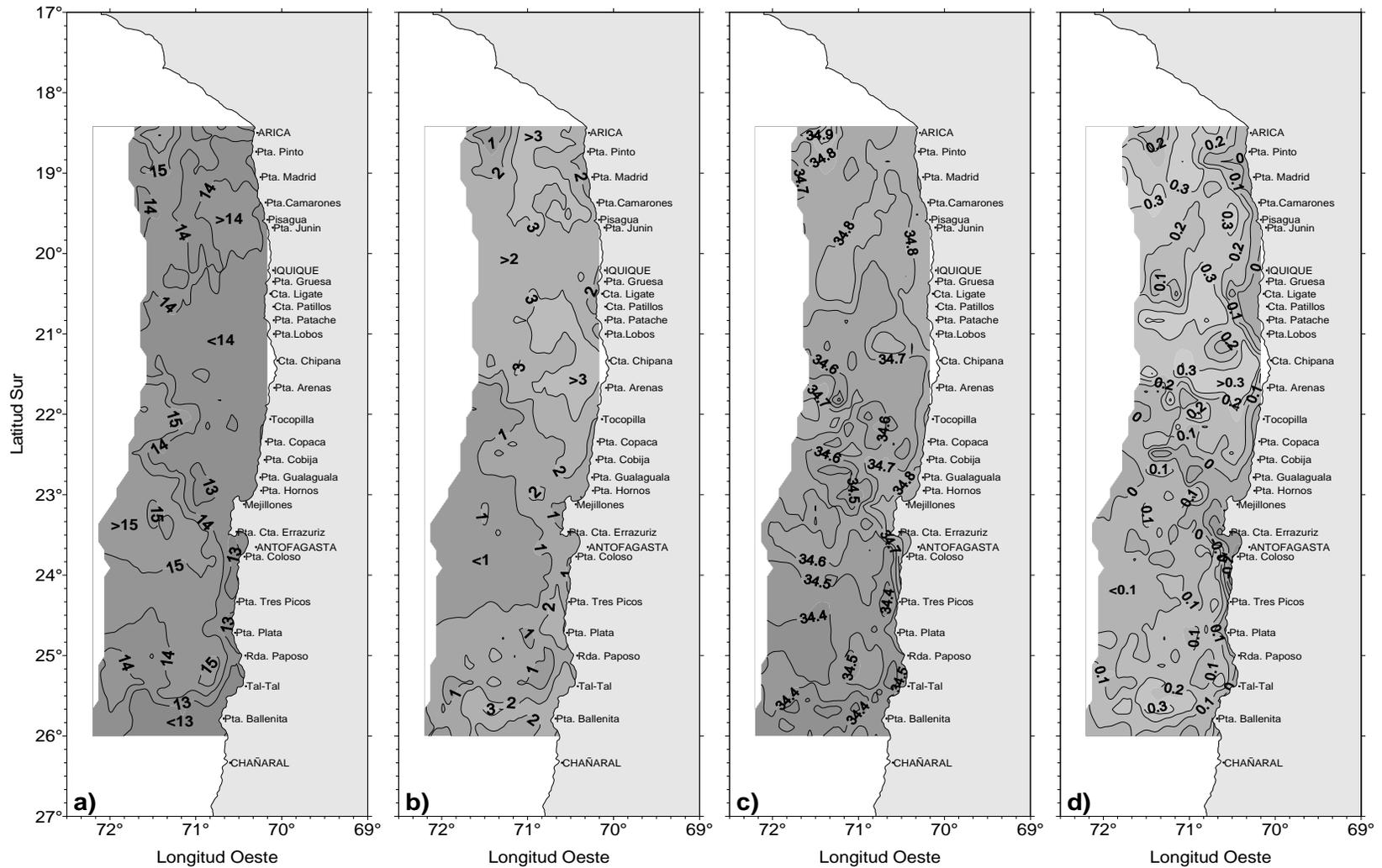


Figura 16. Distribuci3n de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en el nivel de 50 m de profundidad, b) diferencia t3rmica ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre superficie y el nivel de 50 m, c) salinidad (psu) en el nivel de 50 m de profundidad y d) diferencia de salinidad (psu) entre superficie y el nivel de 50 m. Crucero MPH - Invierno 2009.

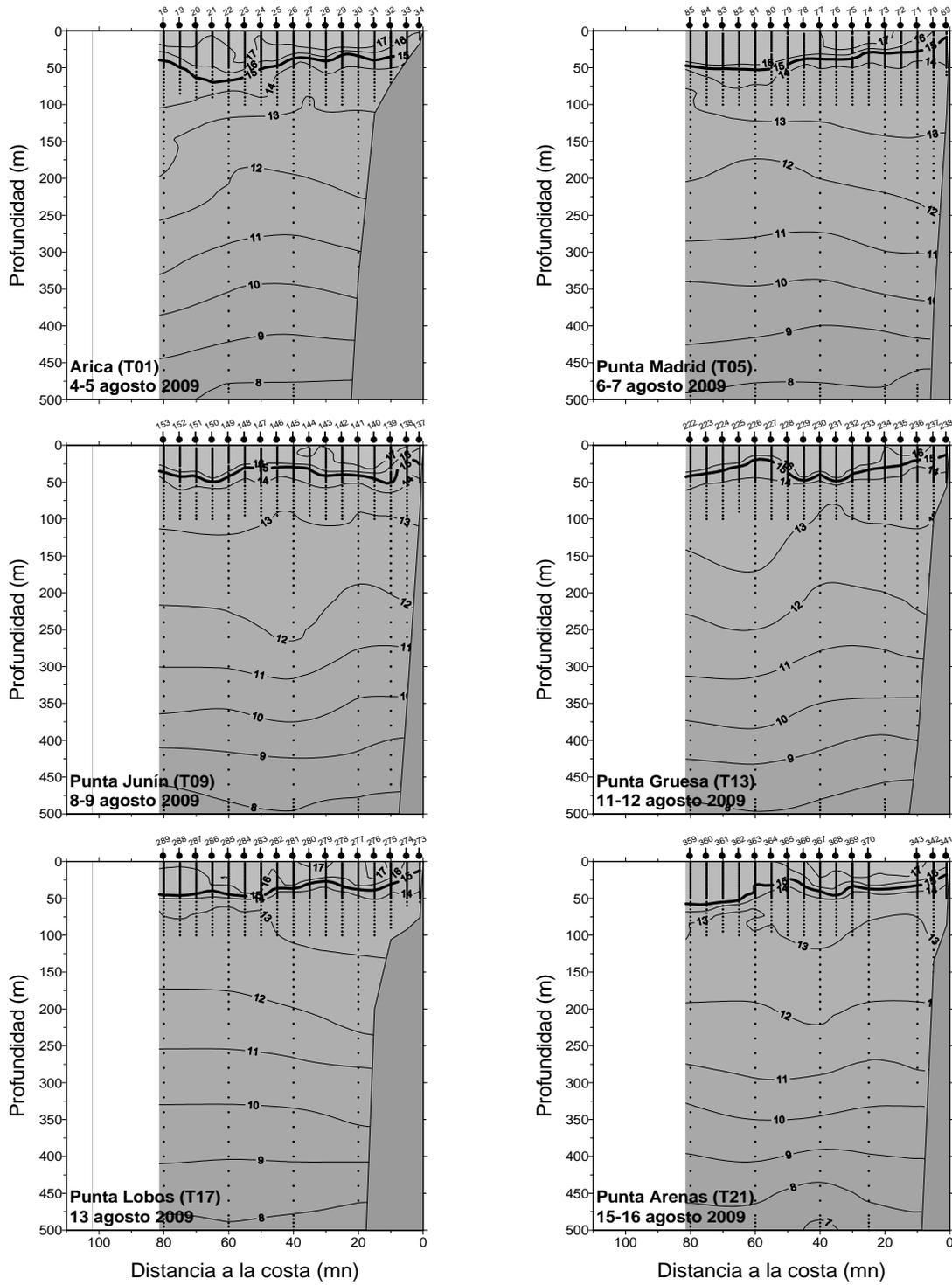


Figura 17. Distribuci3n vertical de temperatura (°C) en las transectas oceanogr3ficas 1, 5, 9, 13, 17 y 21. Crucero MPH - Invierno 2009.

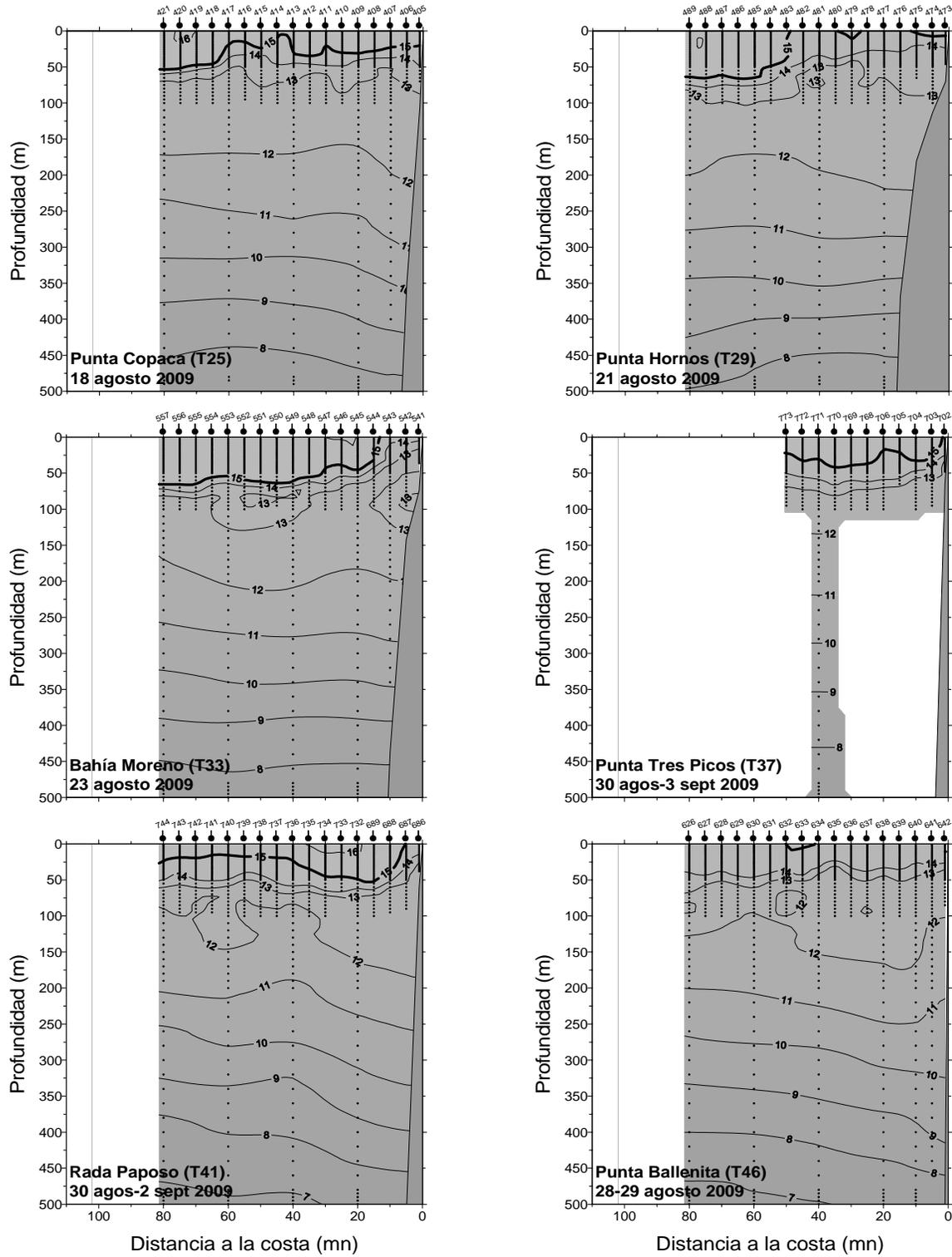


Figura 18. Distribuci3n vertical de temperatura (°C) en las transectas oceanogr3ficas 25, 29, 33,37, 41 y 46. Crucero MPH - Invierno 2009.

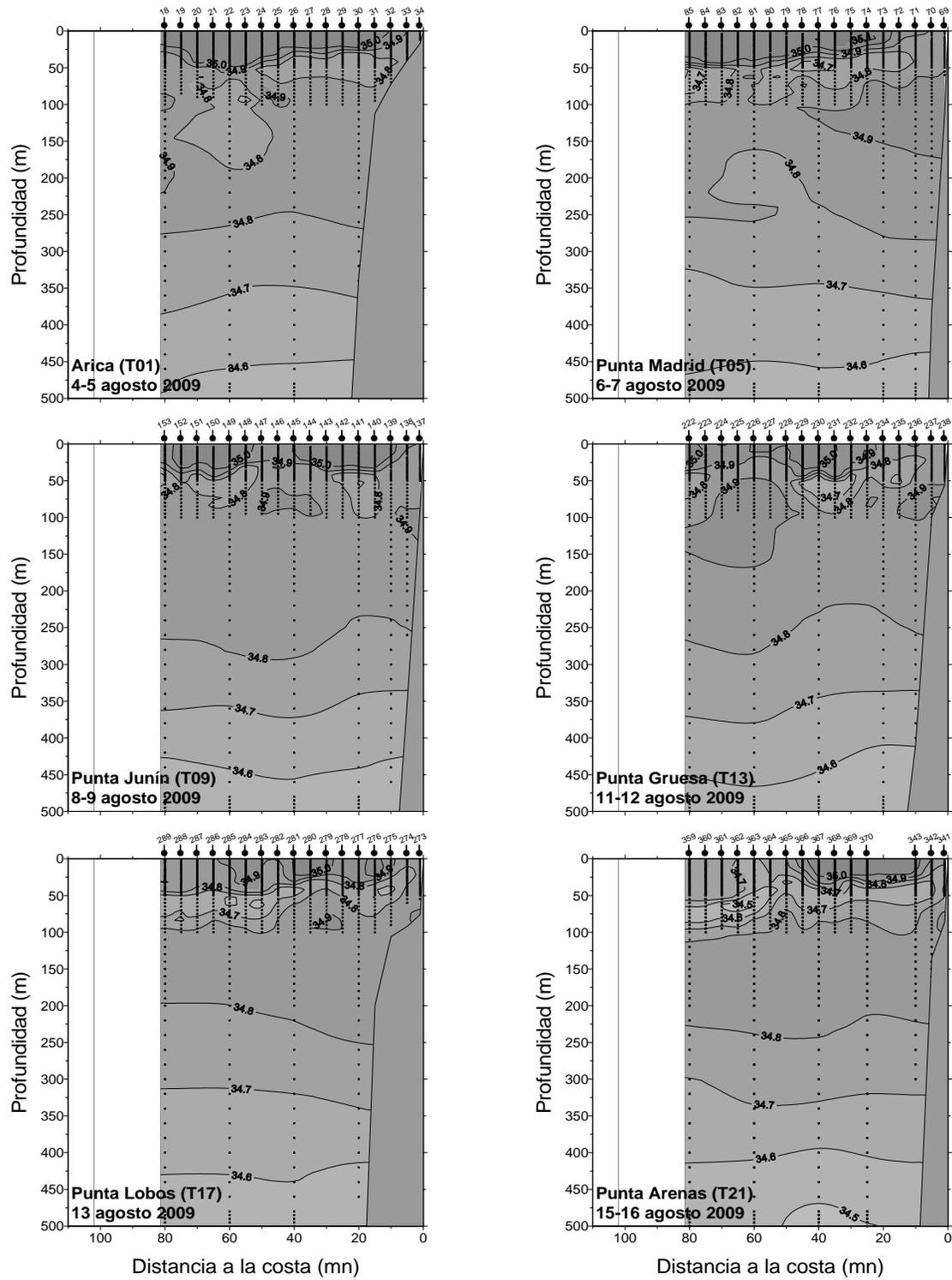


Figura 19. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas oceanogr3ficas 1, 5, 9, 13, 17 y 21. Crucero MPH - Invierno 2009.

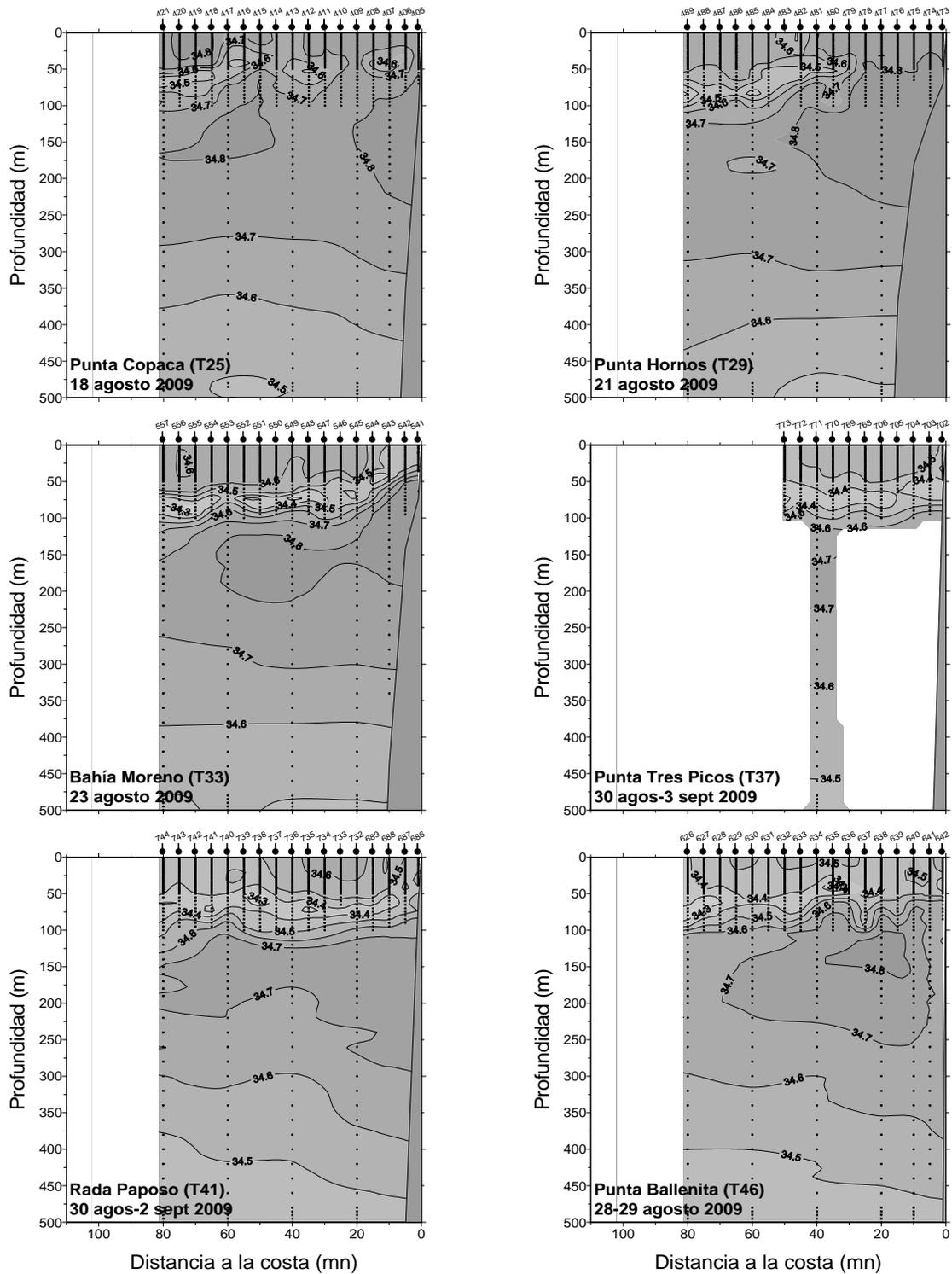
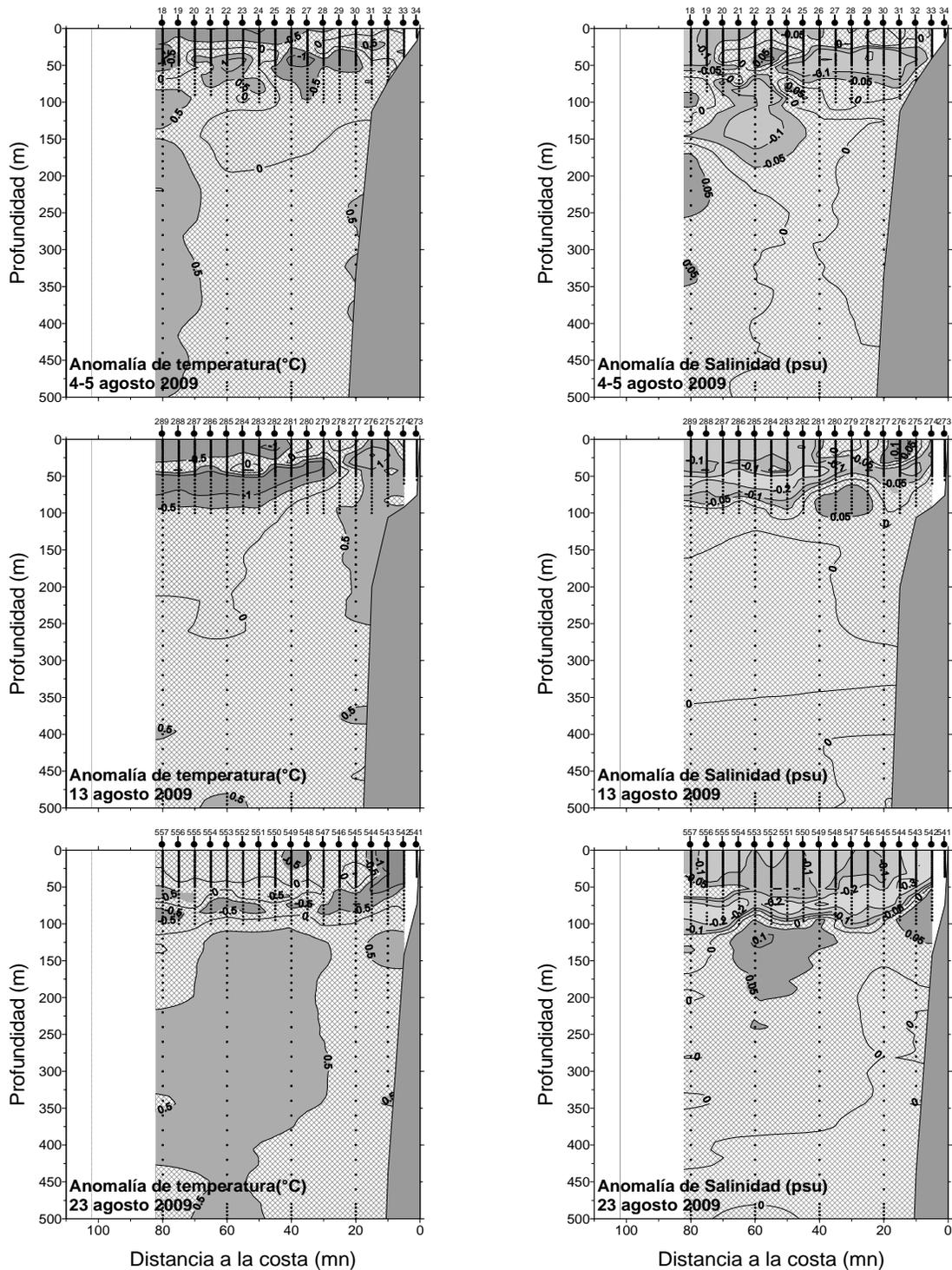


Figura 20. Distribuci3n vertical de salinidad (°C) en las transectas oceanográficas 25, 29, 33, 37, 41 y 46. Crucero MPH - Invierno 2009.



**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 2009.

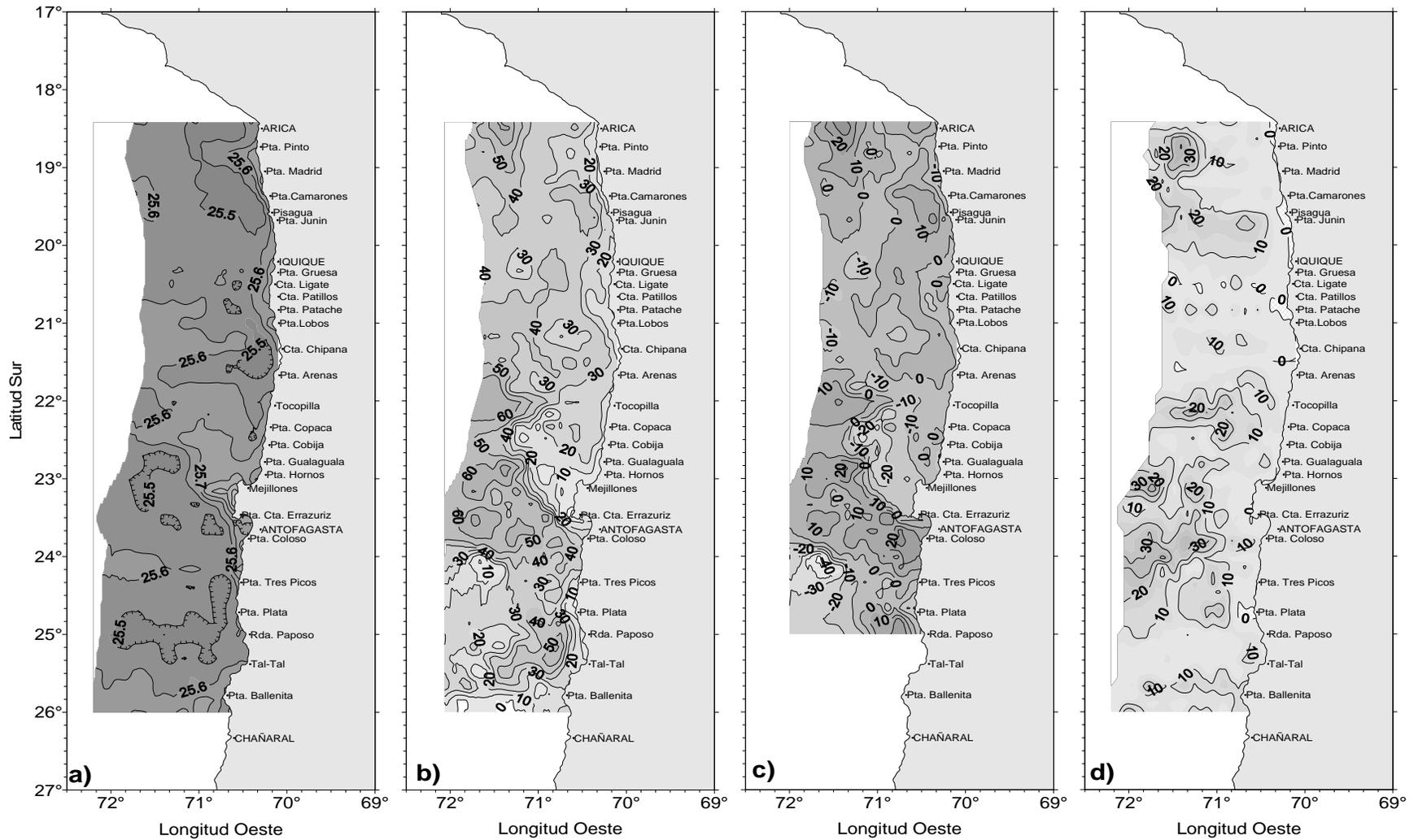


Figura 22. Distribuci3n de a) Densidad superficial ( $\sigma\text{-t}$ ,  $\text{kg/m}^3$ ), b) profundidad de la isoterma de  $15^\circ\text{C}$  (m), c) anomala de profundidad de la isoterma  $15^\circ\text{C}$  (m) y d) espesor de la capa de mezcla (m). Crucero MPH - Invierno 2009.

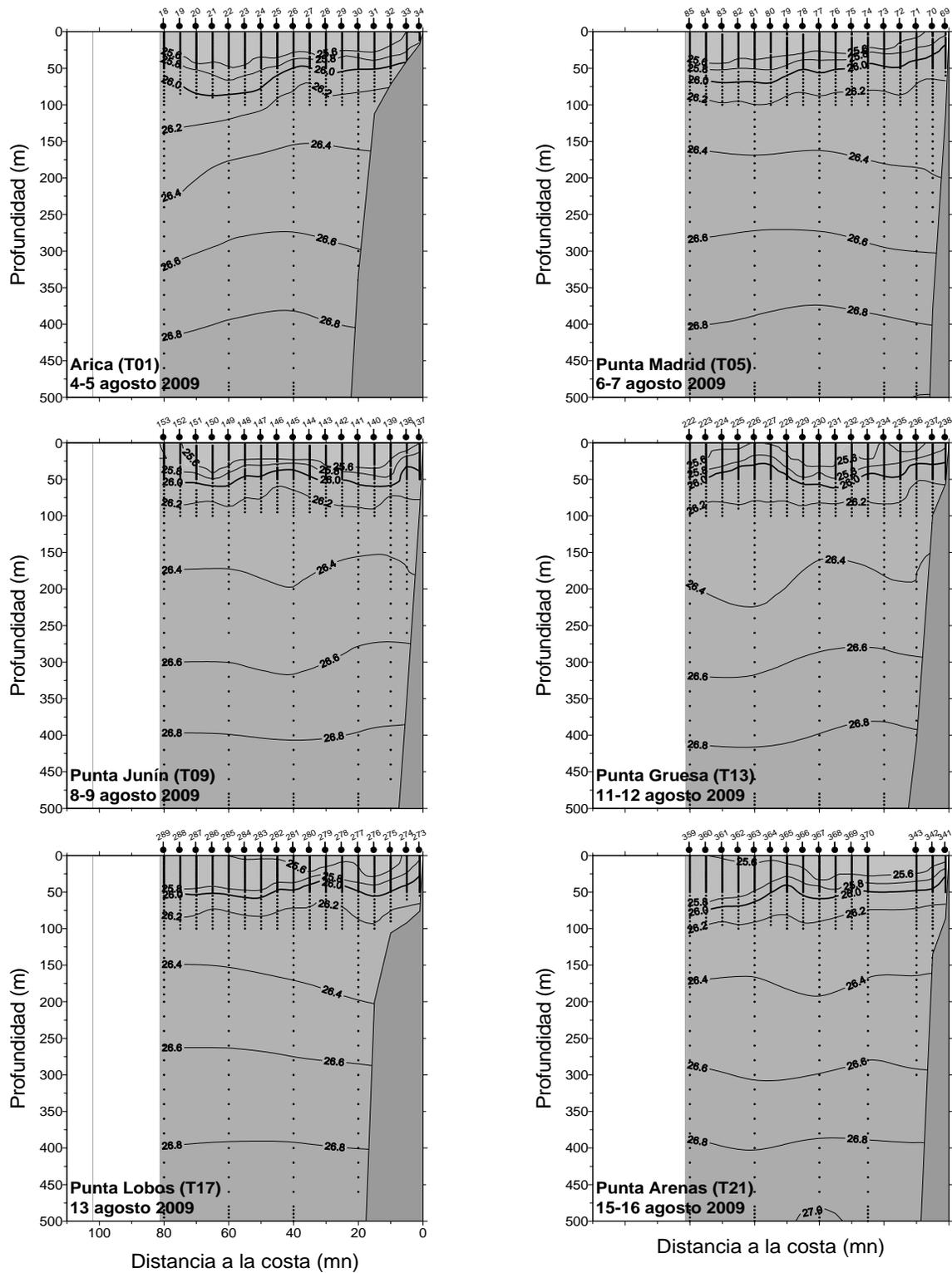


Figura 23. Distribuci3n vertical de densidad ( $\sigma_t$ ,  $\text{kg/m}^3$ ) en las transectas oceanogr3ficas 1, 5, 9, 13, 17 y 21. Crucero MPH - Invierno 2009.

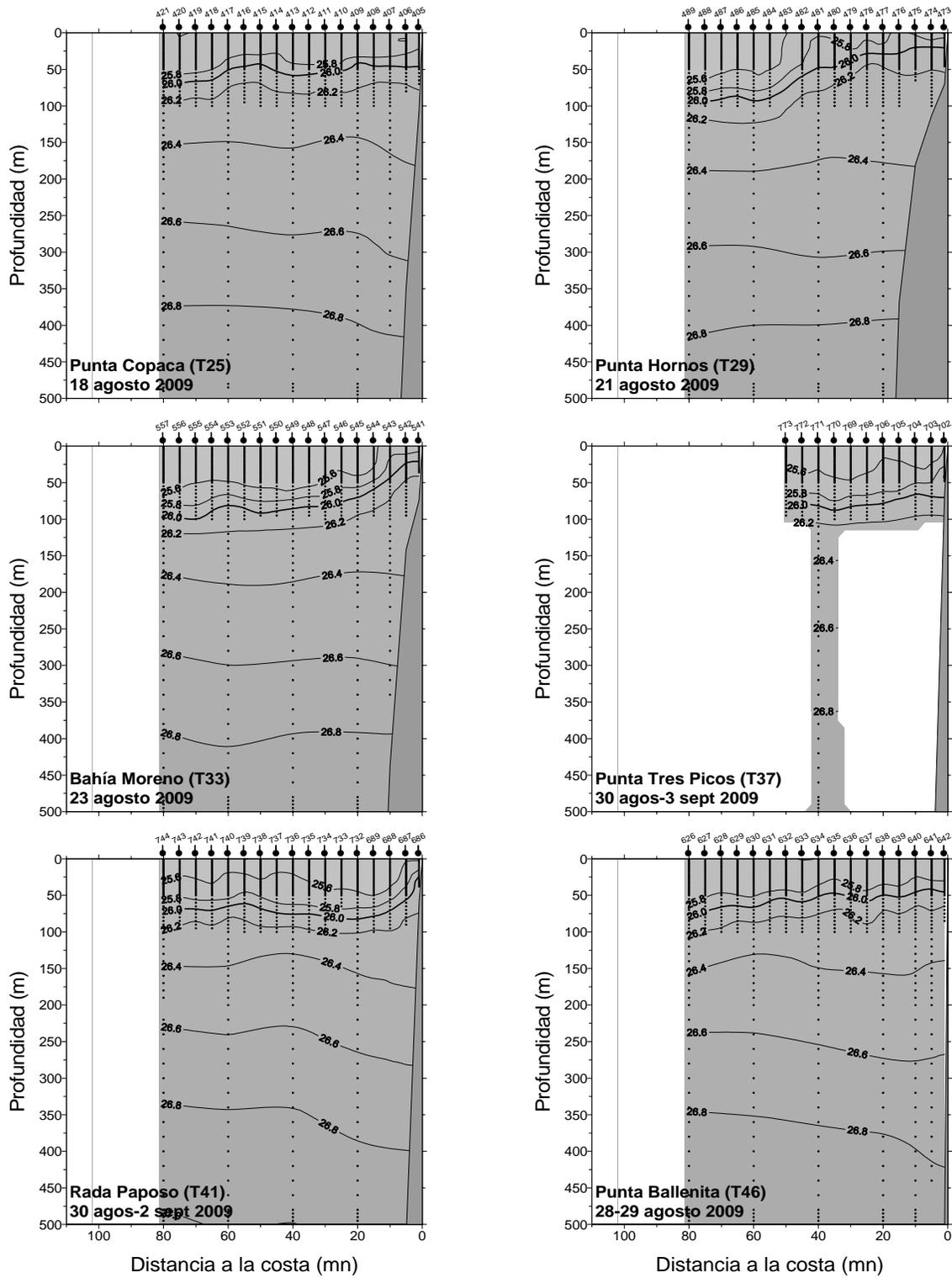


Figura 24. Distribuci3n vertical de densidad ( $\sigma\text{-t}$ ,  $\text{kg/m}^3$ ) en las transectas oceanogr3ficas 25, 29, 33 y 37. Crucero MPH - Invierno 2009.

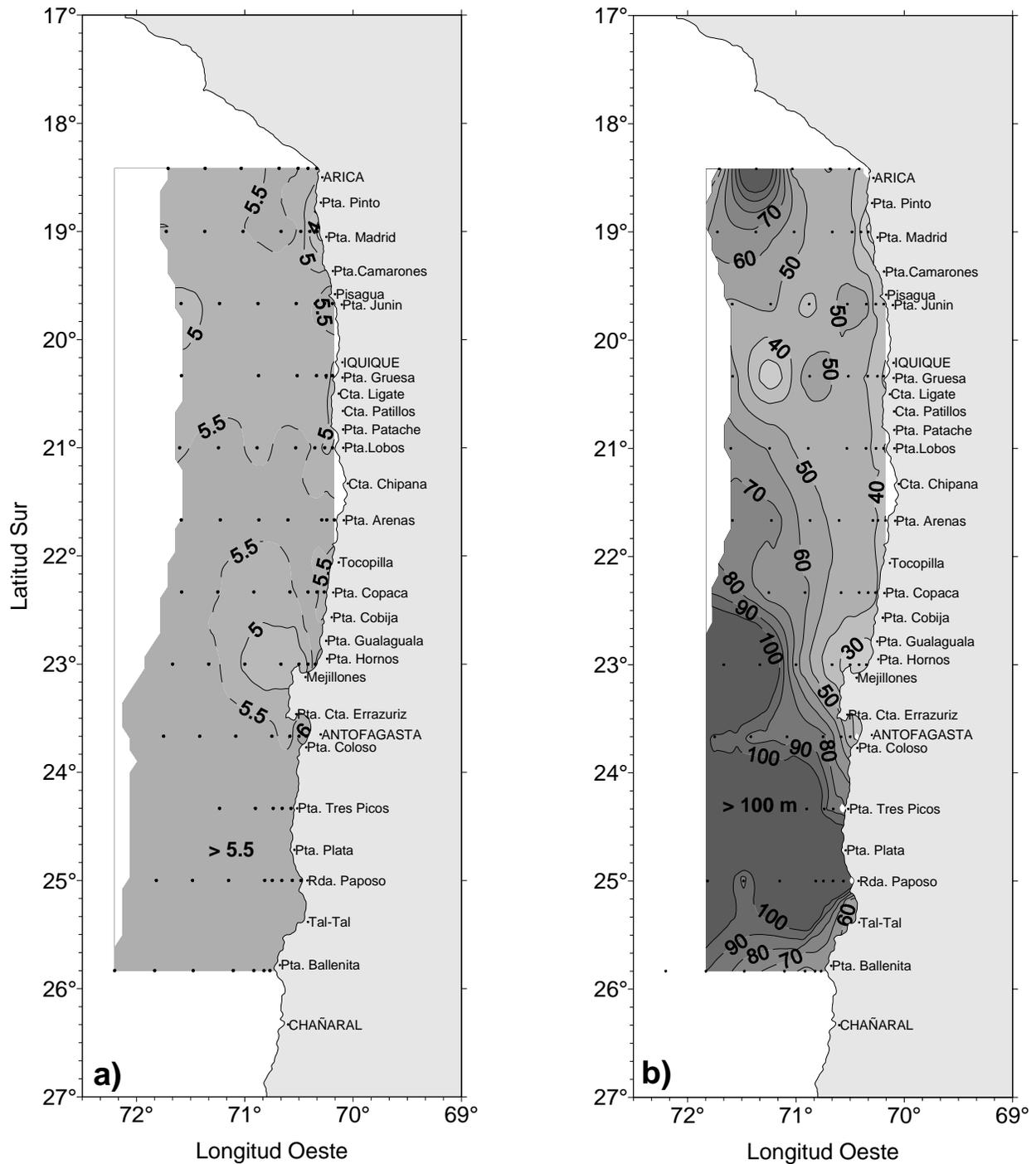


Figura 25. Distribuci3n de a) concentraci3n de ox3geno disuelto superficial (mL/L) y b) profundidad de la isol3nea de 1 mL/L de ox3geno disuelto (m). Crucero MPH - Invierno 2009.

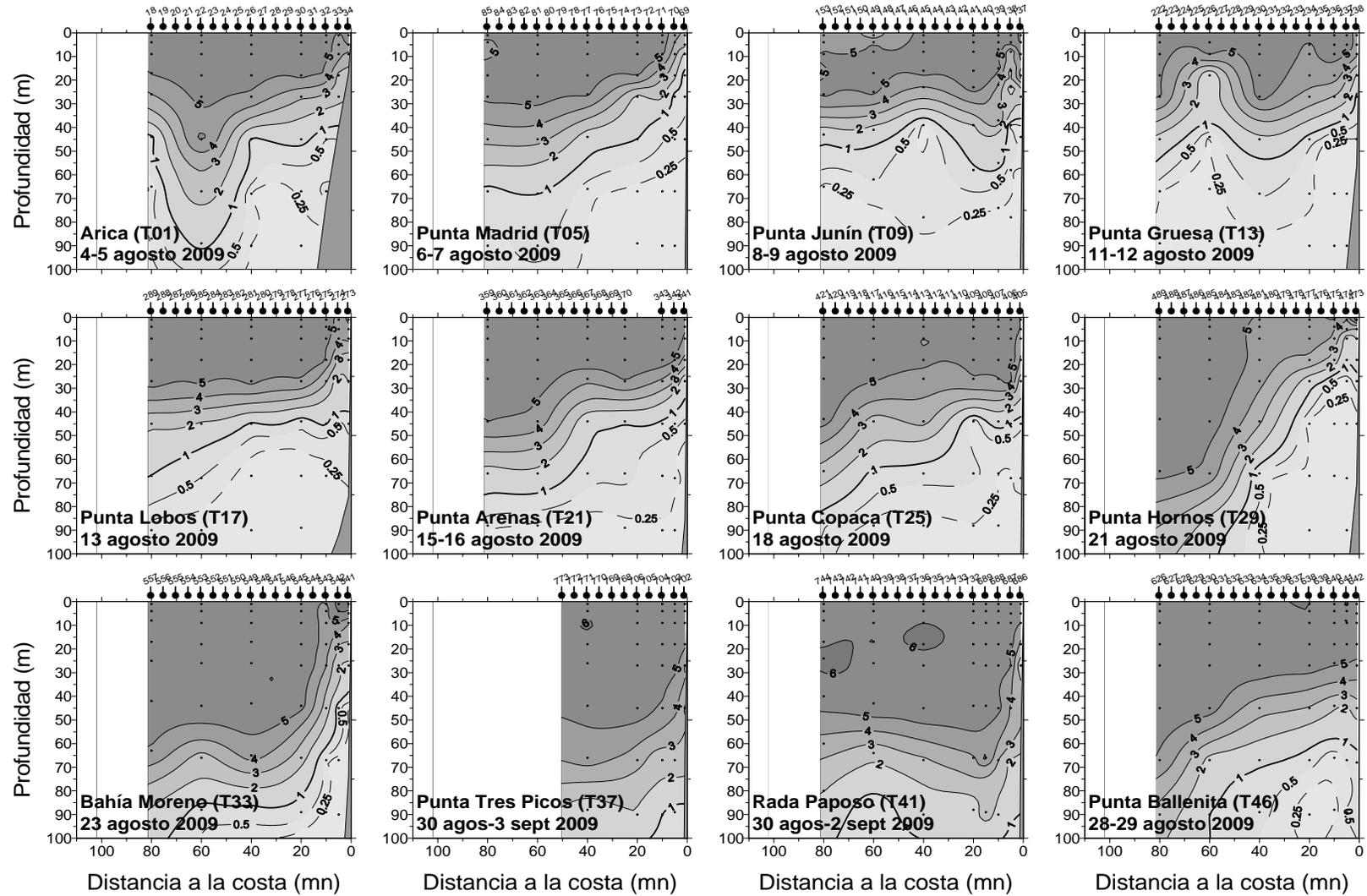


Figura 26. Distribuci3n vertical de oxigeno disuelto (mL/L), transectas 1 a la 46. Crucero MPH - Invierno 2009.

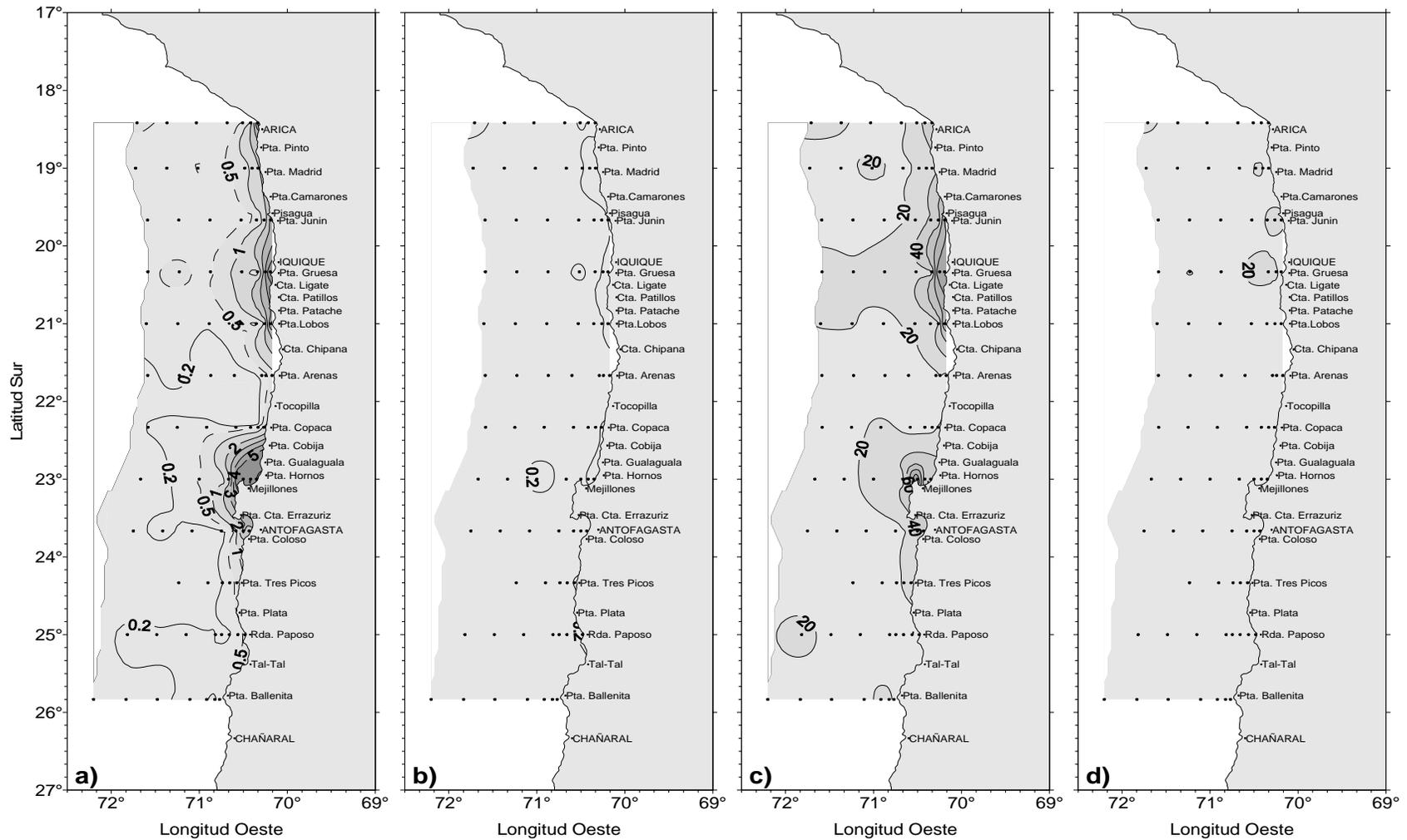


Figura 27. Distribuci3n superficial de a) clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ), b) feopigmentos ( $\mu\text{g/L}$ ), c) clorofila integrada ( $\text{mg/m}^2$ ) y d) feopigmentos integrados ( $\text{mg/m}^2$ ). Crucero MPH - Invierno 2009.

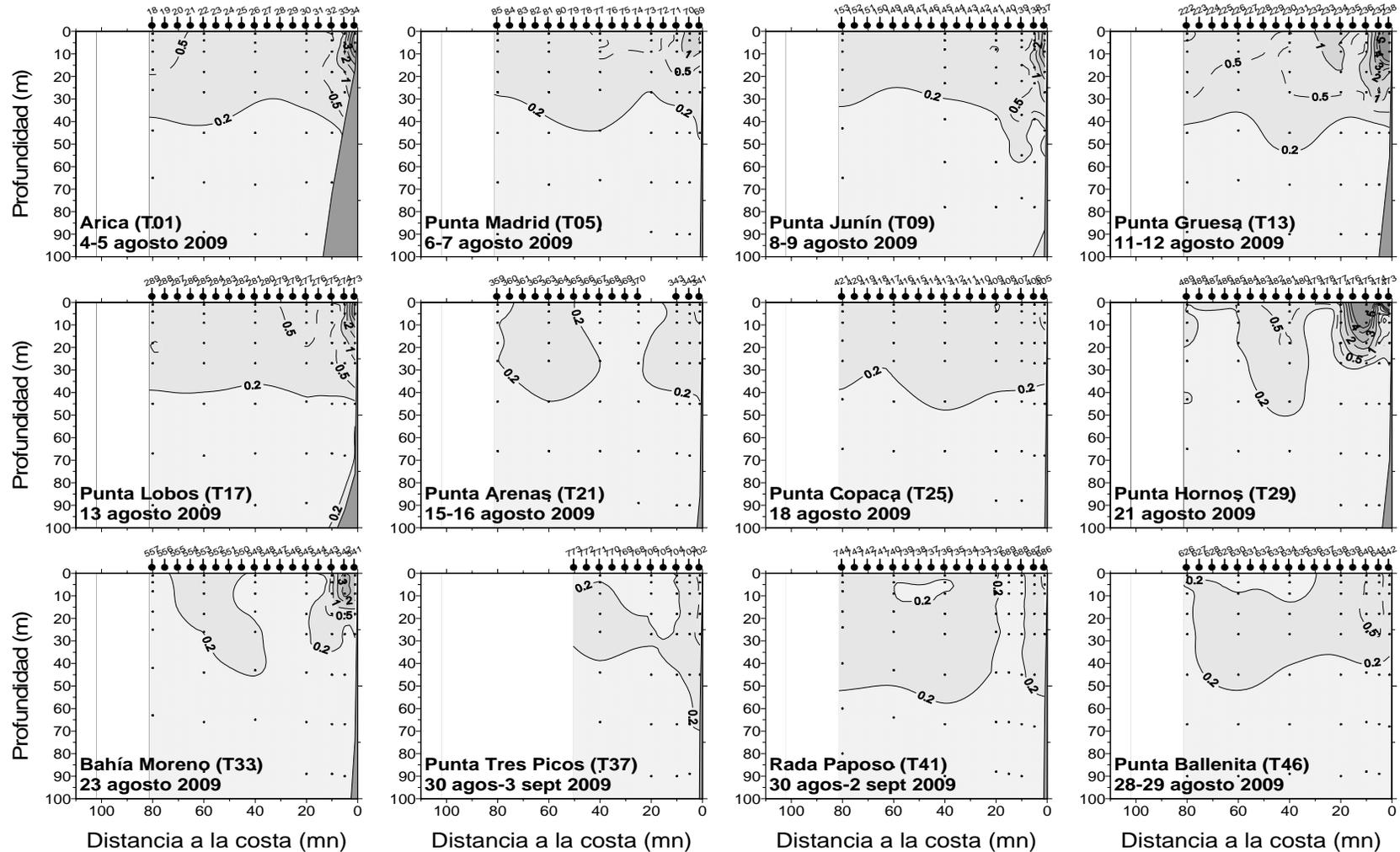


Figura 28. Distribución vertical clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ), transectas 1 a la 46. Crucero MPH - Invierno 2009.

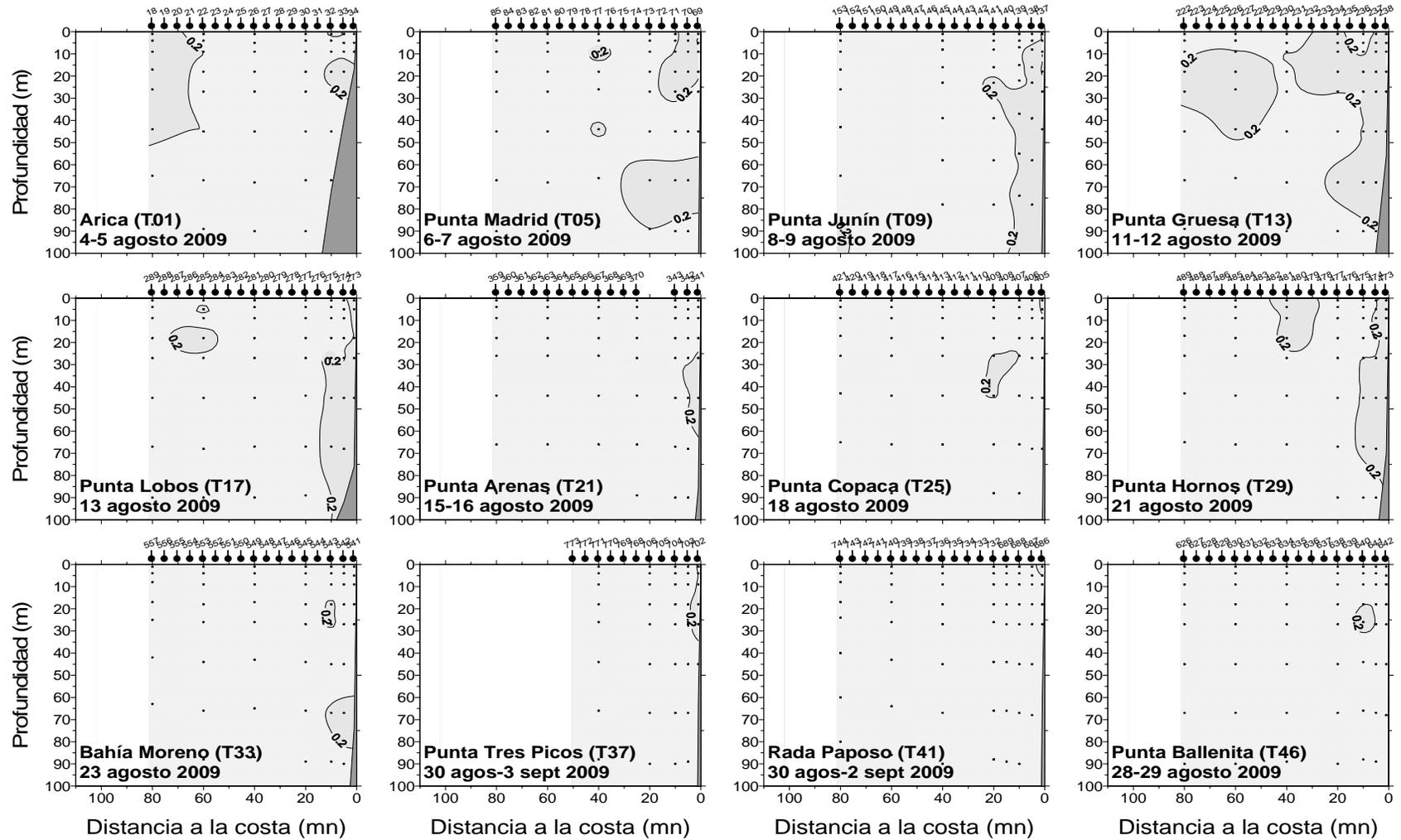


Figura 29. Distribuci3n vertical feopigmentos ( $\mu\text{g/L}$ ), transectas 1 a la 46. Crucero MPH - Invierno 2009.

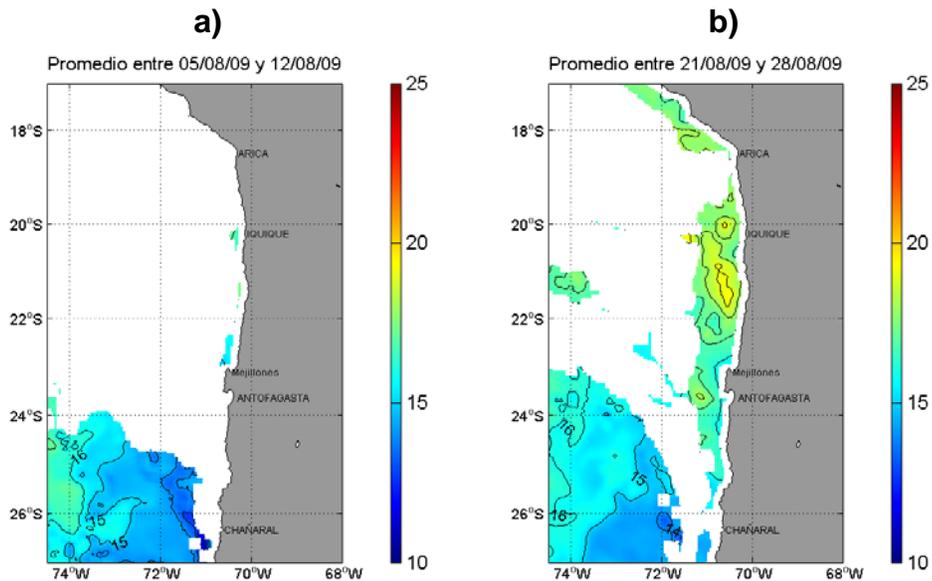


Figura 30. Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales a) entre el 5 y 12 de agosto y b) 21 al 28 de agosto de 2009. La semana del 13 al 20 de agosto la nubosidad impidió el registro de datos. Crucero MPH - Invierno 2009.

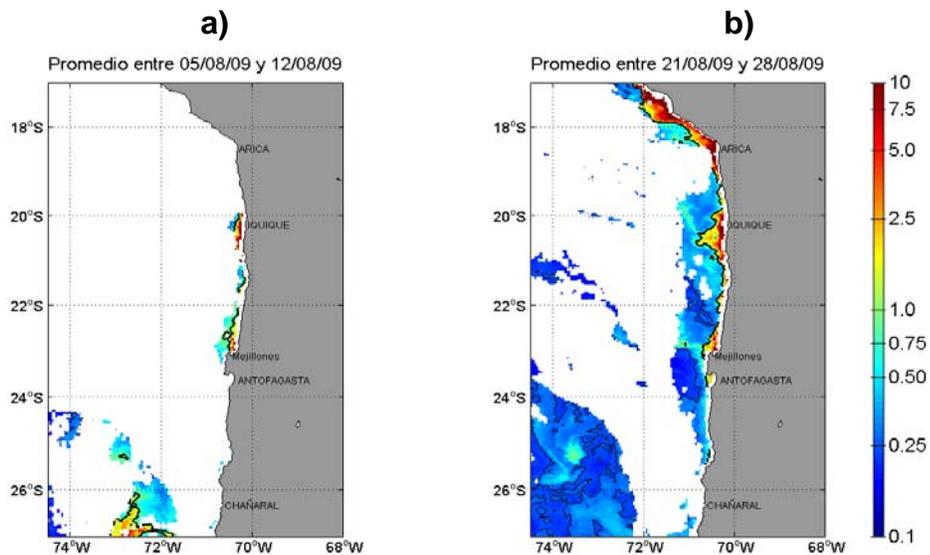


Figura 31. Distribuci3n superficial promedio semanal de la clorofila-a satelital en la zona norte de Chile. Las imágenes del satélite MODIS-A corresponden a promedios semanales a) entre el 5 y 12 de agosto y b) 21 al 28 de agosto de 2009. La semana del 13 al 20 de agosto la nubosidad impidió el registro de datos. La línea negra gruesa marca la isolínea de  $1\ \mu\text{g/L}$  y la línea negra delgada marca la concentraci3n de  $0,25\ \mu\text{g/L}$ . Crucero MPH - Invierno 2009.

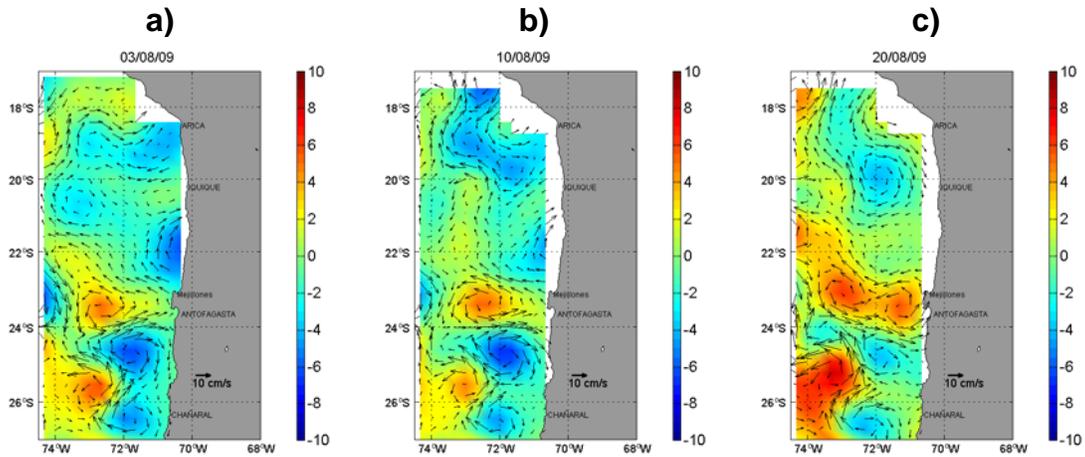


Figura 32. Distribución espacial de la anomalía diaria de nivel del mar (cm) y velocidad geostrofica (cm/s) correspondientes a la zona norte de Chile de los días a) 3, b) 10 y b) 20 de agosto de 2009. Las imágenes diarias son representativas de la situación prevaeciente durante el crucero. Crucero MPH - Invierno 2009.

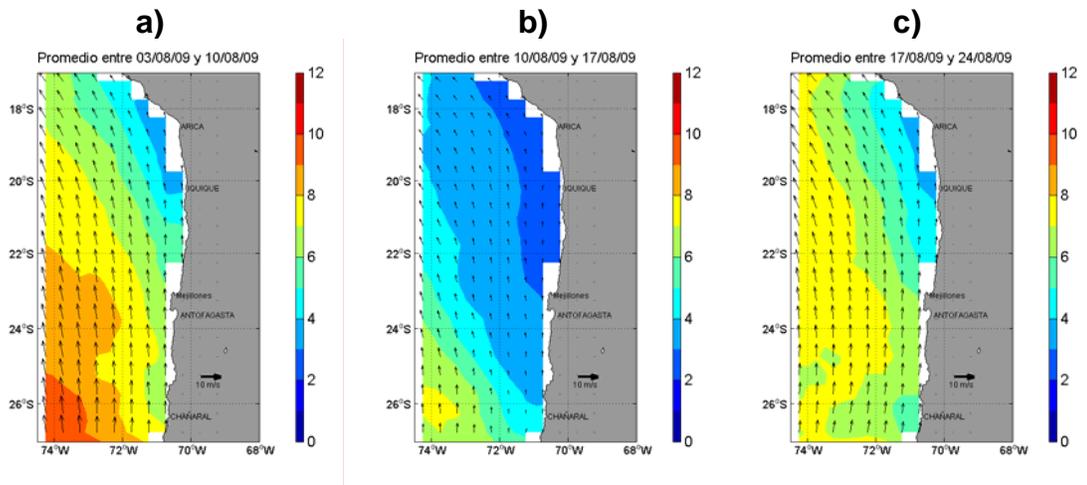
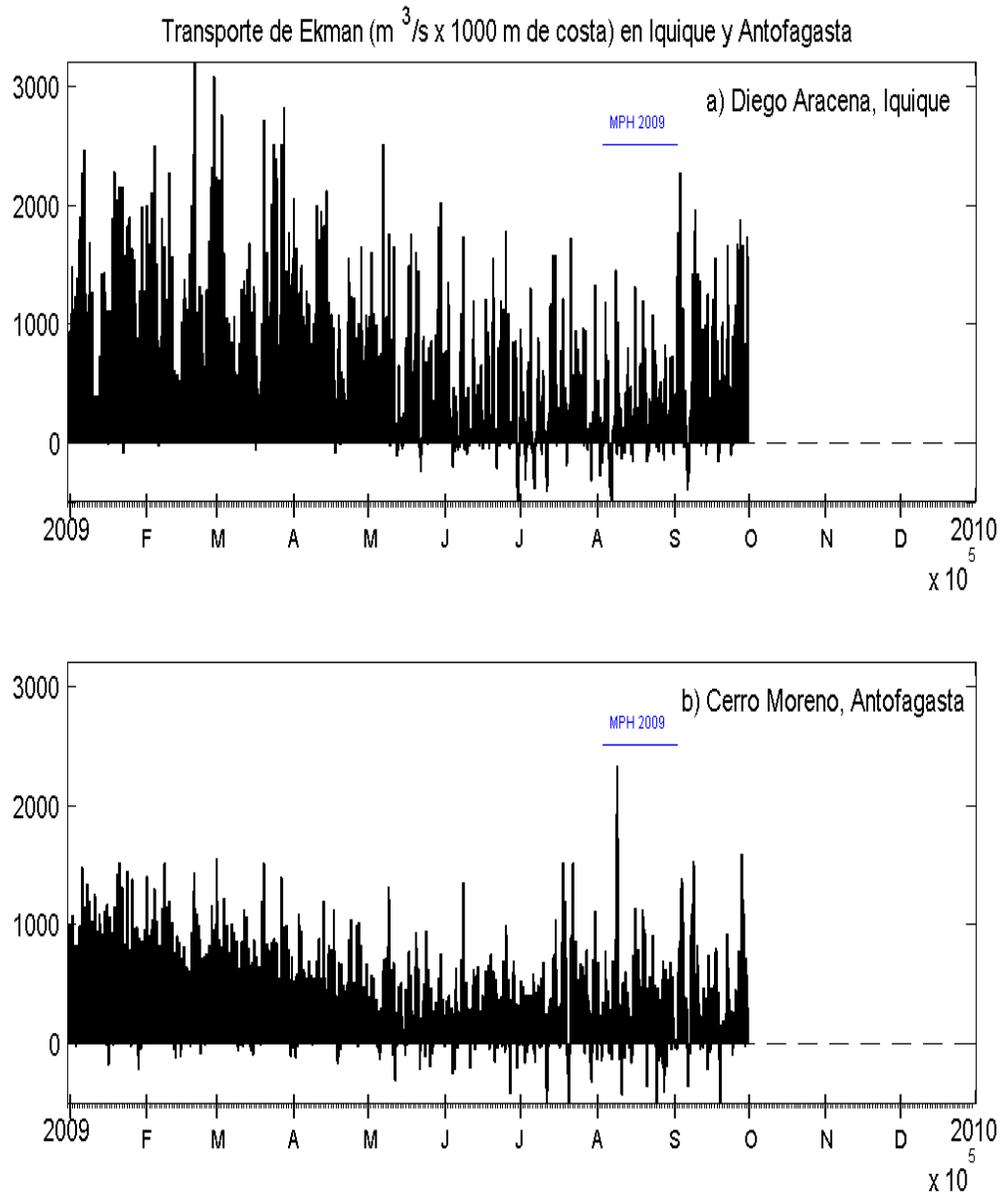


Figura 33. Distribución espacial del promedio semanal del viento y la magnitud (m/s) del viento (colores) en la zona norte de Chile, correspondiente a promedios semanales a) entre el 3 y 10 de agosto, b) 10 al 17 de agosto y c) 17 al 24 de agosto de 2009, proveniente de imágenes satelitales Quikscat. Crucero MPH - Invierno 2009.



**Figura 34.** Transporte de Ekman diario calculado en base a los datos de viento de los aeropuertos a) Diego Aracena de Iquique y b) Cerro Moreno de Antofagasta entre enero y septiembre de 2009 (Fuente: Direcci3n Meteorol3gica de Chile).

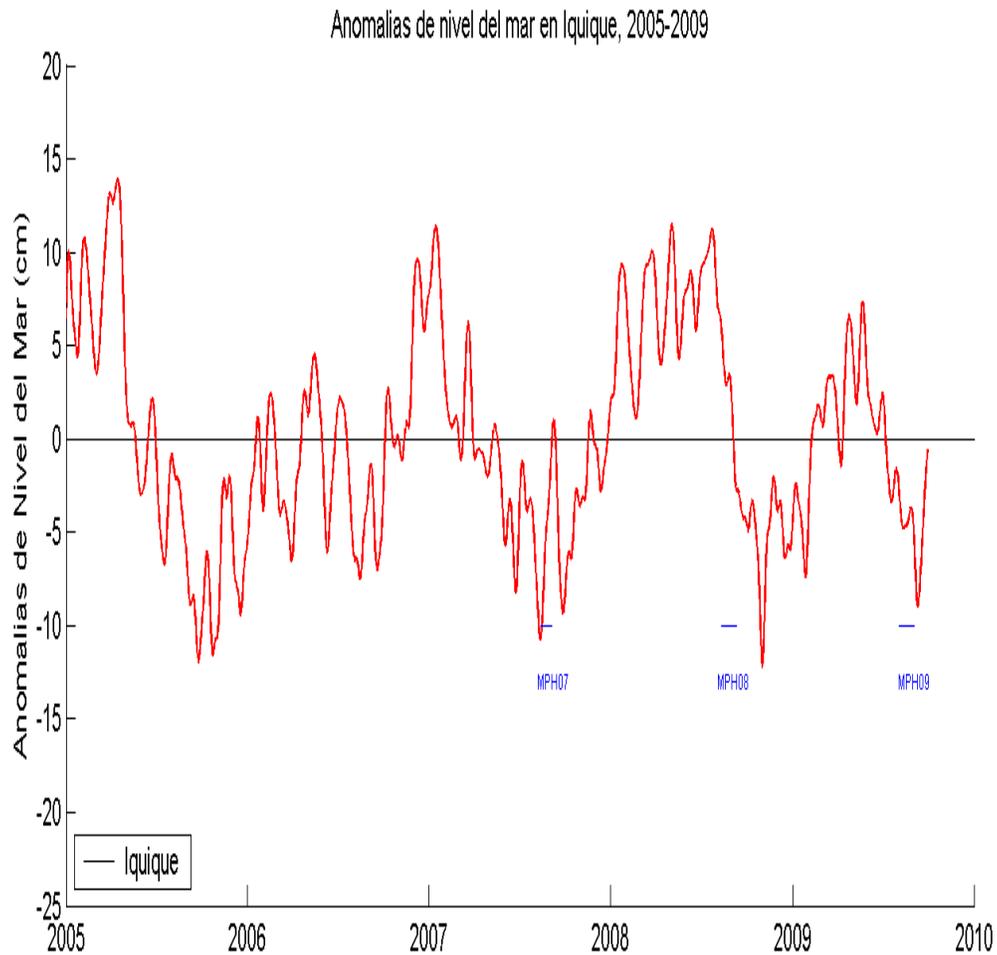


Figura 35. Anomalias de nivel del mar (cm) en Puerto de Iquique entre 2005 y 2009 (Fuente: CENDHOC del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada).

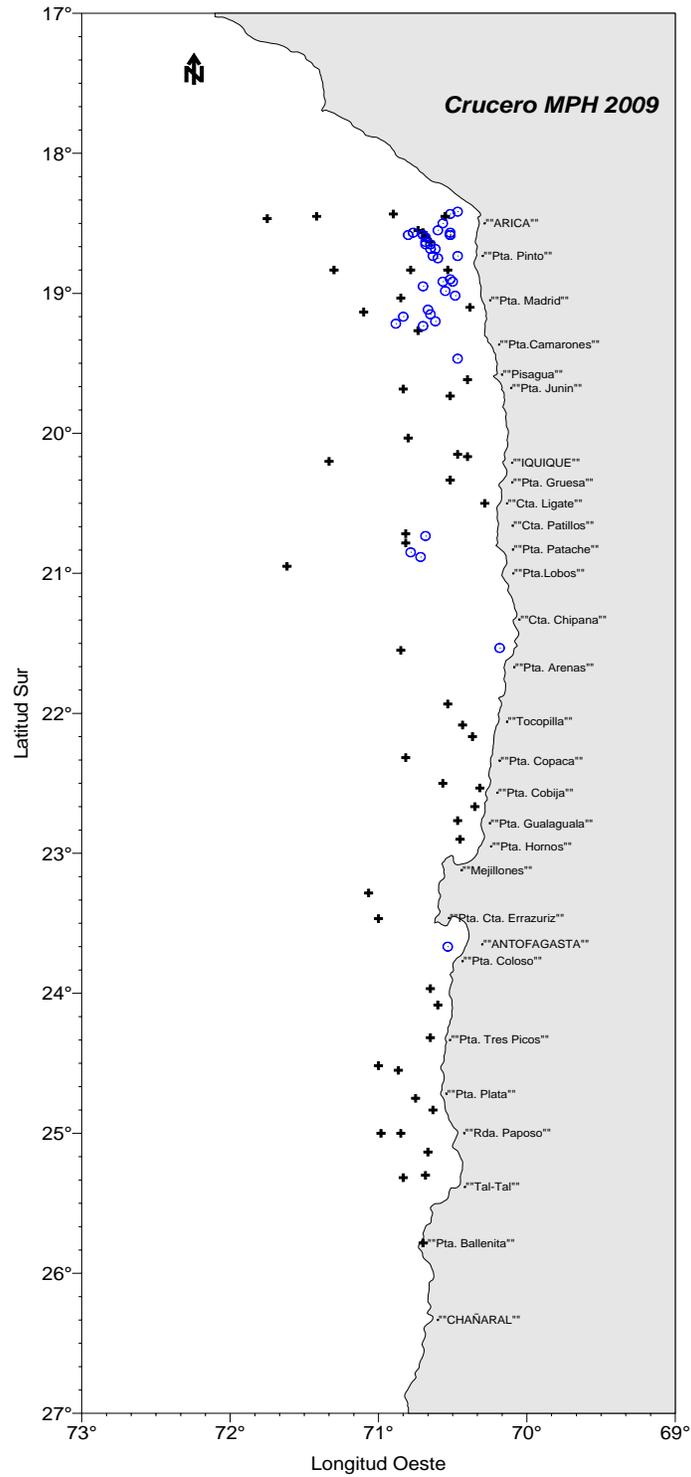


Figura 36. Distribuci3n espacial de los lances de pesca. Crucero MPH - Invierno 2009. (Color azul: lances efectivos; color negro: lances no efectivos).

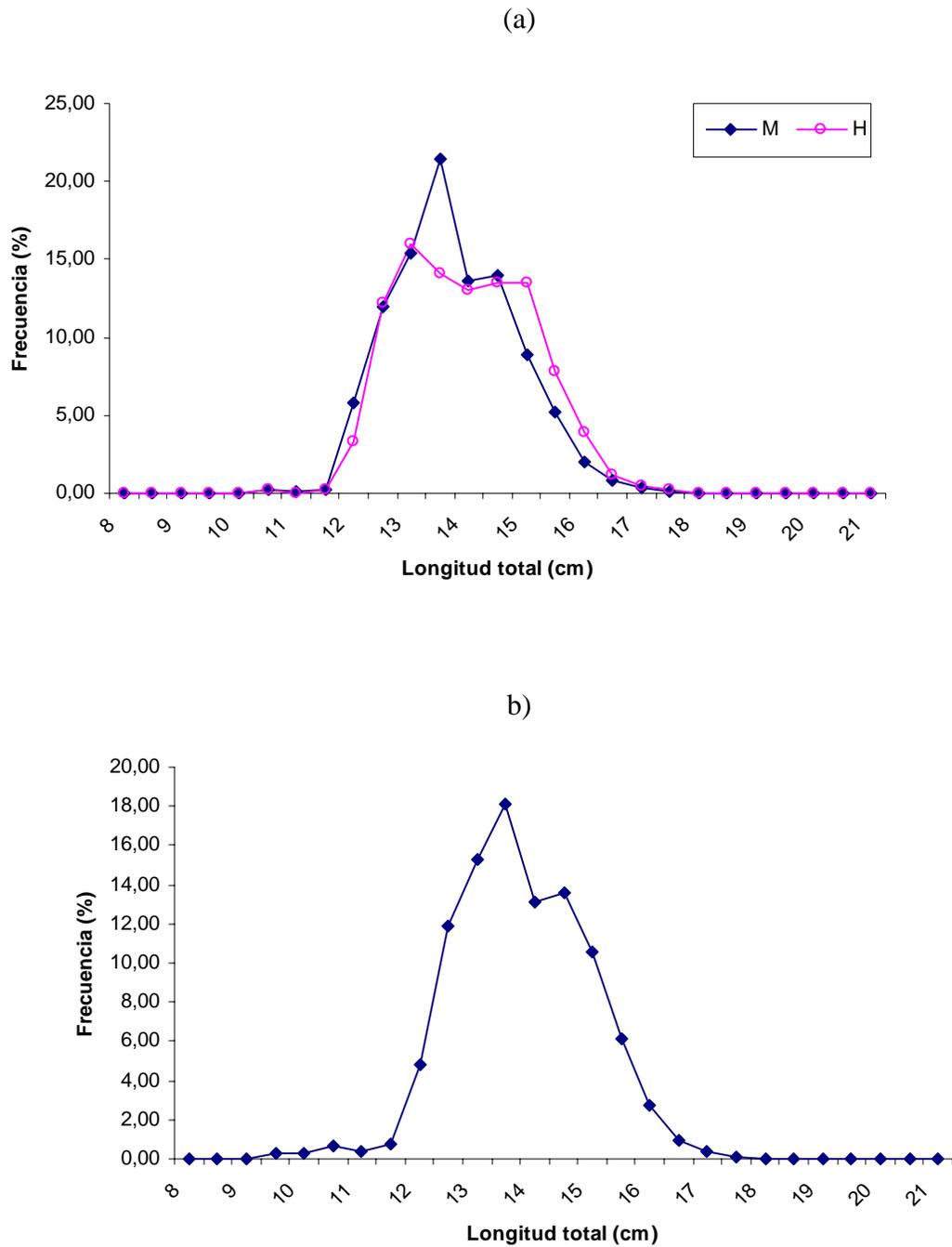


Figura 37. Distribuci3n de tama1os de anchoveta capturadas entre la I y II Regiones, (a): por sexo (M: machos; H: hembras) y (b): Total. Crucero MPH - Invierno 2009.

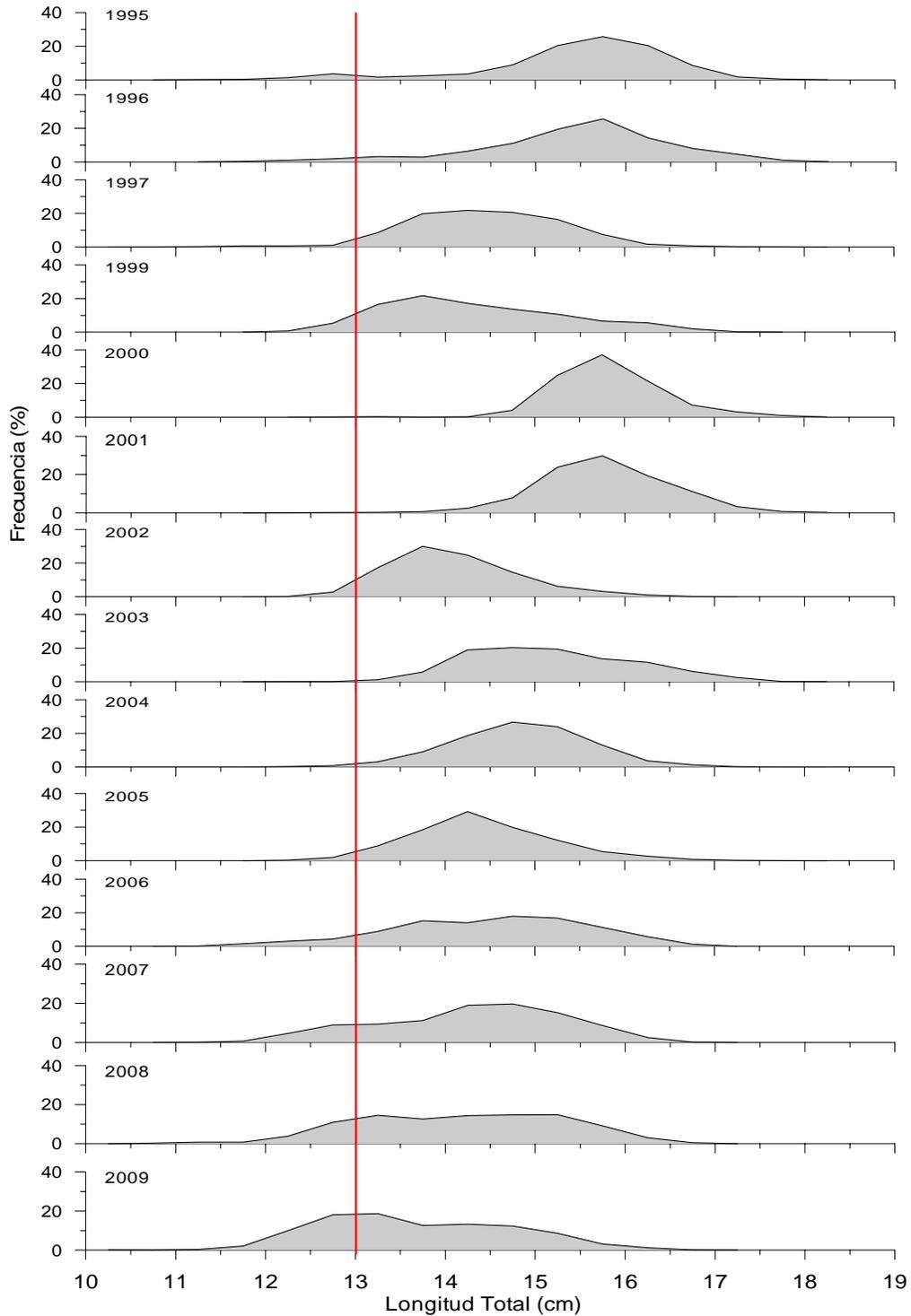
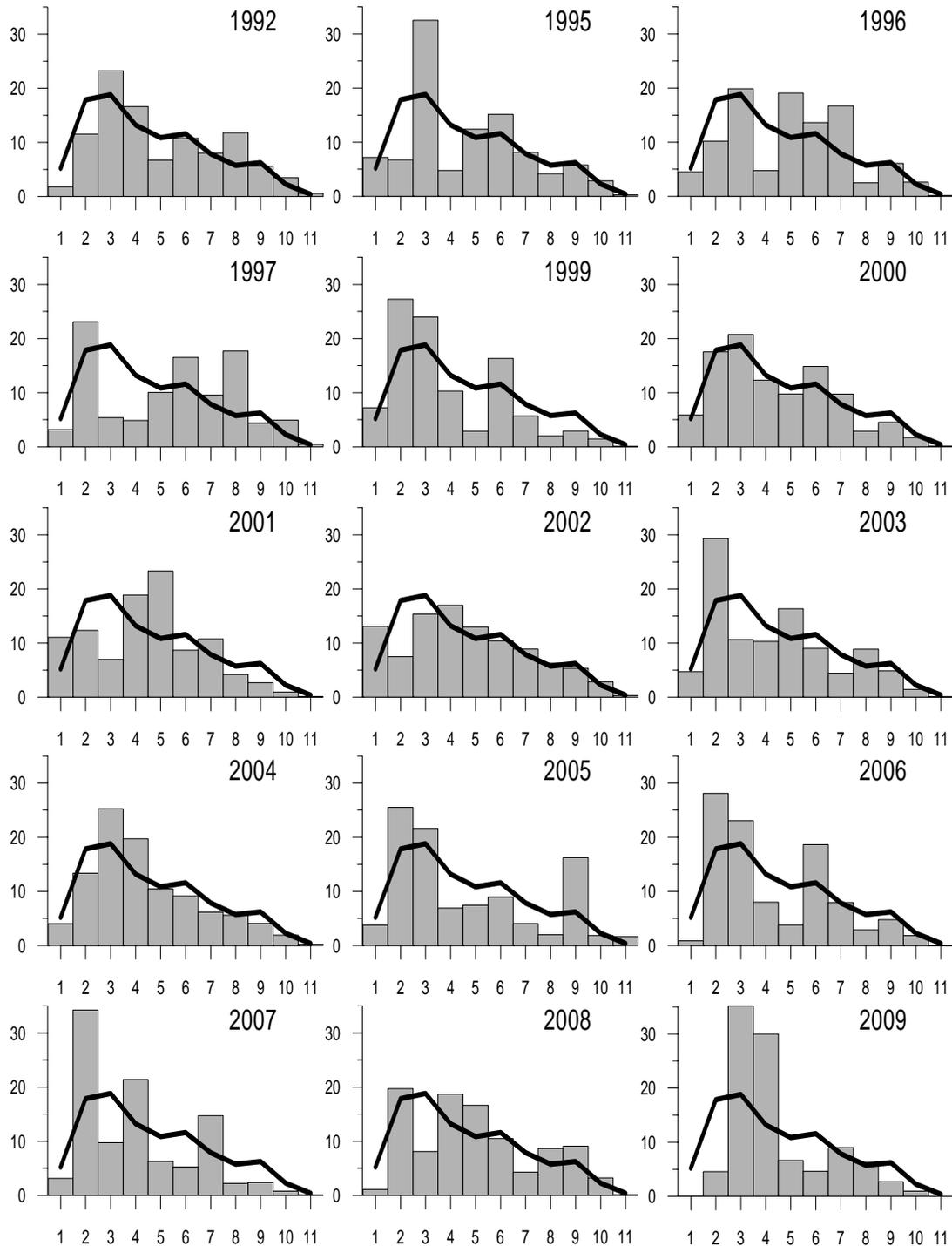


Figura 38. Distribuci3n de tallas de las hembras muestreadas en cada a1o de aplicaci3n del m3todo de producci3n de huevos en la zona norte de Chile. L3nea roja vertical es solo referencial (13 cm).



**Figura 39.** Frecuencia (Nº) de huevos de anchoveta por estadio de desarrollo para cada año de crucero ictioplanctónico. Barras: Frecuencia (%) del año. Línea: Frecuencia (%) considerando todos los cruceros.

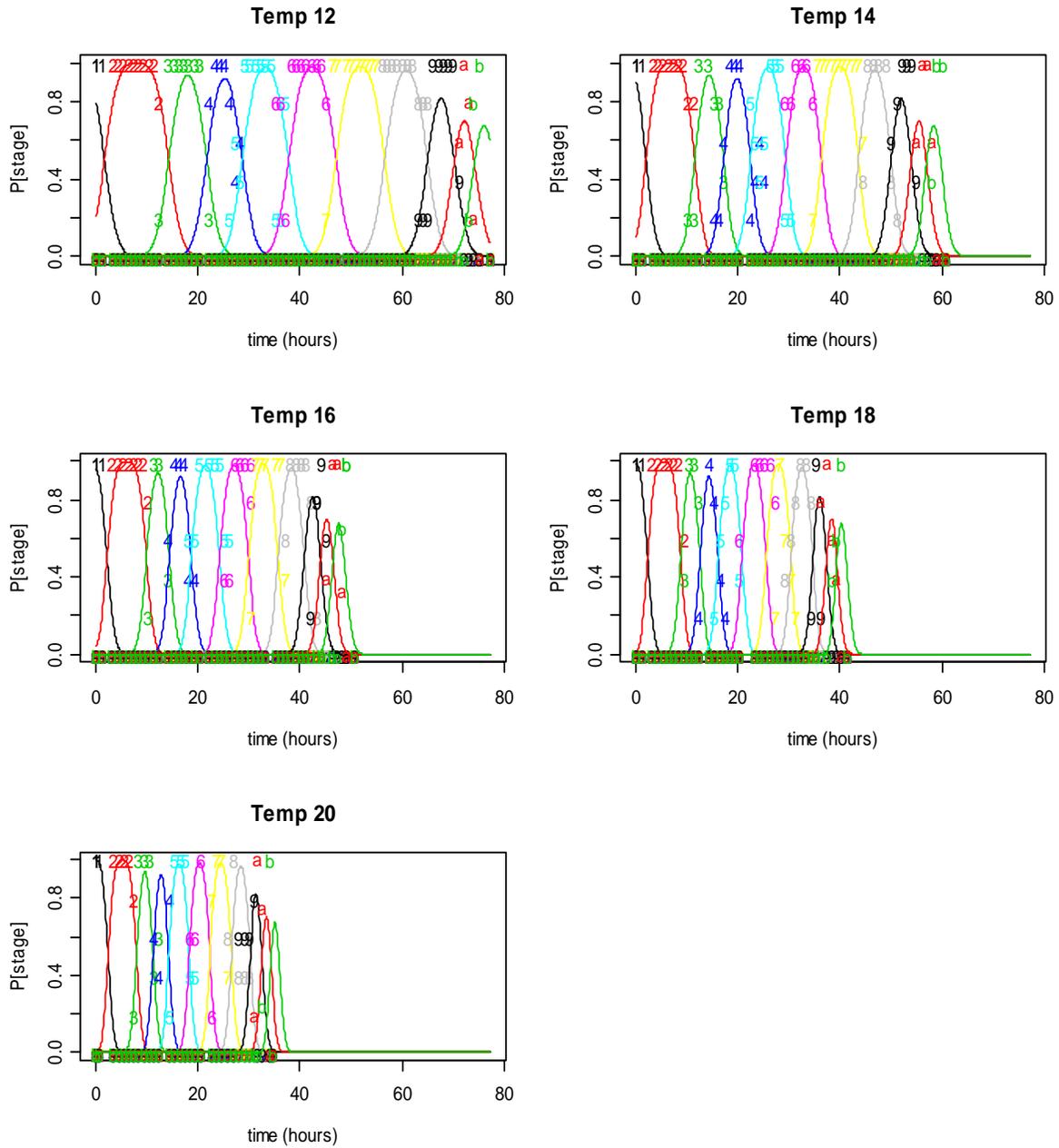


Figura 40. Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubaci3n.

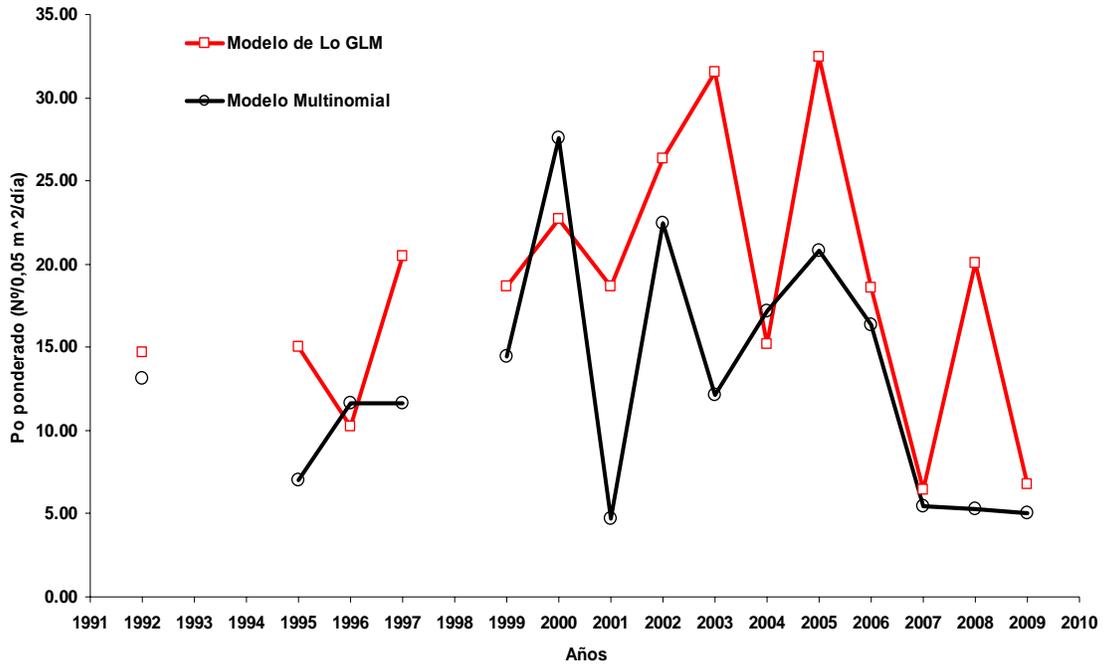
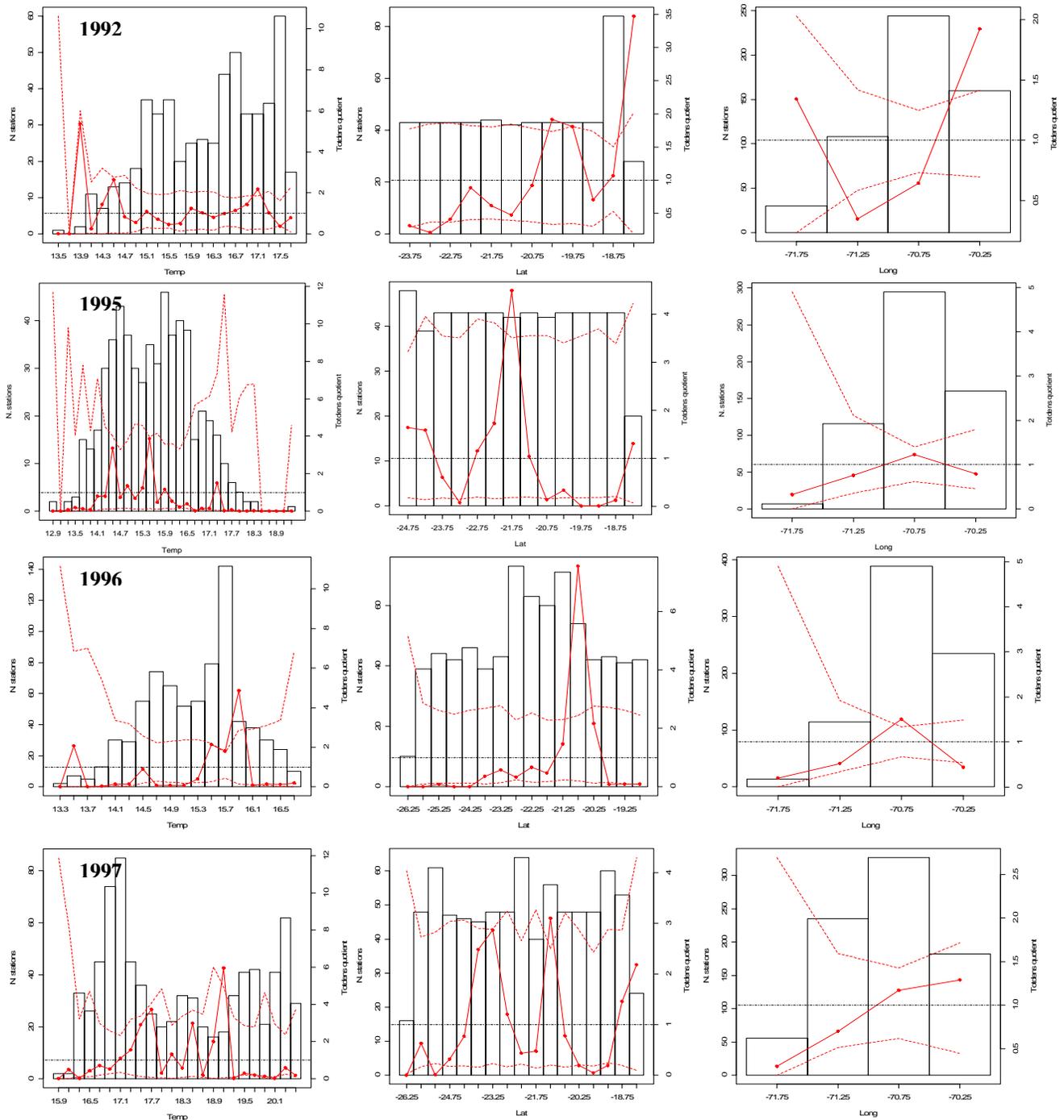


Figura 41. Estimaciones de Producci3n diaria de huevos ( $N^{\circ}/0,05 \text{ m}^2/\text{día}$ ), ponderado por el área, para anchoveta de la zona norte, en base a las dos metodologías aplicadas.



**Figura 42.** Análisis del cociente para los años 1992, 1995, 1996 y 1997 en anchoveta del norte de Chile. Barras se refieren a la variable independiente (Lat, Long o Temperatura, de izquierda a derecha). Línea roja continua es la frecuencia de estaciones con huevos. Línea roja segmentada es el intervalo de confianza. Línea negra segmentada indica el umbral sobre el cual habría una asociación significativa entre huevos y la variable ambiental.

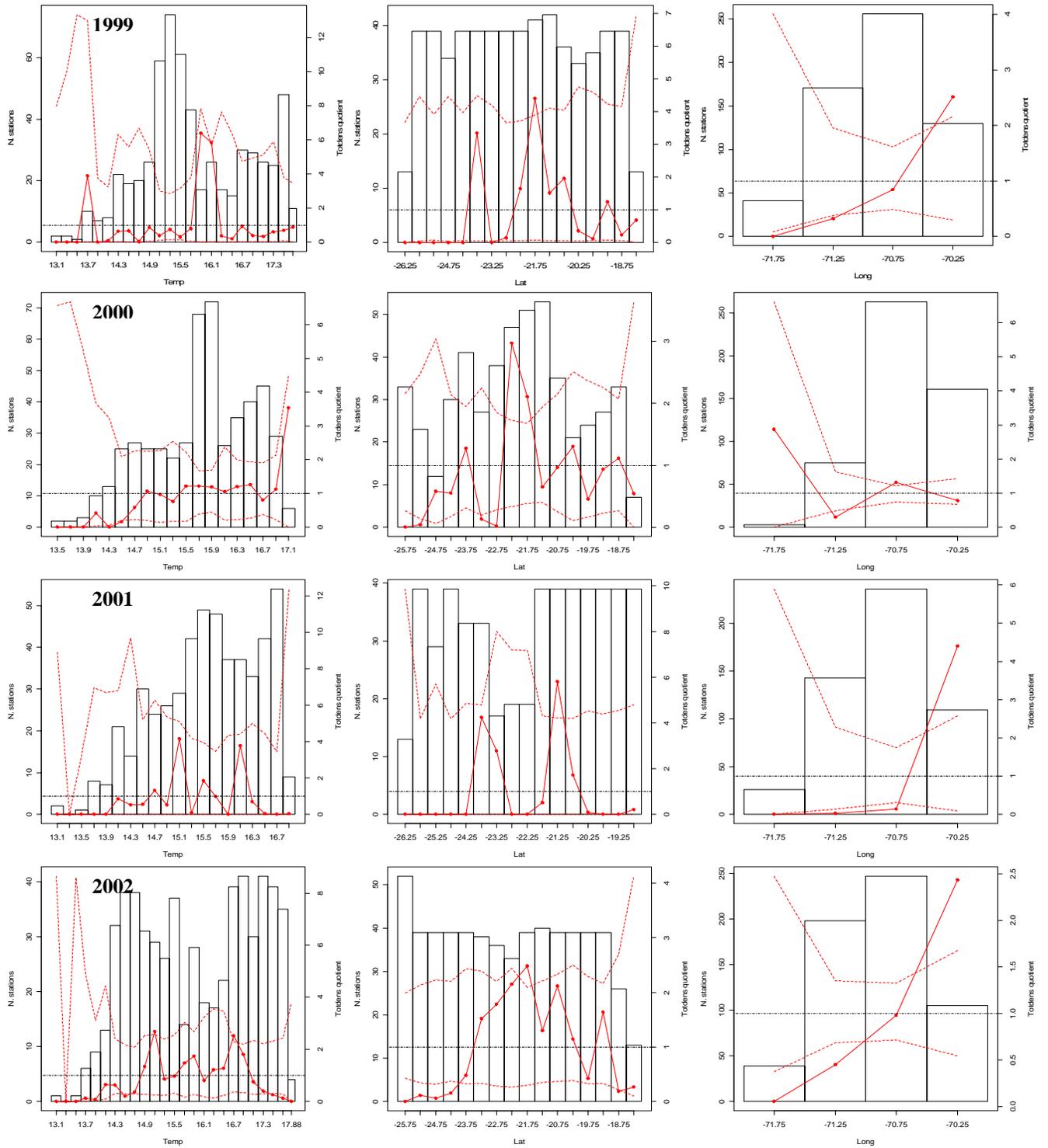


Figura 42. (Continuaci3n) para los a1os 1999, 2000, 2001 y 2002

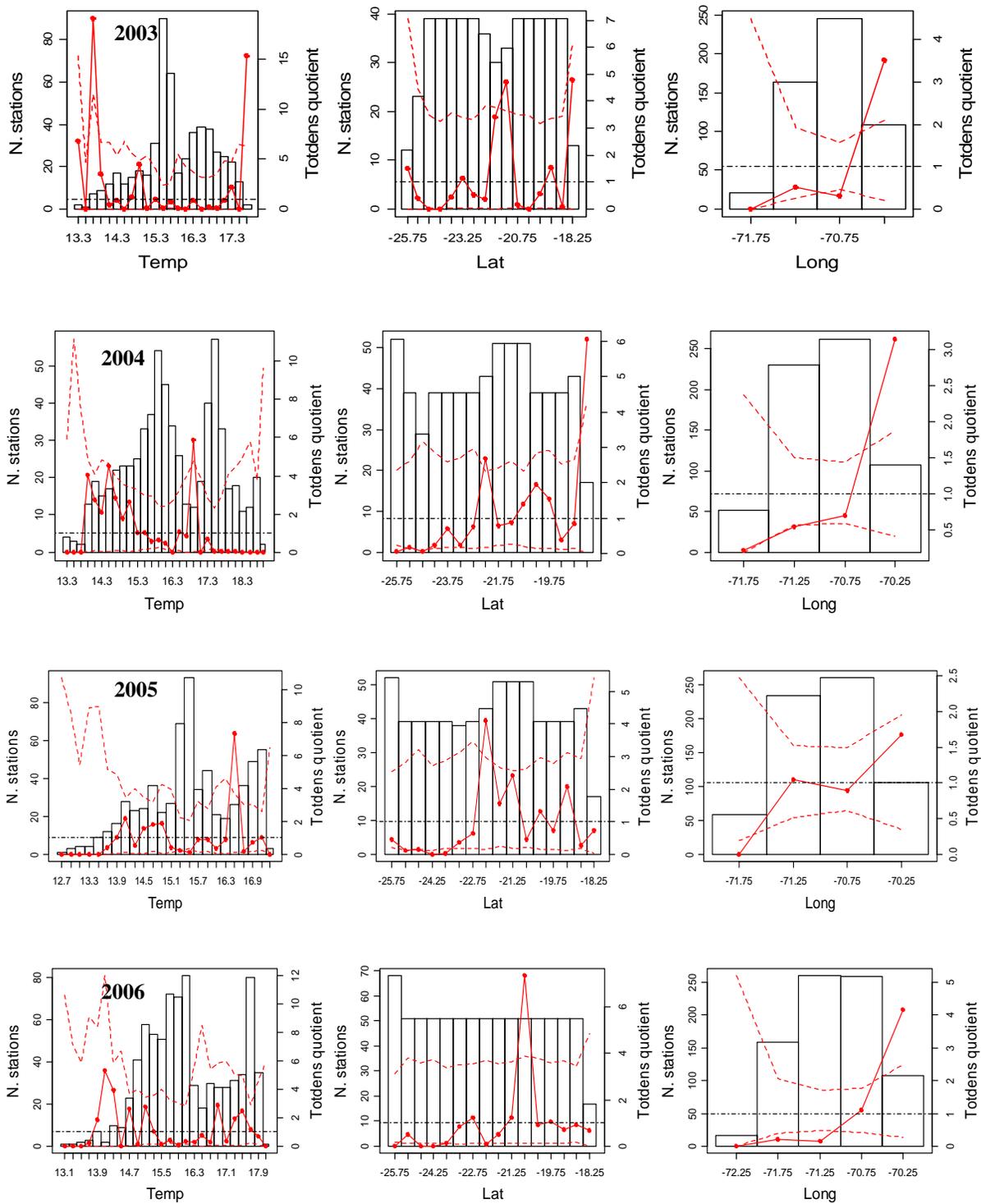


Figura 42. (Continuaci3n) para los a1os 2003, 2004, 2005 y 2006

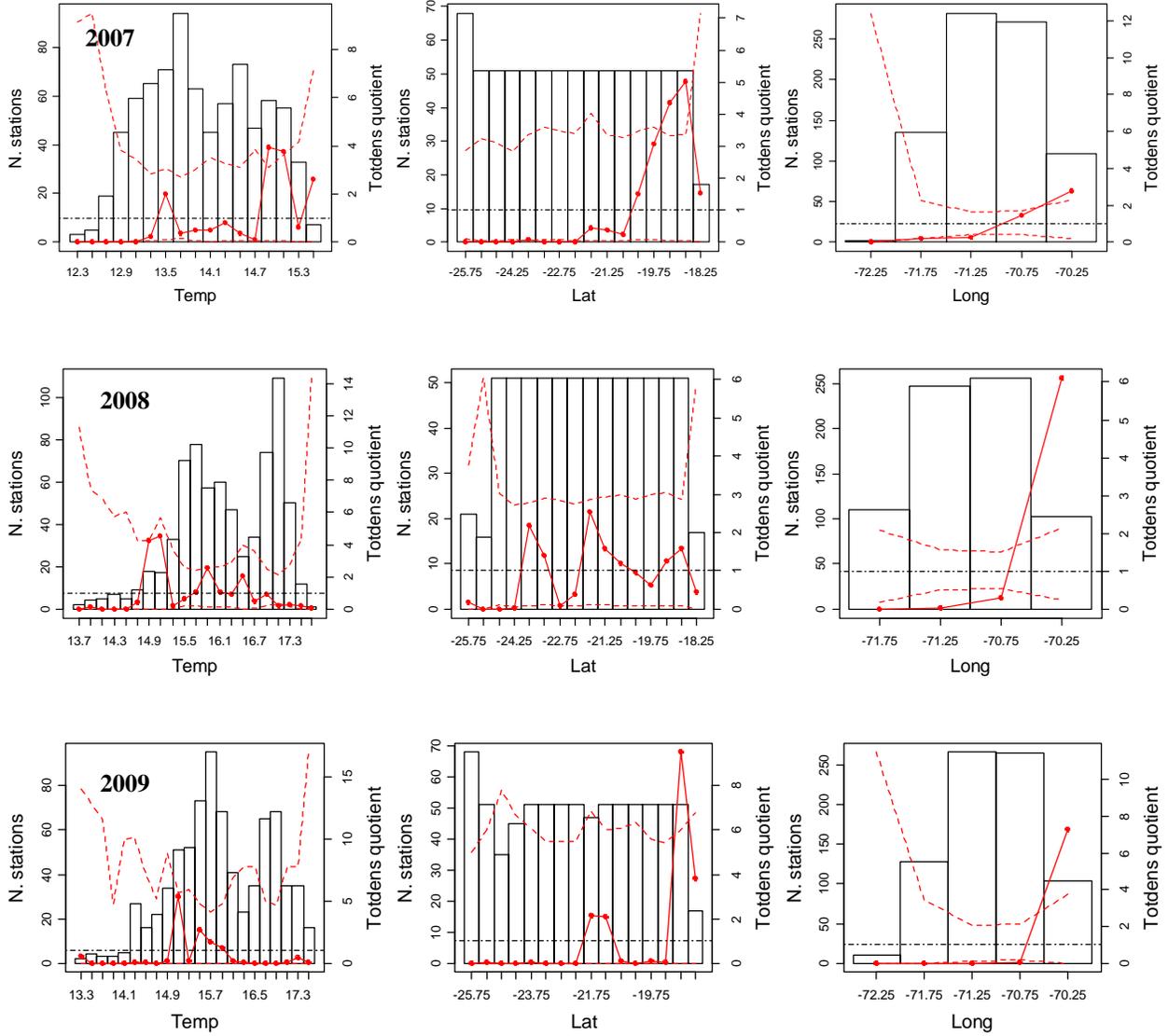


Figura 42. (Continuaci3n) para los a1os 2007, 2008 y 2009.

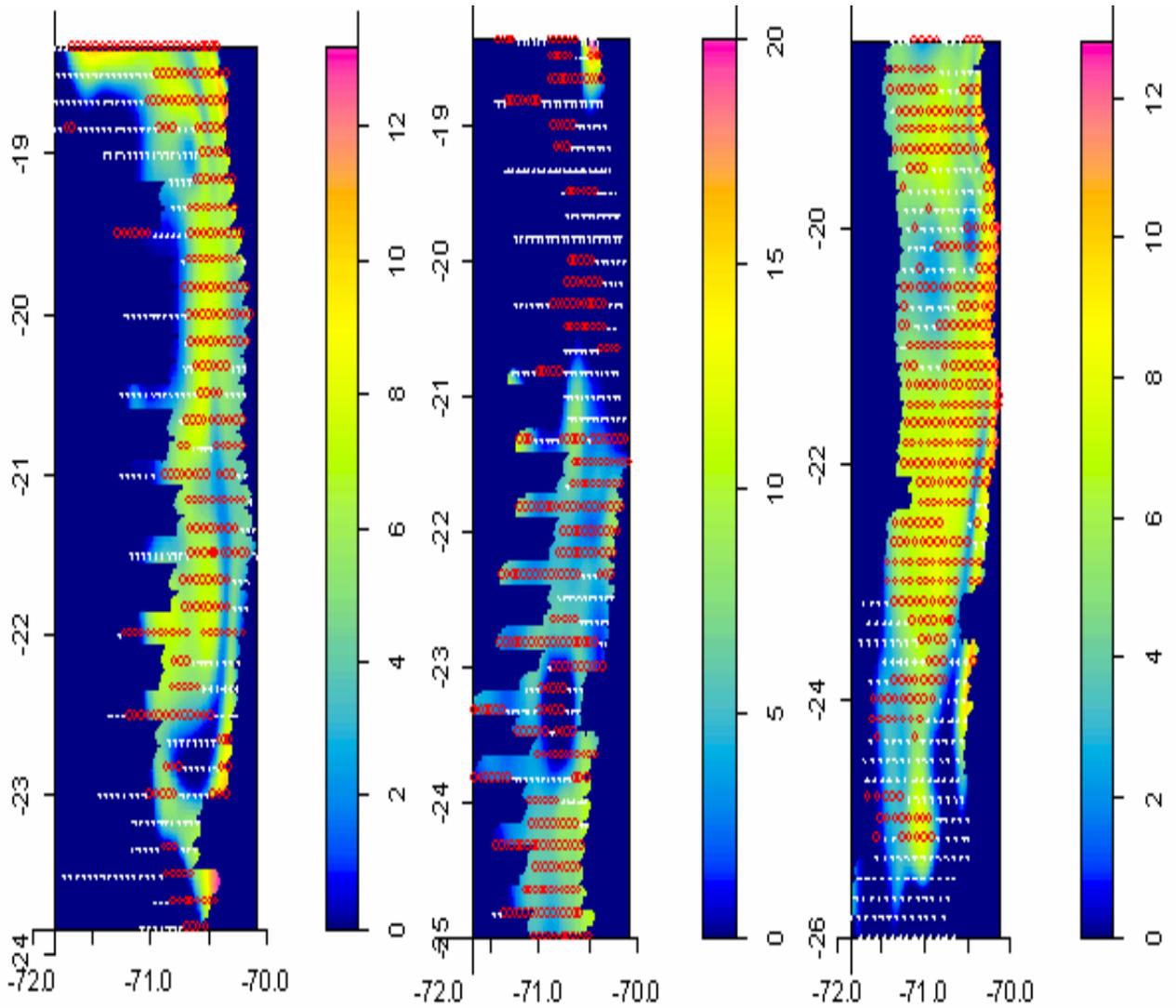
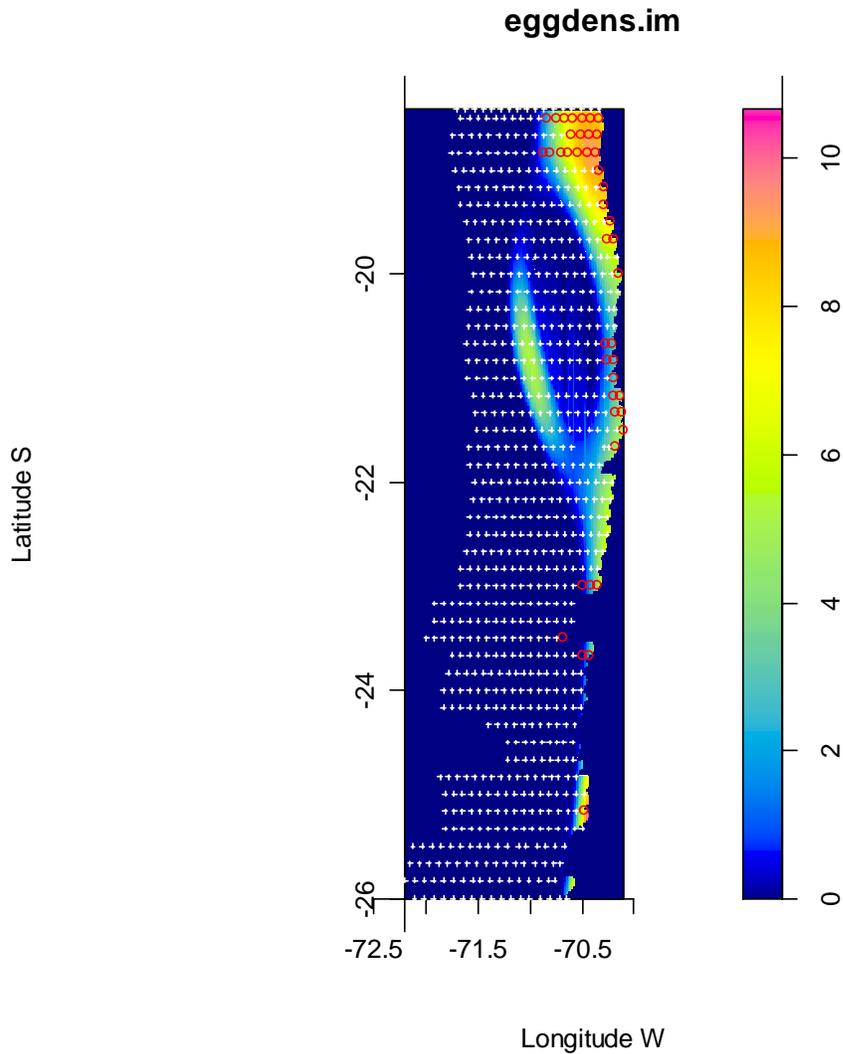


Figura 43. Densidad de huevos de anchoveta en la zona norte ( $N^{\circ}/m^2$ ) estimadas por modelo GAM en funci3n de Latitud, Longitud y Temperatura para los a1os 1992, 1995 y 2002 (izquierda a derecha). C3rculos rojos son estaciones positivas.



**Figura 44.** Densidad de huevos de anchoveta en la zona norte (N<sup>0</sup>/m<sup>2</sup>) estimadas por modelo GAM en funci3n de Latitud, Longitud y Temperatura para el a<sup>o</sup> 2009. C3rculos rojos son estaciones positivas.

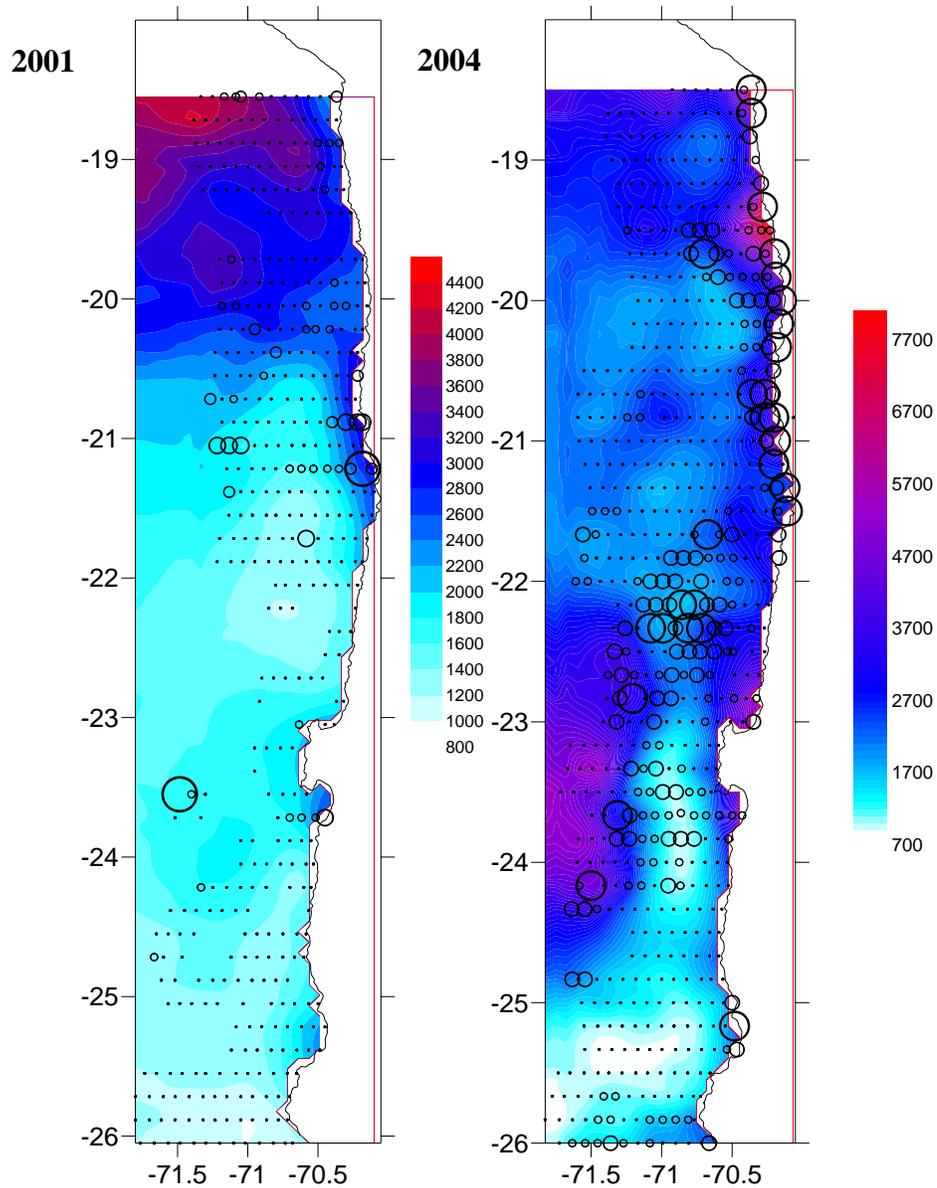


Figura 45. Abundancia de zooplancton ( $N^3/m^3$ ) menor a 3,25 mm (Diámetro Circular Equivalente) y abundancia de huevos (Círculos), para los años 2001 y 2004.

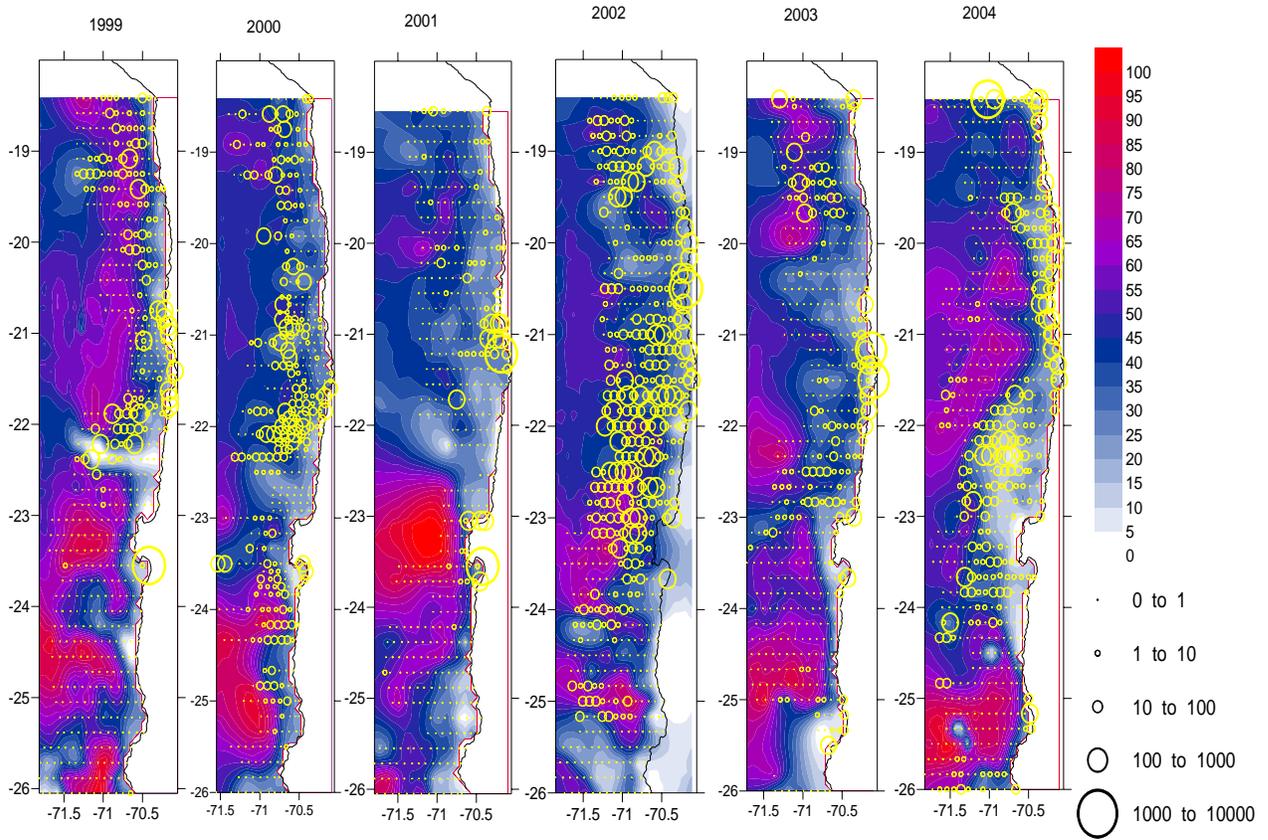
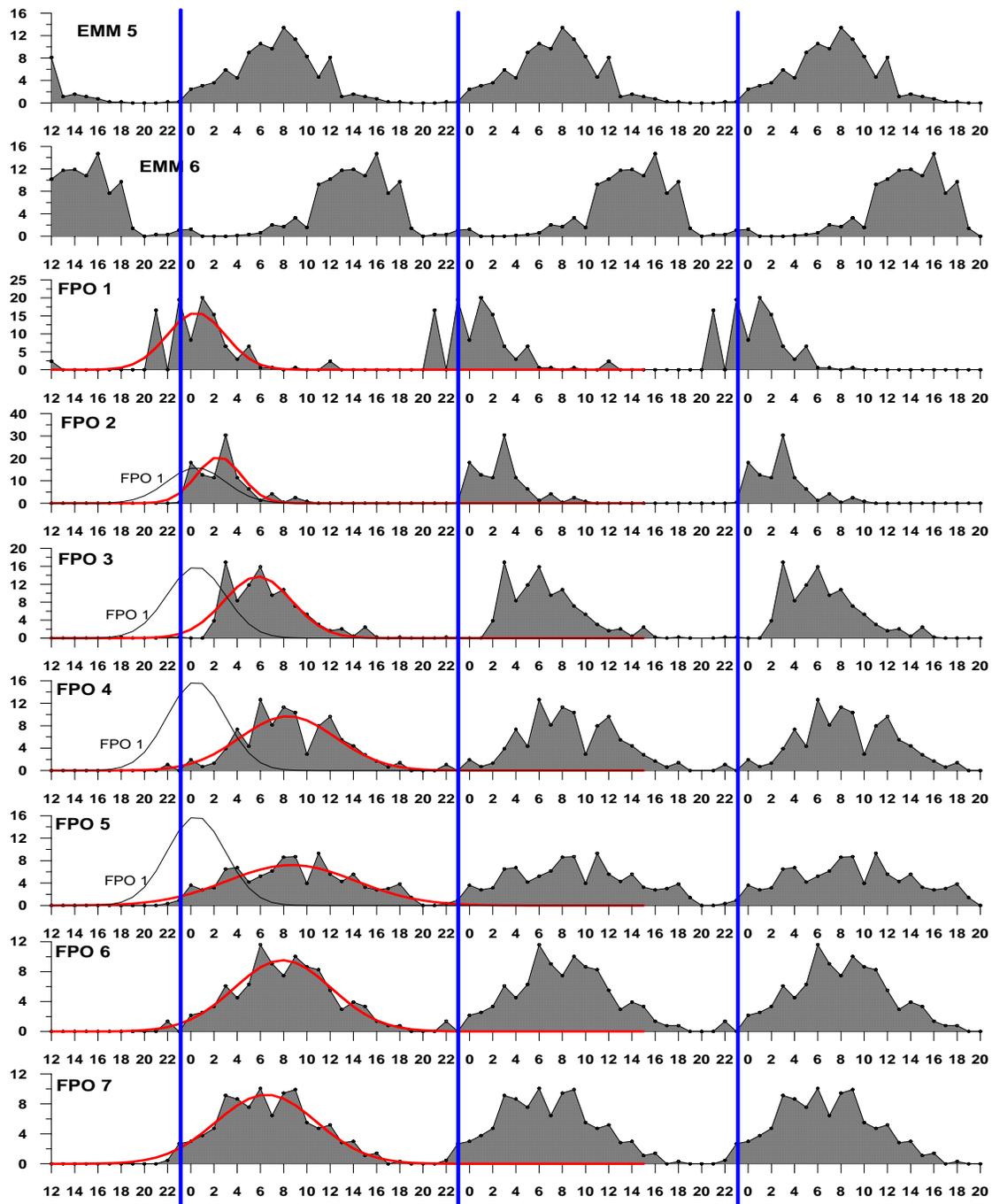


Figura 46. Profundidad de la termoclina (15 °C, en metros) y abundancia de huevos (C3rculos) para los a3os 1999 al 2004 (Izquierda a derecha)



**Figura 47.** Distribuci3n temporal de los estadios madurez microsc3pica y FPO de la zona norte de Chile. Lneas azules verticales representan el pico de desove (23:00 h). Lnea roja representa un ajuste de distribuci3n normal (Con hora acumulada a partir de las 12:00). Lnea negra delgada (FPO 1) es la repetici3n de la distribuci3n estimada para FPO 1. Informaci3n acumulada del 2004 al 2008 (Claramunt *et al*, 2007).

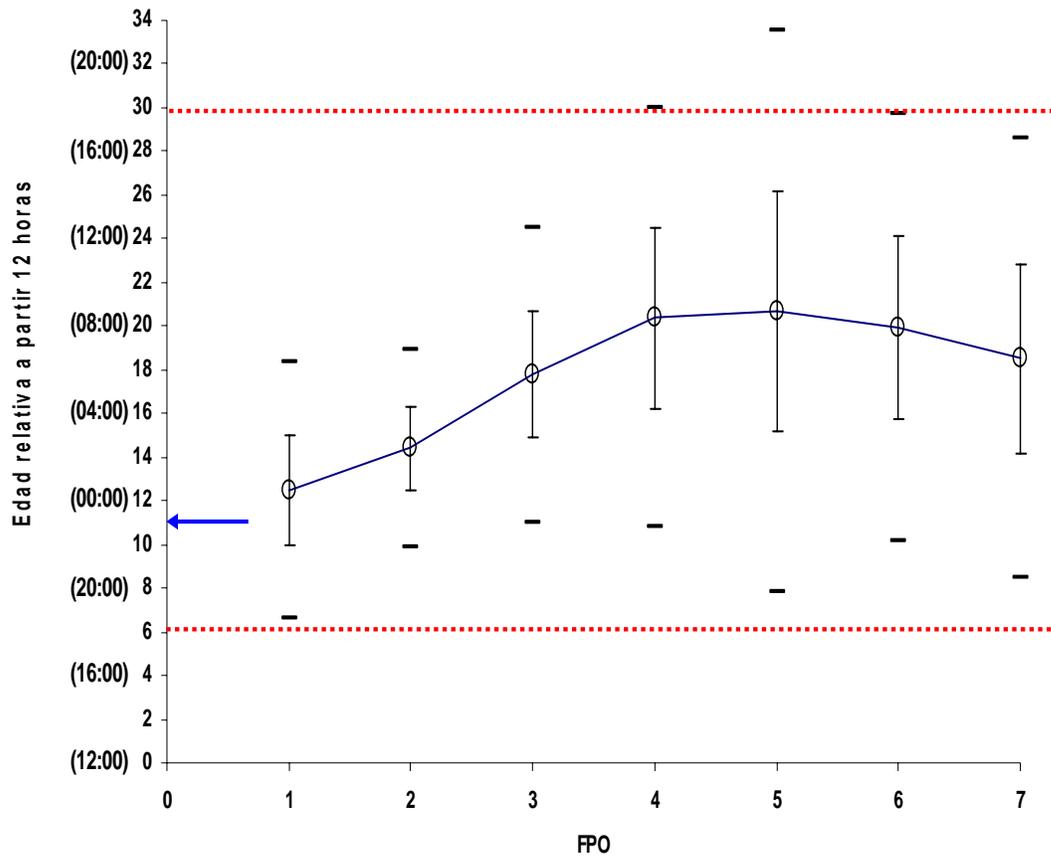


Figura 48. Edades medias de los estadios de FPO segun ajuste por modelo de tipo Normal en base a la hora acumulada a partir de las 12:00. Crculos: Edades medias. Lneas verticales: Desviaci3n estandar. Lneas negras horizontales: Intervalo al 99%. Flecha azul horizontal: Pico de desove (23:00). Lneas rojas horizontales: Indica perodo de 24 horas (18:00 a 18:00). En parntesis se indica la hora del da en ciclo de 24:00 (Sin acumular).

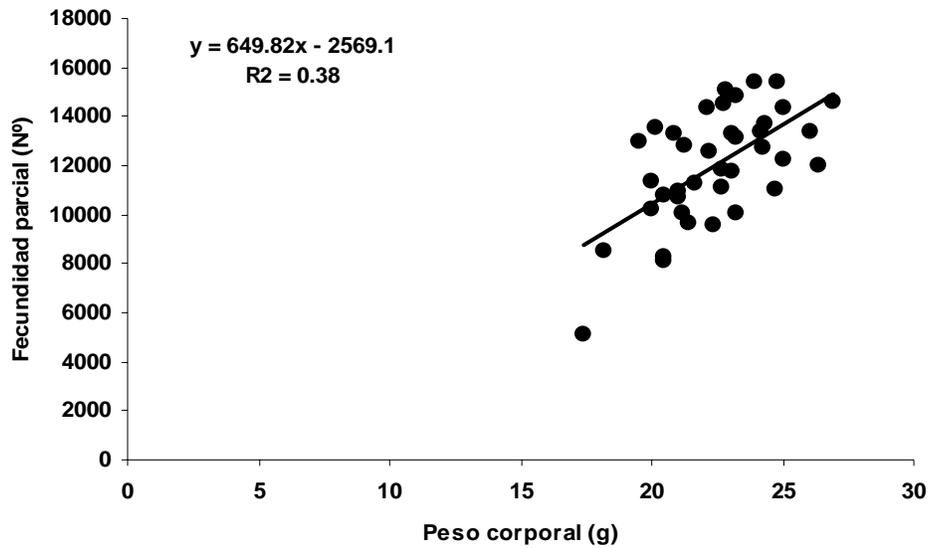


Figura 49. Fecundidad parcial en funci3n del peso corporal para el a3o 2009.

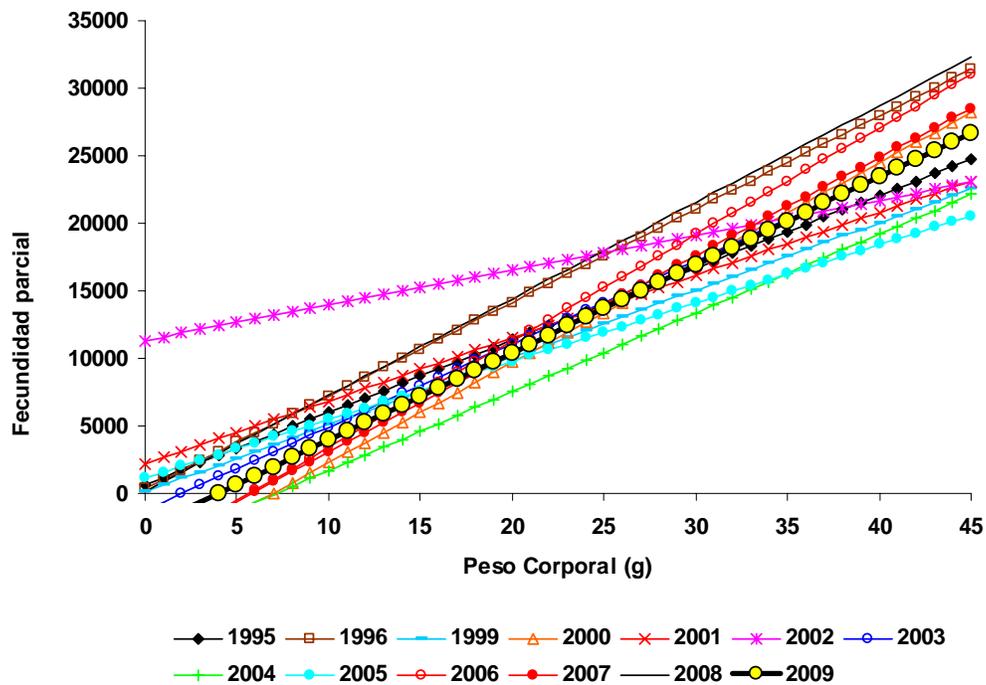


Figura 50. Regresiones de Fecundidad parcial en funci3n del Peso Corporal para distintos a3os de aplicaci3n del MPH en la zona norte.

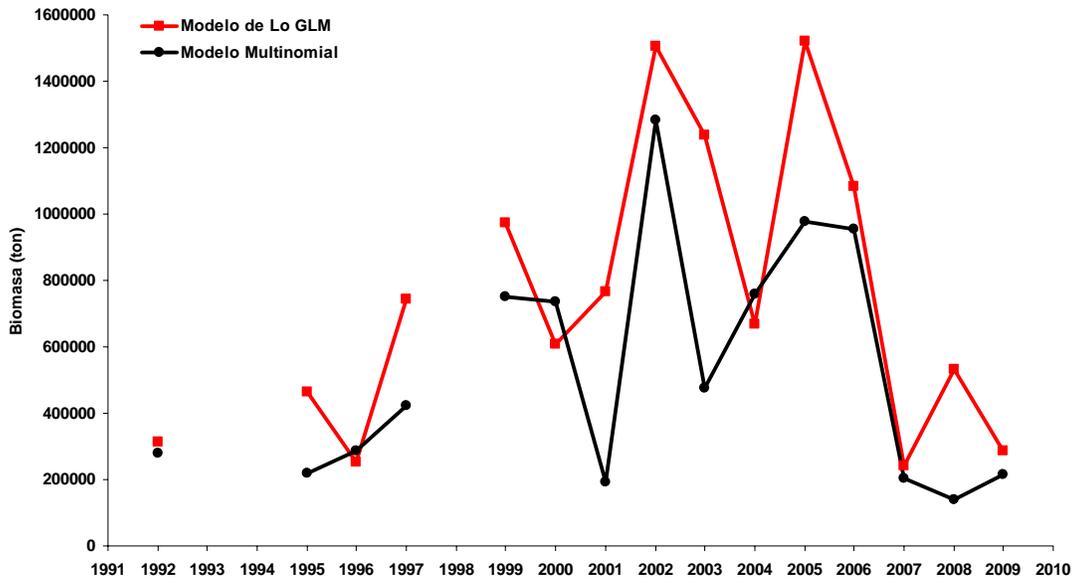


Figura 51. Biomasa desovante estimada en cada año de aplicaci3n del Método de producci3n Diaria de Huevos.

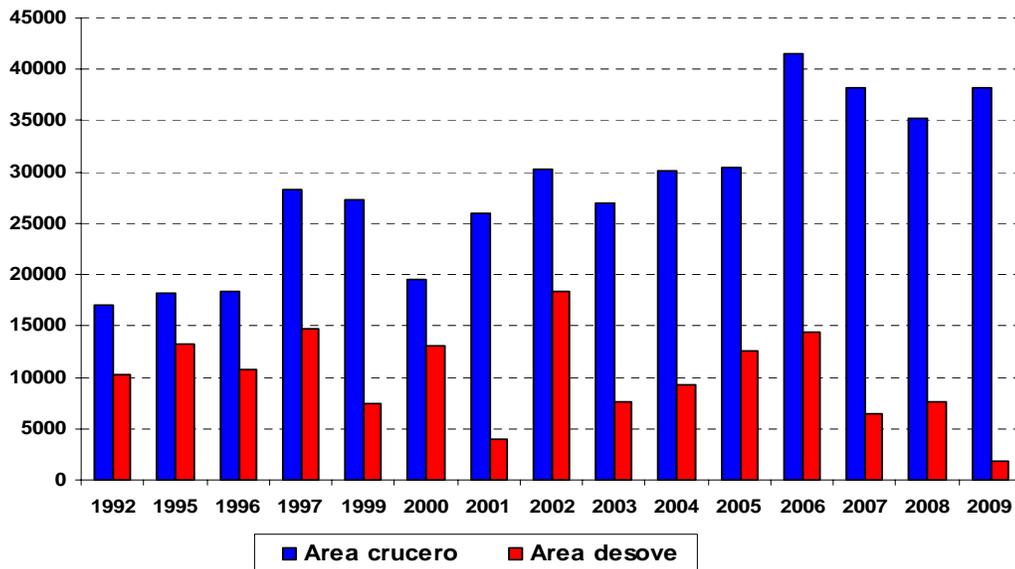


Figura 52. Áreas de crucero y de desove para cada año de aplicaci3n del Método de producci3n Diaria de Huevos.

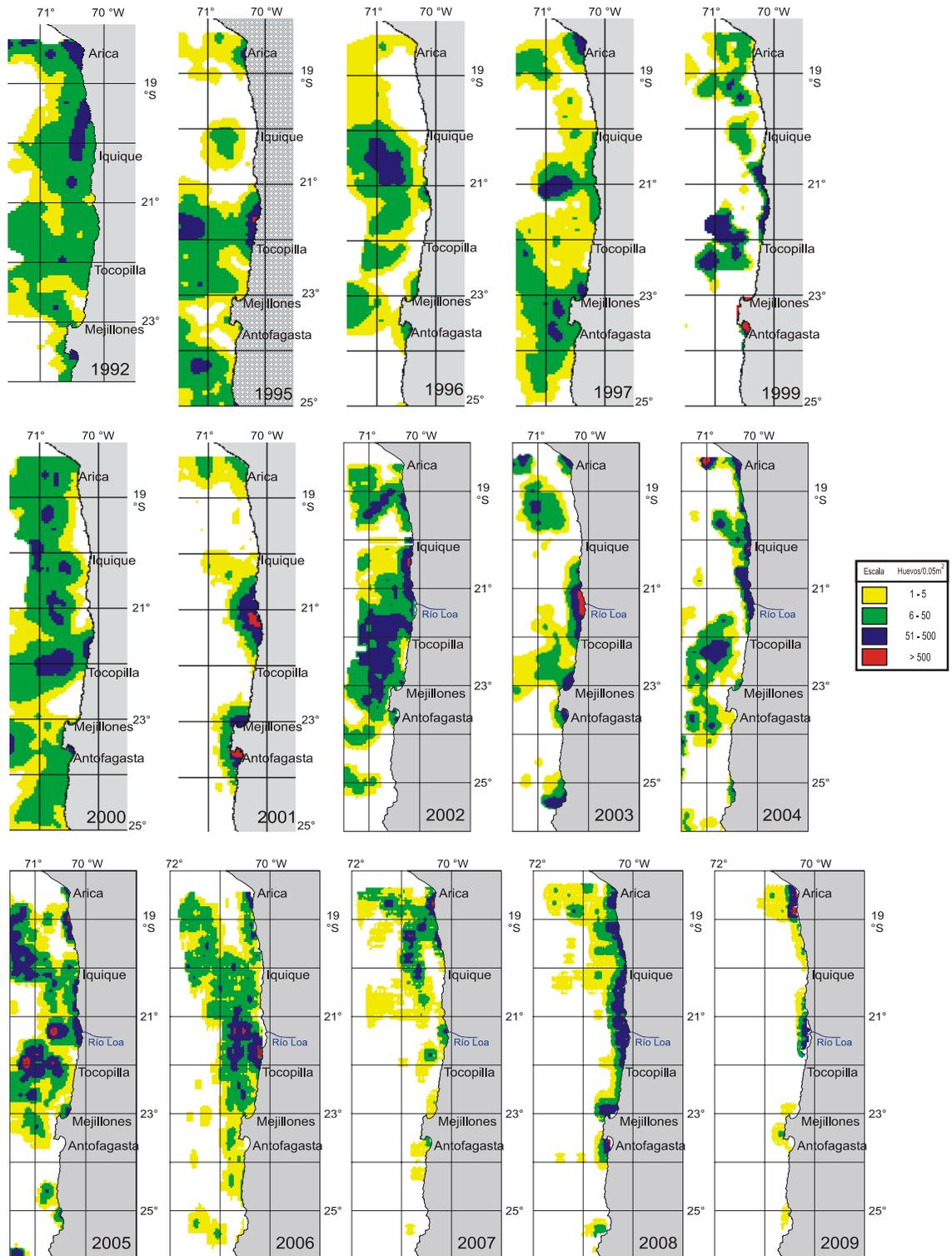


Figura 53. Distribuci3n espacial y temporal de los huevos de anchoveta. Per3odo 1992-2009.

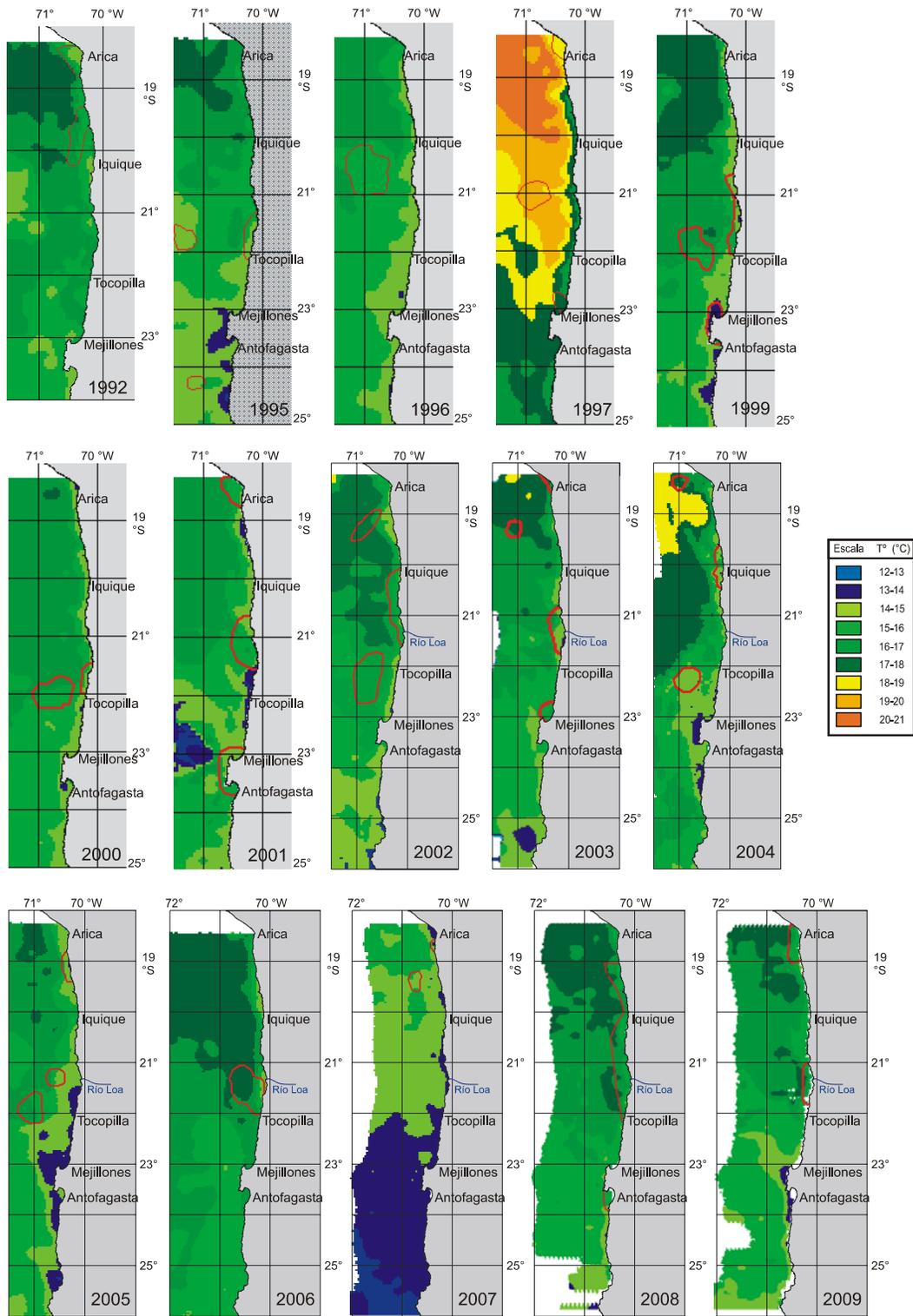


Figura 54. Distribuci3n espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Per3odo 1992-2009.

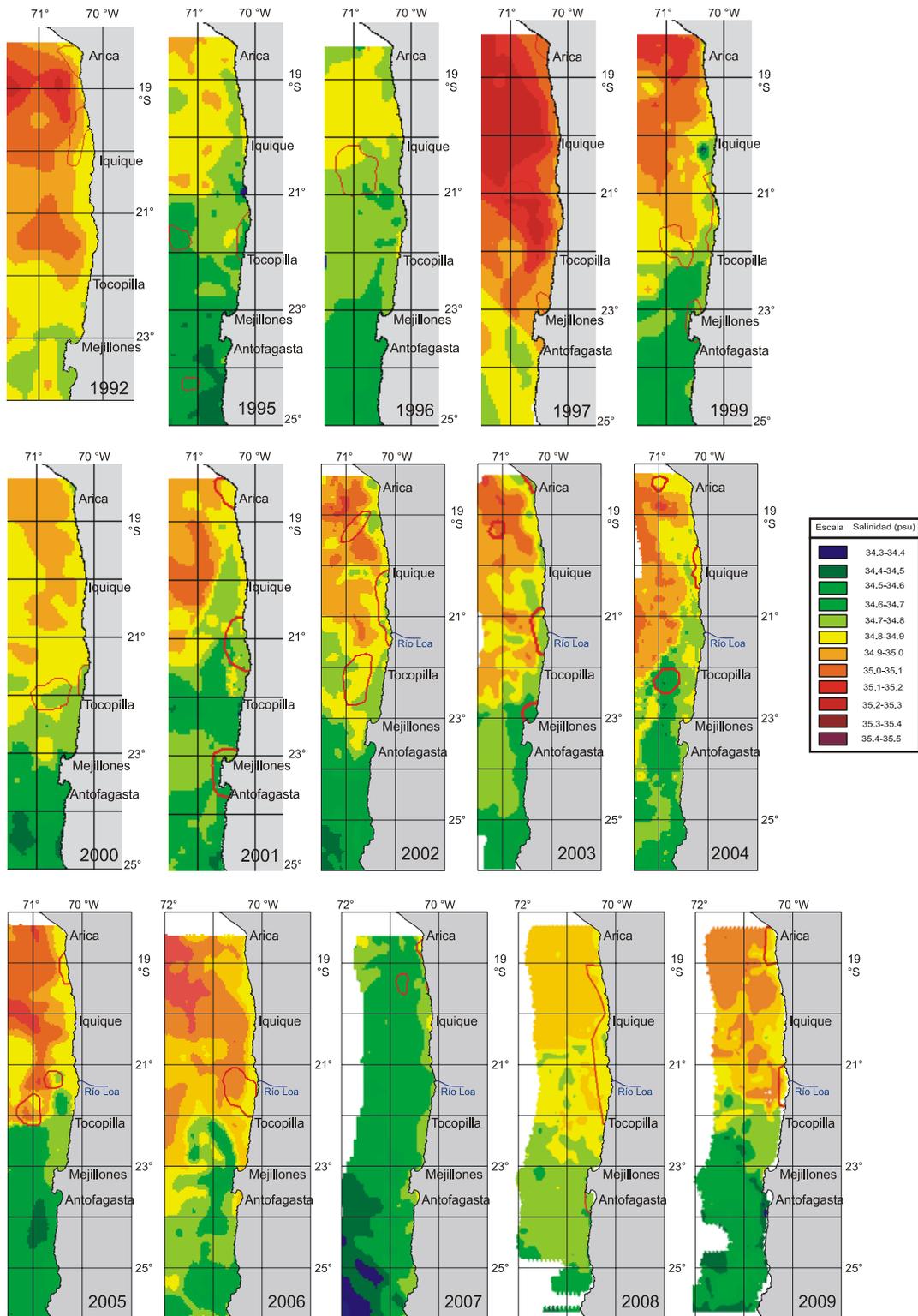


Figura 55. Distribuci3n espacial y temporal de la salinidad superficial. Per3odo 1992-2009.

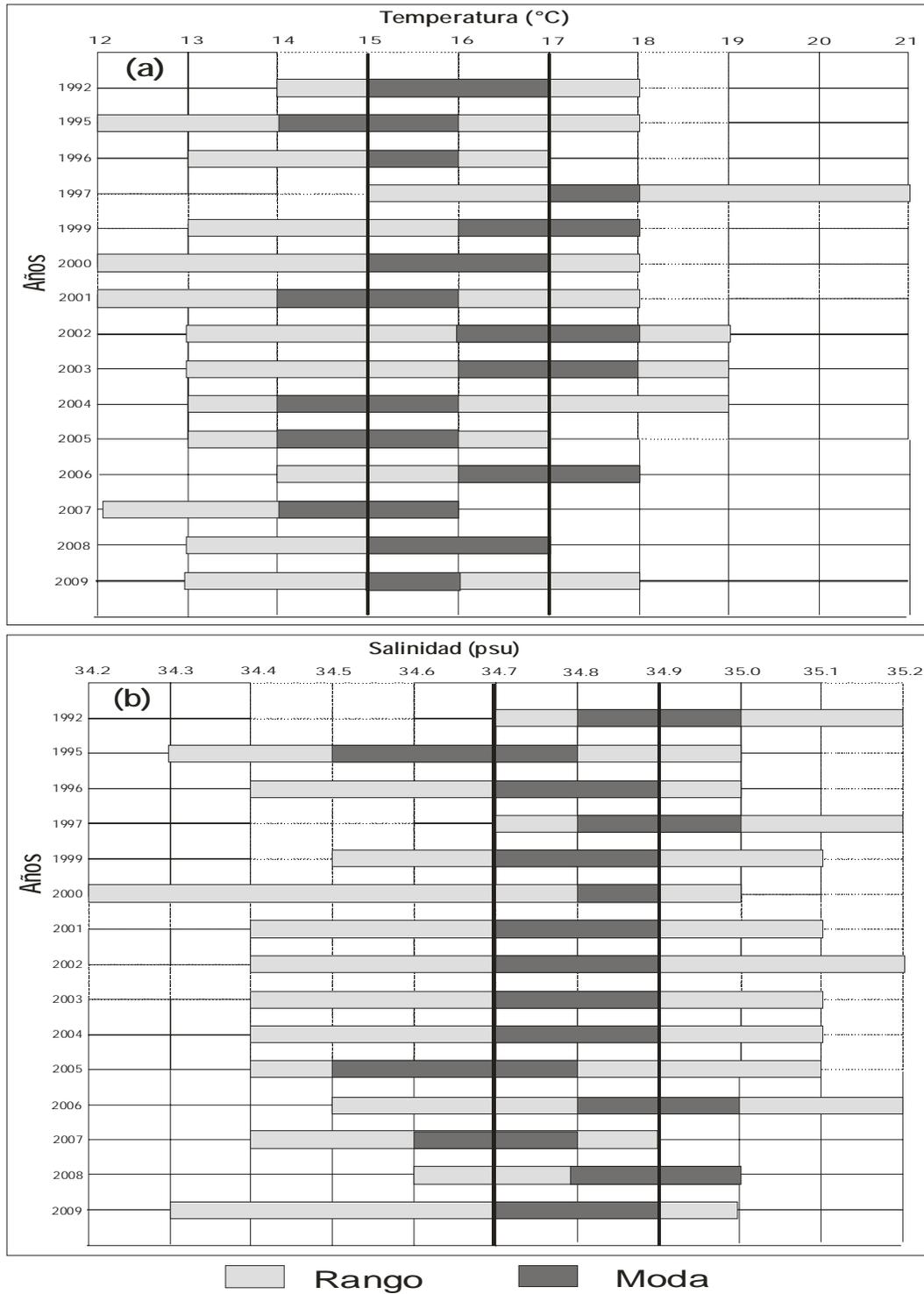


Figura 56. Rangos de distribuci3n preferencial de los huevos de anchoveta respecto de: a) temperatura (°C) y b) salinidad (psu). Per3odo 1992-2009.

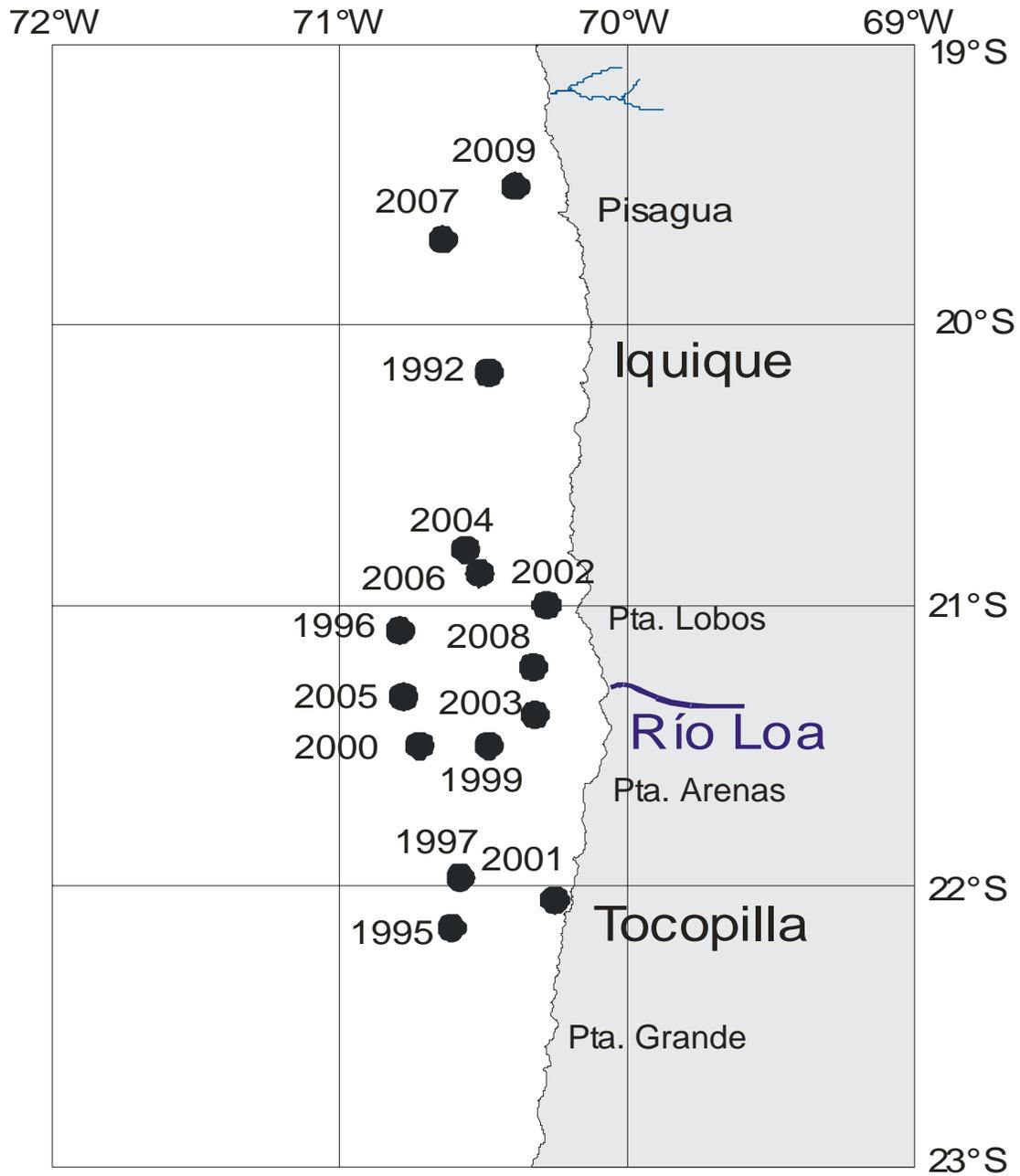


Figura 57. Distribuci3n espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de huevos de anchoveta. Per3odo 1992-2009.

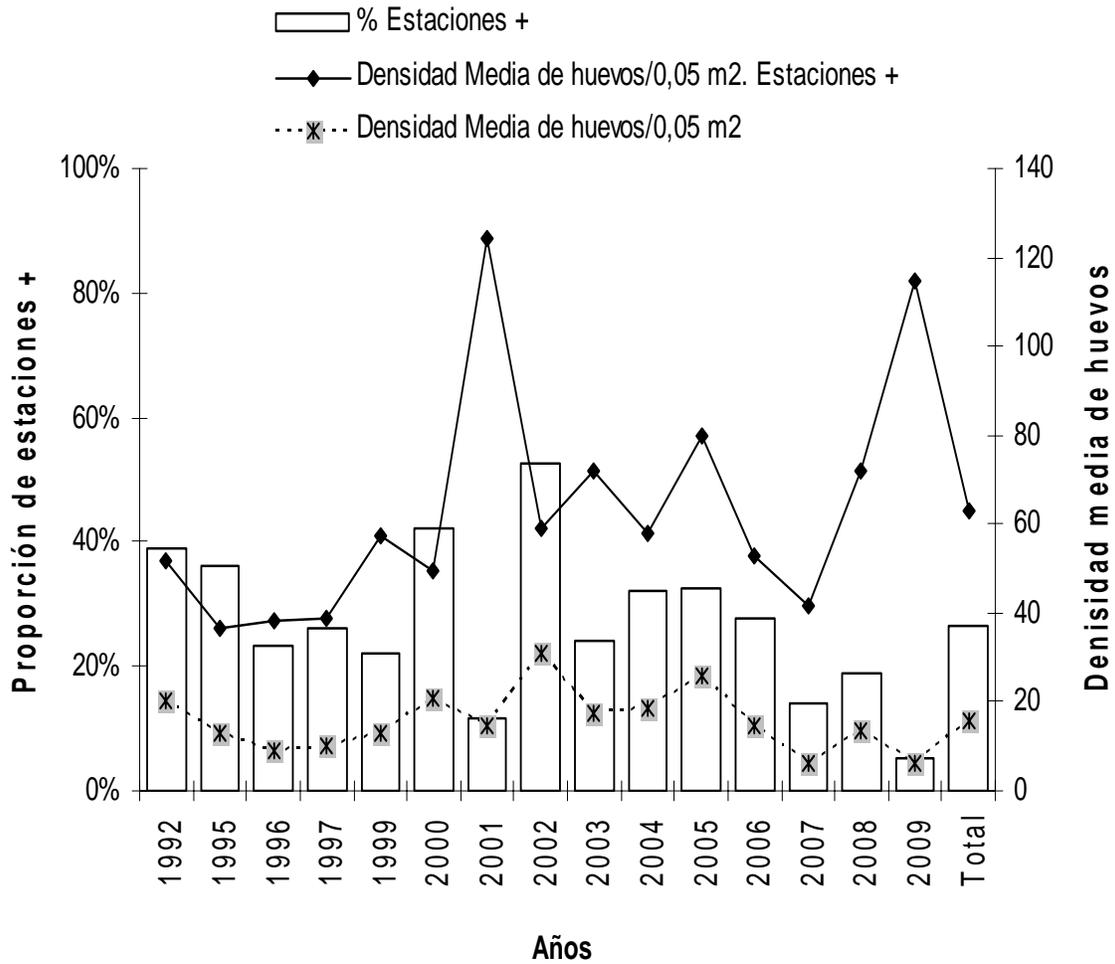
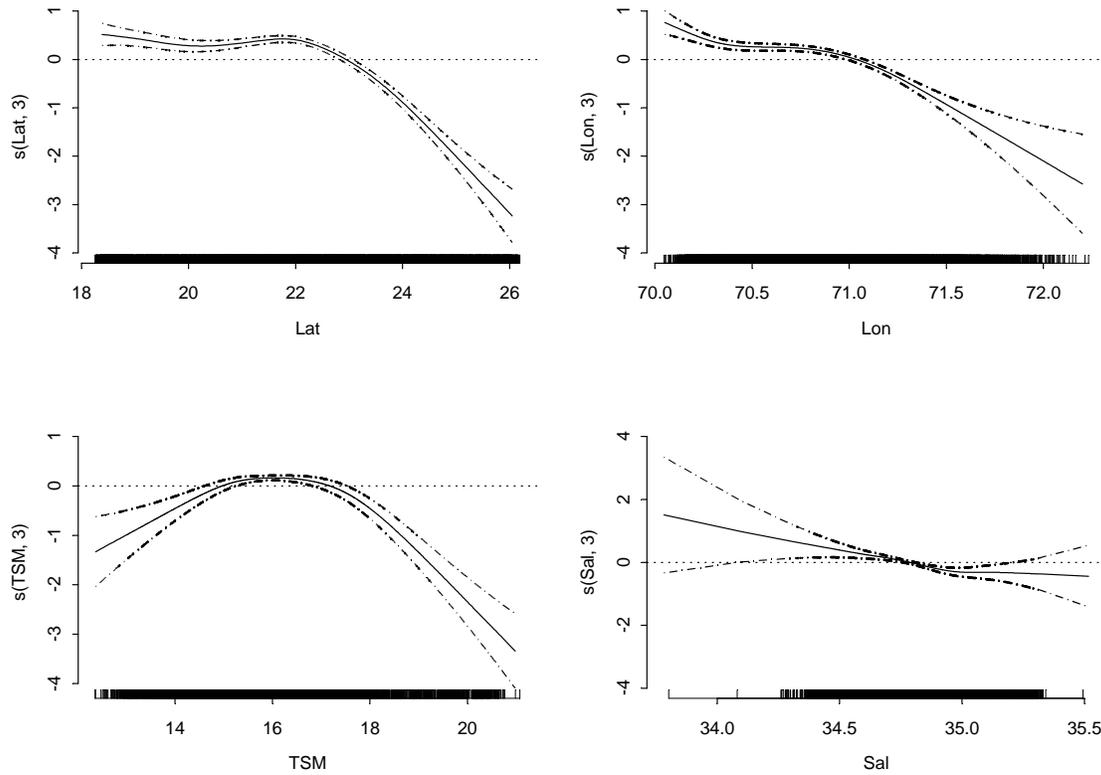
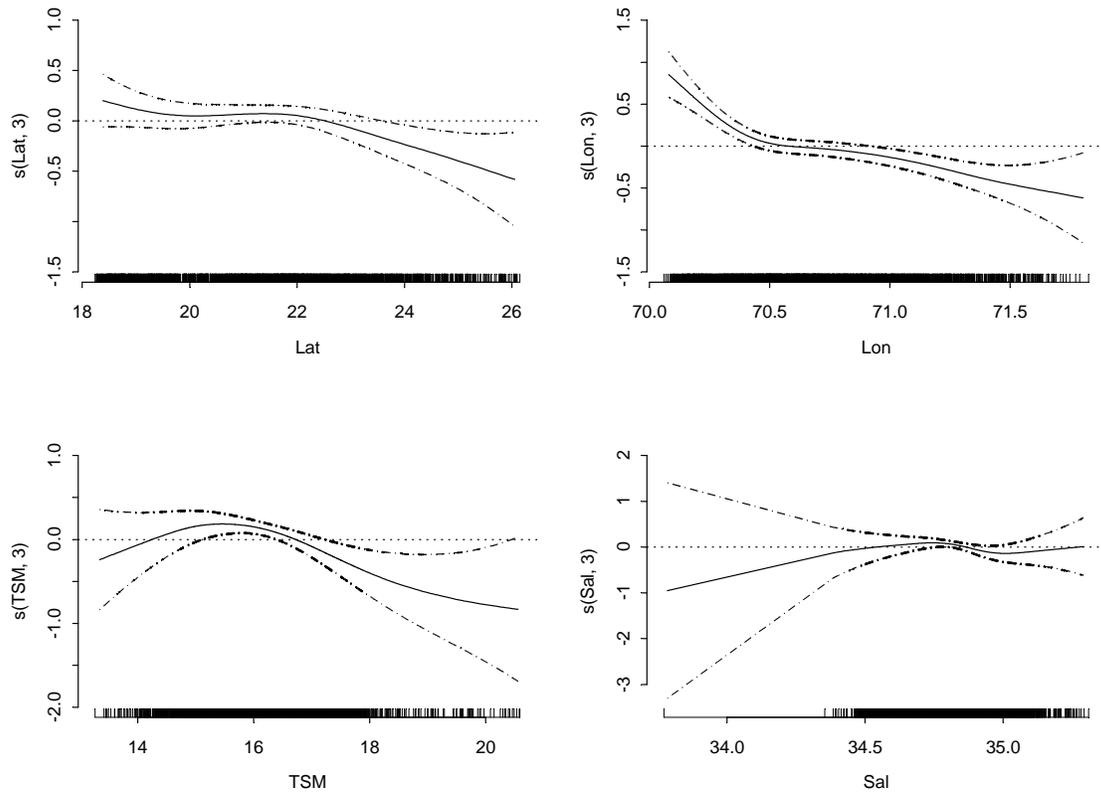


Figura 58. Densidad media de huevos para el total de estaciones y estaciones positivas y proporción de estaciones con presencia de huevos de anchoveta, por año y total. Cruceos realizados entre la I y II Región, desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.



**Figura 59.** 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. Desde los a3os 1995 a 1997 y 1999 al 2009.



**Figura 60.** 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. Desde los a3os 1995 a 1997 y 1999 al 2009.

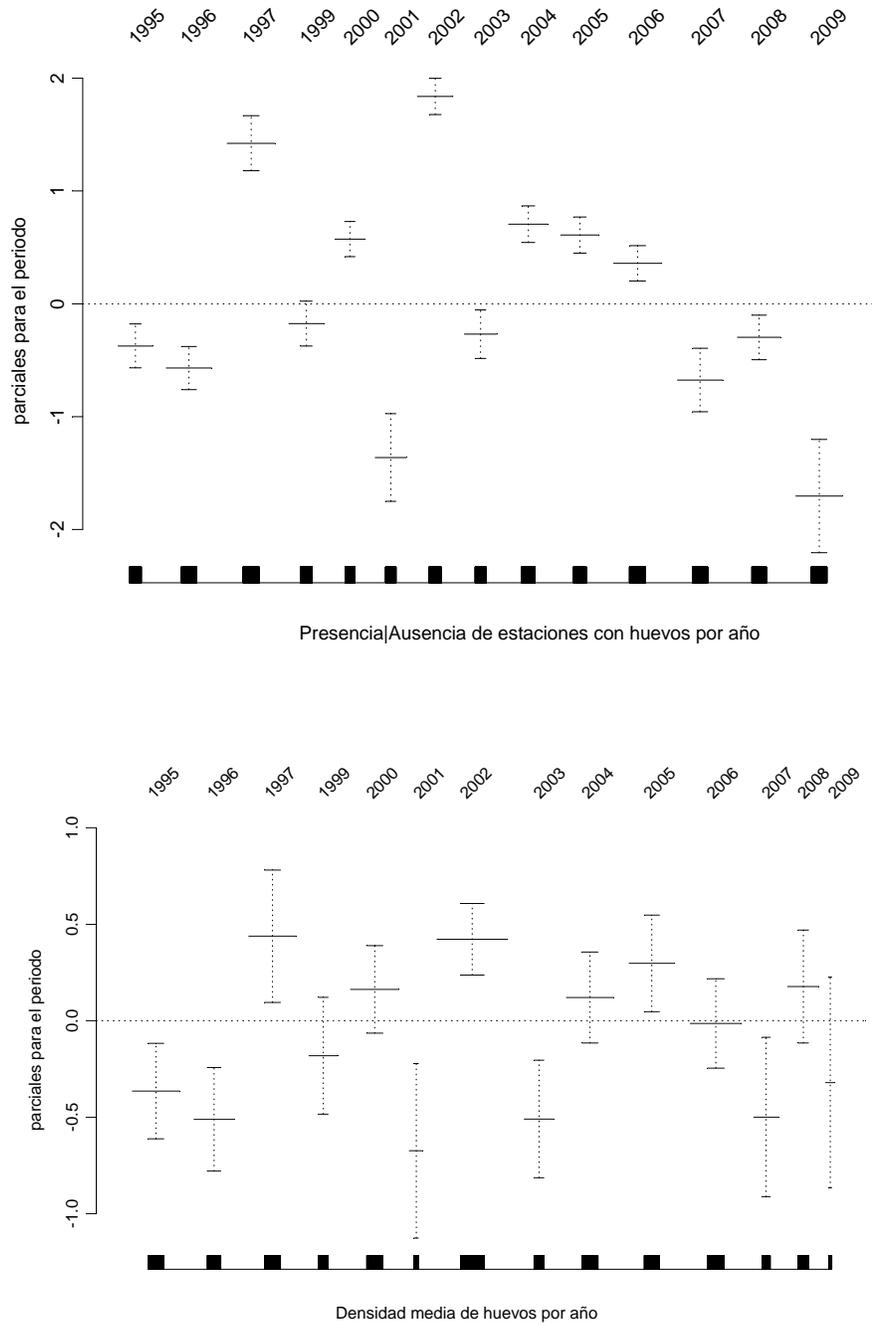


Figura 61. Tendencias de los índices por año obtenidos del ajuste de modelos GAM para la presencia/ausencia y la densidad de huevos de anchoveta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.

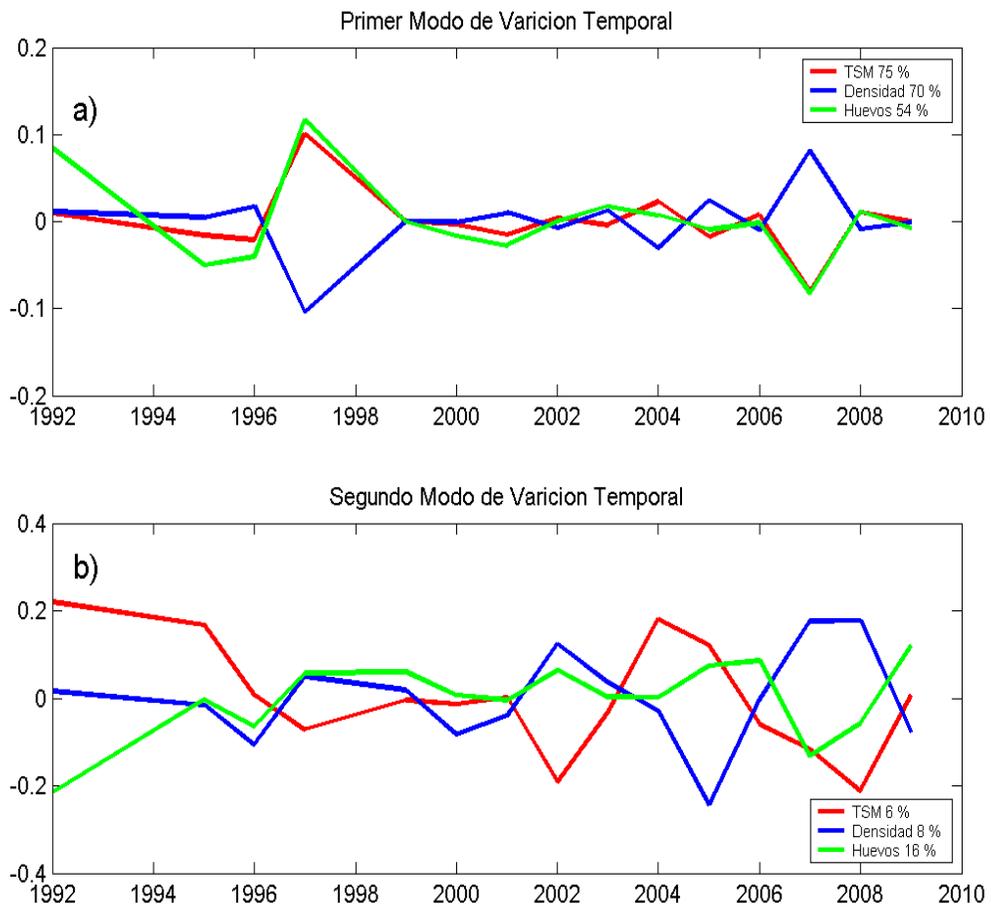
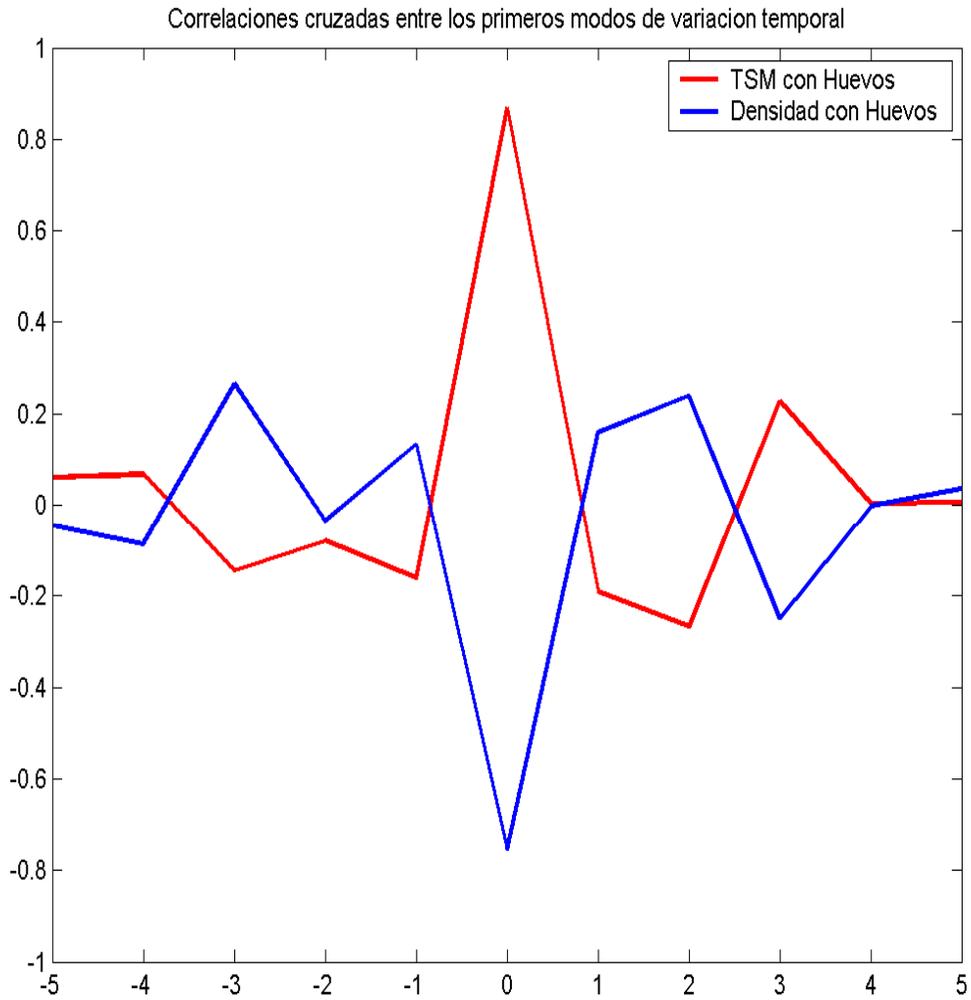


Figura 62. Primer (a) y segundo (b) modo de variaci3n temporal de las variables TSM, densidad del agua de mar y huevos de anchoveta.



**Figura 63.** Correlaciones cruzadas entre los primeros modos de variaci3n temporal de las variables TSM, densidad del agua de mar y huevos de anchoveta.

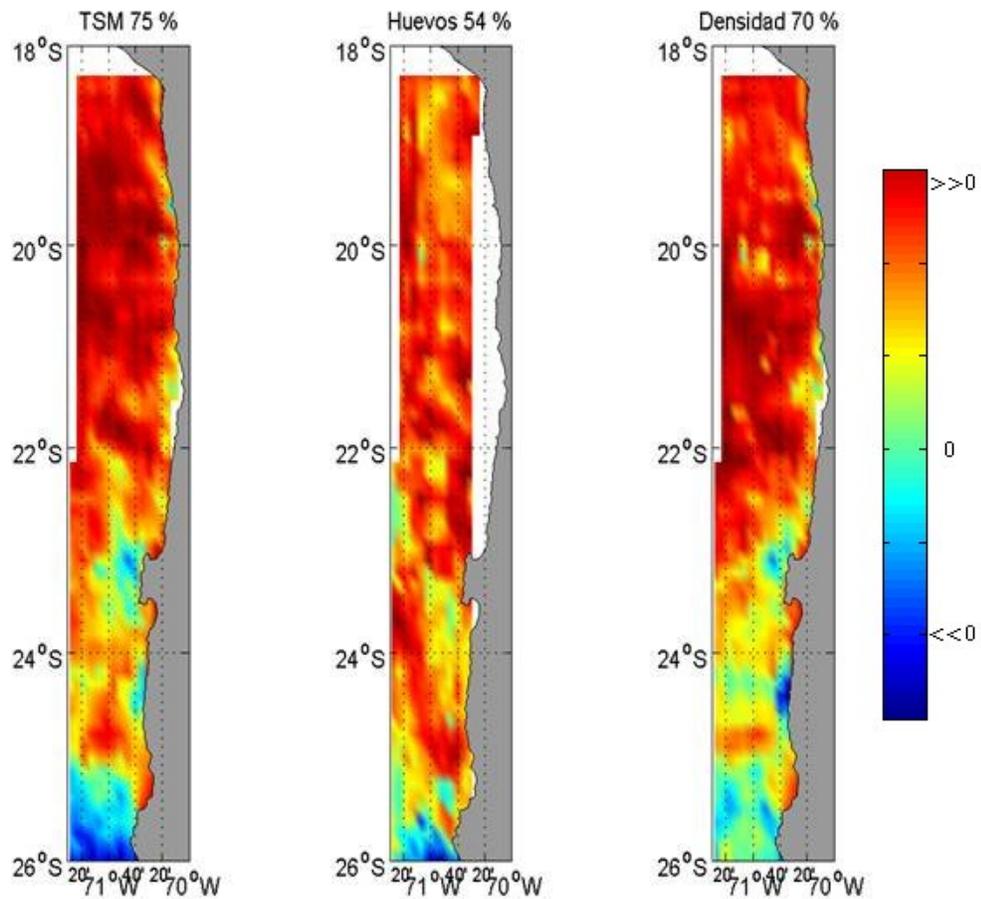


Figura 64. Primer modo de variaci3n espacial de las variables TSM, densidad del agua de mar y huevos de anchoveta y el porcentaje de explicaci3n del primer modo para cada variable analizada.

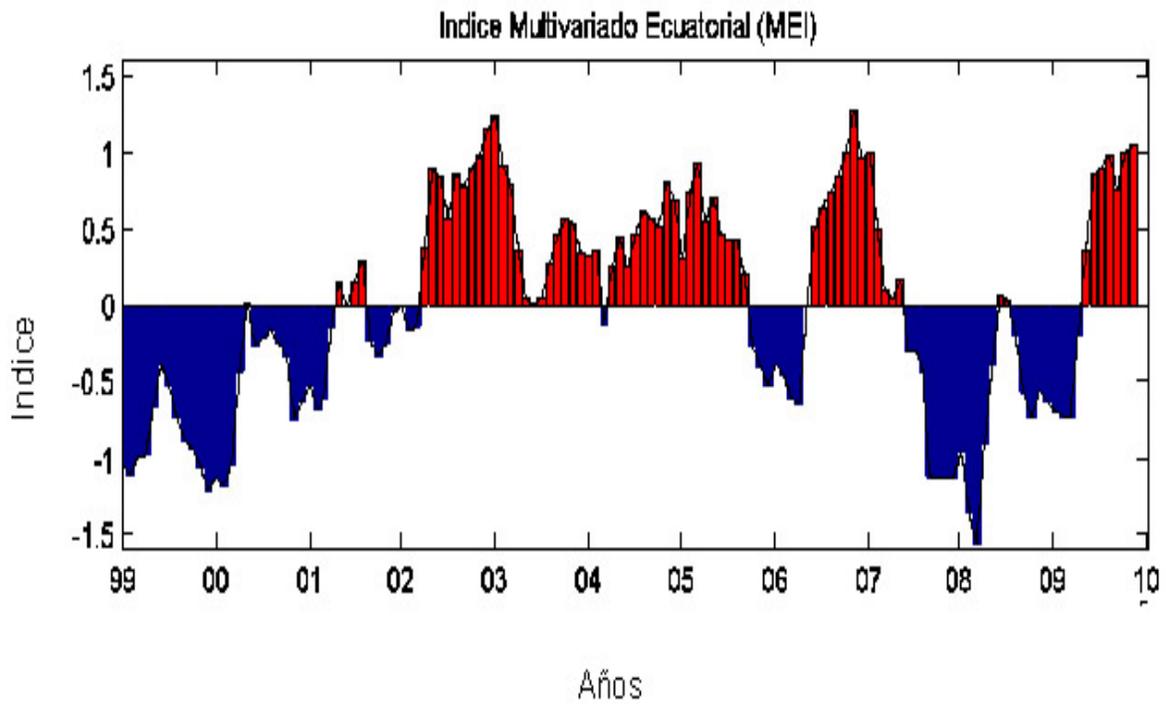


Figura 65. Valores históricos del índice multivariado Ecuatorial entre el período 1999 - 2009  
(Fuente: Earth system research Laboratory (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>).

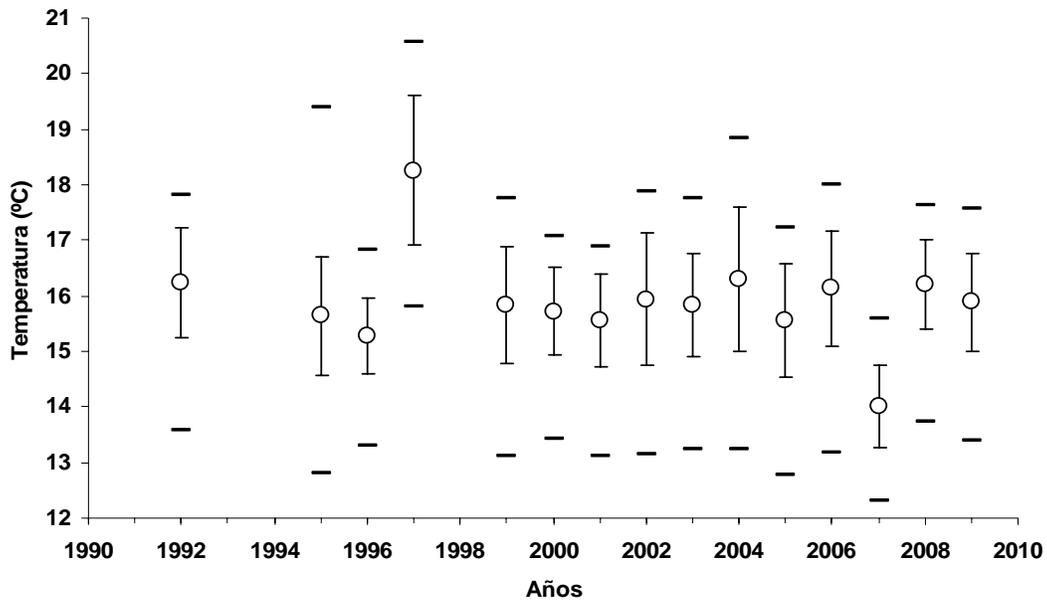


Figura 66. Temperaturas promedio a 10 metros (°C) de profundidad de los cruceros del MPH en la zona norte de Chile. Líneas verticales representan la desviación estándar y líneas horizontales los valores mínimos y máximos.

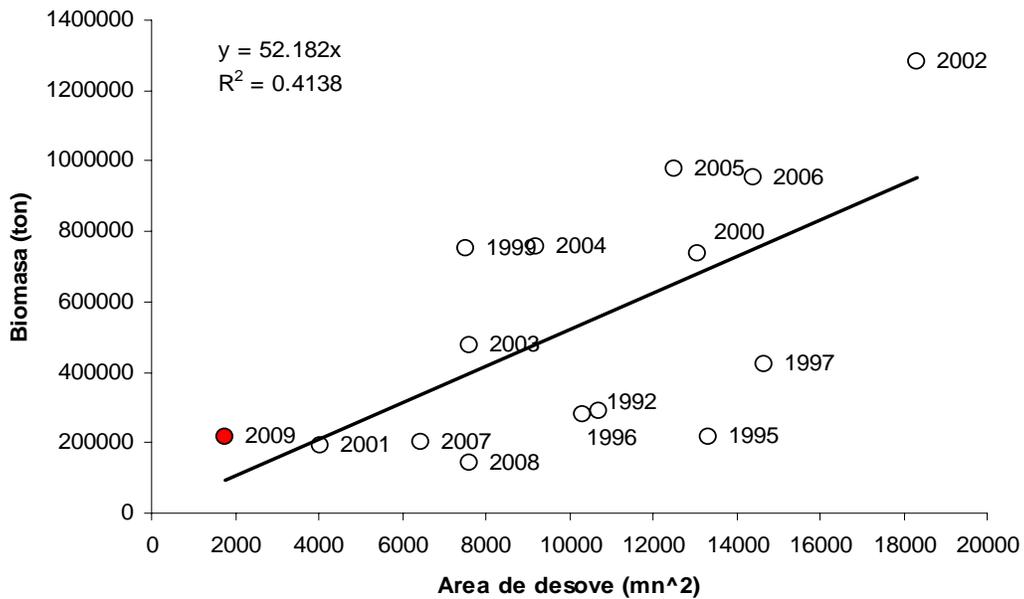


Figura 67. Relaci3n entre área de desove (mn<sup>2</sup>) y la Biomasa desovante (ton) estimada por el MPDH.

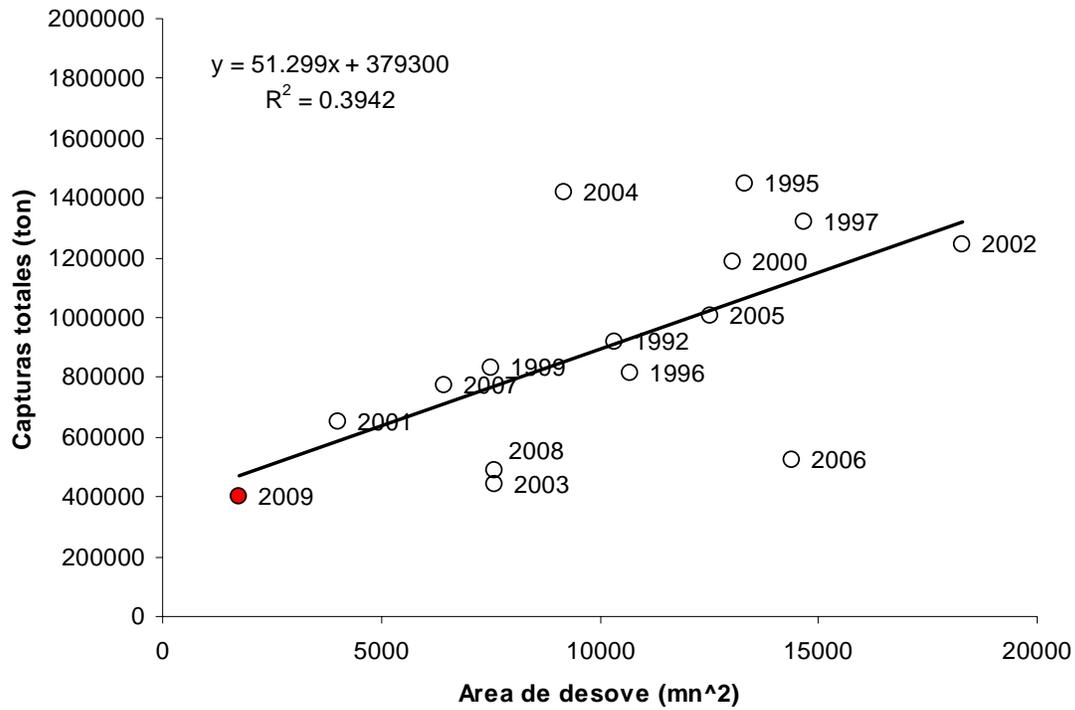


Figura 68. Relaci3n entre el 1rea de desove (mn<sup>2</sup>) y la captura total del a1o (ton). Captura para el a1o 2009 es una cifra preliminar a Noviembre.

# T A B L A S

---





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

<b>ESTADIO OV3RICO</b>	<b>CITOLOGIA E HISTOMORFOLOGIA OV3RICA</b>
<b>Estadio I: Virginal</b>	Ovario con numerosos nidos ovogoniales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo intersticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos.
<b>Estadio II: Inmaduro (reincidente)</b>	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas 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.
<b>Estadio III: Parcialmente vitelado</b>	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.
<b>Estadio IV: Vitelado</b>	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.
<b>Estadio V: En maduraci3n</b>	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.
<b>Estadio VI: Hidratado (hialino)</b>	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.
<b>Estadio VII: En desove</b>	Co-existencia de ovocitos hidratados y fol3culos postovulatorios nuevos, entre ovocitos en depositaci3n temprana de vitelo.
<b>Estadio VIII: Desovado</b>	Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia abundante atresia folicular, tanto alfa como beta. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente fol3culos postovulatorios viejos.



**Tabla 2**  
Clasificaci3n histol3gica de los folículos postovulatorios (FPO) de anchoveta, segùn grado de degeneraci3n (Claramunt *et al.*, 2007).

Estadios del FPO		I	II	III	IV	V	VI	VII
<b>Tamaño</b>		Grande	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño	Muy pequeño	Remanente
<b>Forma del FPO y relación con el lumen</b>		Forma estrellada con grandes pliegues, lumen con gránulos eosinófilos	Forma estrellada Pliegues más próximos entre si lumen con gránulos	Tendencia a perder los pliegues, forma alargada , lumen en reducci3n sin gránulos	Escaso lumen, pared folicular en estrecho contacto	Sin lumen, laminas foliculares en estrecho contacto	Sin lumen, aspecto poligonal laminas deterioradas	Aspecto poligonal deteriorado
<b>Folicular</b>	<b>Células</b>	Celulas cilindroides, poco hipertrofiadas forma una banda celular de limites claros	Idem	Idem	Pérdida de ordenamiento, limites visibles aislados	Desorden celular, pocas células reconocibles	Escasas células reconocibles	No se reconocen células individuales
<b>Folicular</b>	<b>Núcleo</b>	Redondeado a elíptico	Pocos núcleos alargados picnóticos	Predominio de núcleos picnóticos	Idem	Idem	Escasos y picnóticos	Idem
<b>Folicular</b>	<b>Vacuolas</b>	No se reconocen	Escasas y muy pequeñas	De menor o igual tamaño al núcleo, poco numerosas	De igual o mayor tamaño al núcleo, numerosas	Grandes y dominan en las laminas celulares	Idem	No se reconocen
<b>Teca</b>		Fuertemente adherida y con células alargadas	Adheridas a la folicular, con alguna picnosis	Incidencia de células sanguíneas y capilares entre la teca y la folicular	Separada de la folicular por invasi3n de estroma ovárico a tramos	Completamente separada por invasi3n del estroma ovárico	Poco reconocible	No se reconoce



**Tabla 3**  
Clasificaci3n de los estadios de desarrollo embrionario. (Santander *et al.*, 1984).

Estadio	Características
Estadio I:	Huevos recientemente desovados, no segmentados, con acumulaci3n conspicua de citoplasma en el polo animal conformado el blastodisco.
Estadio II:	Desarrollo de la capa blastodérmica con inicio de la divisi3n celular, hasta la agregaci3n de células que toman la apariencia de m3rula.
Estadio III:	Desde la formaci3n 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 embri3n, 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 formaci3n de los mi3meros 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 separaci3n de la cola desde el vitelo. Excepto en la regi3n caudal, los mi3meros 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 porci3n 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 porci3n libre de la cola equivale a un quinto de la longitud del vitelo y a la longitud total de la cabeza del embri3n.
Estadio IX:	La separaci3n de la cola fluctúa entre un cuarto y un medio de la longitud del vitelo. La torci3n de la cola se produce fuera del plano del embri3n.
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 4**

Características de los estadios morfohistol3gicos de los folículos postovulatorios (FPO) de *Engraulis encrasicolus* (ICES, 2005; Alday *et al.*, 2006).

Estadios de FPO		I	II	III	IV	V	VI	VII
<b>Tamaño</b>		Grande	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño	Muy pequeño	Restos de FPO
<b>Aspecto</b>		Forma de pliegues sueltos o doblados	Pliegues más apretados	Ligeramente reducido	Notablemente reducido	Pocos pliegues y forma más regular	Muy deteriorado	Largo o poligonal que permanece entre ovocitos
<b>Granulosa</b>	<b>Células</b>	Ordenada, columnar ligeramente hipertrofiada	Marcado alineamiento característico	Alineamiento característico muy visible	Desorganización notable	Desorden completo	Ausencia de paredes celulares	Ausencia de células
	<b>Núcleo</b>	Muy grande	Prominente con pocos picnóticos	Muchos picnóticos	Picnóticos	Picnóticos	Escasos picnóticos	Muy escasos picnóticos
	<b>Vacuolas</b>	Ausencia	Pocos	Afectan <50% de las células	Afectan >50% de las células	Masivo	Pocos	Ausencia
<b>Teca</b>		Notable separación de la granulosa	Con capilares Separados de la granulosa	Notable adherencia a la granulosa	Llega a ser más delgada y más estrechamente adherida a la granulosa	Aún visible núcleos picnóticos	Menos claro la incorporación al estroma	No visible
<b>Lumen</b>		Grande, irregular con material granular	Grande con material granular. Más regular	Fácilmente visible, con aún posible material granular	Reducido	Muy reducido-Ausencia	Ausencia	Ausencia



**Tabla 5**  
Evoluci3n semanal de los indicadores reproductivos (IGS, IAD e IAO) de la anchoveta en la Zona Arica-Antofagasta, enero-octubre, 2009.

Semana (N°)	Fecha 2009	Macrosc3pico		Microsc3pico	
		IGS (%)	IAD (%)	IAO (%)	
1	29/12 – 04/01	5,0			
2	05/01 – 11/01	5,4			
3	12/01 – 18/01	4,9			
4	19/01 – 25/01	4,8			
5	26/01 – 01/02	S/M			
6	02/02 – 08/02	4,4			
7	09/02 – 15/02	3,6			
8	16/02 – 22/02	4,4			
9	23/02 – 01/03	5,1			
10	02/03 – 08/03	4,3			
11	09/03 – 15/03	4,4			
12	16/03 – 22/03	4,3			
13	23/03 – 29/03	3,4			
14	30/03 – 05/04	3,8			
15	06/04 – 12/04	3,8			
16	13/04 – 19/04	4,3			
17	20/04 – 26/04	3,7			
18	27/04 – 03/05	3,9			
19	04/05 – 10/05	4,6			
20	11/05 – 17/05	4,8			
21	18/05 – 24/05	S/M			
22	25/05 – 31/05	4,5			
23	01/06 – 07/06	4,7	22,4		0,0
24	08/06 – 14/06	4,3	31,7		0,0
25	15/06 – 21/06	4,6	31,6		2,3
26	22/06 – 28/06	4,8	30,5		0,0
27	29/06 – 05/07	5,8	12,3		5,0
28	06/07 – 12/07	5,7	29,0		0,0
29	13/07 – 19/07	5,6	21,5		0,7
30	20/07 – 26/07	S/M	S/M		S/M
31	27/07 – 02/08	6,0	32,9		1,4
32	03/08 – 09/08	6,9	27,7		7,3
33	10/08 – 16/08	S/M	S/M		S/M
34	17/08 – 23/08	8,0	28,2		0,4
35	24/08 – 30/08	7,7	10,0		0,0
36	31/08 – 06/09	S/M	S/M		S/M
37	07/09 – 13/09	9,6	22,2		10,0
38	14/09 – 20/09	S/M	S/M		S/M
39	21/09 – 27/09	7,2	30,4		0,7
40	28/09 – 04/10	6,4	53,2		0,0
41	05/10 – 11/10	6,7	28,5		0,0
42	12/10 – 18/10	5,9	40,0		0,0
43	19/10 – 25/10	6,2	19,8		1,0
44	26/10 – 01/11	6,3	23,3		1,1

S/M: sin muestra



Tabla 6

Densidad promedio, constancia y rangos de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, en invierno de los a1os 1992, 1995, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2009.

	1992	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	20008	2009
N°Total Estaciones	542	578	752	800	598	502	514	588	537	649	658	799	799	717	773
N° Estaciones positivas	212	208	176	209	132	212	60	309	129	208	214	223	113	136	41
Abundancia (H/0,05m^2)	10974	7555	6718	8054	7582	10473	7586	18305	9264	12079	17066	11812	4719	9761	4703
Mínimo Est (+)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo Est (+)	331	1536	611	947	1649	518	1987	1607	1386	1288	2100	2563	705	1387	1658
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	176	155.5	288.9
Media Est. Positivas	52	36	38	39	57	49	126	59	72	58	80	53	42	72	115
Media Est. Totales	20	13	9	10	13	21	15	31	17	19	26	15	6	14	6
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	14.14	18.97	5.30
CV(%)	1.42	3.51	2.10	2.48	3.09	1.76	2.81	2.18	2.94	2.42	2.66	3.81	4.19	2.16	2.51
Área Crucero (mn2)	17055	18137	18353	19627	27374	19539	25921	30264	26986	30152	30368	41448	38269	35264	38289
Temperatura 10m (°C)	16.251	15.314	15.281	18.260	15.839	15.723	15.556	15.941	15.835	16.287	15.550	16.140	14.014	16.210	15.890
Área Desove (mn2)	10.332	13.315	10.698	14.660	7.525	13.059	4.026	18.309	7.597	9.193	12.521	14.408	6.439	7.594	1.743



Tabla 7

Posición geográfica de los lances efectuados durante el crucero MPH módulo adultos, en la XV, I y II regiones, agosto - septiembre, 2009.

BARCO	LANC E N°	FECHA	HORA COLECCIÓN	LATITU D	LONGITU D	CAPTURA ESTIMADA (t)	LANCES ANCHOVET A
PARINA I	1	04/08/2009	19:20	18°27'	70°33'	S/P	
PARINA I	2	04/08/2009	22:51	18°26'	70°54'	S/P	
PARINA I	3	05/08/2009	03:35	18°27'	71°25'	S/P	
PARINA I	4	05/08/2009	07:49	18°50'	71°18'	S/P	
PARINA I	5	05/08/2009	12:13	18°50'	70°47'	S/P	
PARINA I	6	05/08/2009	16:45	19°08'	71°06'	S/P	
PARINA I	7	05/08/2009	20:37	19°16'	70°44'	S/P	
PARINA I	8	06/08/2009	07:16	19°06'	70°23'	S/P	
PARINA I	9	06/08/2009	11:50	19°37'	70°24'	S/P	
PARINA I	10	06/08/2009	16:05	19°41'	70°50'	S/P	
PARINA I	11	06/08/2009	20:15	20°02'	70°48'	S/P	
PARINA I	12	07/08/2009	00:09	20°09'	70°28'	S/P	
INTREPIDO	1	05/08/2009	10:25	22°10'	70°22'	S/P	
INTREPIDO	2	05/08/2009	14:10	22°32'	70°19'	S/P	
INTREPIDO	3	06/08/2009	07:15	23°58'	70°39'	S/P	
INTREPIDO	4	06/08/2009	11:10	23°40'	70°32'	0,05	x
INTREPIDO	5	06/08/2009	15:50	23°28'	71°00'	S/P	
INTREPIDO	6	06/08/2009	19:20	23°17'	71°04'	S/P	
INTREPIDO	7	07/08/2009	01:15	22°54'	70°27'	S/P	
INTREPIDO	8	07/08/2009	05:25	22°46'	70°28'	S/P	
INTREPIDO	9	07/08/2009	08:20	22°40'	70°21'	S/P	
INTREPIDO	10	07/08/2009	11:40	22°30'	70°34'	S/P	
INTREPIDO	11	07/08/2009	14:50	22°19'	70°49'	S/P	
INTREPIDO	12	07/08/2009	21:25	22°05'	70°26'	S/P	
RELAMPAGO	1	06/08/2009	06:10	25°47'	70°42'	S/P	
RELAMPAGO	2	06/08/2009	08:25	25°18'	70°41'	S/P	
RELAMPAGO	3	06/08/2009	10:25	25°19'	70°50'	S/P	
RELAMPAGO	4	06/08/2009	12:00	25°08'	70°40'	S/P	
RELAMPAGO	5	06/08/2009	14:00	25°00'	70°51'	S/P	
RELAMPAGO	6	06/08/2009	16:00	25°00'	70°59'	S/P	
RELAMPAGO	7	06/08/2009	19:00	24°50'	70°38'	S/P	
RELAMPAGO	8	06/08/2009	22:00	24°45'	70°45'	S/P	
RELAMPAGO	9	07/08/2009	08:40	24°33'	70°52'	S/P	
RELAMPAGO	10	07/08/2009	10:45	24°31'	71°00'	S/P	
RELAMPAGO	11	07/08/2009	13:25	24°19'	70°39'	S/P	
RELAMPAGO	12	07/08/2009	16:30	24°05'	70°36'	S/P	
DON DINO	1	18/08/2009	05:01	19°28'	70°28'	20	x
DON DINO	2	18/08/2009	11:18	19°12'	70°37'	10	x
PARINA I	1	17/08/2009	19:05	19°14'	70°42'	0,02	x
PARINA I	2	18/08/2009	07:45	19°10'	70°50'	40	x
INTREPIDO	1	18/08/2009	06:25	19°13'	70°53'	50	x
INTREPIDO	2	18/08/2009	09:45	19°02'	70°51'	S/P	
INTREPIDO	3	18/08/2009	13:15	19°09'	70°39'	30	x
PARINA I	1	19/08/2009	08:00	18°34'	70°31'	40	x
DON DINO	1	19/08/2009	09:48	18°35'	70°31'	10	x



Continuaci3n Tabla 7

BARCO	LANC		HORA	COORDENADAS		CAPTURA ESTIMADA (t)	LANCES ANCHOVETA
	N°	FECHA		COLECCI3N	LATITUD		
INTREPIDO	1	19/08/2009	10:00	18°35'	70°31'	20	x
ATACAMA V	1	17/08/2009	08:37	20°10'	70°24'	S/P	
ATACAMA V	2	17/08/2009	15:10	20°12'	71°20'	S/P	
ATACAMA V	3	18/08/2009	01:40	20°47'	70°49'	S/P	
ATACAMA V	4	18/08/2009	08:00	20°57'	71°37'	S/P	
ATACAMA V	5	18/08/2009	22:52	21°56'	70°32'	S/P	
ATACAMA V	6	19/08/2009	04:10	21°33'	70°51'	S/P	
ATACAMA V	7	19/08/2009	10:18	21°32'	70°11'	0,004	x
ATACAMA V	8	19/08/2009	23:09	20°30'	70°17'	S/P	
INTREPIDO	1	07/09/2009	14:30	20°20'	70°31'	S/P	
DON DINO	1	07/09/2009	13:42	20°43'	70°49'	S/P	
PARINA I	1	07/09/2009	14:40	18°28'	71°45'	S/P	
TRUENO I	1	21/09/2009	12:20	19°07'	70°40'	40	x
AVENTURERO	1	21/09/2009	08:40	20°44'	70°41'	70	x
PARINA I	1	22/09/2009	04:54	20°51'	70°47'	85	x
TRUENO I	1	23/09/2009	09:57	18°26'	70°31'	15	x
TRUENO I	2	23/09/2009	12:28	18°27'	70°33'	S/P	
PARINA I	1	23/09/2009	08:00	18°50'	70°32'	S/P	
PARINA I	2	23/09/2009	10:34	18°44'	70°28'	35	x
AVENTURERO	1	22/09/2009	18:55	19°44'	70°31'	S/P	
AVENTURERO	2	23/09/2009	04:35	18°38'	70°39'	S/P	
AVENTURERO	3	23/09/2009	08:45	18°25'	70°28'	60	x
AVENTURERO	1	24/09/2009	04:30	18°35'	70°31'	70	x
AVENTURERO	2	24/09/2009	08:10	18°33'	70°36'	40	x
AVENTURERO	3	24/09/2009	13:40	18°39'	70°39'	30	x
PARINA I	1	24/09/2009	08:17	18°55'	70°30'	20	x
PARINA I	2	24/09/2009	11:22	18°55'	70°34'	25	x
PARINA I	3	24/09/2009	14:36	18°44'	70°38'	15	x
TRUENO I	1	24/09/2009	06:40	18°54'	70°31'	90	x
TRUENO I	2	24/09/2009	11:35	18°59'	70°33'	10	x
TRUENO I	3	24/09/2009	16:15	18°45'	70°36'	10	x
TRUENO I	1	25/09/2009	08:55	18°36'	70°41'	S/P	
TRUENO I	2	25/09/2009	11:20	18°34'	70°42'	S/P	
LICANTEN	1	22/09/2009	06:43	20°53'	70°43'	0,05	x
LICANTEN	2	24/09/2009	06:54	18°30'	70°34'	0,1	x
LICANTEN	3	24/09/2009	11:11	18°41'	70°39'	30	x
LICANTEN	4	24/09/2009	14:50	18°41'	70°37'	20	x
AVENTURERO	1	25/09/2009	08:30	18°36'	70°41'	120	x
AVENTURERO	2	25/09/2009	12:10	18°33'	70°44'	S/P	
AVENTURERO	1	26/09/2009	04:10	19°01'	70°29'	40	x
PARINA I	1	26/09/2009	06:31	18°39'	70°41'	20	x
PARINA I	2	26/09/2009	09:13	18°35'	70°42'	20	x
PARINA I	3	26/09/2009	12:13	18°34'	70°46'	20	x
TRUENO I	1	26/09/2009	07:10	18°38'	70°41'	60	x
TRUENO I	2	26/09/2009	09:45	18°57'	70°42'	10	x
TRUENO I	1	27/09/2009	06:30	18°35'	70°48'	20	x

S/P: SIN PESCA



**Tabla 8**

Parámetros de la ecuaci3n combinada para estadio y temperatura ajustada a los datos de anchoveta de la zona norte (Soto, 2001) (E.S.= Error estandar; MSE= Error estandar residual).

<b>Soto (2001)</b>			
	<b>Parámetro</b>	<b>E.S</b>	<b>P</b>
<b>a</b>	9.8206	1.0261	1.61E-12
<b>b</b>	0.0986	0.0024	<2E-16
<b>c</b>	0.1018	0.0167	2.06E-07
<b>d</b>	1.8151	0.1103	<2E-16
<b>MSE</b>		1.371	



**Tabla 9**

Resultados del ajuste del modelo probabilístico para la edad de los estadios de huevos en anchoveta zona norte.

Call:				
glm(formula = form, family = binomial(link = link), data = ninc, control = glmControl)				
Deviance Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.531e+00	0.000e+00	0.000e+00	4.712e-08	5.279e+00
Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
Age	-0.45616	0.02207	-20.673	< 2e-16 ***
Temp	-0.23354	0.03277	-7.126	1.03e-12 ***
Stage1	9.85686	106.18988	0.093	0.926
Stage2	1.99937	0.50492	3.960	7.50e-05 ***
Stage3	-4.28656	0.53603	-7.997	1.28e-15 ***
Stage4	-7.99786	0.59893	-13.354	< 2e-16 ***
Stage5	-11.47754	0.68216	-16.825	< 2e-16 ***
Stage6	-16.01424	0.81073	-19.753	< 2e-16 ***
Stage7	-20.64955	0.96296	-21.444	< 2e-16 ***
Stage8	-25.41910	1.12874	-22.520	< 2e-16 ***
Stage9	-29.61716	1.27841	-23.167	< 2e-16 ***
Stage10	-32.22342	1.37153	-23.494	< 2e-16 ***
Stage11	-34.18482	1.44515	-23.655	< 2e-16 ***
Stage12	-36.04157	1.50341	-23.973	< 2e-16 ***
Age:Temp	0.07955	0.00322	24.700	< 2e-16 ***
---				
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)				
Null deviance: 11187.72 on 1735 degrees of freedom				
Residual deviance: 711.68 on 1720 degrees of freedom				
AIC: 881.2				
Number of Fisher Scoring iterations: 20				



Tabla 10

Resultados del ajuste de producción diaria de huevos en función de la edad de los huevos para las dos metodologías (Rutinas *eggs* y *eggsplore* en plataforma R). *Intercept* corresponde al estimado del logaritmo de  $P_0$  ( $N^\circ$  huevos/m<sup>2</sup>/día). *Age* corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos (*Z*, en horas). *Std. Error* en el caso de  $P_0$  corresponde al coeficiente de variación de  $P_0$  y para *Z* es el error estándar. *n* es el número de observaciones. *Pr(>|z|)* es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). *AIC* es el criterio de información de Akaike.

		Modelo de Lo GLM						Modelo Multinomial					
		Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z )	n	AIC	Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z )	n	AIC
1992	(Intercept)	6.181536	0.244034	25.3	<2e-16	575	3308.8	6.068742	0.245633	24.7	<2e-16	496	3018
	Age	-0.011578	0.008243	-1.4	0.16			-0.007183	0.009055	-0.8	0.43		
1995	(Intercept)	6.014969	0.258939	23.2	<2e-16	691	2985	5.258078	0.239853	21.9	<2e-16	645	2808
	Age	-0.021668	0.008764	-2.5	0.01			-0.006713	0.008229	-0.8	0.42		
1996	(Intercept)	5.861715	0.292224	20.1	<2e-16	503	2339.4	5.99041	0.29086	20.6	<2e-16	464	2327
	Age	-0.009463	0.009871	-1.0	0.34			-0.01686	0.01002	-1.7	0.09		
1997	(Intercept)	6.30576	0.27808	22.7	<2e-16	547	2656.3	5.741511	0.252034	22.8	<2e-16	421	2523
	Age	-0.02896	0.01025	-2.8	4.7E-03			0.003328	0.01137	0.3	0.77		
1999	(Intercept)	7.21459	0.33666	21.4	<2e-16	342	1762	6.95639	0.32923	21.1	<2e-16	289	1736
	Age	-0.04965	0.01177	-4.2	2.5E-05			-0.039	0.01248	-3.1	1.8E-03		
2000	(Intercept)	6.522242	0.227725	28.6	<2e-16	524	2946.5	6.714806	0.227135	29.6	<2e-16	460	2973
	Age	-0.023484	0.007802	-3.0	2.6E-03			-0.032164	0.008481	-3.8	1.5E-04		
2001	(Intercept)	7.78502	0.54937	14.2	<2e-16	133	875.16	6.41111	0.54414	11.8	<2e-16	122	796.8
	Age	-0.02987	0.01801	-1.7	0.10			0.01299	0.01888	0.7	0.491		
2002	(Intercept)	6.76806	0.17794	38.0	<2e-16	669	4901	6.609291	0.173606	38.1	<2e-16	577	4368
	Age	-0.01894	0.00609	-3.1	1.9E-03			-0.01536	0.006459	-2.4	0.02		
2003	(Intercept)	7.680128	0.282338	27.2	<2e-16	297	2403.1	6.72581	0.3023	22.2	<2e-16	274	1765
	Age	-0.024523	0.008928	-2.7	6.0E-03			-0.0152	0.01062	-1.4	0.15		
2004	(Intercept)	6.90376	0.23069	29.9	<2e-16	491	3229.3	7.027879	0.220056	31.9	<2e-16	463	3125
	Age	-0.02912	0.00781	-3.7	1.9E-04			-0.035152	0.007586	-4.6	3.6E-06		
2005	(Intercept)	7.360873	0.211753	34.8	<2e-16	501	3393.6	6.91869	0.21988	31.5	<2e-16	472	3260
	Age	-0.0456	0.007337	-6.2	5.1E-10			-0.02011	0.00807	-2.5	1.3E-02		
2006	(Intercept)	6.98651	0.235172	29.7	<2e-16	495	3069	6.86046	0.23101	29.7	<2e-16	420	2835
	Age	-0.036686	0.008542	-4.3	1.8E-05			-0.0306	0.00932	-3.3	1.0E-03		
2007	(Intercept)	6.64165	0.31872	20.839	<2e-16	286	1596.1	6.466688	0.308755	20.944	<2e-16	291	1574
	Age	-0.0334	0.01017	-3.285	1.02E-03			-0.029799	0.009874	-3.018	0.00255		
2008	(Intercept)	7.528015	0.274527	27.422	<2e-16	366	3068.7	6.201795	0.318289	19.485	<2e-16	295	1932
	Age	-0.030285	0.009302	-3.256	1.13E-03			0.005065	0.01251	0.405	0.686		
2009	(Intercept)	7.9973	0.5377	14.874	<2E-16	94	674.94	7.70938	0.63713	12.1	<2e-16	84	570.1
	Age	-0.04662	0.01759	-2.651	8.02E-03			-0.03494	0.02232	-1.565	0.118		

Tabla 11

Comparación de la producción diaria de huevos expandida al área (huevos/día, x10<sup>11</sup>) y tasa diaria de mortalidad total (hora<sup>-1</sup>) de anchoveta. Zona Norte según los diferentes métodos utilizados.

MODELO	1992		1995		2002		2009	
	Z	Po	Z	Po	Z	Po	Z	Po
Lo	-0,01158	103,84	-0,02167	137,29	-0,01894	330,37	-0.04662	177,73
Multinomial	-0,00718	92,77	-0,00671	64,41	-0,01536	281,87	-0.03494	133,27
GAM	-0,01310	8,91	-0,01061	5,25	-0,02402	33,04	-0.04993	18,44



**Tabla 12**  
Número de lances y total de hembras muestreadas en los distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.

<b>Año</b>	<b>Lances</b>	<b>Hembras</b>
<b>1992</b>	<b>48</b>	<b>1440</b>
<b>1995</b>	<b>40</b>	<b>1177</b>
<b>1996</b>	<b>32</b>	<b>927</b>
<b>1997</b>	<b>60</b>	<b>1800</b>
<b>1999</b>	<b>51</b>	<b>1530</b>
<b>2000</b>	<b>92</b>	<b>1800</b>
<b>2001</b>	<b>60</b>	<b>1800</b>
<b>2002</b>	<b>60</b>	<b>1800</b>
<b>2003</b>	<b>60</b>	<b>1800</b>
<b>2004</b>	<b>55</b>	<b>1651</b>
<b>2005</b>	<b>60</b>	<b>1799</b>
<b>2006</b>	<b>42</b>	<b>1260</b>
<b>2007</b>	<b>55</b>	<b>1645</b>
<b>2008</b>	<b>60</b>	<b>1800</b>
<b>2009</b>	<b>37</b>	<b>1190</b>

**Tabla 13**  
Distribución horaria de la frecuencia (%) de los estadios de Folículos Postovulatorios y Estadios de Madurez Ovárica (Núcleo Migrante e Hidratados).  
Información acumulada del 2004 al 2008.

<b>Hora</b>	<b>ESTADIO FOLICULO POSTOVULATORIO</b>							<b>ESTADIO MADUREZ</b>	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>EMM 5</b>	<b>EMM 6</b>
<b>0</b>	8.28	18.14	0.00	1.95	3.60	2.16	2.99	1.25	3.57
<b>1</b>	20.12	12.66	0.00	0.71	2.79	2.55	3.78	0	0
<b>2</b>	15.38	11.39	3.87	1.33	3.14	3.34	4.72	0	3.57
<b>3</b>	6.51	30.38	16.90	3.89	6.51	6.09	9.13	0	3.57
<b>4</b>	2.96	11.39	8.35	7.34	6.74	4.52	8.66	0.16	3.57
<b>5</b>	6.51	6.33	11.81	4.33	4.19	6.29	7.56	0.31	10.71
<b>6</b>	0.59	1.27	15.89	12.64	5.23	11.59	10.08	0.63	3.57
<b>7</b>	0.59	4.22	9.57	8.13	6.16	9.04	6.46	2.03	0
<b>8</b>	0	0.42	10.79	11.32	8.60	7.47	9.45	1.72	0
<b>9</b>	0.59	2.53	7.13	10.34	8.72	10.02	9.92	3.29	3.57
<b>10</b>	0	0.84	5.30	2.92	3.95	8.64	5.51	1.56	10.71
<b>11</b>	0	0	3.05	7.96	9.30	8.25	4.72	9.23	0.00
<b>12</b>	2.37	0	1.63	9.64	5.58	5.50	5.20	10.17	7.14
<b>13</b>	0	0	2.04	5.48	4.30	2.95	2.83	11.74	0
<b>14</b>	0	0	0.41	4.42	5.58	3.93	2.99	11.89	0
<b>15</b>	0	0	2.44	2.83	3.26	3.34	1.10	10.80	3.57
<b>16</b>	0	0	0.20	1.68	2.79	1.38	1.42	14.71	3.57
<b>17</b>	0	0	0	0.62	3.02	0.79	0.00	7.67	0
<b>18</b>	0	0	0.20	1.41	3.84	0.79	0.31	9.70	0
<b>19</b>	0	0	0	0	1.40	0	0	1.41	3.57
<b>20</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>21</b>	16.57	0	0	0	0	0	0	0.31	14.29
<b>22</b>	0	0	0.20	1.06	0.35	1.38	0.47	0.31	0
<b>23</b>	19.53	0.42	0.20	0	0.93	0.00	2.68	1.10	25.00
<b>Total general</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



**Tabla 14**

Parámetros del ajuste de un modelo de distribución tipo Gamma y Normal a la frecuencia de FPO por hora (Hora acumulada a partir de las 12:00 AM). a y b: Parámetros de la función Gamma. SCE: Suma de cuadrados del error.

		1	2	3	4	5	6	7	Total	
<b>Gamma</b>	<b>a</b>	26.16	58.08	39.74	26.54	14.63	24.09	19.51		
	<b>b</b>	0.51	0.26	0.47	0.80	1.49	0.87	1.00		
	<b>Media est</b>	13.21	15.03	18.49	21.24	21.81	20.85	19.45		
	<b>Desv Est</b>	2.58	1.97	2.93	4.12	5.70	4.25	4.40		
	<b>SCE</b>	378.44	338.19	112.30	83.85	48.34	29.74	27.73		1018.59
<b>Normal</b>	<b>Media est</b>	12.47	14.41	17.78	20.37	20.67	19.92	18.50		
	<b>Desv Est</b>	2.51	1.93	2.91	4.12	5.53	4.19	4.32		
	<b>SCE</b>	371.68	331.10	121.82	87.31	46.77	27.44	28.55		1014.67

**Tabla 15**

Parámetros de las regresiones entre fecundidad parcial y peso corporal para cada año de aplicación del MPH en la zona norte de Chile.

	Parámetros de las regresiones entre Peso Corporal y Fecundidad													
	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Intercepto (a)	671.77	337.46	6950.8	105.44	-5127.08	2205.21	11341.20	-1237.67	-4164.12	1152.76	-4476.16	-4212.84	134.31	-2569.08
Sa	1916.66	1514.08	1923.852	816.02	3285.50	2097.95	2719.11	1388.04	2944.92	2582.87	2326.28	1688.05	1628.23	3057.79
Pendiente (b)	534.57	690.51	262.6099	498.60	740.45	465.10	259.56	615.84	584.18	431.29	788.63	726.94	713.99	649.82
Sb	65.12	55.68	78.30125	34.12	116.16	69.02	121.04	57.52	120.27	86.79	87.82	74.06	90.54	135.80
r <sup>2</sup>	0.30	0.59	0.05	0.54	0.28	0.26	0.06	0.54	0.20	0.24	0.54	0.57	0.34	0.38
n	156	107	210	187	109	133	69	99	96	79	72	76	121	39
Syx	3291.113	3004.221	3582.391	2917.738	4210.345	3749.333	2599.681	2249.760	2476.319	2820.009	3696.216	2099.256	2506.504	1824.311
PC Min	18.5	13.7	15.9	14.9	19.7	21.7	14.7	13.5	19.5	21.6	15.3	15.1	13.9	17.4
PC Max	42.0	40.7	34.9	39.3	42.5	43.0	29.7	33.5	29.7	37.4	36.4	32.4	26.0	26.9
PC Promedio	29.2	26.7	24.4	23.1	28.1	30.0	22.3	23.8	24.4	29.5	26.0	22.6	17.8	22.4
Fec relativa	557.7	704.5	552.2	503.8	555.1	539.7	775.1	562.8	412.3	471.3	609.8	536.1	721.4	533.8
Ho: A=0	Acepta	Acepta	Rechaza	Acepta	Acepta	Acepta	Rechaza	Acepta						



**Tabla 16**  
Parámetros de adultos obtenidos en las distintas aplicaciones del MPH en la zona norte.

Año	Peso promedio		Fecundidad parcial		Fecundidad relativa	Fracción desovante		Proporción hembras	
	(g)	CV (%)	Nº	CV (%)	Nº ovoc./g	día <sup>-1</sup>	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
2007	21.7	1.92	10497	3.33	484	0.293	6.76	0.50	3.67
2008	21.9	2.36	14920	2.99	682	0.298	8.89	0.45	3.36
2009	18.0	3.50	8411	4.19	468	0.309	5.70	0.43	4.98



Tabla 17

Resumen de los datos de los lances. Hora del lance en hora y fracci3n de hora. Estadios de Madurez Microsc3pico (EMM), Foliculos postovulatorios (FPO), n3mero de hembras (n), peso total (PT; Corregido) fecundidad parcial estimada (FECUND) y Proporc3n de hembras en peso (PROP. H).

Lance	Hora	n	ESTADIOS DE MADUREZ OVARICA								ESTADIOS FOLICULOS POSTOVULATORIOS							PT	FECUNDIDAD	Prop. H
			EMM 1	EMM 2	EMM 3	EMM 4	EMM 5	EMM 6	EMM 7	EMM 8	FPO 1	FPO 2	FPO 3	FPO 4	FPO 5	FPO 6	FPO 7			
1	9.8	35	0	0	0	26	9	0	0	0	0	0	1	0	0	2	21.2	10241	0.52	
2	10.3	35	0	0	0	27	8	0	0	0	1	0	3	1	0	5	20.7	10167	0.55	
3	8.0	35	0	0	0	29	6	0	0	0	2	0	2	0	0	3	20.1	9662	0.60	
4	10.0	35	0	0	0	21	13	1	0	0	0	1	3	0	0	0	19.9	9493	0.33	
5	11.3	34	0	0	0	29	5	0	0	0	0	6	9	7	0	2	26.4	13466	0.50	
6	6.4	34	0	0	0	27	7	0	0	0	0	1	7	0	1	5	22.7	11203	0.29	
7	7.8	33	0	0	0	18	15	0	0	0	0	6	2	0	0	5	24.4	12233	0.64	
8	13.3	34	0	0	0	14	18	2	0	0	0	0	7	5	2	3	25.5	12768	0.70	
9	5.0	32	0	0	0	27	5	0	0	0	2	1	3	2	0	10	26.8	13585	0.62	
10	12.3	29	0	0	0	2	4	23	0	0	0	1	0	1	0	0	18.0	8151	0.53	
11	8.7	32	0	0	0	14	17	1	0	0	0	5	5	0	0	1	22.5	11168	0.51	
12	4.9	28	0	0	0	26	2	0	0	0	4	6	4	0	0	3	20.9	10233	0.43	
13	10.0	30	0	1	0	17	8	4	0	0	0	0	5	1	0	1	14.5	6410	0.48	
14	10.6	30	0	0	0	14	16	0	0	0	0	10	3	0	0	0	16.6	7566	0.38	
15	8.8	35	0	0	0	22	13	0	0	0	0	0	5	2	1	5	14.8	6544	0.38	
16	4.5	35	0	0	0	21	14	0	0	0	5	4	1	0	1	8	15.5	6925	0.38	
17	8.2	35	0	0	0	25	10	0	0	0	1	3	8	0	2	8	15.1	6664	0.40	
18	13.7	30	0	0	0	17	2	10	0	1	0	1	2	4	1	3	15.4	6827	0.37	
19	8.3	32	0	0	0	28	4	0	0	0	2	7	5	8	4	0	16.3	7550	0.22	
20	11.4	31	0	0	0	27	4	0	0	0	1	9	14	2	0	0	15.4	6944	0.18	
21	14.6	30	0	0	0	17	4	9	0	0	1	2	8	2	2	2	15.4	6827	0.35	
22	6.7	35	0	0	0	31	4	0	0	0	1	11	10	5	2	0	16.1	7414	0.30	
23	11.6	26	0	0	0	12	2	12	0	0	0	0	0	0	0	0	15.8	7087	0.10	
24	16.3	20	0	0	0	11	0	9	0	0	0	0	3	3	3	1	16.1	7284	0.43	
25	6.7	35	0	0	0	24	11	0	0	0	5	6	5	1	0	3	20.8	10173	0.34	
26	6.9	35	0	0	0	27	8	0	0	0	5	6	5	0	1	9	16.7	7671	0.26	
27	11.2	30	0	0	0	17	13	0	0	0	0	1	12	2	0	2	16.8	7791	0.32	
28	14.8	35	0	0	0	18	0	17	0	0	0	0	7	8	2	1	15.9	7130	0.30	
29	8.5	35	0	0	0	23	12	0	0	0	0	5	7	3	2	3	15.4	6873	0.41	
30	4.2	30	0	0	0	24	1	5	0	0	0	0	0	0	0	5	15.2	6844	0.51	
31	6.5	30	0	0	0	17	13	0	0	0	0	4	6	3	0	2	14.6	6364	0.41	
32	9.2	35	0	0	0	29	6	0	0	0	4	5	3	0	0	5	13.8	5908	0.44	
33	12.2	30	0	0	0	11	19	0	0	0	0	0	6	2	2	0	14.2	6073	0.40	
34	7.2	35	0	0	0	24	11	0	0	0	0	4	12	0	0	1	15.3	6835	0.51	
35	9.8	35	0	0	0	18	17	0	0	0	0	2	8	3	1	2	14.7	6487	0.48	
36	6.5	30	0	0	0	15	15	0	0	0	0	0	9	0	0	3	13.7	5872	0.57	
37	11.2	30	0	1	0	26	0	0	0	3	0	0	2	1	1	11	18.9	9230	0.55	



Tabla 18

Estimaciones de la producci3n diaria de huevos (huevos/0,05 m<sup>2</sup>/día), su varianza y coeficiente de variaci3n (CV, %), área de desove, área de estudio y biomasa de anchoveta en cada aío de aplicaci3n del método. (\*: Se utiliz3 funci3n global de fecundidad parcial).

		Modelo de Lo GLM			Modelo Multinomial		
		Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV
1992	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	14.65	21.144	31.4	13.09	17.099	31.6
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	10332			10332		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	17055			17055		
	BIOMASA (ton)	<b>314232</b>	1.03E+10	32.3	<b>280714</b>	8.32E+09	32.5
1995	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	15.03	20.666	30.2	7.05	3.903	28.0
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	13315			13315		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	18137			18137		
	BIOMASA (ton)	<b>465696</b>	2.17E+10	31.6	<b>218468</b>	4.16E+09	29.5
1996	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	10.24	15.391	38.3	11.65	19.726	38.1
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	10698			10698		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	18353			18353		
	BIOMASA (ton)	<b>253356</b>	1.05E+10	40.5	<b>288152</b>	1.35E+10	40.3
1997	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	20.46	43.397	32.2	11.63	11.539	29.2
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	14660			14660		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	19627			19627		
	BIOMASA (ton)	<b>744838</b>	6.62E+10	34.5	<b>423654</b>	1.81E+10	31.7
1999	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	18.68	144.297	64.3	14.43	82.382	62.9
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	7525			7525		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	27374			27374		
	BIOMASA (ton)	<b>973292</b>	3.94E+11	64.5	<b>751810</b>	2.25E+11	63.1
2000	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	22.73	40.155	27.9	27.55	58.729	27.8
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	13059			13059		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	19539			19539		
	BIOMASA (ton)	<b>608087</b>	3.11E+10	29.0	<b>737217</b>	4.54E+10	28.9
2001	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	18.67	682.528	139.9	4.73	42.928	138.6
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	4026			4026		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	25921			25921		
	BIOMASA (ton)	<b>765885</b>	1.20E+12	142.7	<b>193857</b>	7.52E+10	141.5
2002 (*)	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	26.30	36.269	22.9	22.44	25.137	22.3
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	18309			18309		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	30264			30264		
	BIOMASA (ton)	<b>1503911</b>	1.30E+11	24.0	<b>1283127</b>	9.05E+10	23.4
2003	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	31.50	272.686	52.4	12.13	46.367	56.1
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	7852			7852		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	26986			26986		
	BIOMASA (ton)	<b>1238731</b>	4.41E+11	53.6	<b>477004</b>	7.46E+10	57.3
2004 (*)	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	15.18	40.323	41.8	17.19	47.035	39.9
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	9193			9193		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	30152			30152		
	BIOMASA (ton)	<b>668979</b>	8.08E+10	42.5	<b>757385</b>	9.46E+10	40.6
2005 (*)	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	32.43	114.620	33.0	20.84	51.045	34.3
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	12521			12521		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	30368			30368		
	BIOMASA (ton)	<b>1520754</b>	2.64E+11	33.8	<b>977285</b>	1.17E+11	35.0
2006	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	18.54	55.595	40.2	16.35	41.706	39.5
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	14117			14117		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	41182			41182		
	BIOMASA (ton)	<b>1081156</b>	1.96E+11	40.9	<b>953115</b>	1.47E+11	40.2
2007	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	6.45	25.182	0.8	5.41	16.654	75.4
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	6439			6439		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	38269			38269		
	BIOMASA (ton)	<b>240727</b>	3.54E+10	78.2	<b>202088</b>	2.34E+10	75.7
2008	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	20.02	140.661	59.0	5.31	13.335	69.0
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	7594			7594		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	35264			35264		
	BIOMASA (ton)	<b>532132</b>	1.02E+11	60.0	<b>141270</b>	9.60E+09	69.4
2009	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	6.77	291.607	252.4	5.07	230.343	299.1
	Área desove (mn <sup>2</sup> )	1743			1743		
	Área Total (mn <sup>2</sup> )	38289			38289		
	BIOMASA (ton)	<b>287916</b>	5.28E+11	252.4	<b>215886</b>	4.17E+11	299.2



Tabla 19

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
1995	Sin registro	0	1	1
	Con registro	370	207	577
	Total	370	208	578
1996	Sin registro	1	0	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	0	1
	Con registro	453	60	513
	Total	454	60	514
2002	Sin registro	0	1	1
	Con registro	279	309	588
	Total	279	310	589
2003	Sin registro	1	0	1
	Con registro	407	129	536
	Total	408	129	537
2004	Sin registro	0	1	1
	Con registro	441	207	648
	Total	441	208	649
2005	Sin registro	10	16	26
	Con registro	434	198	632
	Total	444	214	658
2007	Sin registro	44	4	48
	Con registro	642	109	751
	Total	686	113	799
2009	Sin registro	1	0	1
	Con registro	731	41	772
	Total	732	41	773
Total	Sin registro	363	210	573
	Con registro	5.548	2.196	7.744
	Total	5.911	2.406	8.317

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



Tabla 20

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 m<sup>2</sup> de las estaciones positivas desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.

Año	Estaciones			Densidad Media de huevos/0,05 m <sup>2</sup>	
	Ausencia	Presencia	Total	Estaciones +	Total Area
1995	370	208	578	36,32	13,07
1996	576	176	752	38,17	8,93
1997	591	209	800	38,54	10,07
1999	466	132	598	57,44	12,68
2000	290	212	502	49,40	20,86
2001	454	60	514	124,42	14,52
2002	279	310	589	59,05	31,08
2003	408	129	537	71,81	17,25
2004	441	208	649	58,07	18,61
2005	444	214	658	79,75	25,94
2006	576	223	799	52,97	14,78
2007	686	113	799	41,76	5,91
2008	581	136	717	71,77	13,61
2009	732	41	773	114,71	6,08
Total	6894	2371	9265	63,87	15,24



Tabla 21

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 Regi3n desde los a3os 1995 a 1997 y 1999 al 2009.

A3o	Estadística	Latitud (° S)	Longitud (° W)	Temperatura superficial (° C)	Salinidad superficial (psu)	Densidad de huevos (h/0,05 m <sup>2</sup> )	A3o	Estadística	Latitud (° S)	Longitud (° W)	Temperatura superficial (° C)	Salinidad superficial (psu)	Densidad de huevos (h/0,05 m <sup>2</sup> )
1992	Mínimo	18,33	70,10	14,51	34,72	1	2003	Mínimo	18,42	70,10	13,34	34,47	1
	Máximo	23,83	71,82	17,90	35,26	202		Máximo	26,00	71,71	18,30	35,22	1386
	Rango	5,50	1,72	3,39	0,54	201		Rango	7,58	1,61	4,96	0,75	1385
	Media	21,00	70,70	16,15	34,92	45		Media	21,83	70,83	16,03	34,84	72
	Mediana	21,00	70,56	16,11	34,88	22		Mediana	21,83	70,81	15,81	34,83	4
	Desv. típ	1,80	0,44	0,91	0,14	57		Desv. típ	2,11	0,37	0,94	0,14	212
1995	Mínimo	18,38	70,09	12,80	34,10	1	2004	Mínimo	18,42	70,11	13,36	34,48	1
	Máximo	25,00	71,67	19,40	35,13	1539		Máximo	26,00	71,83	19,29	35,15	1288
	Rango	6,62	1,58	6,60	1,03	1538		Rango	7,58	1,72	5,93	0,67	1287
	Media	21,60	70,72	15,64	34,70	37		Media	22,03	70,92	16,64	34,81	58
	Mediana	21,58	70,69	15,60	34,72	6		Mediana	21,83	70,91	16,40	34,81	10
	Desv. típ	1,96	0,33	1,06	0,15	127		Desv. típ	2,22	0,39	1,26	0,15	141
1996	Mínimo	18,50	70,09	13,20	34,29	1	2005	Mínimo	18,42	70,10	13,05	34,41	1
	Máximo	26,00	71,75	17,00	35,52	611		Máximo	26,00	71,84	17,51	35,17	2100
	Rango	7,50	1,66	3,80	1,23	610		Rango	7,58	1,74	4,46	0,76	2099
	Media	22,23	70,68	15,34	34,71	38		Media	22,12	70,93	15,68	34,78	84
	Mediana	22,17	70,65	15,30	34,71	6		Mediana	22,00	70,94	15,56	34,80	15
	Desv. típ	2,06	0,33	0,54	0,11	80		Desv. típ	2,25	0,40	0,94	0,22	220
1997	Mínimo	18,38	70,08	16,04	34,53	1	2006	Mínimo	18,41	70,10	13,59	34,36	1
	Máximo	26,05	71,92	20,98	35,32	947		Máximo	26,00	72,20	18,17	35,16	2563
	Rango	7,67	1,84	4,94	0,79	946		Rango	7,59	2,10	4,58	0,80	2562
	Media	22,16	70,85	18,38	35,02	39		Media	22,17	71,07	16,25	34,78	53
	Mediana	22,15	70,82	18,21	35,01	11		Mediana	22,17	71,06	16,08	34,79	6
	Desv. típ	2,30	0,41	1,36	0,20	97		Desv. típ	2,26	0,48	0,99	0,22	202
1999	Mínimo	18,42	70,05	13,12	33,78	1	2007	Mínimo	18,42	70,10	12,37	34,28	1
	Máximo	26,05	71,82	17,84	35,18	1649		Máximo	26,00	72,07	16,12	34,93	705
	Rango	7,63	1,77	4,72	1,40	1648		Rango	7,58	1,97	3,75	0,65	704
	Media	22,33	70,84	15,95	34,78	60		Media	22,11	71,01	14,08	34,62	43
	Mediana	22,38	70,81	15,69	34,75	8		Mediana	22,00	71,02	14,04	34,64	7
	Desv. típ	2,19	0,40	1,01	0,18	180		Desv. típ	2,22	0,45	0,73	0,11	106
2000	Mínimo	18,42	70,09	13,97	34,45	1	2008	Mínimo	18,42	70,10	13,79	34,44	1
	Máximo	26,00	71,55	17,30	35,00	518		Máximo	26,00	71,97	17,85	35,00	1387
	Rango	7,58	1,46	3,33	0,55	517		Rango	7,58	1,87	4,06	0,56	1386
	Media	22,04	70,66	15,93	34,78	49		Media	21,79	70,99	16,31	34,83	72
	Mediana	21,92	70,63	15,95	34,81	14		Mediana	21,83	70,98	16,26	34,83	11
	Desv. típ	1,99	0,31	0,68	0,13	86		Desv. típ	2,07	0,43	0,81	0,10	154
2001	Mínimo	18,55	70,11	13,72	34,41	1	2009	Mínimo	18,42	70,11	13,53	34,33	1
	Máximo	26,05	71,80	17,10	35,08	1977		Máximo	26,00	72,20	17,68	35,12	1658
	Rango	7,50	1,69	3,38	0,67	1976		Rango	7,58	2,09	4,15	0,79	1657
	Media	22,15	70,83	15,70	34,74	124		Media	22,11	71,03	15,99	34,78	115
	Mediana	21,72	70,80	15,76	34,73	3		Mediana	22,08	71,03	15,92	34,77	7
	Desv. típ	2,33	0,37	0,79	0,16	343		Desv. típ	2,26	0,45	0,86	0,21	289
2002	Mínimo	18,42	70,12	13,65	34,44	1	Total	Mínimo	18,33	70,05	12,37	33,78	1
	Máximo	26,00	71,85	18,10	35,14	1607		Máximo	26,05	72,20	20,98	35,52	2563
	Rango	7,58	1,73	4,45	0,70	1606		Rango	7,72	2,15	8,61	1,74	2562
	Media	22,27	70,89	16,11	34,78	59		Media	22,06	70,89	16,03	34,79	58
	Mediana	22,17	70,89	16,18	34,80	14		Mediana	22,00	70,85	15,90	34,78	9
	Desv. típ	2,22	0,38	1,16	0,18	128		Desv. típ	2,19	0,42	1,35	0,19	161



Tabla 22

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. Desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.

## Modelo binomial presencia/ausencia de huevos

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
Intercepto	1			
Años	13			
s(Lat)	1	3	74,64	< 0,01
s(Lon)	1	2	29,04	< 0,01
s(TSM)	1	2	91,23	< 0,01
s(Sal)	1	2	6,13	< 0,01

Devianza modelo nulo	1741 sobre 9150 grados de libertad
Devianza residual	1378 sobre 9124 grados de libertad
Parámetro de dispersión	0,13
Pseudo R2	0,21

Tabla 23

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. Desde los años 1995 a 1997 y 1999 al 2009.

## Densidad de huevos

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
Intercepto	1			
Año	13			
s(Lat)	1	2	3,95	0,019
s(Lon)	1	2	11,62	< 0,01
s(TSM)	1	2	8,38	< 0,01
s(Sal)	1	2	6,31	< 0,01

Devianza modelo nulo	7862 sobre 2338 grados de libertad
Devianza residual	7145 sobre 2313 grados de libertad
Parámetro de dispersión	2,95
Pseudo R2	0,09

# A N E X O S

---



# A N E X O 1

---

**Instructivo de muestreo  
a realizar a bordo por parte de  
los observadores científicos**

---





## ANEXO N° 1

### INSTRUCTIVO DE MUESTREO A REALIZAR A BORDO POR PARTE DE LOS OBSERVADORES CIENTÍFICOS

#### 1. ALCANCE DE LA RECOLECCI3N DE DATOS

Por cada lance de pesca los Observadores Científicos (**OC**) deberán registrar toda la informaci3n requerida en los formularios oficiales de Bitácora de Pesca Embarcaciones Cerqueras (FD-2/IT-2/PD-4), Muestreo longitud de peces (FD-6/IT-2/PD-4) y Muestreo Proporci3n de Especies (FD-7/IT-2/PD-4).

Para controlar las actividades de muestreo realizadas por el **OC** a bordo, deberá anotar en el formulario de muestreo de longitud de peces, la cantidad total de ejemplares fijados en formalina para los siguientes prop3sitos:

- a. Proporci3n sexual
- b. Hembras maduras
- c. Hembras hidratadas

#### 2. PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO

##### 2.1. HEMBRAS MADURAS

Fijar en formalina diluida al 10% y tamponada con carbonato de calcio, 35 hembras maduras por lance y depositar en frascos de 3 litros. Se requiere llenar 2 frascos por lance, con un total de 18 a 17 ejemplares cada uno. Los frascos deben ser identificados indicando el lance de pesca del que fueron recolectados, para lo cual se debe introducir en su contra tapa la respectiva etiqueta de papel escrita con lápiz grafito, en forma clara y legible, la que debe contener la siguiente informaci3n:.

-  Nombre del Barco
-  Fecha del Lance
-  N3mero del Lance
-  Hora del Lance

**Nota:** Se debe guardar el total de hembras solicitadas; en caso contrario dicho lance no podr3 ser incluido en el an3lisis



## 2.2. PROPORCION SEXUAL

Tomar una muestra **AL AZAR** de aproximadamente 100 ejemplares los cuales deben ser sexados, los ejemplares se deben separar en machos y hembras e introducirlos a mallas mosquiteras dise1adas para dicho fin con su respectiva etiqueta. Una vez separadas las dos mallas (machos y hembras), se deber1an depositar en los bidones que contienen formalina diluida al 10 %.

Registrar el n1mero total de machos y hembras muestreadas para cada lance en el formulario **Muestreo longitud de peces (FD-6/IT-2/PD-4)**

## 2.3. MUESTREO DE LONGITUD

Se debe medir 120 ejemplares de acuerdo a los procedimientos establecidos en el IT-1/PE-7-2 Manual de Muestreo, capitulo VIII, punto 2.2 Muestreo de Longitud. La fauna acompa1ante debe recibir el mismo tratamiento debiendo registrar la informaci3n en el formulario **Muestreo longitud de peces (FD-6/IT-2/PD-4)**

## 2.4. HEMBRAS HIDRATADAS

Debido a la poca ocurrencia de encontrar en los lances de pesca anchovetas con ovarios hidratados, se debe realizar un muestreo dirigido para la recolecci3n de dichos ejemplares. La mayor probabilidad de encontrar estas hembras, se produce en aquellos lances que se realizan entre las 18:00 y las 22:00 horas.

La hembra hidratada se caracteriza por presentar un abdomen muy abultado. Por ning1n motivo se debe presionar el abdomen para verificar la presencia de huevos hidratados.

Cuando se observe la presencia de estos ejemplares en un lance, se debe tomar una muestra entre 150 a 200 ejemplares, a las cuales se les deber1a hacer un peque1o corte (no mas de 1 cm) en la zona abdominal, procurando no da1ar la g3nada. Por cada lance se deben almacenar estos ejemplares en un bid3n de 20 litros con formalina al 10% tamponada con carbonato de calcio. Asegurar que la formalina cubra totalmente los ejemplares muestreados.

El bid3n debe ser rotulado con una etiqueta de papel escrita con plum3n indeleble de tal manera que sea f1cil su identificaci3n, debiendo contener a lo menos la siguiente informaci3n:

- **Nombre de la Embarcaci3n**
- **Fecha de recalada**
- **N1mero y hora del lance**



La etiqueta debe ser cubierta con cinta de embalaje transparente para que no se desprenda ni se dañe.

Estos bidones con ejemplares hidratados deben ser bajados de inmediato en el puerto que recale la embarcación y los **OC** deben informar por teléfono a la base de IFOP correspondiente para que lo retiren a la brevedad.

Antes del despacho de los bidones con muestras, el **OC** debe verificar que cada ejemplar se encuentre bien fijado para luego enviarlos a IFOP - Iquique.

En cada recalada junto con los bidones con las muestras, el **OC** deberá entregar un sobre sellado conteniendo copia de los formularios completados a bordo, al funcionario de tierra encargado de recibirlas, o en su defecto al radio-operador de la respectiva bahía de la empresa pesquera. Si se entregan formularios al radiooperador de la empresa pesquera, los **OC** deben informar a IFOP para que los retiren, para evitar el extravío de las muestras e información.

Se debe entregar los formularios con letra clara y legible, completando todos los campos.

Cualquier duda se deberá consultar a los siguientes funcionarios del IFOP:

Ciudad	Nombre	Cargo	E-mail	Fono	Fax
Iquique	Carlos Gaspar Solis Pilar Paez Vergara	Coordinador General Asistente Coordinador	<a href="mailto:cgaspar@ifop.cl">cgaspar@ifop.cl</a> <a href="mailto:ppaez@ifop.cl">ppaez@ifop.cl</a>	(57) 413579 (57) 422216	(57) 411944
Iquique	Eduardo Díaz Ramos	Encargado laboratorio histología	<a href="mailto:ediaz@ifop.cl">ediaz@ifop.cl</a>	(57) 413579 (57) 422216	(57) 411944
Arica	Luis García Madariaga	Observador científico	<a href="mailto:arica@ifop.cl">arica@ifop.cl</a>	(58) 232401	(58) 258051
Tocopilla	Paolo Pasten Vera	Observador científico		(55) 813100	
Mejillones	Juan Almazabal García	Observador científico		(55) 621635	(55) 621635



### Material de trabajo asignado a cada observador científico

- 2 BIDONES DE 60 LITROS
- 2 BIDONES DE 20 LITROS
- 20 FRASCOS DE 3 LITROS
- 2 BALDES
- 10 LITROS DE FORMALINA PURA
- 4 BOLSAS CON 265 GRS..DE CARBONATO DE CALCIO
- 20 BOLSAS MALLA MOSQUITERA
- 1 ICTIOMETRO
- 1 TIJERA DE PUNTA ROMA
- 2 LAPICES DE PASTA
- 1 PLUMÓN
- 1 GOMA DE BORRAR
- 2 LAPICES GRAFITO
- 15 SOBRES TAMAÑO OFICIO
- 1 CINTA DE EMBALAJE ANCHA
- 40 ETIQUETAS PARA IDENTIFICACION DE LANCES
- 1 CAJA DE GUANTES DESECHABLES (TAMAÑO X)
- FORMULARIOS (BITACORAS DE PESCA, MUESTREO DE LONGITUD, MUESTREO PROPORCION DE ESPECIES Y SIEM EMBARCADO)

## A N E X O 2

---

**Procedimientos de recopilación,  
transmisión, validación y  
almacenamiento de datos**

---





## ANEXO N° 2

### PROCEDIMIENTOS DE RECOPIACIÓN, TRANSMISIÓN, VALIDACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS

---

#### ANTECEDENTES

La economía mundial se encuentra en un proceso de cambios profundos. La globalización, la internalización de conceptos de sustentabilidad, son desafíos que impactan a todos los niveles y para los cuales es necesario contar con organismos que avalen y garanticen el estado de los recursos y certifiquen que estos van a existir para el beneficio de las generaciones futuras.

La gestión pública asociada a la investigación y administración de las pesquerías requiere aplicar procesos certificados que garanticen la cantidad, oportunidad, trazabilidad y calidad de los datos recopilados en grandes cantidades.

Para adecuarse a estos desafíos el IFOP a partir del año 2006 ha venido implementado un nuevo sistema de gestión de recopilación y calidad de datos basado en la norma ISO 9001/2000 (**SGC ISO 9001**), los que han sido y sustentados en nuevas tecnologías de la información. Esto ha permitido optimizar las actividades de muestreo respondiendo a los nuevos requerimientos de datos, en cuanto a cantidad, oportunidad y calidad.

Para tal efecto la Sección de Gestión de Muestreo (SGM), ha desarrollado procedimientos de recopilación y control de los procesos de datos, como también actualizado los manuales y protocolos de muestreo. En conjunto con la Sección de Tecnologías de la Información (STI) ha incorporado tecnologías de punta para el ingreso, transmisión, gestión y administración electrónica de información (Pocket PC, servidores, ingresadores, sistemas de gestión y validadores electrónicos de información).

#### **SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD ISO 9001/2000.**

El sistema de gestión de calidad ISO 9001/2000 es un conjunto de procedimientos documentados institucional, que regula y estandariza los procesos de planificación, recopilación, digitación, control, transmisión, recepción, validación y almacenamiento de datos.



La Figura 1 muestra el de diagrama de flujo general que muestra la secuencia de los procedimientos planificación y control de la generación de datos, siendo los principales procesos operativos los siguientes:

- PD-8-2 control del servicio no conforme
- PE-7-1 identificación y revisión de las especificaciones de datos requeridos por el cliente
- PE -7-2 planificación, ejecución y control de la recopilación de datos
- PE -7-6 control de equipos, instrumentos de medición y software
- PE -8-1 medición de satisfacción del cliente
- PE 8-2 análisis de la información del SGC.

La Figura 2 despliega un diagrama funcional de los procesos generación de datos y controles de calidad, mostrando las relaciones entre las diferentes entidades institucionales. El significado de las abreviaturas es el siguiente:

**SGM.** Sección Gestión de Muestreo

**STI.** Sección Tecnologías de la Información.

**SIEM MANUAL:** Sistema de Información del Esfuerzo de Muestreo Manual. Resumen semanal de la actividad de muestreo efectuada por los Coordinadores de Campo (**CC**)

**SIEM ELECTRÓNICO:** Sistema de Información del Esfuerzo de Muestreo Electrónico. Resumen de la actividad de muestreo efectuada en cada viaje por cada Observador Científico (**OC**).

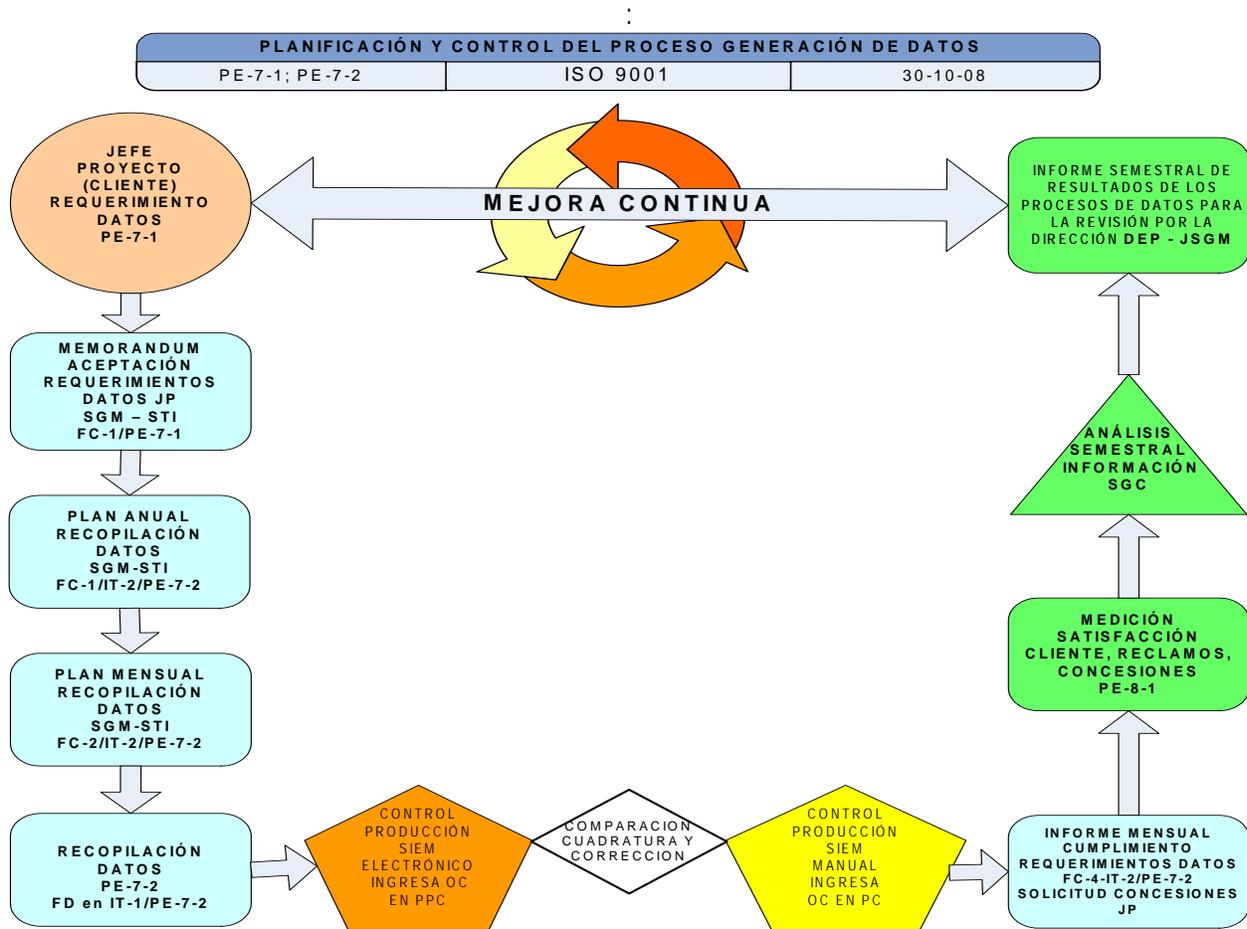


Figura 1. Secuencia de los procedimientos planificaci3n y control de la generaci3n de datos de acuerdo con el Sistema de Gest3n de Calidad ISO 9001/2000.

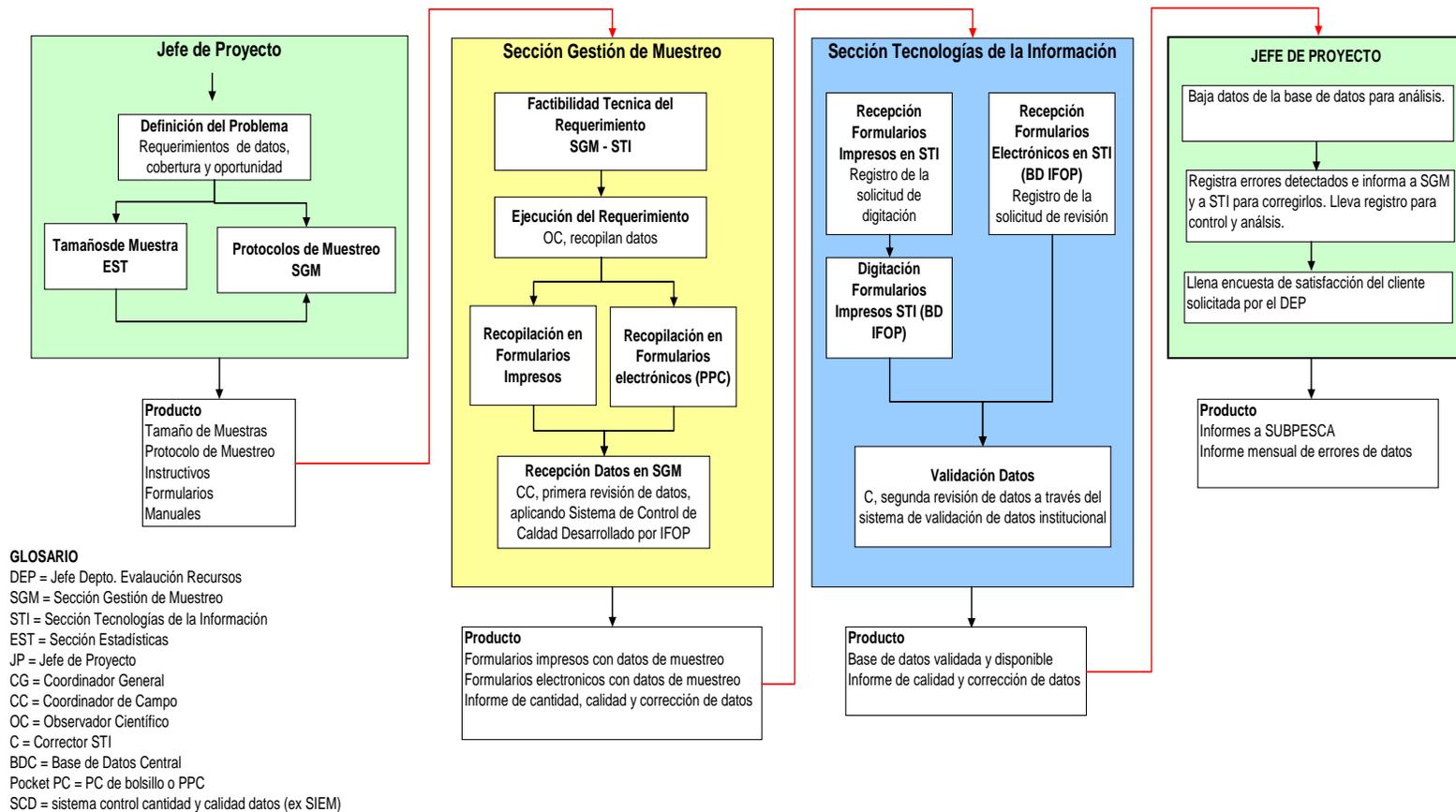
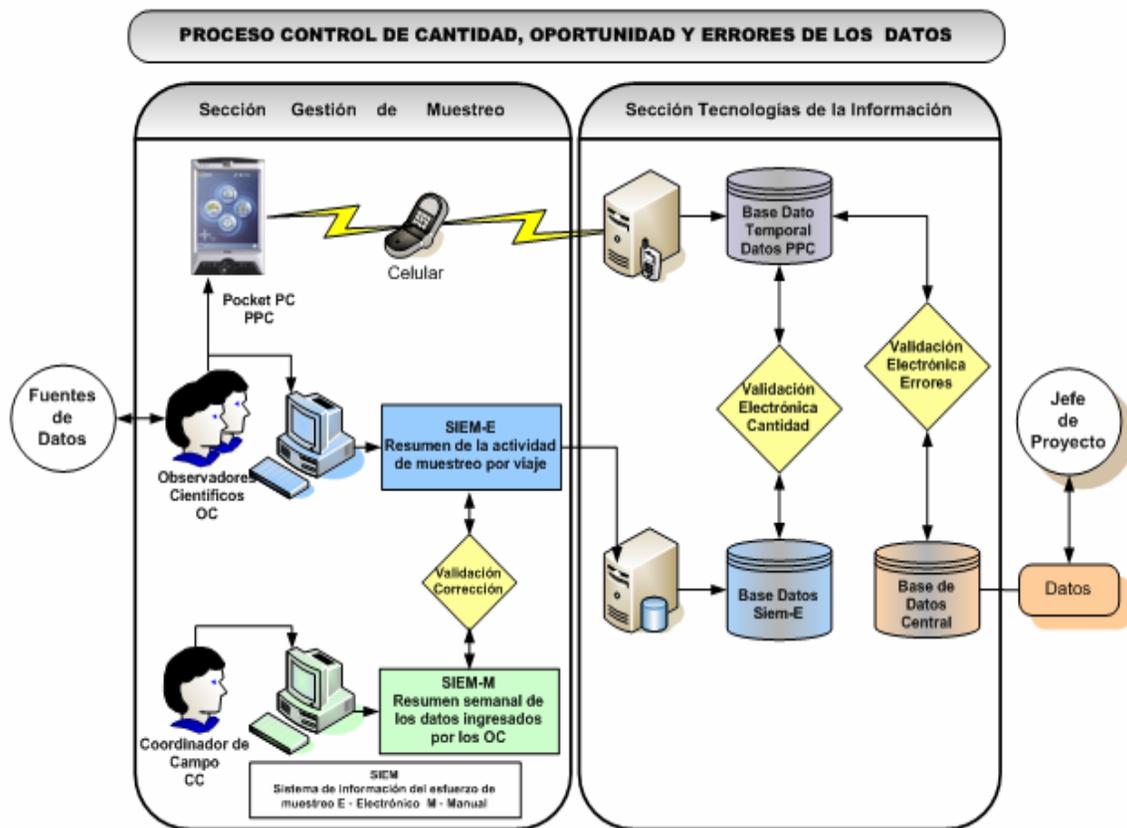


Figura 2. Diagrama funcional de los procedimientos de generaci3n de datos y control de calidad.

Este conjunto de procesos permite informar mensualmente a los Jefes de Proyecto el cumplimiento por parte de la SGM, en cuanto a cantidad, oportunidad, cobertura y errores de los datos.

Una vez verificados los datos por parte de la SGM, los entrega a STI, llevándose a efecto una nueva verificaci3n electr3nica de los datos, dejando identificados aquellos que contienen errores. Antes de migrar los datos desde la base de datos temporal a la base de datos central se les aplica un validador informático, quedando identificados los datos con posibles errores. Seguidamente los datos son migrados a la base de datos central quedando a disposici3n de los Jefes de Proyectos. Estos proceden a su revisi3n final y solicitan a STI que corrija aquellos que contienen errores, con lo cual se cierra el ciclo de producci3n de datos. La figura 3 muestra los procesos antes mencionados.



**Figura 3.** Diagrama de flujo de los procesos de control de cantidad, oportunidad y errores de datos.



## A N E X O 3

---

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

---





## ANEXO N° 3

### CRITERIOS PARA LA DESCRIPCI3N DE LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

---

Uno de los análisis de la condici3n oceanográfica superficial estacional de la zona de estudio, hace uso de valores de anomalía de temperatura y salinidad obtenidos de los datos de crucero 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 desviaci3n estándar, por lo tanto, se encuentran dentro lo que se considera como variaci3n 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 duraci3n (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 duraci3n (semanas a meses), se encuentran los giros de mesoescala que provocan ascensos o hundimientos de agua y que afectan la distribuci3n vertical de las variables físicas y químicas, incluso hasta profundidades mayores a 500 m (Narváez, 2000), definiendo también la distribuci3n de oxígeno y la producci3n 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 informaci3n recopilada durante los cruceros no permiten distinguir el paso de las OAC.



El uso de promedios de temperatura y salinidad provenientes de una serie de datos de m1s de 30 a1os (Braun *et al.*, 2002), obtenidos mediante la metodolog1a descrita por Blanco *et al.* (2001), como tambi3n la utilizaci3n de un criterio de “anomal1a significativa” y el an1lisis de otras variables complementarias busca distinguir condiciones oceanogr1ficas que pueden denominarse “anormales” para la zona y que pueden afectar la distribuci3n y abundancia de los recursos pesqueros. Por la tanto, no solo se busca cuantificar la variaci3n de una variable sino tambi3n distinguir el proceso que origina las anomal1as, tanto las significativas como las que no lo son.

### Referencias del anexo

- Hormazabal, S., G. Shaffer, J. Letelier and O. Ulloa, 2001: Local and remote forcing of sea surface temperature in the coastal upwelling system off Chile. *J. Geophys. Res.*, 106,16657-16672.
- 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.
- Braun, M.; H. Reyes; J. Osses, J. Castillo y V. Catasti. 2002. Monitoreo de las condiciones bioceanogr1ficas en la I y II Regiones, a1o 2001. Informe Final FIP N°2001-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valpara1so, Chile).
- Narv1ez, D. 2000.Observaciones de v3rtices de meso escala frente a la costa norte de Chile utilizando altimetr1a satelital y datos hidrogr1ficos. Tesis para optar al t1tulo de ocean3grafo. Universidad Cat3lica de Valpara1so, 47 pp.

## A N E X O 4

---

**Composición i organización del  
Equipo profesional y técnico (HH)**

---



**ANEXO N° 4****COMPOSICI3N Y ORGANIZACI3N DEL EQUIPO  
PROFESIONAL Y T3CNICO****INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO (IFOP)**

<b>Nombre</b>	<b>Título</b>	<b>Funci3n</b>
Mauricio Braun A.	Licenciado en Biología	Jefe Proyecto – Ictioplancton
Vivian Valenzuela C.	Bi3logo Marino	Ictioplancton
Victor Catasti B.	Ingeniero Pesquero	Oceanografía
Gabriela Bohm S.	Bi3logo Marino	Reproducci3n – Pesquerías
Hernán Reyes R.	Ocean3grafo	Oceanografía Física
Eduardo DÍaz D.	Bi3logo Marino	Reproducci3n
Juan Saavedra N.	Ingeniero Estadístico	Análisis Estadístico-Evaluaci3n
Elisa Pizarro R.	Ocean3grafo	Oceanografía Biológica - Clorofila <b>a</b>
Guillermo Galindo P.	T3cnico planct3logo	Ictioplancton
Carlos Gaspar S.	Bi3logo Pesquero	Coordinador – Reproducci3n
Jaime Letelier P.	Ocean3grafo	Oceanografía Física y relaciones con ambiente
Jorge Angulo A.	Bi3logo Marino	Oceanografía
Hernán Miles U.	T3cnico	Ictioplancton
Luis Garcia	T3cnico	Reproducci3n
Luis Quintana	T3cnico	Reproducci3n
Juan Ballet	T3cnico	Reproducci3n
Paolo Pasten	T3cnico	Reproducci3n
Juan Almazabal	T3cnico	Reproducci3n
Pilar Páez	T3cnico	Reproducci3n

**UNIVERSIDAD ARTURO PRAT (UNAP)**

<b>Nombre</b>	<b>Título</b>	<b>Funci3n</b>
Gabriel Claramunt Q.	Bi3logo Marino Ms. en Pesquerías	Coordinador General UNAP.
Paola Moreno	Bi3logo Marino	Ictioplancton
Gustavo Herrera	M sc Reproducci3n	Reproducci3n
Cristian Azocar R.	Bi3logo Marino	Reproducci3n
Roberto Orellana	T3cnicos de laboratorio	Parámetros adultos

**Objetivo Específico 2.1.1**

<b>ACTIVIDADES</b>					
<b>PERSONAL</b>	<b>CRUCERO</b>	<b>PROCESAMIENTO</b>	<b>ANÁLISIS</b>	<b>INFORMES</b>	<b>TOTAL</b>
<b>IFOP</b>					
Mauricio Braun A.	8	34	58	22	122
Vivian Valenzuela	25	25	15	20	85
Victor Catasti B.	150	10	19	5	184
Hernán Miles U.	150				150
Guillermo Galindo	150				150
Jorge Angulo A.	150	55			205
<b>UNAP</b>					
Gabriel Claramunt			40	40	80
Paola Moreno		160	25	20	205
Cristián Azócar I		320			320
Roberto Orellana		320			320
<b>TOTAL</b>	<b>633</b>	<b>924</b>	<b>157</b>	<b>107</b>	<b>1821</b>

**Objetivo Específico 2.1.2**

<b>ACTIVIDADES</b>					
<b>PERSONAL</b>	<b>CRUCERO</b>	<b>PROCESAMIENTO</b>	<b>ANÁLISIS</b>	<b>INFORMES</b>	<b>TOTAL</b>
<b>IFOP</b>					
Hernán Reyes	150	20	20	5	195
Jaime Letelier		20	20	18	58
Milena Pizarro		120	28	12	160
Juan Saavedra			10	5	15
<b>TOTAL</b>	<b>150</b>	<b>160</b>	<b>78</b>	<b>40</b>	<b>428</b>

**Objetivo Específico 2.1.3**

<b>ACTIVIDADES</b>					
<b>PERSONAL</b>	<b>CRUCERO</b>	<b>PROCESAMIENTO</b>	<b>ANALISIS</b>	<b>INFORMES</b>	<b>TOTAL</b>
<b>IFOP</b>					
Mauricio Braun			35	25	60
Eduardo DÍaz		10	15	5	30
Carlos Gaspar	16	16			32
Luis García	120				120
Luis Quintana	120				120
Juan Ballet	120				120
Paolo Pasten	120				120
Juan Almazabal	120				120
Pilar Páez	120				120
<b>UNAP</b>					
Gabriel Claramunt			20	20	40
Roberto Orellana		40			40
<b>TOTAL</b>	<b>736</b>	<b>66</b>	<b>70</b>	<b>50</b>	<b>922</b>

**Objetivo Específico 2.1.4**

<b>PERSONAL</b>	<b>CRUCERO</b>	<b>PROCESAMIENTO</b>	<b>ANALISIS</b>	<b>INFORMES</b>	<b>TOTAL</b>
<b>IFOP</b>					
Mauricio Braun A.		35	30	20	85
Viiivian Valenzuela		10	10		20
Juan Saavedra N.			10	5	15
Gabriela Böhm S.			10	10	20
<b>UNAP</b>					
Gabriel Claramunt			40	50	90
Paola Moreno			25	20	45
<b>TOTAL</b>		<b>45</b>	<b>125</b>	<b>105</b>	<b>275</b>

**Objetivo Específico 2.1.5**

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
<b>IFOP</b>					
Mauricio Braun A.		35	30	20	85
Eduardo Díaz		5	10		15
Juan Saavedra N.			10		10
Gabriela Böhm S.			10	10	20
Vivian Valenzuela.			10	5	15
<b>UNAP</b>					
Gabriel Claramunt				20	20
Gustavo Herrera			90	70	160
Cristián Azocar			140	20	160
Roberto Orellana		300			300
Paola Moreno		300			300
<b>TOTAL</b>		<b>640</b>	<b>300</b>	<b>145</b>	<b>1085</b>

**Objetivo Específico 2.1.6**

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
<b>IFOP</b>					
Mauricio Braun A.			30	25	55
Eduardo Díaz.		20	10	5	35
Juan Saavedra N.			10		10
Gabriela Böhm S.			5		5
<b>UNAP</b>					
Gabriel Claramunt			10	10	20
Cristián Azocar		120			120
<b>TOTAL</b>		<b>140</b>	<b>65</b>	<b>40</b>	<b>245</b>



### Objetivo Específico 2.1.7

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
<b>IFOP</b>					
Mauricio Braun A.			30	20	50
Gabriela B3hm S.			10		10
Juan Saavedra N.			5		5
<b>UNAP</b>					
Gabriel Claramunt			40		40
<b>TOTAL</b>			<b>85</b>	<b>20</b>	<b>105</b>

### Objetivo Específico 2.1.8

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
<b>IFOP</b>					
Mauricio Braun A			40	25	65
Vivian Valenzuela			10		10
Jaime Letelier P.		20	25	10	55
V3ctor Catasti B.		10	26	10	46
Juan Saavedra N.			5		5
<b>TOTAL</b>		<b>30</b>	<b>106</b>	<b>45</b>	<b>181</b>



## ANEXO 5

---

**Taller de difusión y  
discusión de resultados**

---





## **ANEXO N° 5**

### **TALLER DE DIFUSIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

---

De acuerdo a lo consignado en las bases técnicas y administrativas del proyecto, el taller de difusión y discusión de resultados del proyecto, se realizó en la ciudad de Iquique en dependencias de la Universidad Arturo Prat, Departamento de Ciencias del Mar con sede en Huayquique, el listado de participantes y sus exposiciones se encuentran anexo a este informe.



## Taller de Presentaci3n de Resultados

### "Evaluaci3n del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, a3o 2009" (Proyecto FIP 2009-01).

#### LISTA DE ASISTENTES

	NOMBRE	FIRMA
1	José R. Cantón (Capesa S.A)	
2	Juan Carlos Paravelha (IFOP)	
3	Jessica Pizarro Evans (UNAP)	
4	Carlos Merino P. (UNAP)	
5	Juan Pablo Aguirre Baginsky (UNAP)	
6	Nicolás Delavie (CORPESCA)	
7	Cristina Aguirre Santolalla (UNAP)	
8	Natalia Pizarro Luna (UNAP)	
9	Paola Moreno González	(UNAP)
10	Roberto E. Orellana Rojas (Unap)	
11	Galvriel Cleramunt (UNAP)	
12	ADOLFO CORVAJAN S (CORVAJAN S)	
13	Luis Corcoso A (CORVAJAN S)	
14	Luis Bustos Rocha (CORPESCA)	
15	Antonio Ferrer (UNAP)	
16	Viviana Velazquez Cuevas IFOP	
17		



## **Recomendaciones**

Se recomienda modificar la zona de inicio del crucero, esto significa realizarlo de sur a norte, debido a que los 3ndices microsc3picos y macrosc3picos como IGS, permanecieron altos hasta el mes de octubre, como ocurri3 durante el a3o 2009 y a su vez se incrementa la probabilidad de encontrar una mayor densidad de huevos en el 3rea norte de la zona a prospectar, que es aquella, donde hist3ricamente se han detectado las mayores densidades de los productos del desove.



## **Presentación**

---

**Objetivos 2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7**  
**Fase huevos y adultos**

---



# Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II regiones, año 2009



$$B = \frac{P}{C} = \frac{P_0 A}{C} = \frac{\text{N}^\circ \text{ huevos/día}}{C}$$

$$C = \frac{R S F}{W} = \frac{\text{N}^\circ \text{ huevos/día}}{\text{gramo}}$$

Po: Producción diaria de huevos

A: Area de desove

R: Proporción de hembras

S: Fracción diaria de hembras desovantes

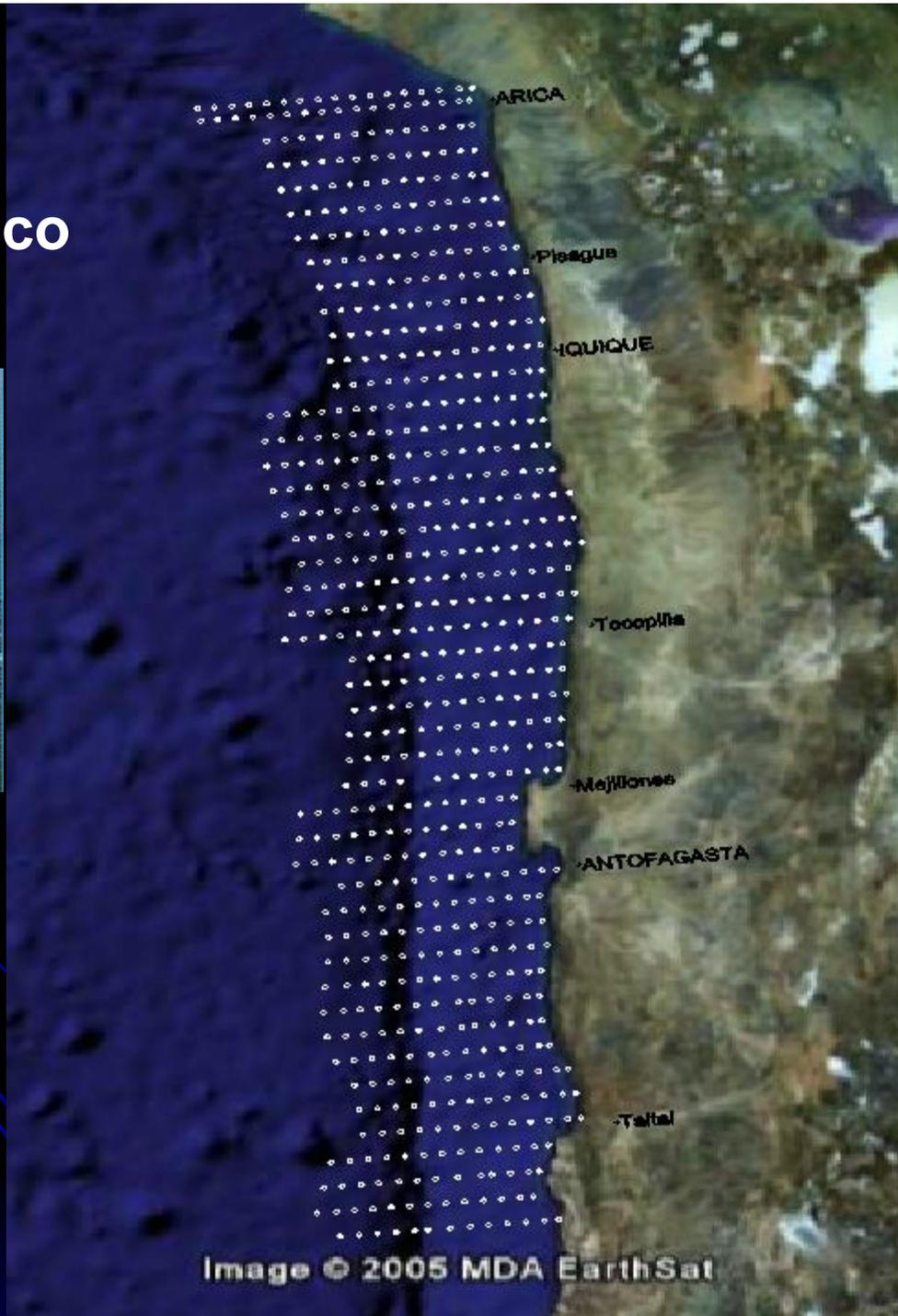
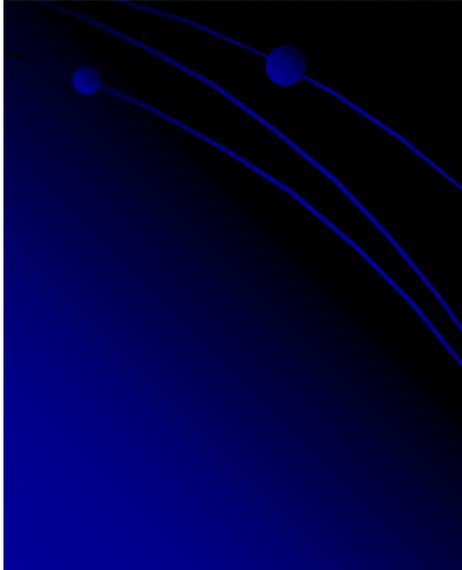
F: Fecundidad parcial

W: Peso promedio de hembras

$$B = \frac{P_0 A}{C}$$



# Crucero ictioplanctónico



18° 25' S

26° 00' S

# Crucero Ictioplanctónico

Año	Estac. N°	Estac. (+) N°	Total Huevos N°	Densidad H/0.05 m <sup>2</sup>	Densidad (+) H/0.05 m <sup>2</sup>	Area crucero mn <sup>2</sup>	Area desove mn <sup>2</sup>	Temp 10 m °C
1992	542	212	10974	20	52	17055	10332	16.25
1995	578	208	7555	13	36	18137	13315	15.64
1996	752	176	6718	9	38	18353	10698	15.28
1997	800	209	8054	10	39	28276	14660	18.26
1999	598	132	7582	13	57	27374	7525	15.84
2000	502	212	10473	21	49	19539	13059	15.72
2001	514	60	7586	15	126	25921	4026	15.56
2002	589	310	18305	31	59	30264	18309	15.94
2003	537	129	9264	17	72	26986	7597	15.84
2004	649	208	12079	19	58	30152	9193	16.29
2005	658	214	17066	26	80	30368	12521	15.55
2006	799	226	11434	14	51	41448	14408	16.14
2007	799	113	4724	6	42	38269	6439	14.01
2008	717	136	10304	14	76	35264	7594	16.21
2009	773	46	4702	6	102	38289	1743	15.89

Asignación de edad:

11 estadios de desarrollo

Modelo de desarrollo Temperatura-dependiente

Temperatura de la estación (10 m)

Hora de muestreo

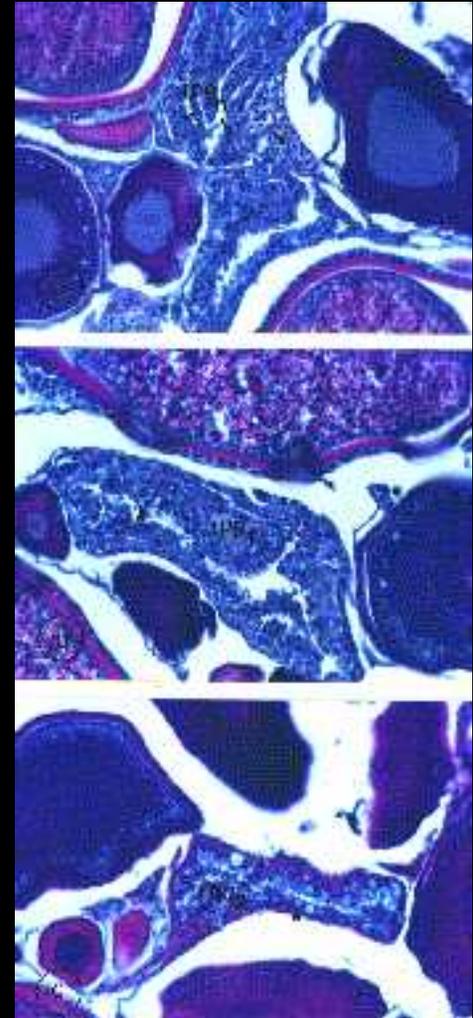
Pico de desove (23:00 h)

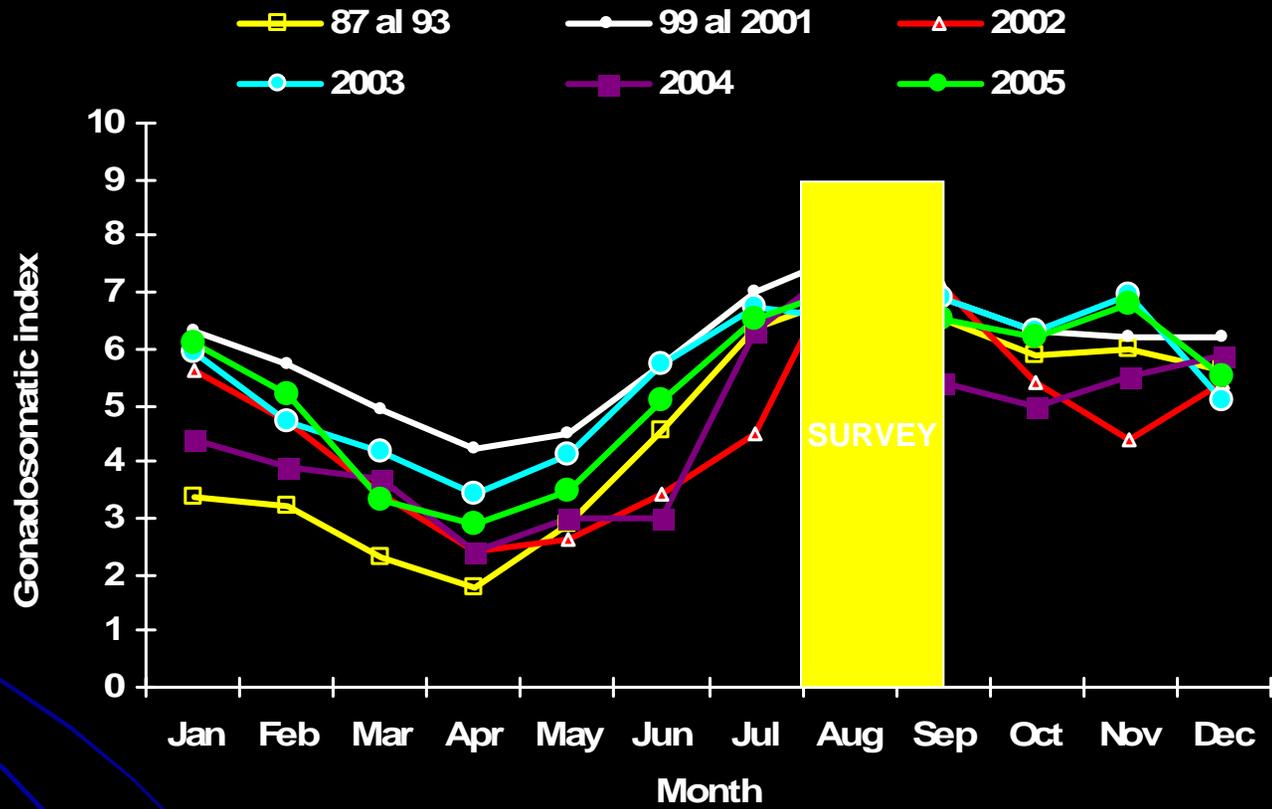
$$C = \frac{RSF}{W}$$



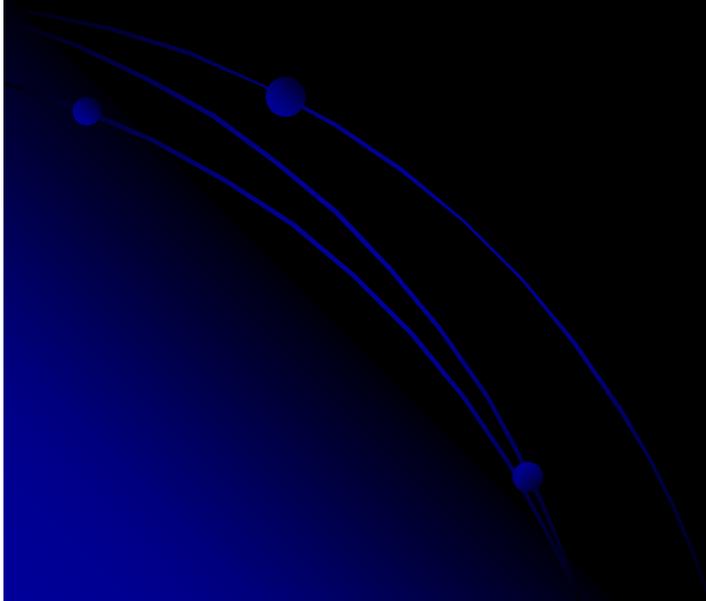
## Muestreo de adultos

Año	Lances	Hembras
1992	48	1440
1995	40	1177
1996	32	927
1997	60	1800
1999	51	1530
2000	92	1800
2001	60	1800
2002	60	1800
2003	60	1800
2004	55	1651
2005	60	1799
2006	42	1260
2007	55	1645
2008	60	1800
2009	37	1272



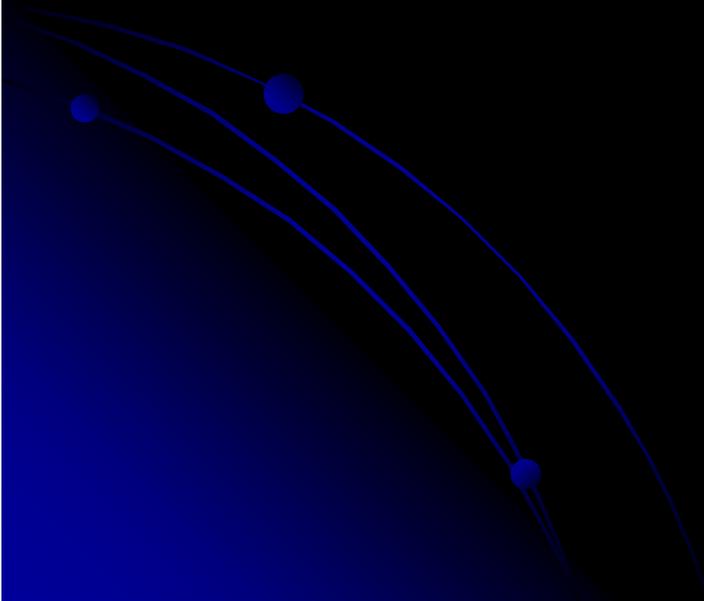


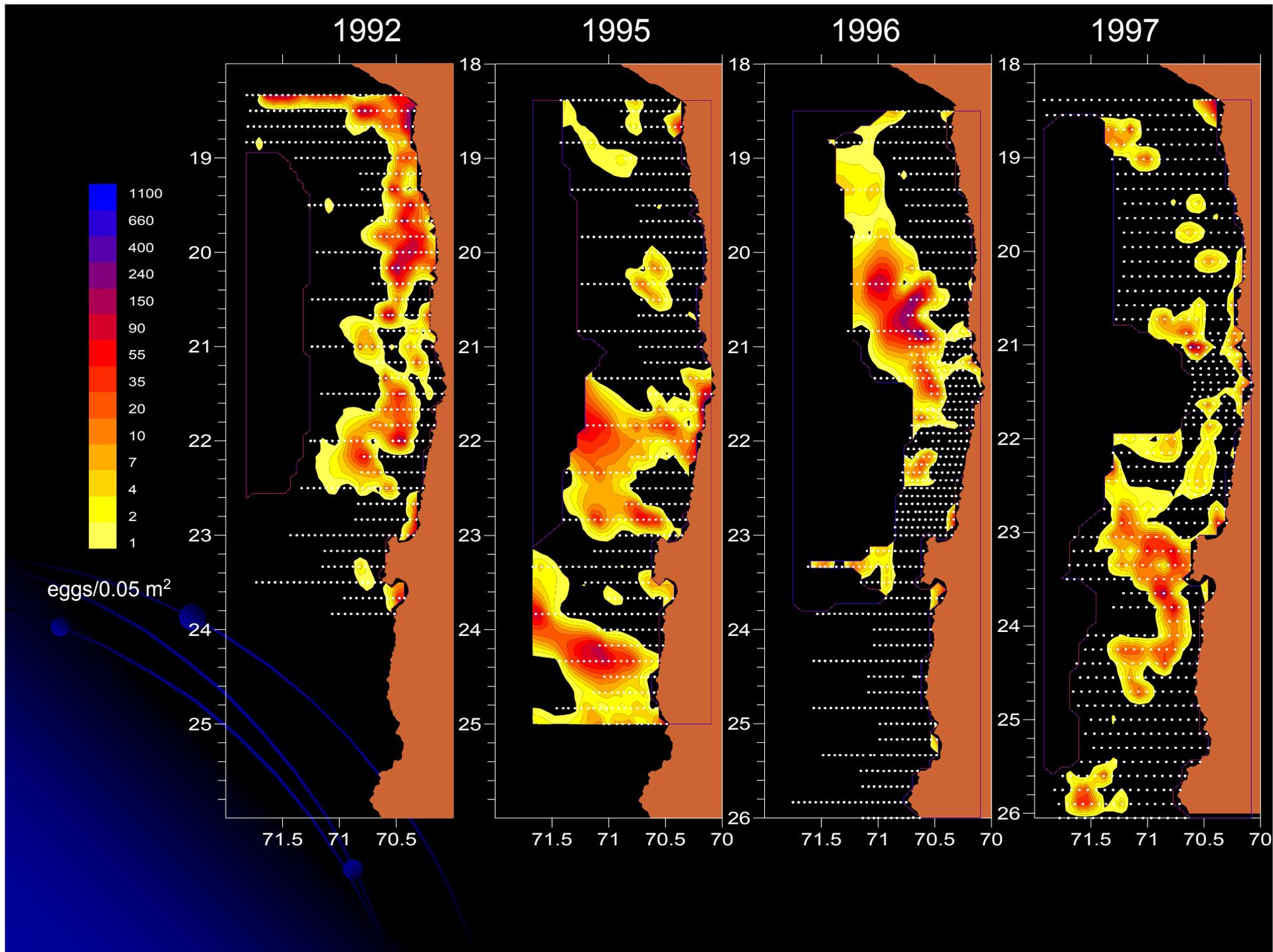
# RESULTADOS



$$B = \frac{P_0 A W}{S F R}$$

# AREA DE DESOVE



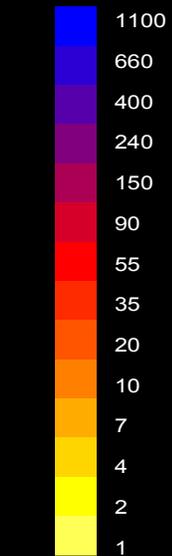


1999

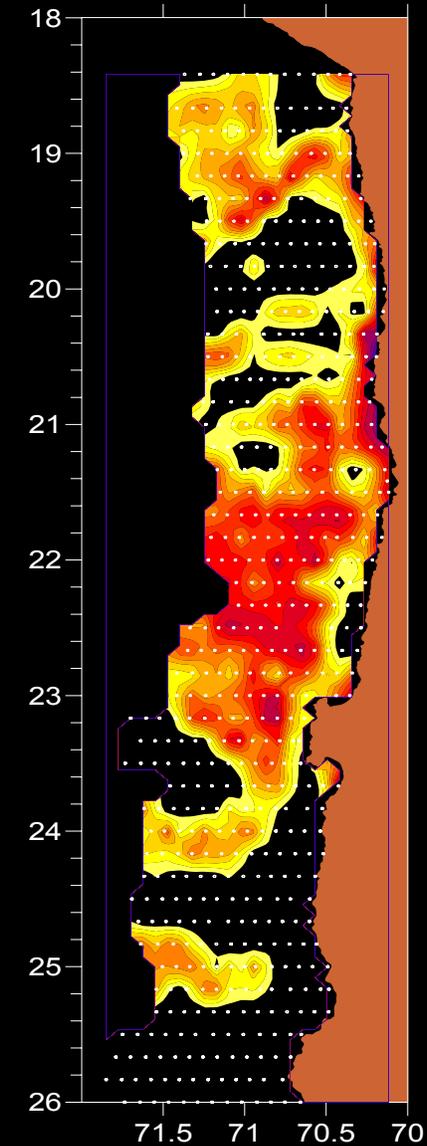
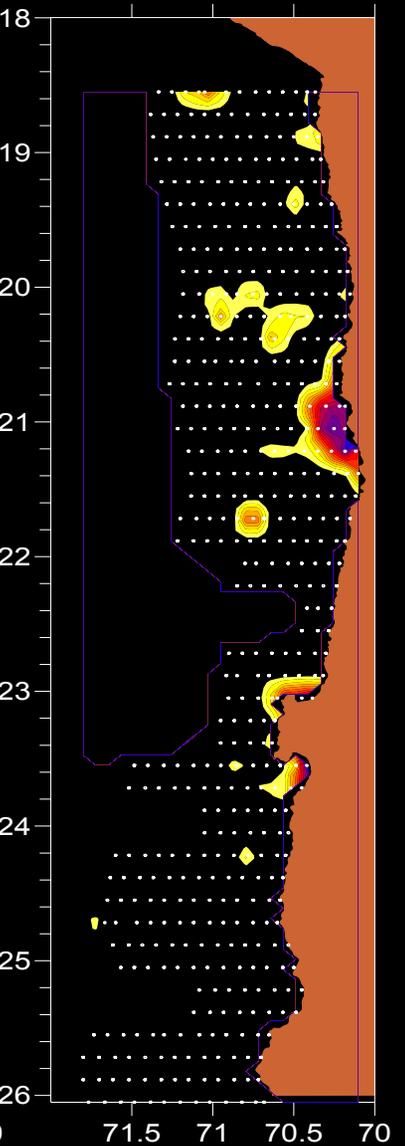
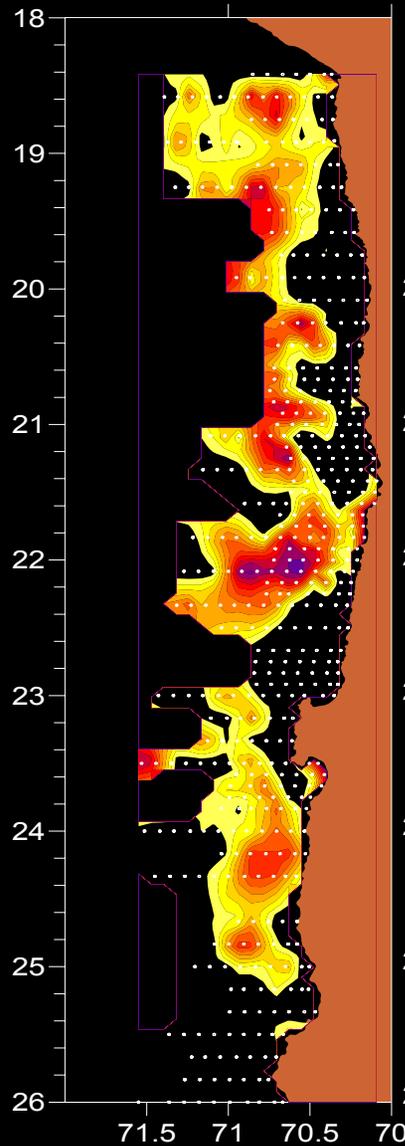
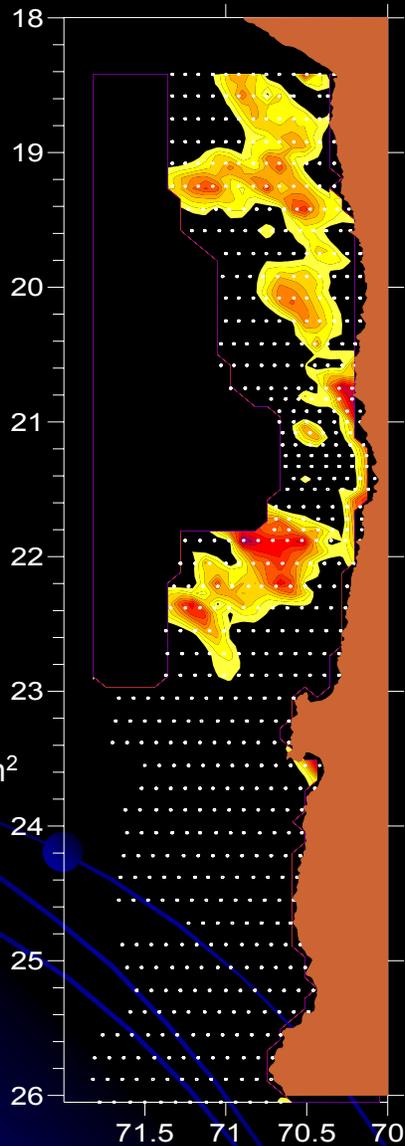
2000

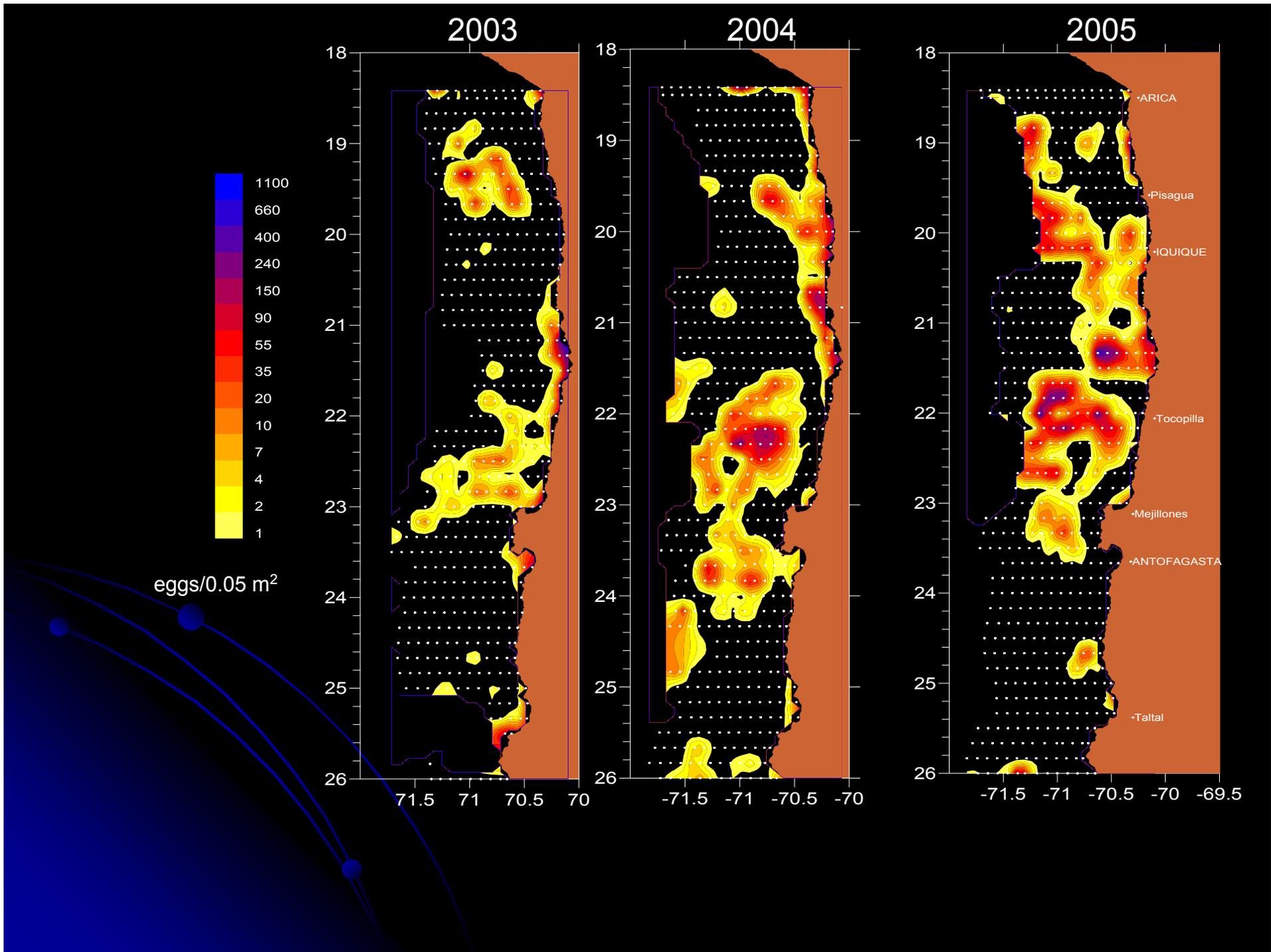
2001

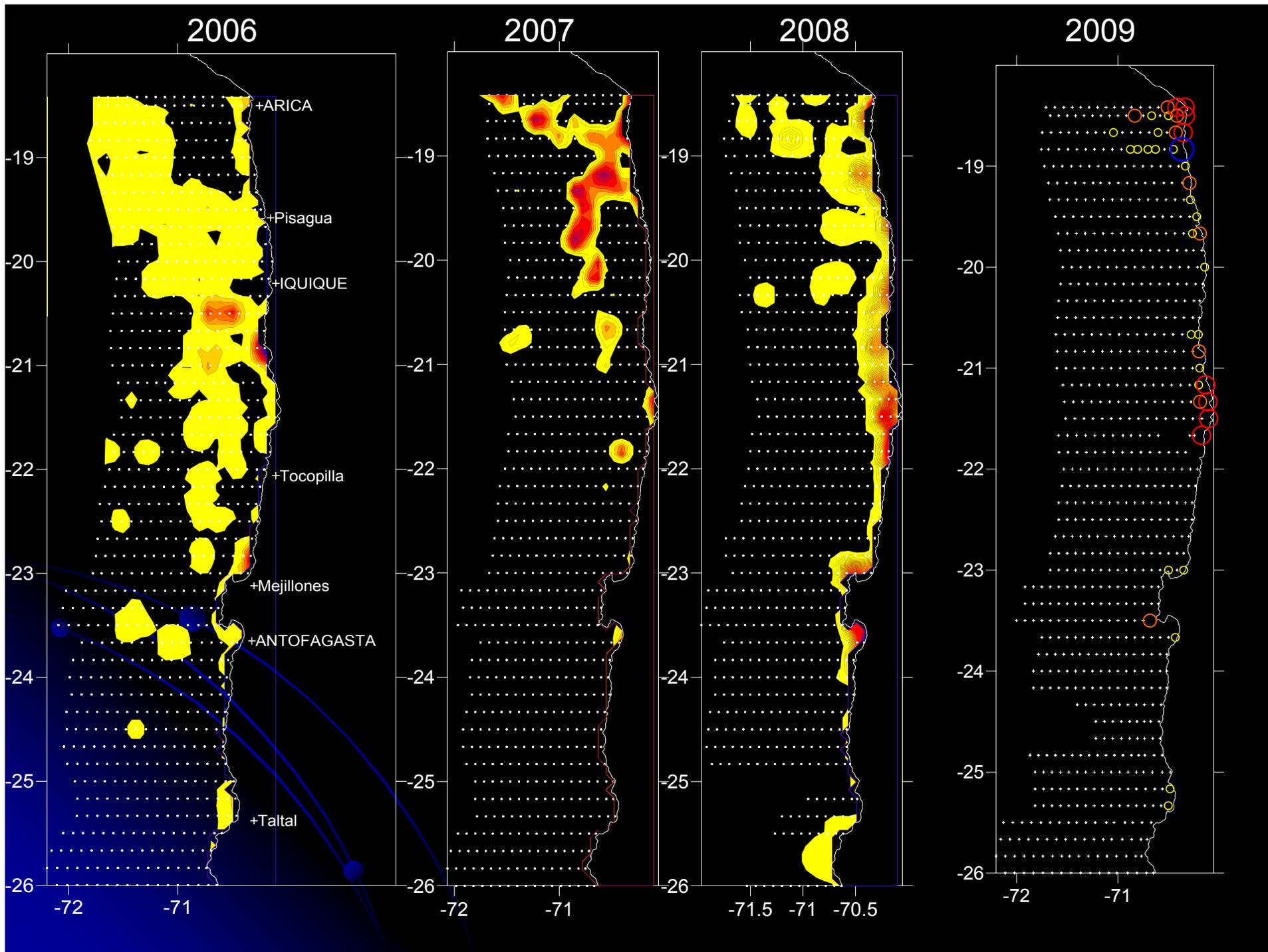
2002

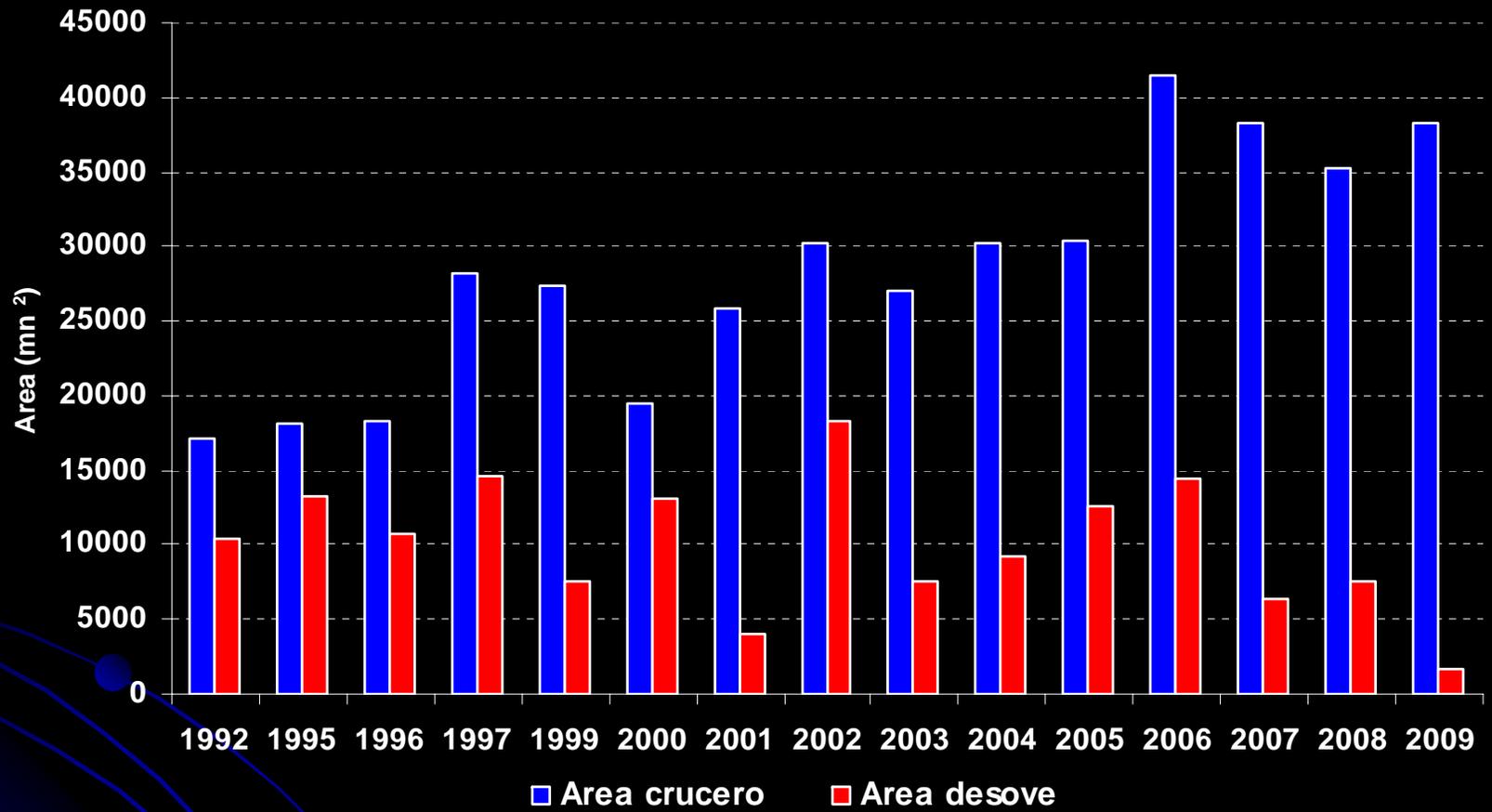


eggs/0.05 m<sup>2</sup>



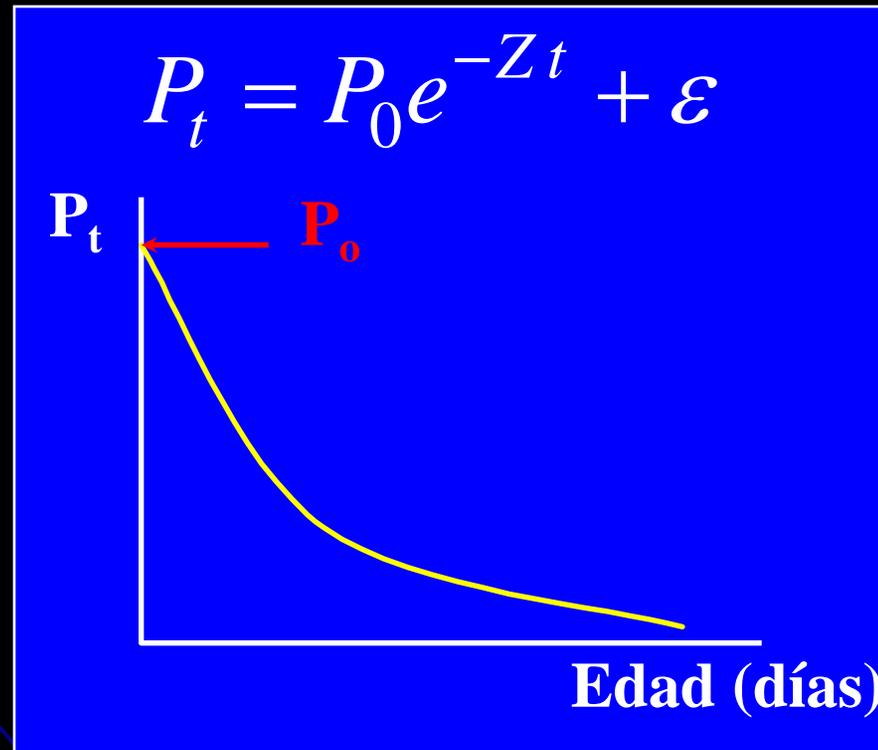






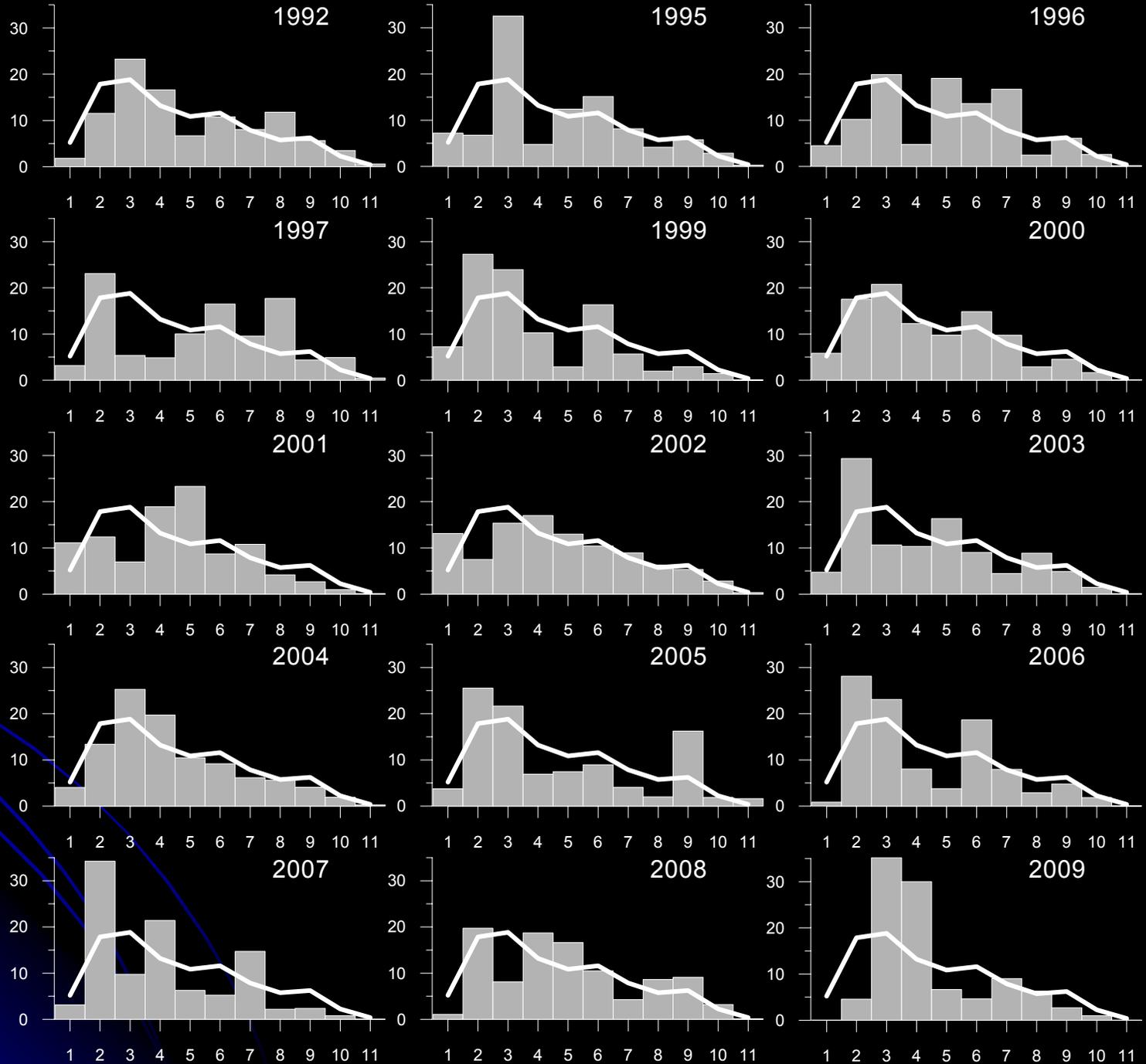
$$B = \frac{P_0 A W}{S F R}$$

## Producción diaria de huevos



**Frecuencia  
(Nº) de huevos  
de anchoveta  
por estadio de  
desarrollo.**

**Línea es  
promedio  
histórico**



# Estimación de producción diaria de huevos: Requerimientos

- Número de huevos por estadio y superficie
- Área representada por cada unidad de muestreo
- Modelo de desarrollo, basado en experimentos de incubación
- Método de datación de huevos (y asunciones asociadas)
- Modelo de producción/mortalidad de la población

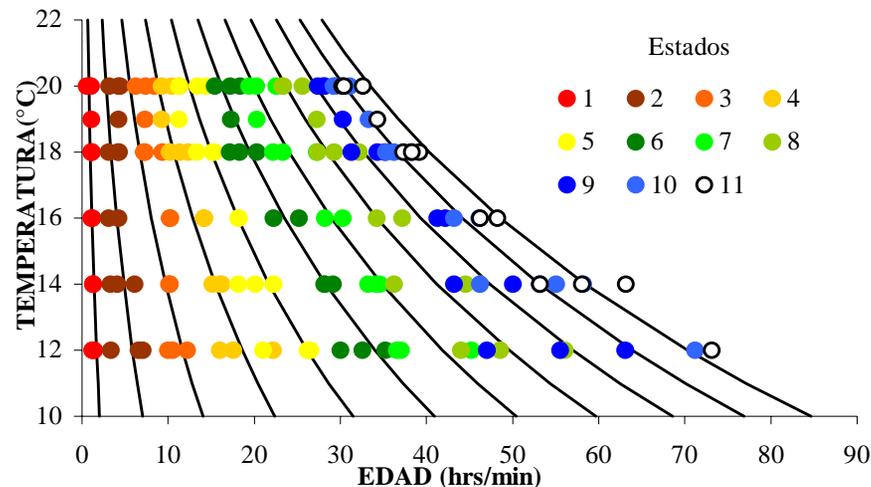
# Modelos de desarrollo (I)

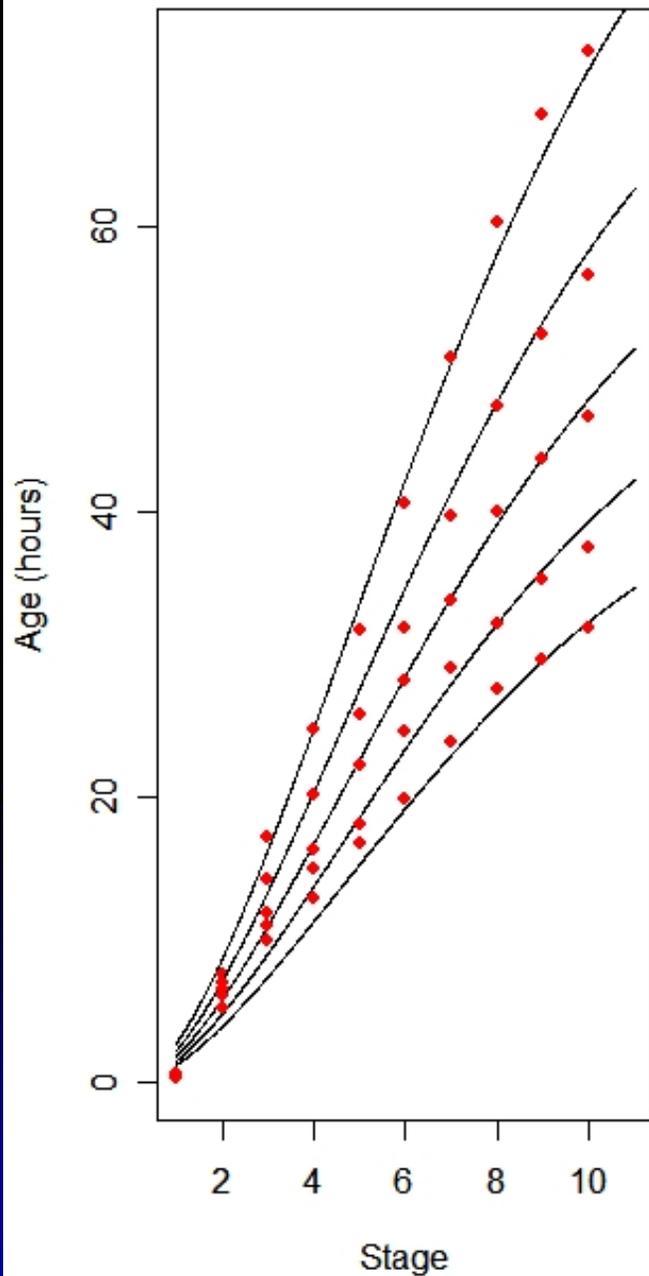
## Modelo tradicional de Lo (1985)

Edad media = f ( Estadio, Temperatura )

f = función paramétrica rígida

$$\rightarrow y_{i,t} = a e^{(bt+ci)} i^d$$





$$\rightarrow y_{i,t} = a e^{(bt+ci)} i^d$$

Formula:  $\text{Mage} \sim a * \exp(-(b * \text{Temp} + c * \text{Stage})) * \text{Stage}^d$

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
a	9.820579	1.026115	9.571	1.61e-12 ***
b	0.098577	0.002378	41.447	< 2e-16 ***
c	0.101799	0.016694	6.098	2.06e-07 ***
d	1.815113	0.110255	16.463	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

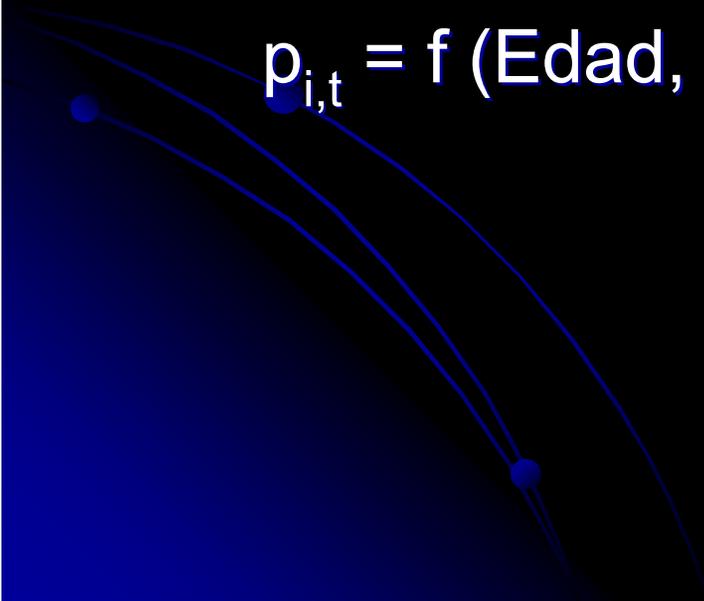
Residual standard error: 1.371 on 46 degrees of freedom

**ERROR:** seleccionar a la edad como la variable aleatoria dependiente es errado, lo que hace que las significancias estadísticas del ajuste no tengan significado.

# Modelos de desarrollo (II)

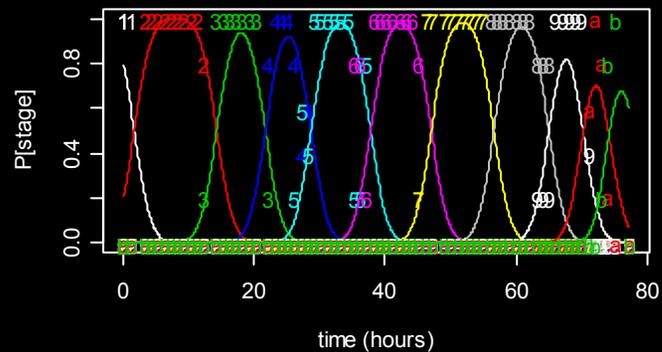
- Modelo multinomial

$$N_{i,t} \sim \text{Mult} ( N , p_{i,t} )$$

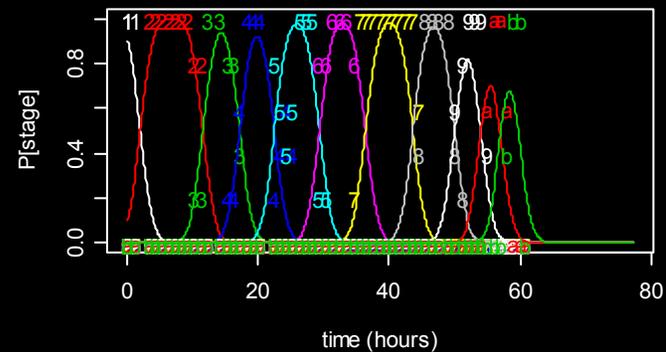
$$p_{i,t} = f (\text{Edad, Temperatura})$$


# Anchoveta zona norte

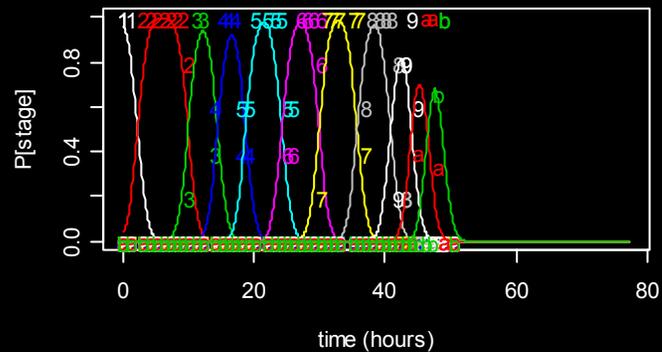
### Temp 12



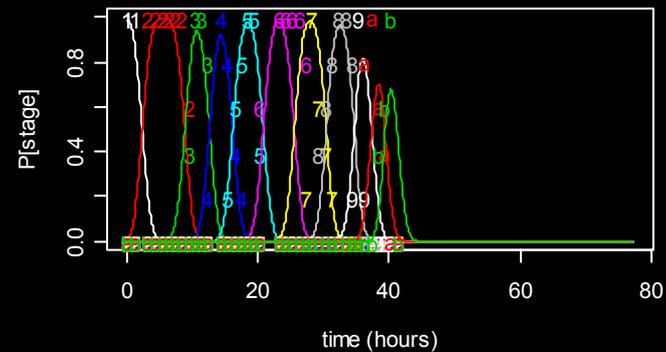
### Temp 14



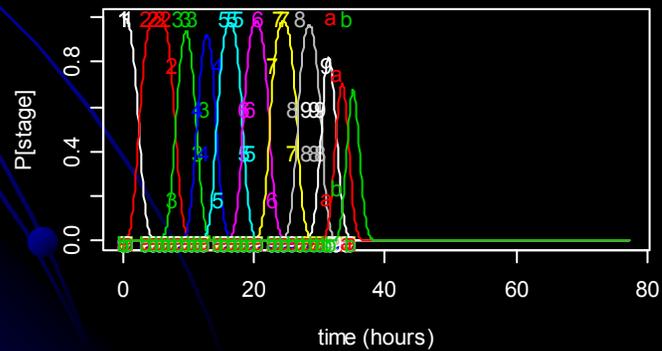
### Temp 16



### Temp 18



### Temp 20



# Conclusiones

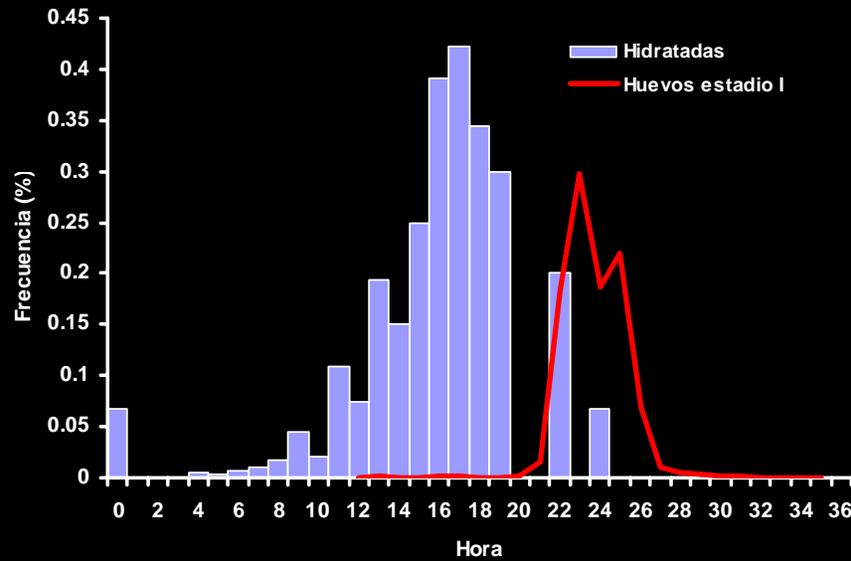
- Modelo de desarrollo:
    - Modelo de Lo: forma funcional muy restrictiva
    - Modelo multinomial:
      - Utiliza las observaciones de una forma estadística correcta
      - Permite estimar varianza
      - Permite visualizar mejor el proceso de desarrollo
- 

# Métodos de datación (I)

- Método automático de Lo
  - Modelo de desarrollo de Lo
  - Sincronicidad: Pico de puesta

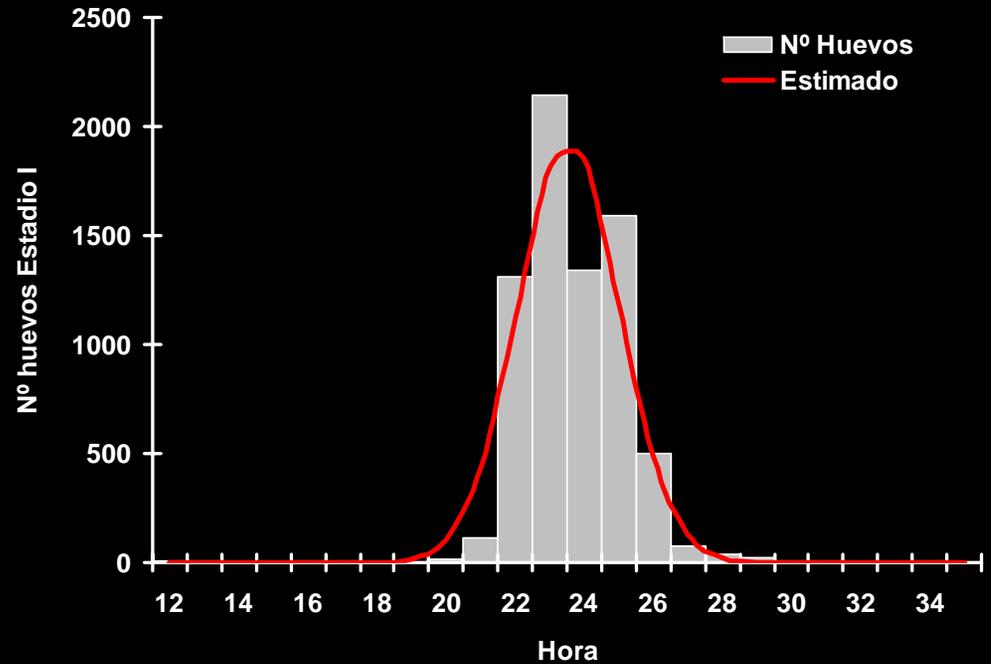
**Si la edad predicha por el modelo de desarrollo  $\pm$  rango de edades de ese estadio es consecuente con el pico de desove, la edad se calcula como el tiempo exacto entre el pico de desove y la hora de muestreo**

# ¿A QUE HORA DESOVAN?



Distribución horaria de hembras hidratadas y huevos en estadio I

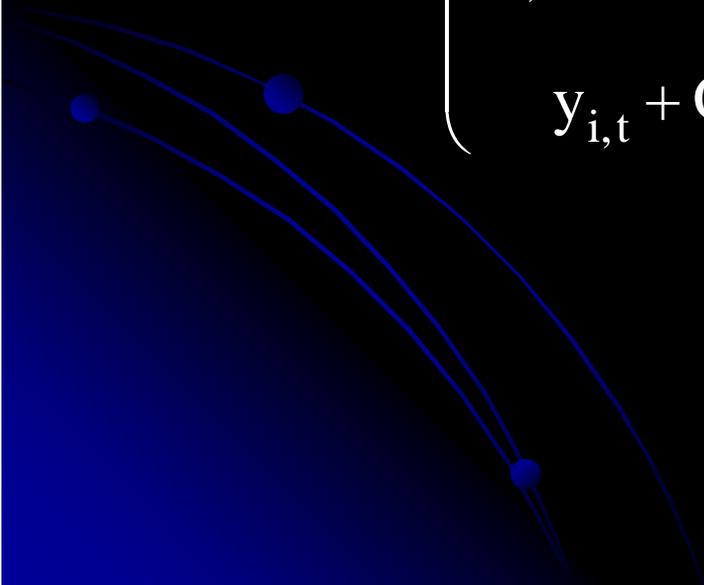
**Pico desove = 23 h**  
**Desv. Est = 1,5 horas**



$$y_{i,t,k} = y_{i,t} + k - \hat{T}$$

donde:  $y_{i,t}$  = se obtiene del modelo temperatura dependiente.  
 $K$  = hora del lance  
 $T$  = remanente de  $(y_{i,t} + 22) - 24$

$$y_{i,t,k} = \begin{cases} y_{i,t} - G & \text{si } k < \hat{T} - G \\ y_{i,t} + k - \hat{T} & \text{si } \hat{T} - G < k < \hat{T} + G \\ y_{i,t} + G & \text{si } \hat{T} + G < k \end{cases}$$



# Métodos de datación (II)

- Método Bayesiano
  - Modelo de desarrollo multinomial
  - Asunción de sincronicidad probabilística (dist. normal)

$p(\text{age} \mid \text{stage}, \text{temp}, \text{time}) \propto p(\text{stage} \mid \text{age}, \text{temperature}) \pi(\text{age} \mid \text{time})$

Datación

Modelo de desarrollo

sincronicidad

# Curva de producción

## Método tradicional

$$D_{age} = D_0 e^{-z \cdot age}$$

$$\log\left(\frac{N_{age}}{area}\right) = \log(D_0) - z \cdot age$$

- Regresión no lineal ponderada por el inverso del error estándar del número de huevos según categorías de edad de 0, 5 días

## GLM

$$\log\left(\frac{N_{age}}{area}\right) = \log(D_0) - z \cdot age \rightarrow \log(N_{age}) = \log(area) + \log(D_0) - z \cdot age$$

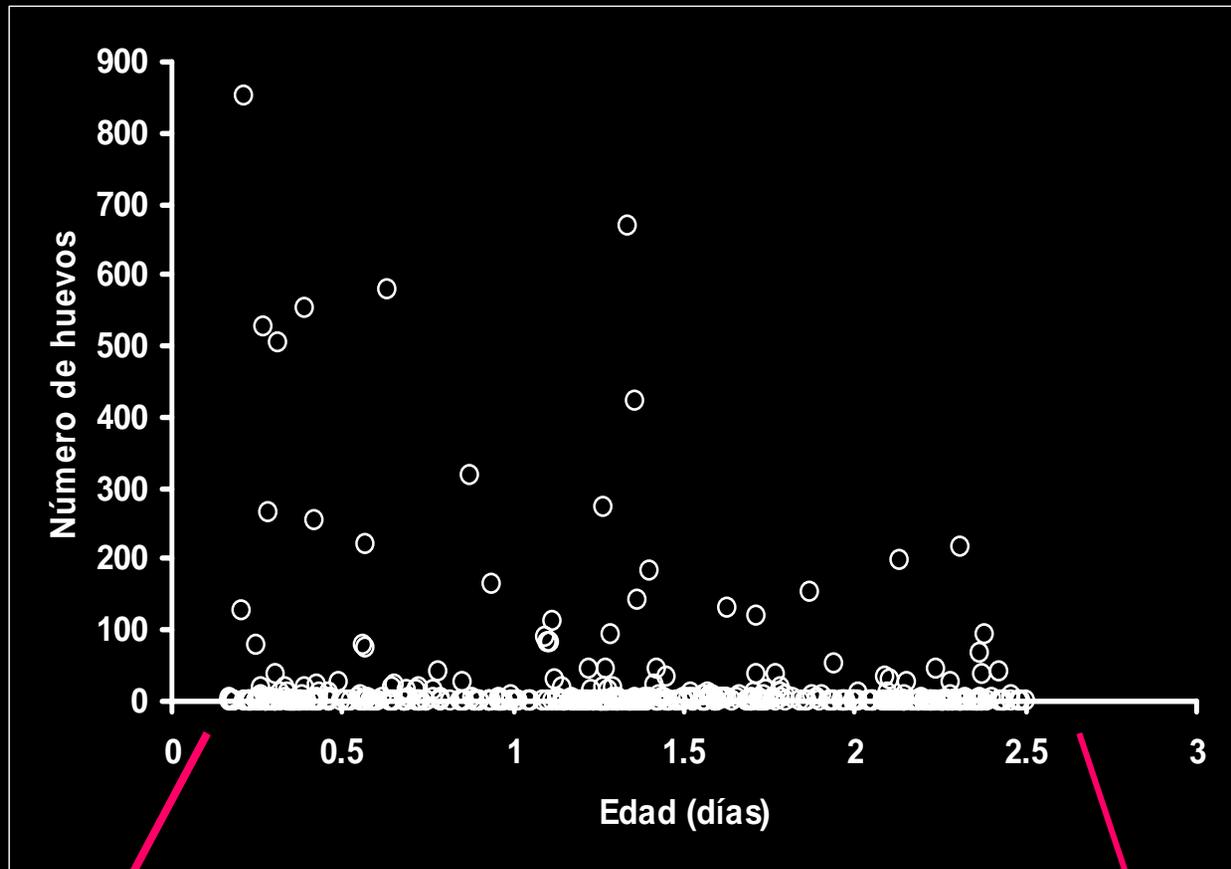
$$E[N_{age}] = \text{offset} + g^{-1} [a + b \cdot age]$$

# Problemas curva de producción

- Sesgo:

- Sesgo debido a falta de disponibilidad de huevos en estadios tempranos
- Sesgo debido a eclosión de huevos en estadios tardíos, especialmente si hay correlación entre producción, mortalidad y duración estadios

(e.g.  $\uparrow$ prod  $\uparrow$ temp  $\uparrow$ mortalidad  $\downarrow$ duración )



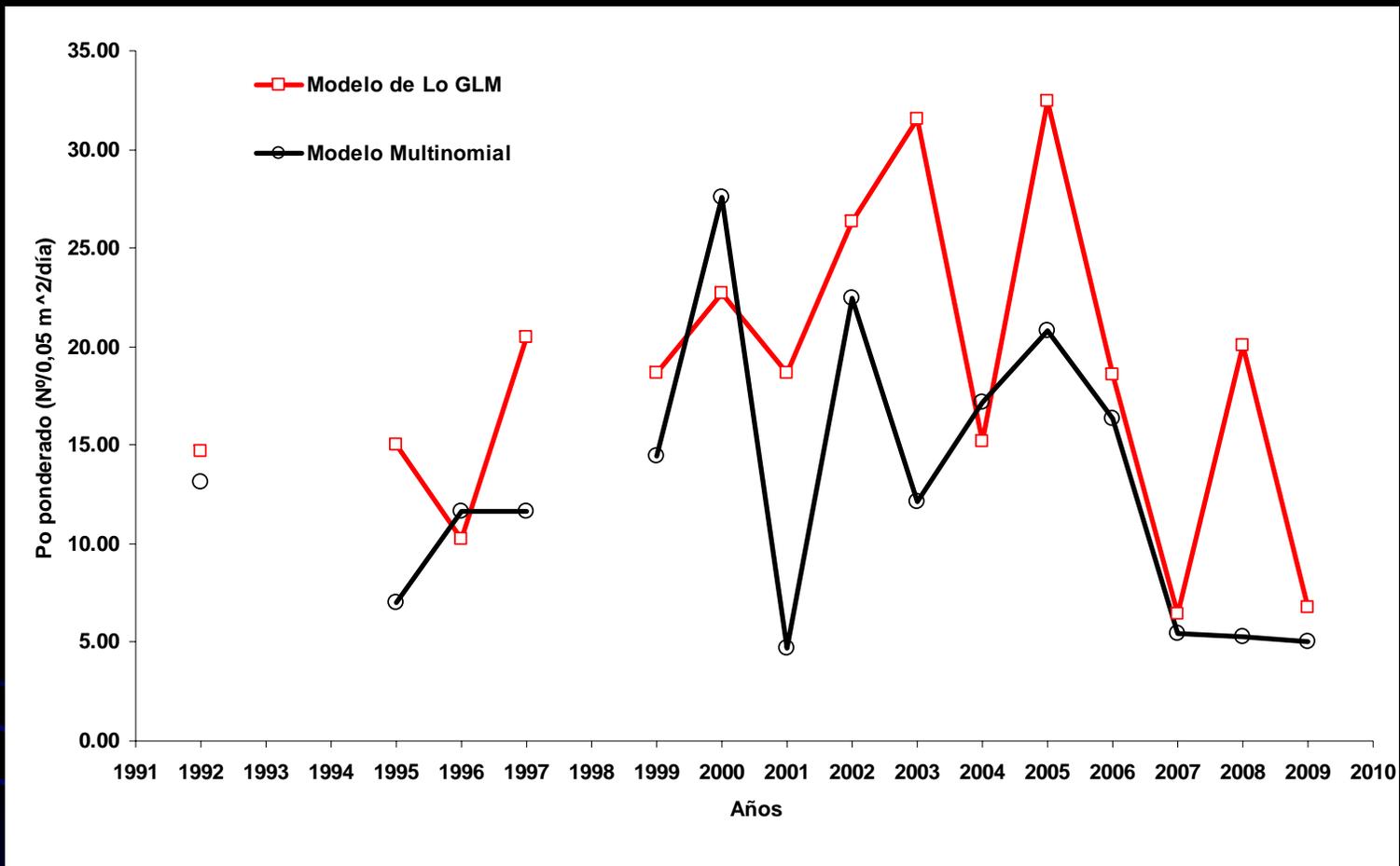
Corte:  $\leq 4$  hrs

Corte:  $\geq 0.95 \cdot \text{Edad eclosión}$

		Modelo de Lo GLM						Modelo Multinomial					
		Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z )	n	AIC	Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z )	n	AIC
1992	(Intercept)	6.181536	0.244034	25.3	<2e-16	575	3308.8	6.068742	0.245633	24.7	<2e-16	496	3018
	Age	-0.011578	0.008243	-1.4	0.16			-0.007183	0.009055	-0.8	0.43		
1995	(Intercept)	6.014969	0.258939	23.2	<2e-16	691	2985	5.258078	0.239853	21.9	<2e-16	645	2808
	Age	-0.021668	0.008764	-2.5	0.01			-0.006713	0.008229	-0.8	0.42		
1996	(Intercept)	5.861715	0.292224	20.1	<2e-16	503	2339.4	5.99041	0.29086	20.6	<2e-16	464	2327
	Age	-0.009463	0.009871	-1.0	0.34			-0.01686	0.01002	-1.7	0.09		
1997	(Intercept)	6.30576	0.27808	22.7	<2e-16	547	2656.3	5.741511	0.252034	22.8	<2e-16	421	2523
	Age	-0.02896	0.01025	-2.8	4.7E-03			0.003328	0.01137	0.3	0.77		
1999	(Intercept)	7.21459	0.33666	21.4	<2e-16	342	1762	6.95639	0.32923	21.1	<2e-16	289	1736
	Age	-0.04965	0.01177	-4.2	2.5E-05			-0.039	0.01248	-3.1	1.8E-03		
2000	(Intercept)	6.522242	0.227725	28.6	<2e-16	524	2946.5	6.714806	0.227135	29.6	<2e-16	460	2973
	Age	-0.023484	0.007802	-3.0	2.6E-03			-0.032164	0.008481	-3.8	1.5E-04		
2001	(Intercept)	7.78502	0.54937	14.2	<2e-16	133	875.16	6.41111	0.54414	11.8	<2e-16	122	796.8
	Age	-0.02987	0.01801	-1.7	0.10			0.01299	0.01888	0.7	0.49		
2002	(Intercept)	6.76806	0.17794	38.0	<2e-16	669	4901	6.609291	0.173606	38.1	<2e-16	577	4368
	Age	-0.01894	0.00609	-3.1	1.9E-03			-0.01536	0.006459	-2.4	0.02		
2003	(Intercept)	7.680128	0.282338	27.2	<2e-16	297	2403.1	6.72581	0.3023	22.2	<2e-16	274	1765
	Age	-0.024523	0.008928	-2.7	6.0E-03			-0.0152	0.01062	-1.4	0.15		
2004	(Intercept)	6.90376	0.23069	29.9	<2e-16	491	3229.3	7.027879	0.220056	31.9	<2e-16	463	3125
	Age	-0.02912	0.00781	-3.7	1.9E-04			-0.035152	0.007586	-4.6	3.6E-06		
2005	(Intercept)	7.360873	0.211753	34.8	<2e-16	501	3393.6	6.91869	0.21988	31.5	<2e-16	472	3260
	Age	-0.0456	0.007337	-6.2	5.1E-10			-0.02011	0.00807	-2.5	1.3E-02		
2006	(Intercept)	6.98651	0.235172	29.7	<2e-16	495	3069	6.86046	0.23101	29.7	<2e-16	420	2835
	Age	-0.036686	0.008542	-4.3	1.8E-05			-0.0306	0.00932	-3.3	1.0E-03		
2007	(Intercept)	6.64165	0.31872	20.839	<2e-16	286	1596.1	6.466688	0.308755	20.944	<2e-16	291	1574
	Age	-0.0334	0.01017	-3.285	1.02E-03			-0.029799	0.009874	-3.018	0.00255		
2008	(Intercept)	7.528015	0.274527	27.422	<2e-16	366	3068.7	6.201795	0.318289	19.485	<2e-16	295	1932
	Age	-0.030285	0.009302	-3.256	1.13E-03			0.005065	0.01251	0.405	0.686		
2009	(Intercept)	7.9973	0.5377	14.874	<2E-16	94	674.94	7.70938	0.63713	12.1	<2e-16	84	570.1
	Age	-0.04662	0.01759	-2.651	8.02E-03			-0.03494	0.02232	-1.565	0.118		

Año	Area crucero mn <sup>2</sup>	Area desove mn <sup>2</sup>	Modelo de Lo GLM			Modelo Multinomial		
			Po	Varianza	CV	Po	Varianza	CV
			Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día		%	Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día		%
1992	17055	10332	14.65	21.144	31.4	13.09	17.099	31.6
1995	18137	13315	15.03	20.666	30.2	7.05	3.903	28.0
1996	18353	10698	10.24	15.391	38.3	11.65	19.726	38.1
1997	19627	14660	20.46	43.397	32.2	11.63	11.539	29.2
1999	27374	7525	18.68	144.297	64.3	14.43	82.382	62.9
2000	19539	13059	22.73	40.155	27.9	27.55	58.729	27.8
2001	25921	4026	18.67	682.528	139.9	4.73	42.928	138.6
2002	30264	18309	26.30	36.269	22.9	22.44	25.137	22.3
2003	26986	7852	31.50	272.686	52.4	12.13	46.367	56.1
2004	30152	9193	15.18	40.323	41.8	17.19	47.035	39.9
2005	30368	12521	32.43	114.620	33.0	20.84	51.045	34.3
2006	41182	14117	18.54	55.595	40.2	16.35	41.706	39.5
2007	38269	6439	6.45	25.182	0.8	5.41	16.654	75.4
2008	35264	7594	20.02	140.661	59.0	5.31	13.335	69.0
2009	38289	1743	6.77	291.607	252.4	5.07	230.343	299.1

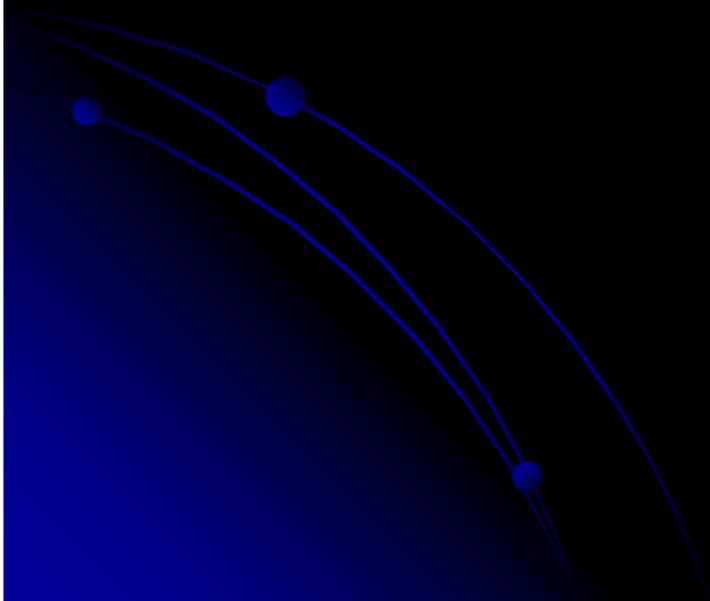
Estimaciones de Po (Nº/0,05 m<sup>2</sup>/día) ponderado por área.



Estimaciones de Producción diaria de huevos (Nº/0,05 m<sup>2</sup>/día), ponderado por el área

**La datación con el modelo multinomial genera en promedio, estimados más conservativos de  $P_0$  que los métodos convencionales.**

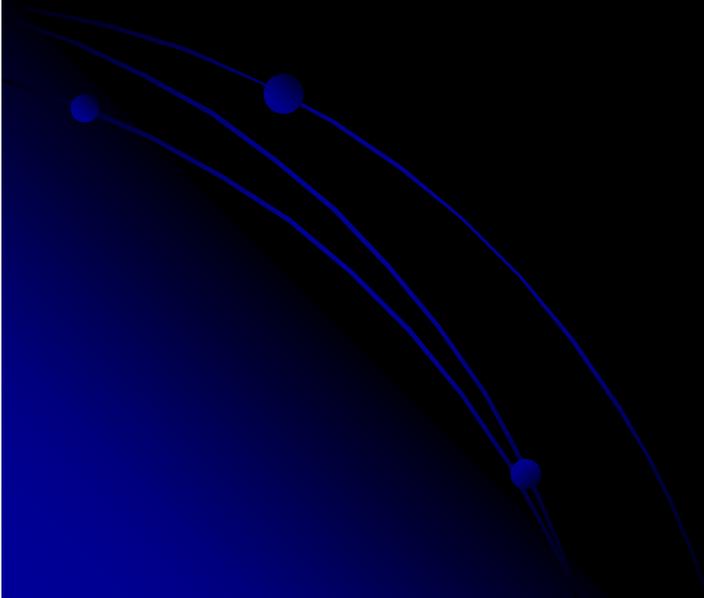
**Tasas de mortalidad total de huevos no significativas se deben básicamente a que la información retenida para el cálculo de  $P_0$  y  $Z$  (después de los cortes), no es informativa**



$$B = \frac{P_o A W}{S F R}$$

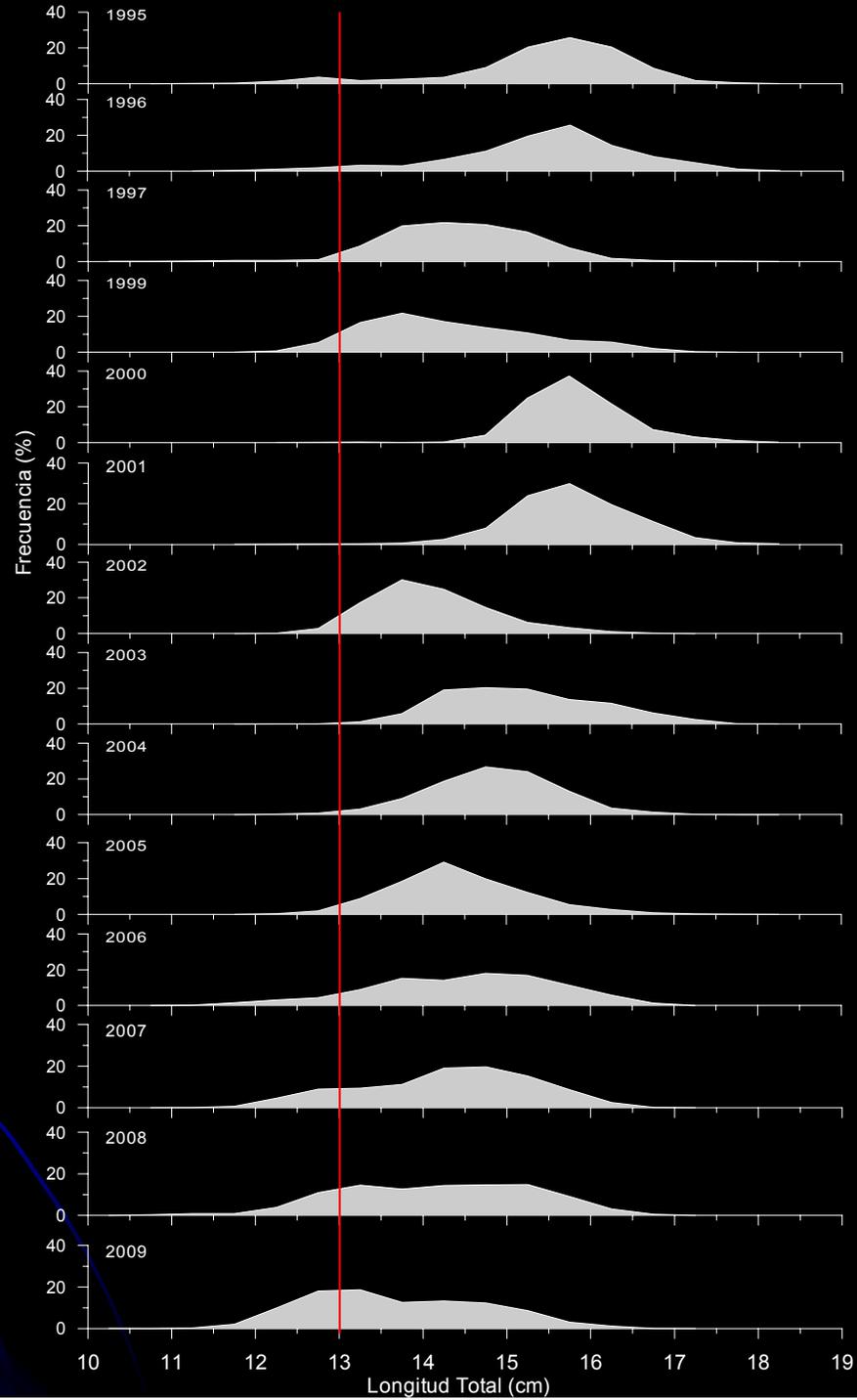
# Parametros de adultos

## Peso promedio de hembras



Año	Peso promedio	
	(g)	CV (%)
1992	20.7	1.32
1995	29.2	2.53
1996	30.0	2.52
1997	21.7	1.73
1999	22.7	1.42
2000	30.9	1.02
2001	32.4	1.17
2002	21.3	0.96
2003	25.2	1.16
2004	23.6	1.72
2005	23.0	1.26
2006	22.5	3.06
2007	21.7	1.92
2008	21.9	2.36
2009	18.0	3.50

# Distribución de frecuencia de tallas



$$B = \frac{P_o A W}{S F R}$$

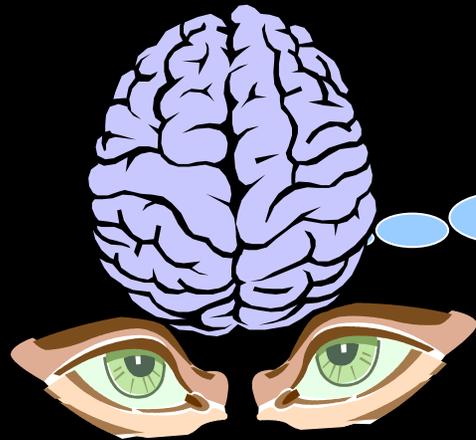
# Parametros de adultos

## Fracción diaria de hembras desovantes

**S:** Proporción de la población de hembras que desove al día.

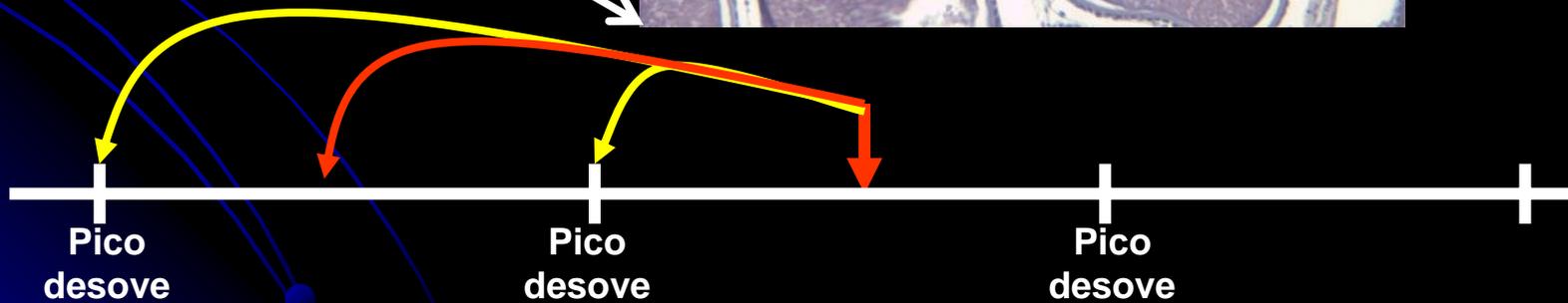
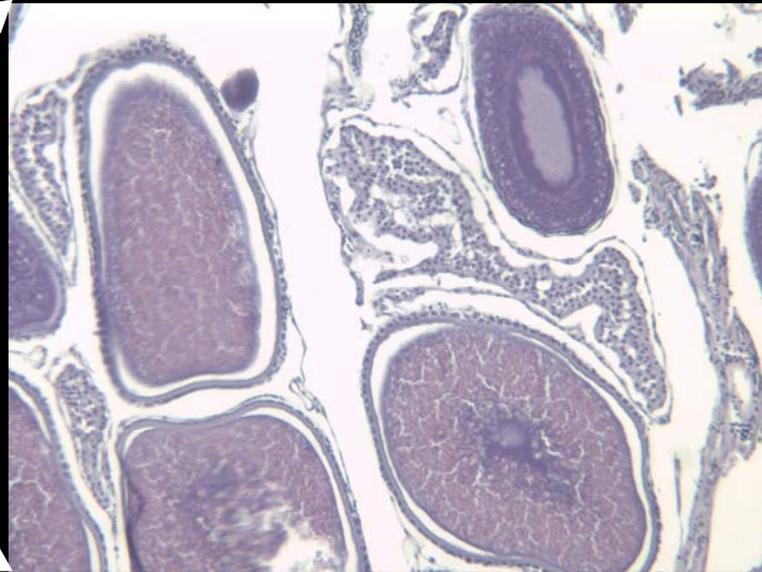
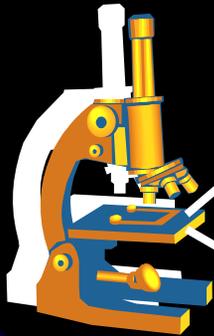
**1/S:** Frecuencia de desove

# Fracción diaria de hembras desovantes



¿ 0,1 O 2 DÍAS?

¿A QUE HORA SE  
CAPTURÓ?



La datación de los folículos postovulatorios (FPO), en general se ha basado en los criterios señalados por Hunter y Goldberg (1980).

Un nuevo criterio propuesto por el grupo de trabajo de ICES (2005) y Alday *et al.* (2008), basado en siete estadios de FPO de acuerdo a sus características estructurales permite asignar en forma más objetiva la edad de los FPO.

Se construyó una escala específica de siete estadios para *Engraulis ringens*.

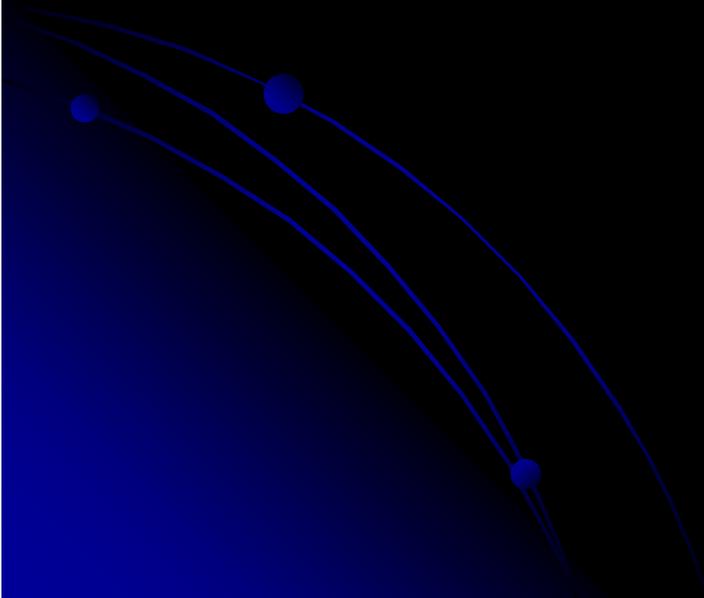
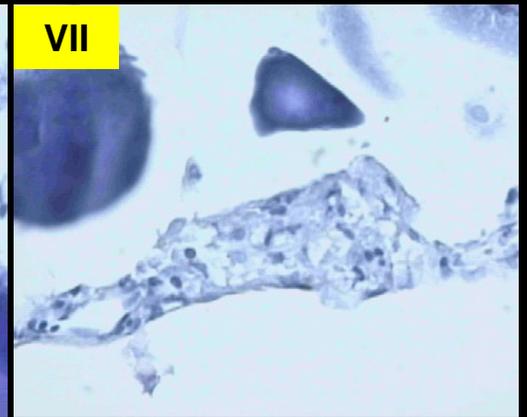
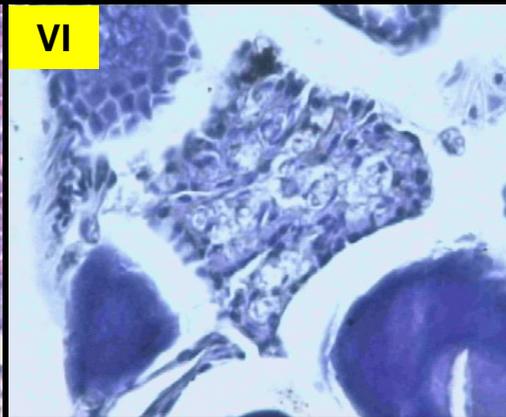
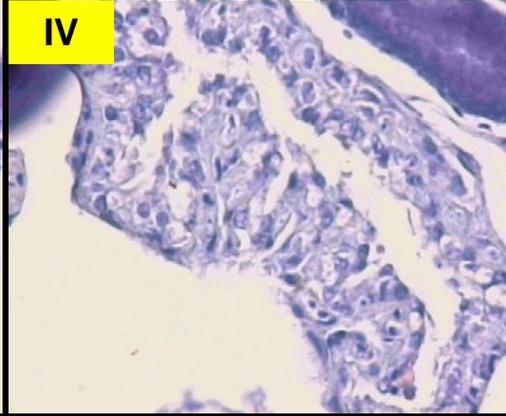
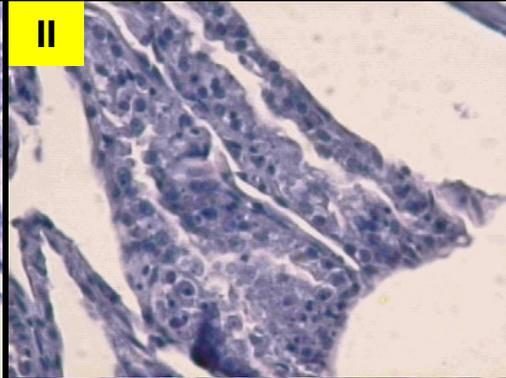
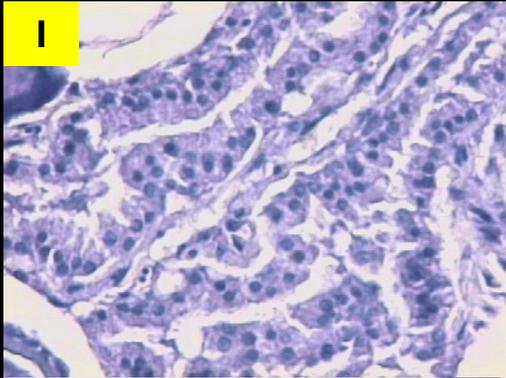
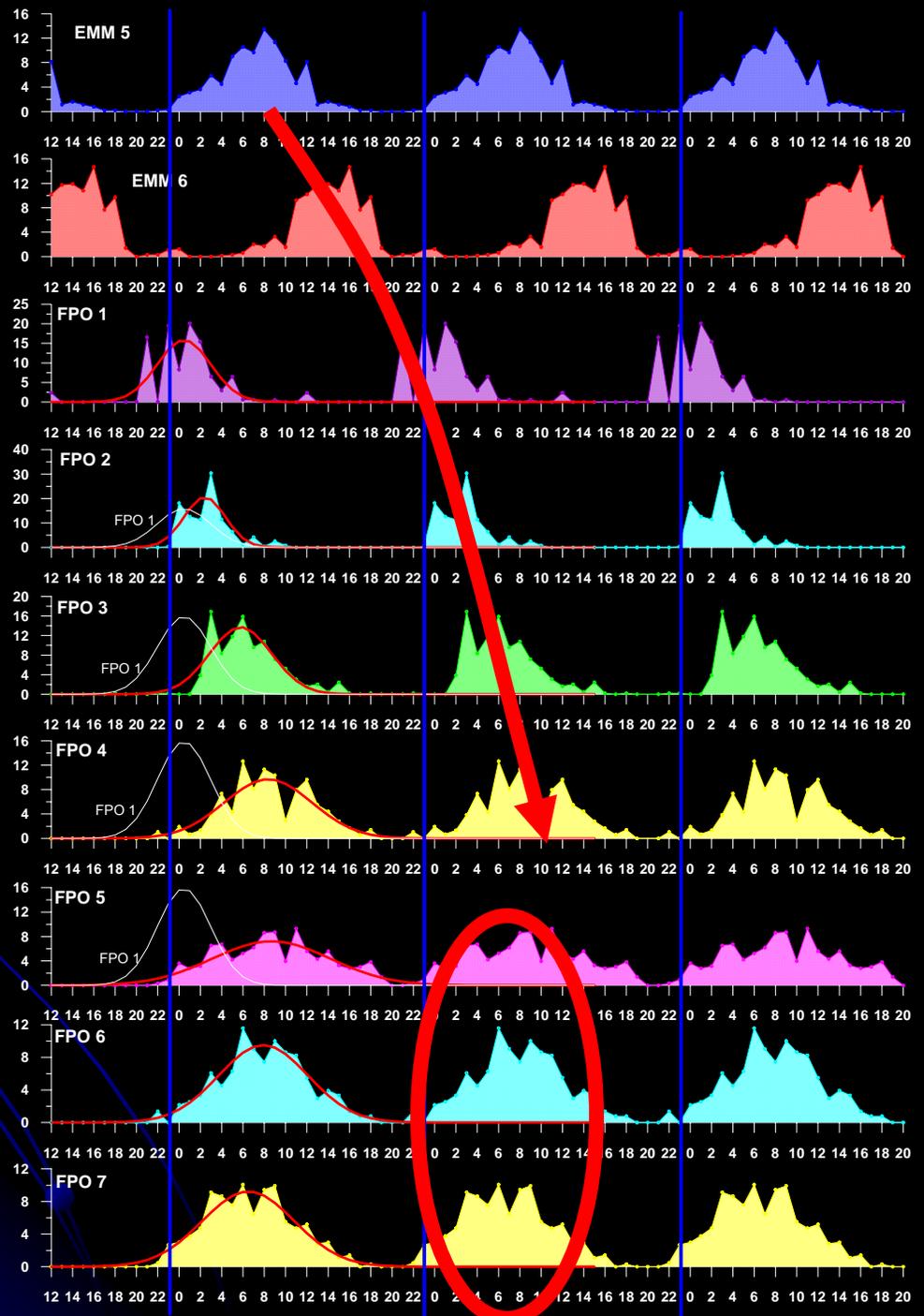
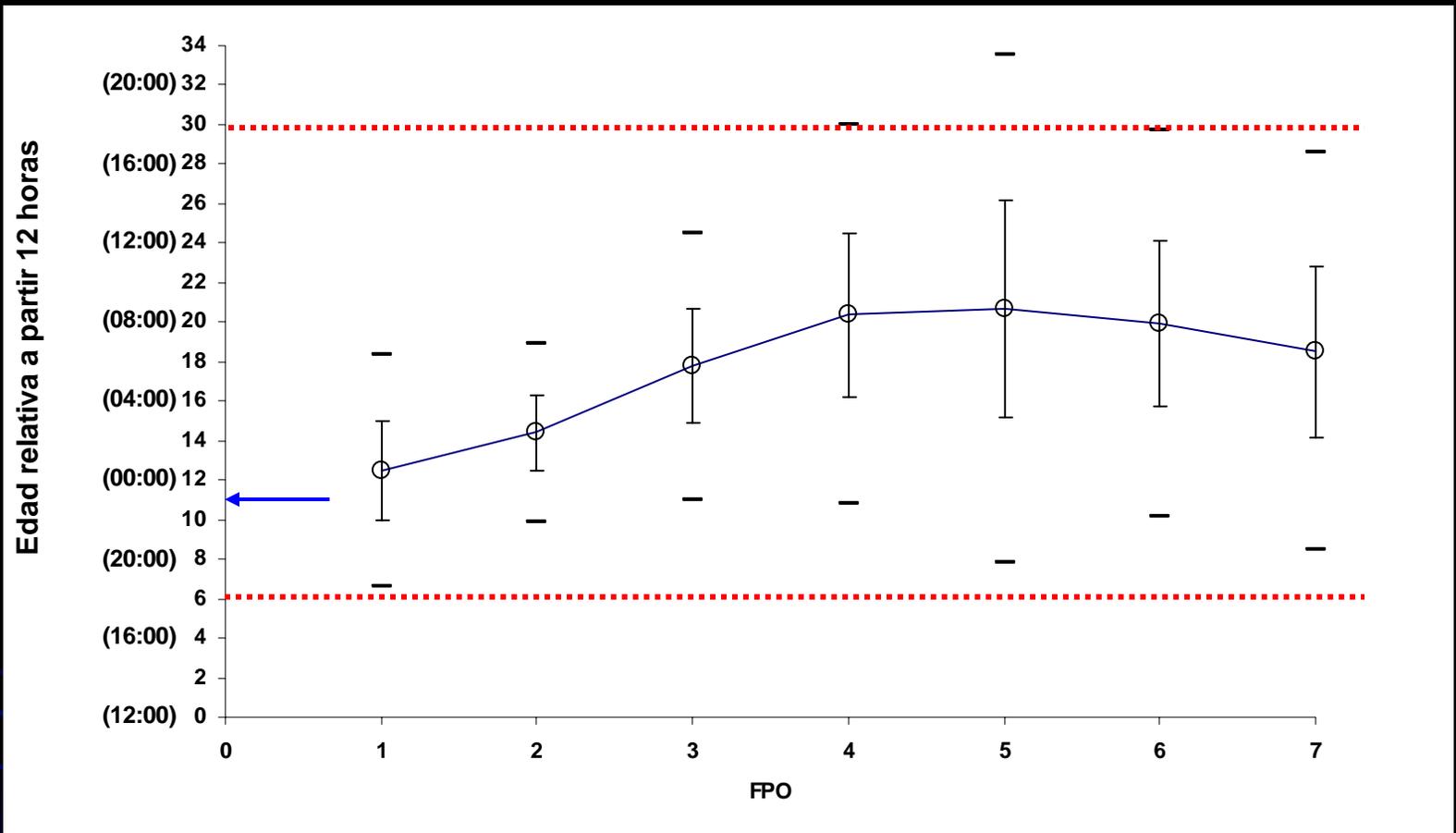


Tabla1.Escala de degeneración de los folículos post-ovulatorios de anchoveta (Zona norte y centro sur)

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







Edades medias de los estadios de FPO según ajuste por modelo de tipo Normal en base a la hora acumulada a partir de las 12:00. Círculos: Edades medias. Líneas verticales: Desviación estándar. Líneas negras horizontales: Intervalo al 99%. Flecha azul horizontal: Pico de desove (23:00). Líneas rojas horizontales: Indica período de 24 horas (18:00 a 18:00). En paréntesis se indica la hora del día en ciclo de 24:00 (Sin acumular).

- Los FPO del I al IV provendrían de la misma noche de desove y por tanto se consideran pertenecientes al grupo de menores de 24 horas. Los FPO V a VII tendrían una edad mayor a 24 h, sin embargo queda la duda si pueden corresponder al grupo de 24 a 48 h de edad, especialmente los FPO VII pueden corresponder a edades mayores a 48 h
- Incluso un pequeña proporción del estadio IV, un 6% aprox. provendría de la noche anterior de desove, esto es, las hembras con FPO IV capturadas entre las 18:00 PM y 2:00 h AM provendrían de la noche anterior de desove (i.e. Tienen más de 24 horas)

FPO 0: EMM 5 y 6 (Núcleo migrante e Hidratadas). Desove dentro de las próximas 24 h.

FPO 1: Con FPO 1 al 4 (Excepto FPO IV entre 18:00 y 2:00). Desove producido dentro de las 24 h.

	Media	Var.	C.V.
<b>FRACCION DESOVANTE FPO 0 =</b>	<b>0.340</b>	<b>0.00090</b>	<b>0.089</b>
<b>FRACCION DESOVANTE FPO 1 =</b>	<b>0.278</b>	<b>0.00093</b>	<b>0.109</b>
<b>FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =</b>	<b>0.309</b>	<b>0.00031</b>	<b>0.057</b>

Ho: Diferencia entre FPO0 y FPO1 = 0

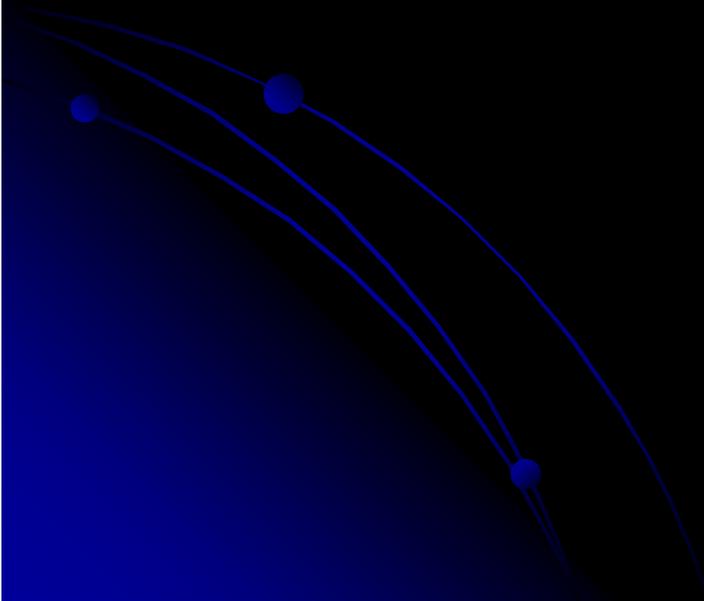
t calc = 1.2566362 36

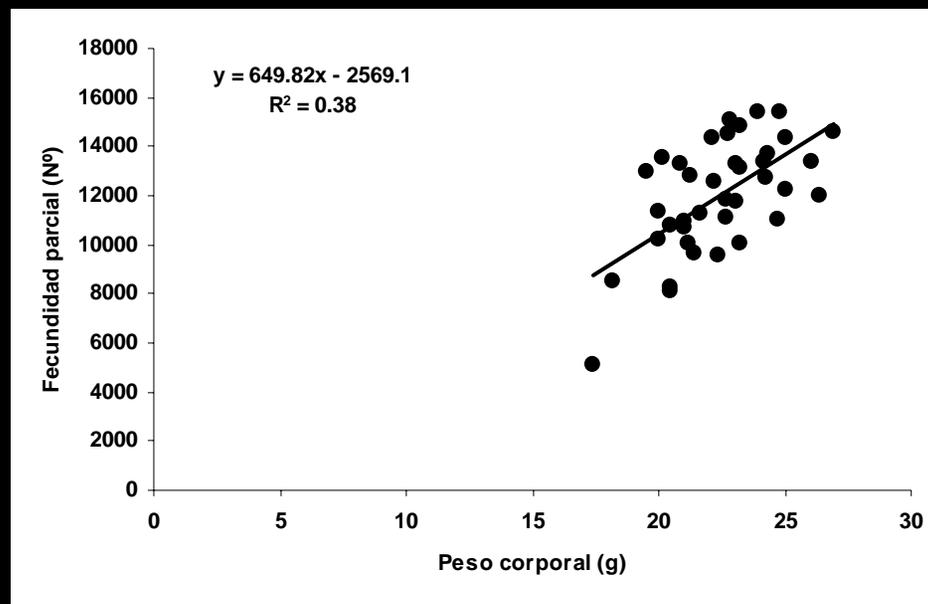
t tabla = 2.0280913

$$B = \frac{P_0 A W}{S F R}$$

# Parametros de adultos

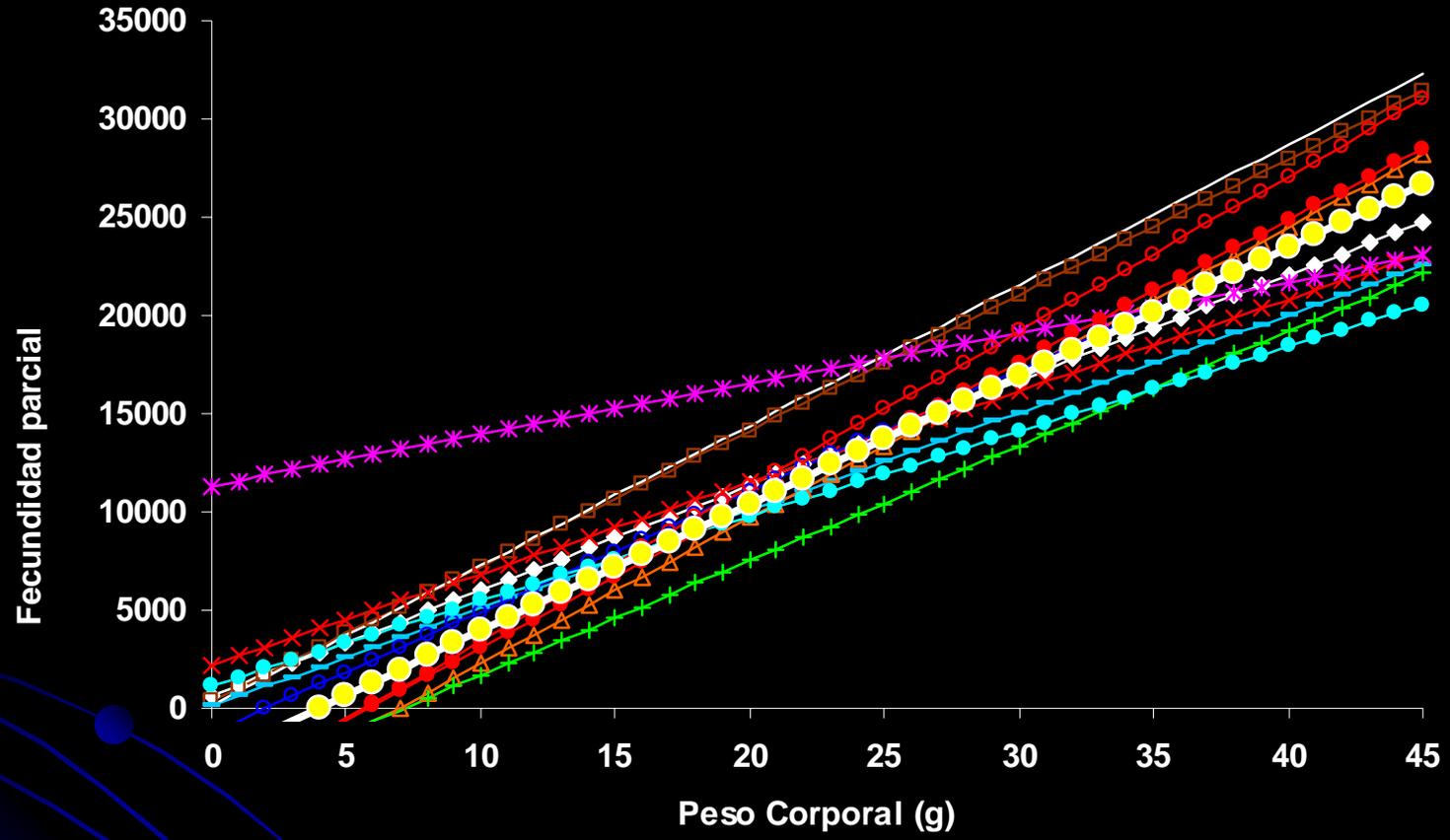
## Fecundidad parcial





Parámetros de las regresiones entre Peso Corporal y Fecundidad

	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Intercepto (a)	671.77	337.46	6950.8	105.44	-5127.08	2205.21	11341.20	-1237.67	-4164.12	1152.76	-4476.16	-4212.84	134.31	-2569.08
Sa	1916.66	1514.08	1923.852	816.02	3285.50	2097.95	2719.11	1388.04	2944.92	2582.87	2326.28	1688.05	1628.23	3057.79
Pendiente (b)	534.57	690.51	262.6099	498.60	740.45	465.10	259.56	615.84	584.18	431.29	788.63	726.94	713.99	649.82
Sb	65.12	55.68	78.30125	34.12	116.16	69.02	121.04	57.52	120.27	86.79	87.82	74.06	90.54	135.80
r <sup>2</sup>	0.30	0.59	0.05	0.54	0.28	0.26	0.06	0.54	0.20	0.24	0.54	0.57	0.34	0.38
n	156	107	210	187	109	133	69	99	96	79	72	76	121	39
Syx	3291.113	3004.221	3582.391	2917.738	4210.345	3749.333	2599.681	2249.760	2476.319	2820.009	3696.216	2099.256	2506.504	1824.311
PC Min	18.5	13.7	15.9	14.9	19.7	21.7	14.7	13.5	19.5	21.6	15.3	15.1	13.9	17.4
PC Max	42.0	40.7	34.9	39.3	42.5	43.0	29.7	33.5	29.7	37.4	36.4	32.4	26.0	26.9
PC Promedio	29.2	26.7	24.4	23.1	28.1	30.0	22.3	23.8	24.4	29.5	26.0	22.6	17.8	22.4
Fec relativa	557.7	704.5	552.2	503.8	555.1	539.7	775.1	562.8	412.3	471.3	609.8	536.1	721.4	533.8

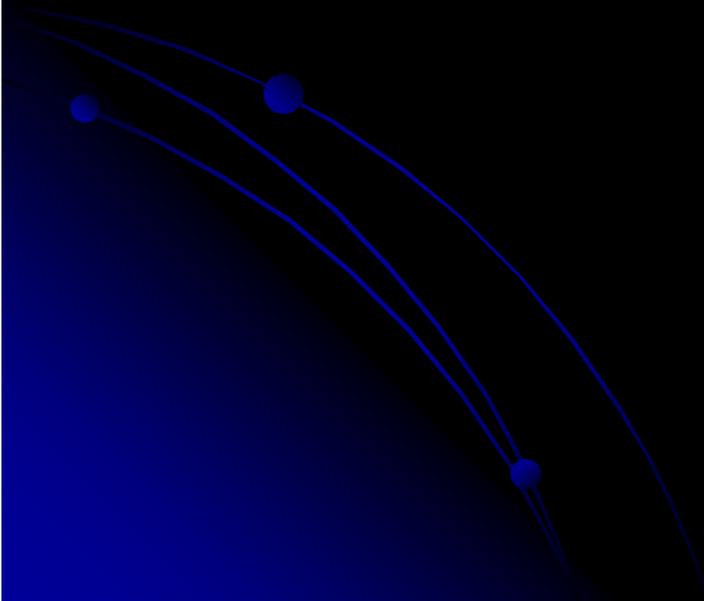


- ◆ 1995
- 1996
- 1999
- △ 2000
- × 2001
- \* 2002
- 2003
- + 2004
- 2005
- 2006
- 2007
- 2008
- 2009

$$B = \frac{P_0 A W}{S F R}$$

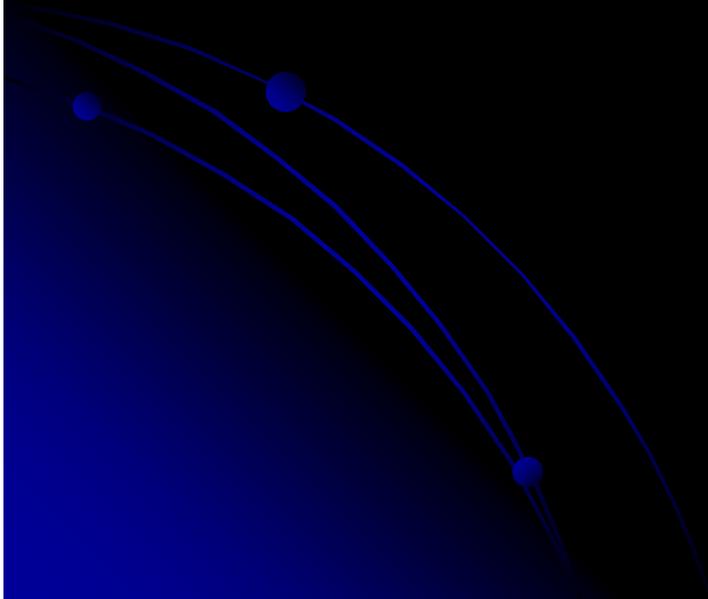
# Parametros de adultos

## Proporción de hembras

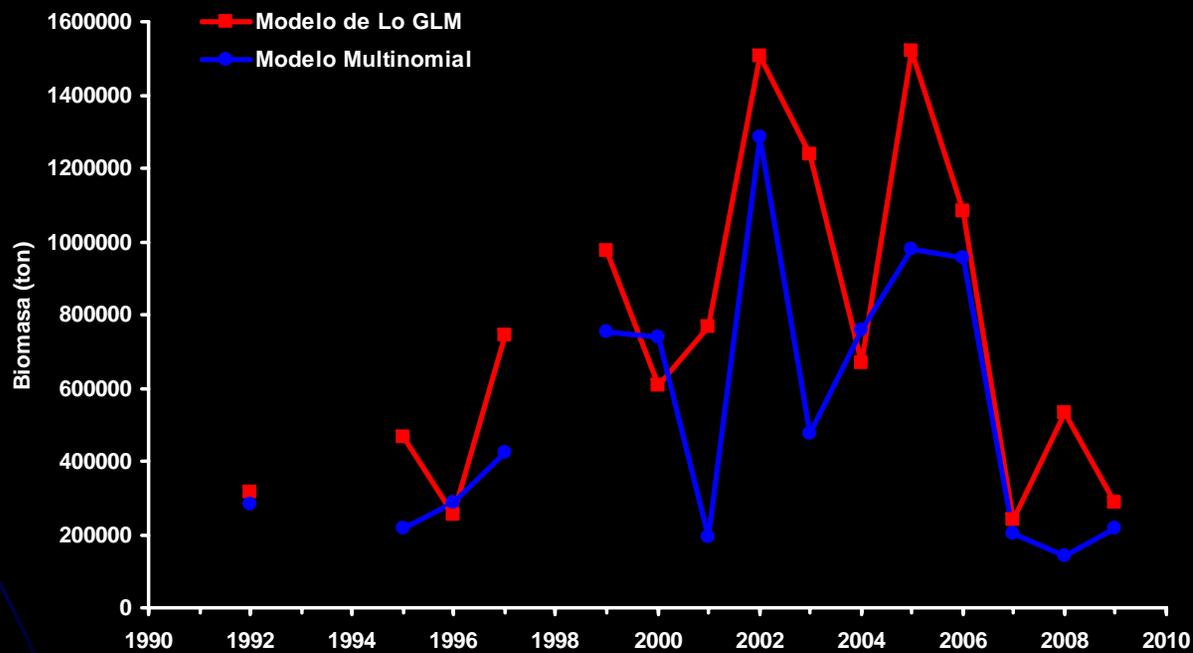


Año	Proporción hembras	
		CV (%)
1992	0.48	2.95
1995	0.42	5.83
1996	0.45	8.01
1997	0.51	2.76
1999	0.46	5.19
2000	0.50	4.39
2001	0.47	5.36
2002	0.51	3.09
2003	0.49	3.47
2004	0.52	3.53
2005	0.44	4.80
2006	0.45	4.93
2007	0.50	3.67
2008	0.45	3.36
2009	0.43	4.98

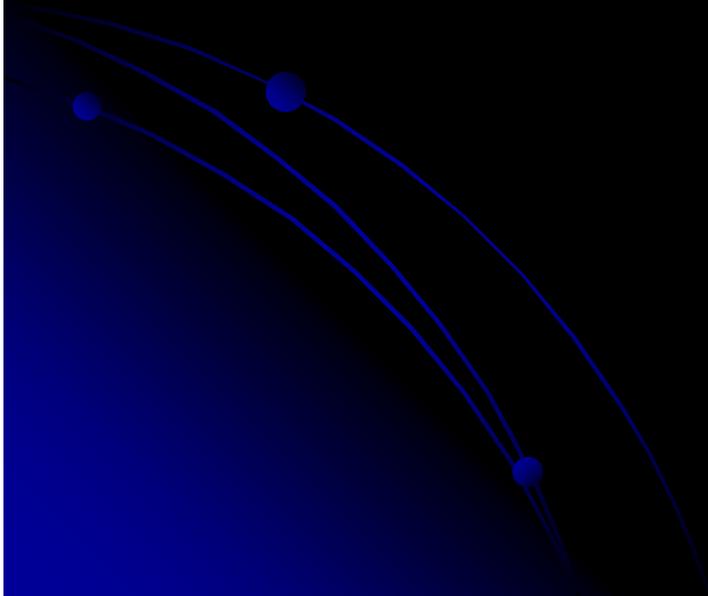
# BIOMASA

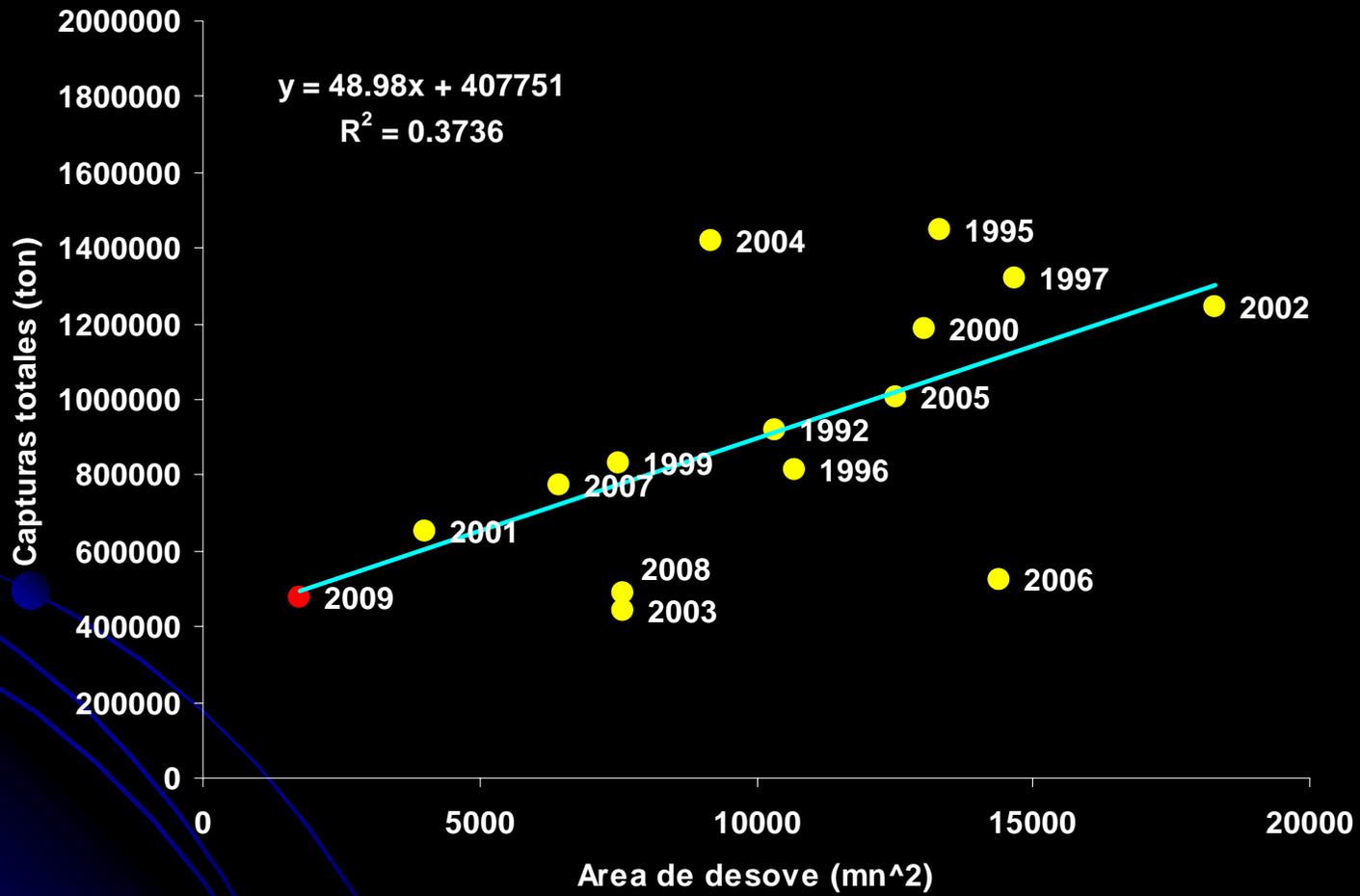


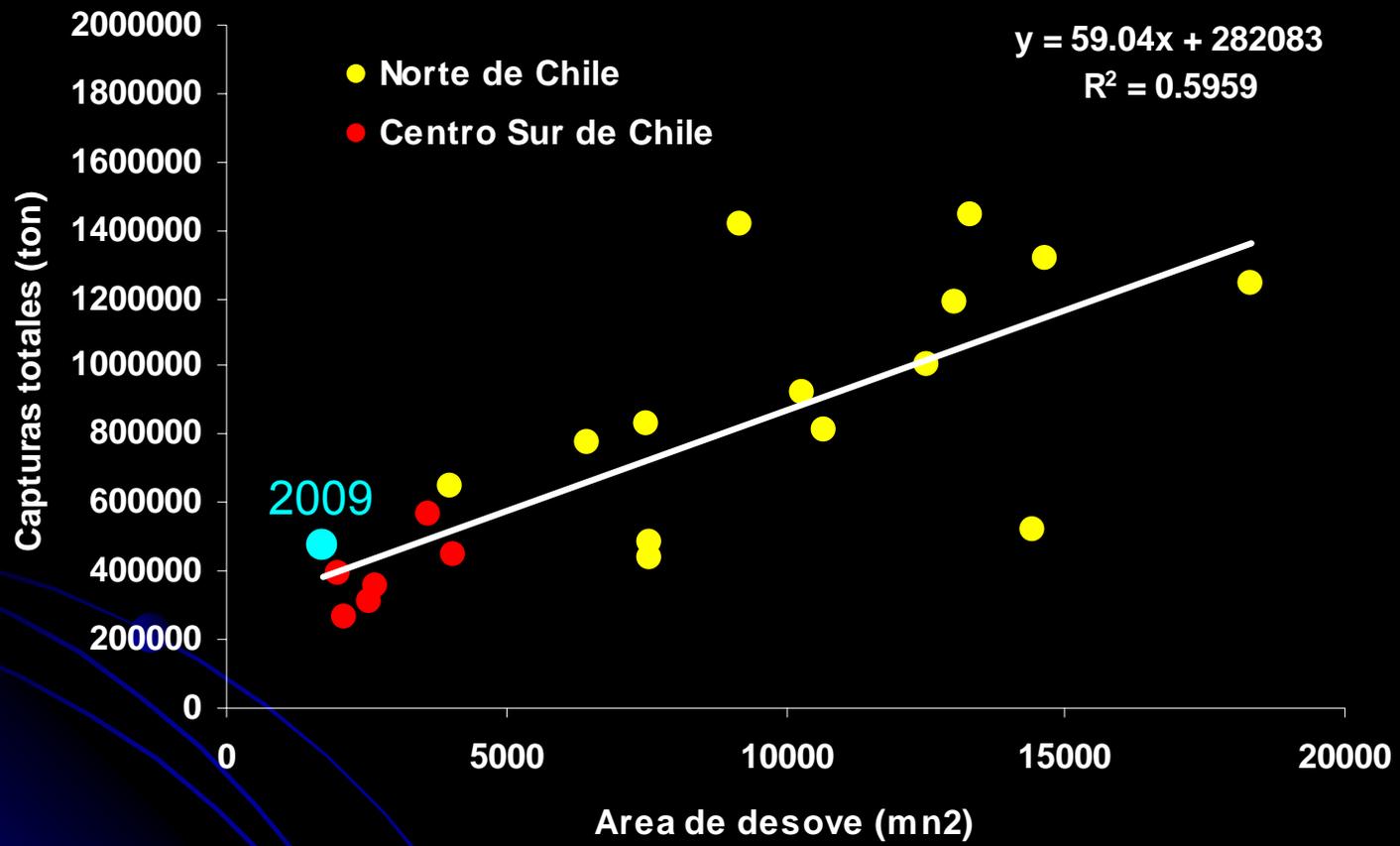
Año	Modelo de Lo GLM			Modelo Multinomial		
	Biomasa	Varianza	CV	Biomasa	Varianza	CV
1992	314232	1.03E+10	32.3	280714	8.32E+09	32.5
1995	465696	2.17E+10	31.6	218468	4.16E+09	29.5
1996	253356	1.05E+10	40.5	288152	1.35E+10	40.3
1997	744838	6.62E+10	34.5	423654	1.81E+10	31.7
1999	973292	3.94E+11	64.5	751810	2.25E+11	63.1
2000	608087	3.11E+10	29.0	737217	4.54E+10	28.9
2001	765885	1.20E+12	142.7	193857	7.52E+10	141.5
2002	1503911	1.30E+11	24.0	1283127	9.05E+10	23.4
2003	1238731	4.41E+11	53.6	477004	7.46E+10	57.3
2004	668979	8.08E+10	42.5	757385	9.46E+10	40.6
2005	1520754	2.64E+11	33.8	977285	1.17E+11	35.0
2006	1081156	1.96E+11	40.9	953115	1.47E+11	40.2
2007	240727	3.54E+10	78.2	202088	2.34E+10	75.7
2008	532132	1.02E+11	60.0	141270	9.60E+09	69.4
2009	287916	5.28E+11	252.4	215886	4.17E+11	299.2



# Relaciones interesantes







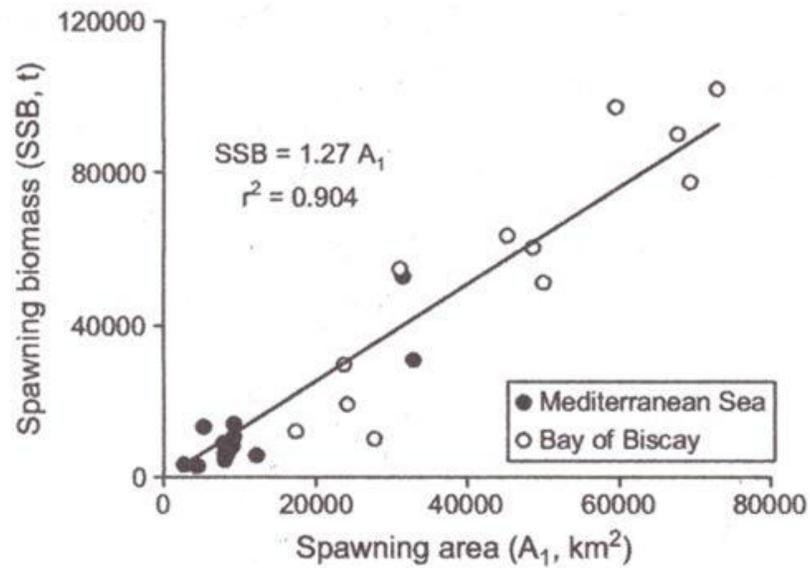
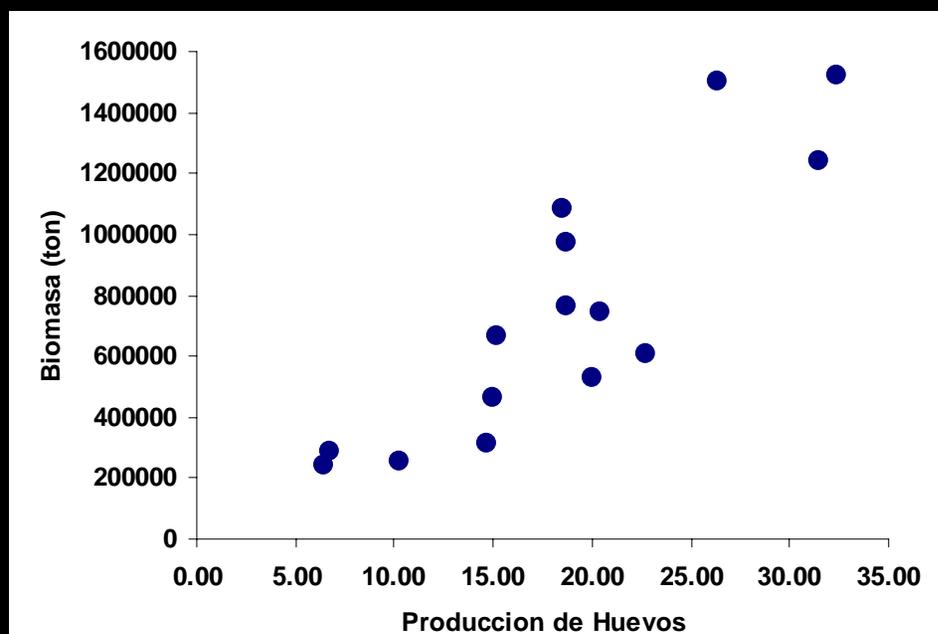
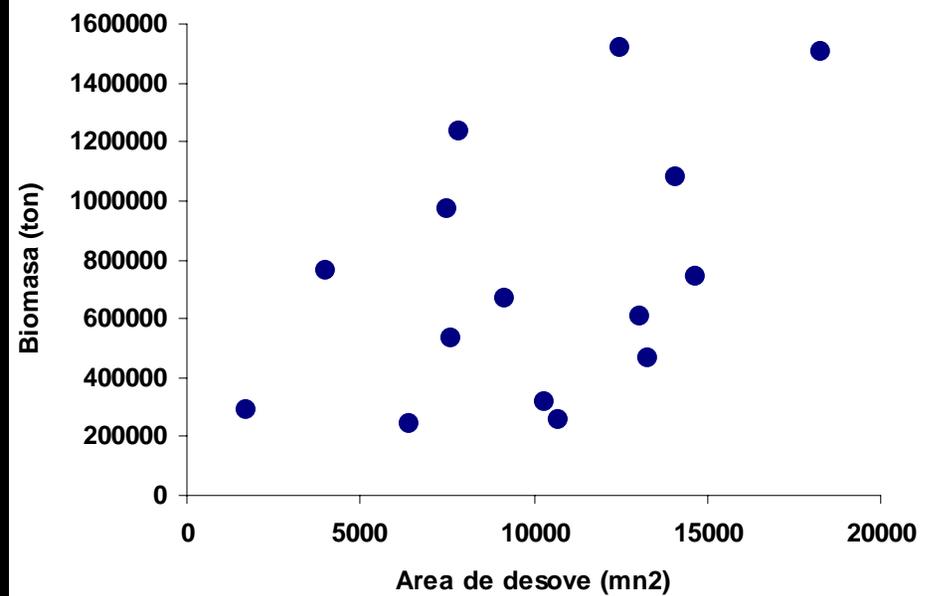
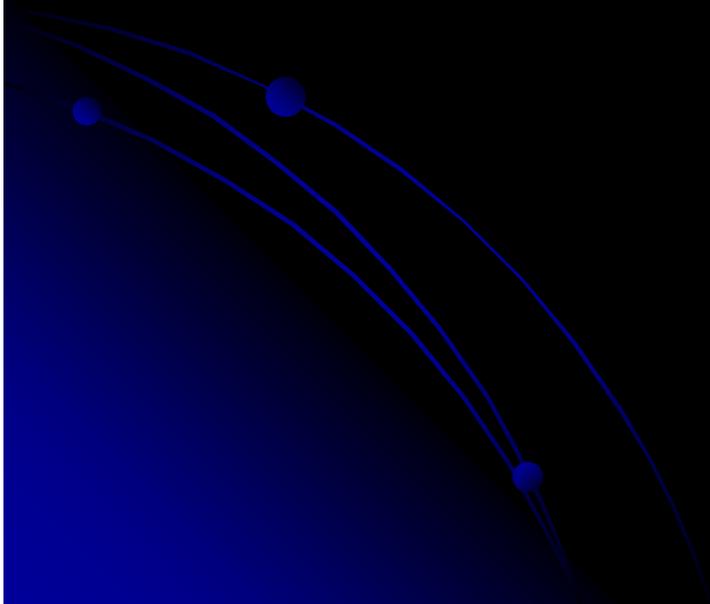


Figure 4. Linear regression of spawning stock biomass on spawning area for European anchovy (Mediterranean and Bay of Biscay) DEPM applications.

Somarakis *et al*, 2004



FIN







# **RESULTADOS**

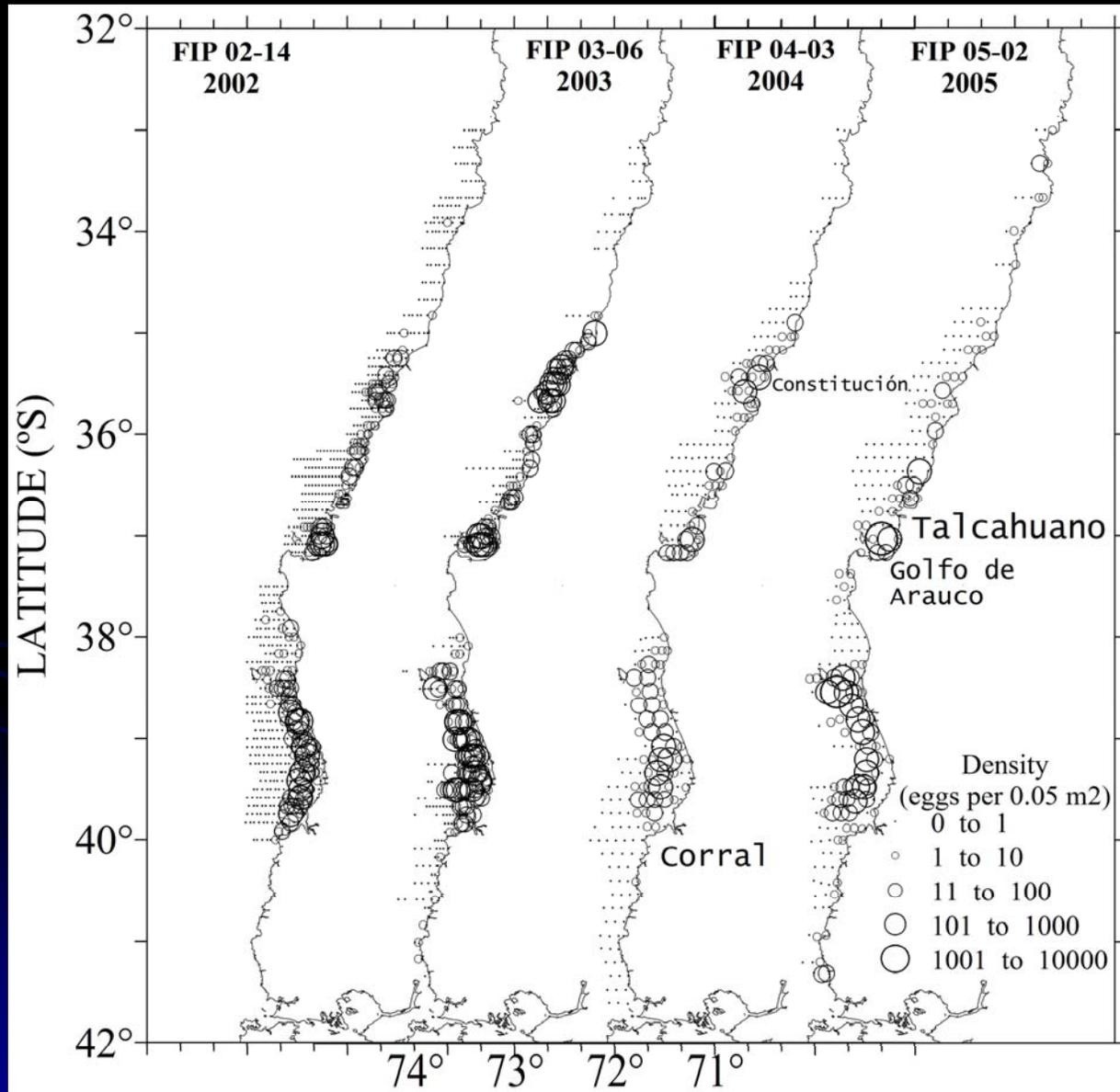
**Area de desove**

a) **Localización**

b) **Extensión**

## Resultados: Localización áreas de desove: Sur

### Area de desove en el Sur de Chile 2002 - 2005



## Resultados: Localización áreas de desove: Sur

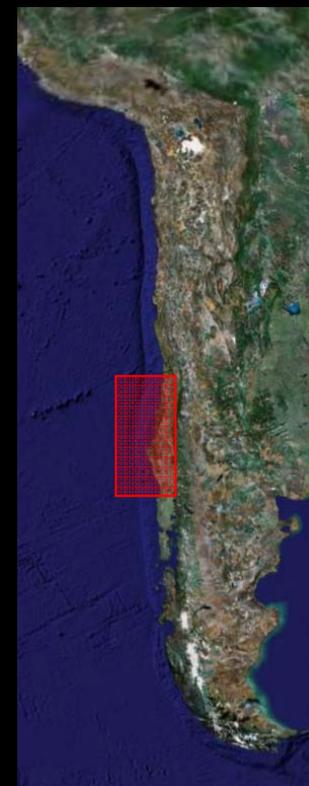
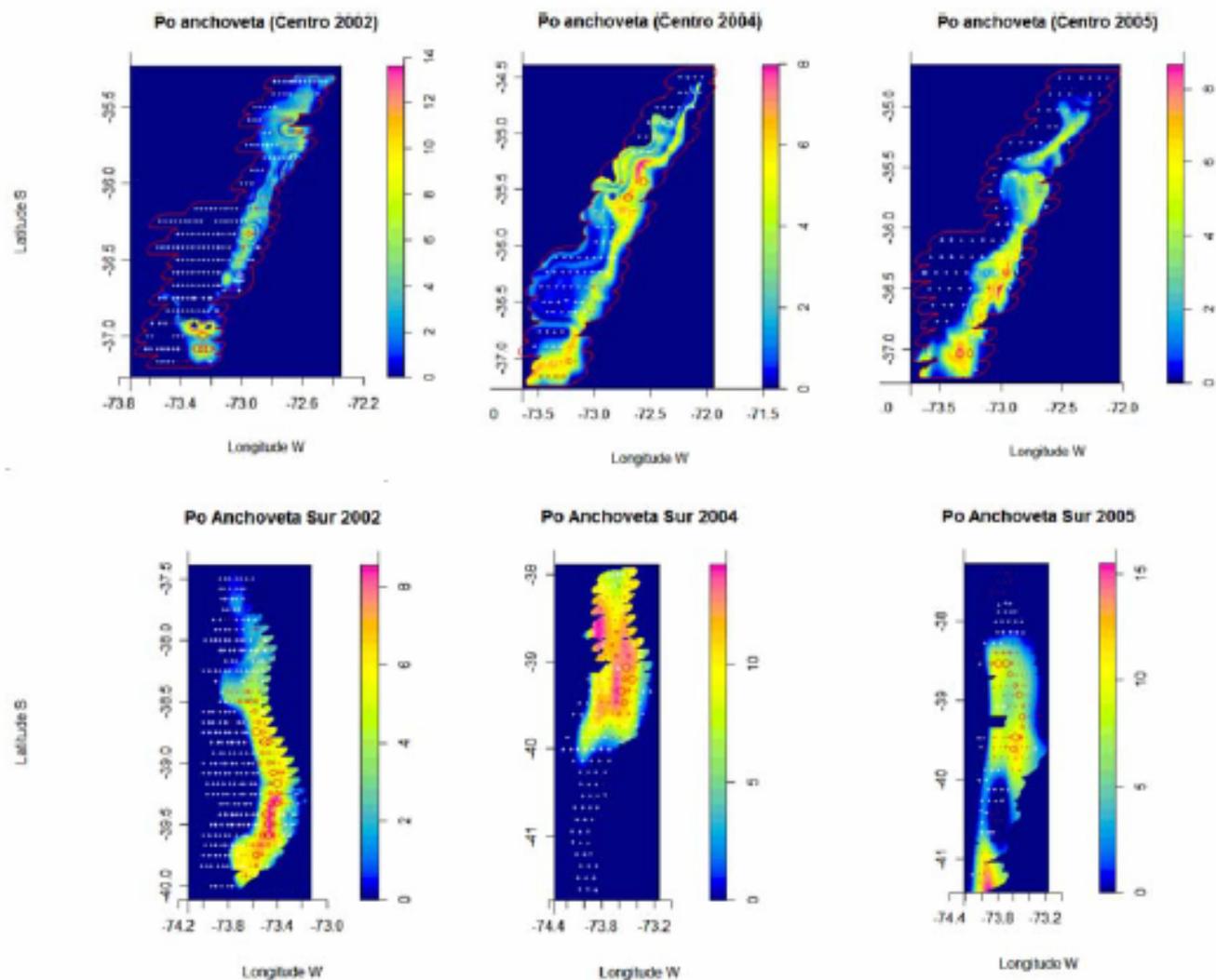
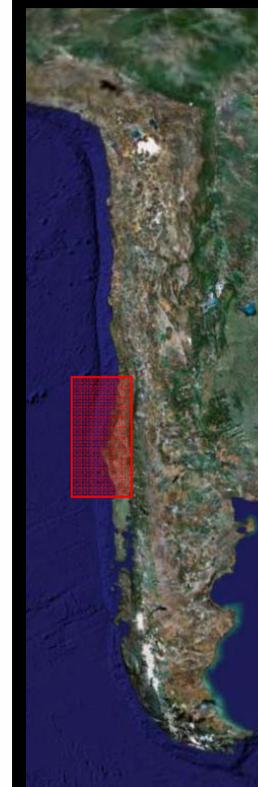


Figura 71: Distribución espacial de la producción diaria de huevos de anchoveta (huevos/m<sup>2</sup>/día) según Modelos GAM seleccionados. La escala se refiere al logaritmo de la producción diaria de huevos y es diferente para cada año.

## Resultados: Localización áreas de desove: Sur

Tabla 64: Resumen de los modelos GAM aplicados para a la producción diaria de huevos de anchoveta ( $\text{huevos} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ ) en función de la edad (covariable continua), latitud, longitud, temperatura y profundidad. Las variables Temperatura (StandTemp) y Profundidad (StandDepth) fueron estandarizadas a la longitud con el objeto de trabajar con un proceso isotrópico.

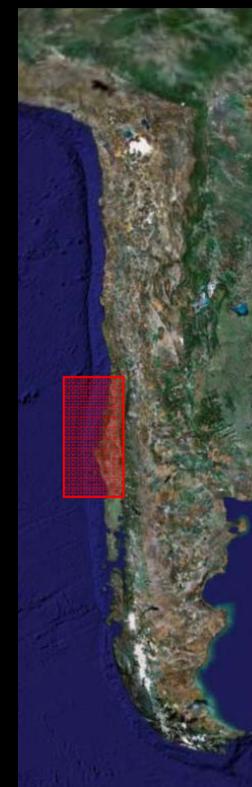
Crucero	Zona	Grados de Libertad inicial	Suavizador spline elegido	% Deviance	GCV
2002	Centro	989	$s(\text{Standx}, y, k=24)$	71.4	2.121
		989	$s(\text{Standx}, y, k=24) + s(\text{StandTemp}, k=24)$	78.3	1.681
		989	$s(\text{Standx}, y, k=24) + s(\text{StandDepth}, k=24)$	75.7	1.850
		989	$s(\text{Standx}, y, k=24) + s(\text{StandTemp}, k=24) + s(\text{StandDepth}, k=24)$	81.0	1.514
	Sur	1272	$s(\text{Standx}, y, k=23)$	67.3	4.891
		1272	$s(\text{Standx}, y, k=24) + s(\text{StandTemp}, k=23)$	74.7	3.919
		1272	$s(\text{Standx}, y, k=23) + s(\text{StandDepth}, k=23)$	67.5	4.869
		1272	$s(\text{Standx}, y, k=23) + s(\text{StandTemp}, k=23) + s(\text{StandDepth}, k=23)$	76.8	3.686
2004	Centro	362	$s(\text{Standx}, y, k=7)$	37.4	6.987
		362	$s(\text{Standx}, y, k=7) + s(\text{StandTemp}, k=7)$	51.8	5.563
		362	$s(\text{Standx}, y, k=7) + s(\text{StandDepth}, k=7)$	46.4	6.019
		362	$s(\text{Standx}, y, k=7) + s(\text{StandTemp}, k=7) + s(\text{StandDepth}, k=7)$	64.9	4.195
	Sur	479	$s(\text{Standx}, y, k=10)$	73.0	8.138
		479	$s(\text{Standx}, y, k=10) + s(\text{StandTemp}, k=10)$	83.2	5.177
		479	$s(\text{Standx}, y, k=10) + s(\text{StandDepth}, k=10)$	65.2	10.334
		479	$s(\text{Standx}, y, k=10) + s(\text{StandTemp}, k=10) + s(\text{StandDepth}, k=10)$	84.2	4.896
2005	Centro	420	$s(\text{Standx}, y, k=14)$	59.6	9.286
		420	$s(\text{Standx}, y, k=14) + s(\text{StandTemp}, k=14)$	87.3	3.107
		420	$s(\text{Standx}, y, k=14) + s(\text{StandDepth}, k=14)$	86.8	3.102
		420	$s(\text{Standx}, y, k=14) + s(\text{StandTemp}, k=14) + s(\text{StandDepth}, k=14)$	92.2	1.944
	Sur	484	$s(\text{Standx}, y, k=19)$	69.8	14.088
		484	$s(\text{Standx}, y, k=19) + s(\text{StandTemp}, k=19)$	66.0	15.851
		484	$s(\text{Standx}, y, k=19) + s(\text{StandDepth}, k=19)$	83.0	8.257
		484	$s(\text{Standx}, y, k=19) + s(\text{StandTemp}, k=19) + s(\text{StandDepth}, k=19)$	84.7	7.502



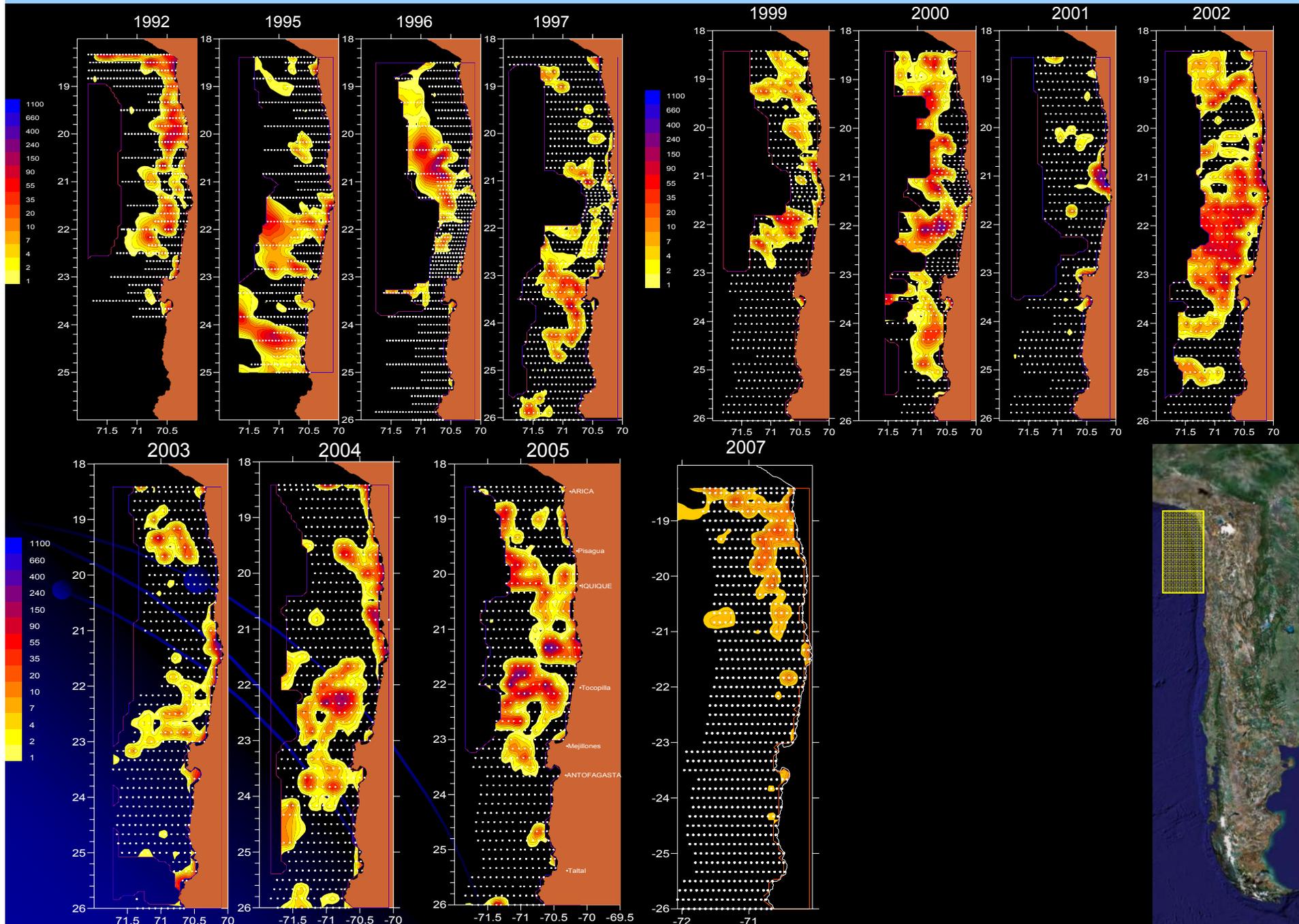
## Resultados: Localización áreas de desove: Sur

Comparación de la producción diaria de huevos (huevos/día,  $\times 10^{11}$ ) y tasa diaria de mortalidad total ( $\text{día}^{-1}$ ) de anchoveta zona centro sur según los diferentes métodos utilizados.

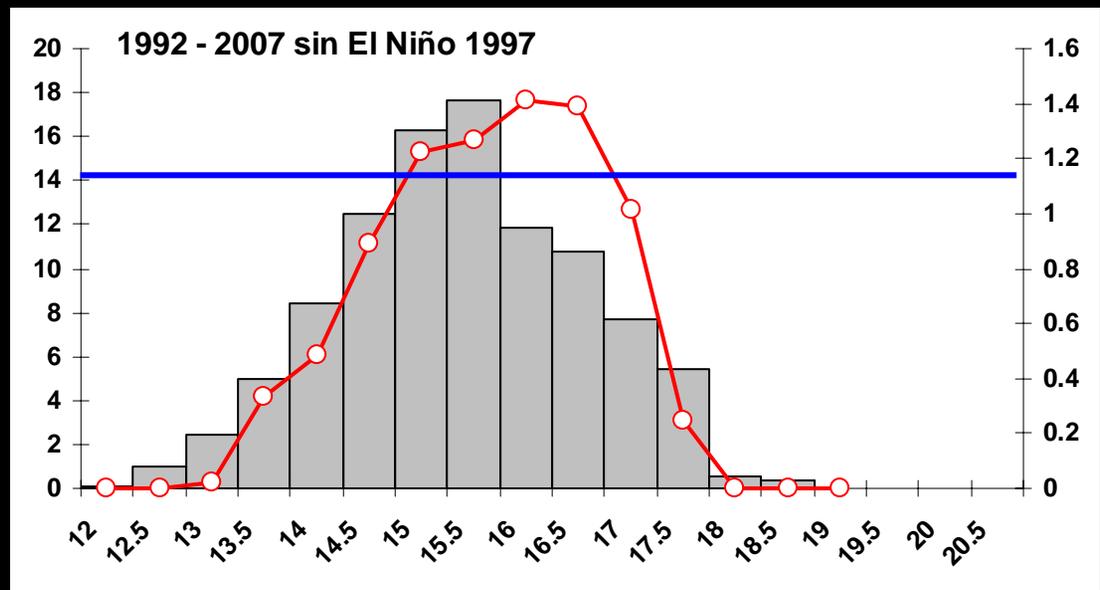
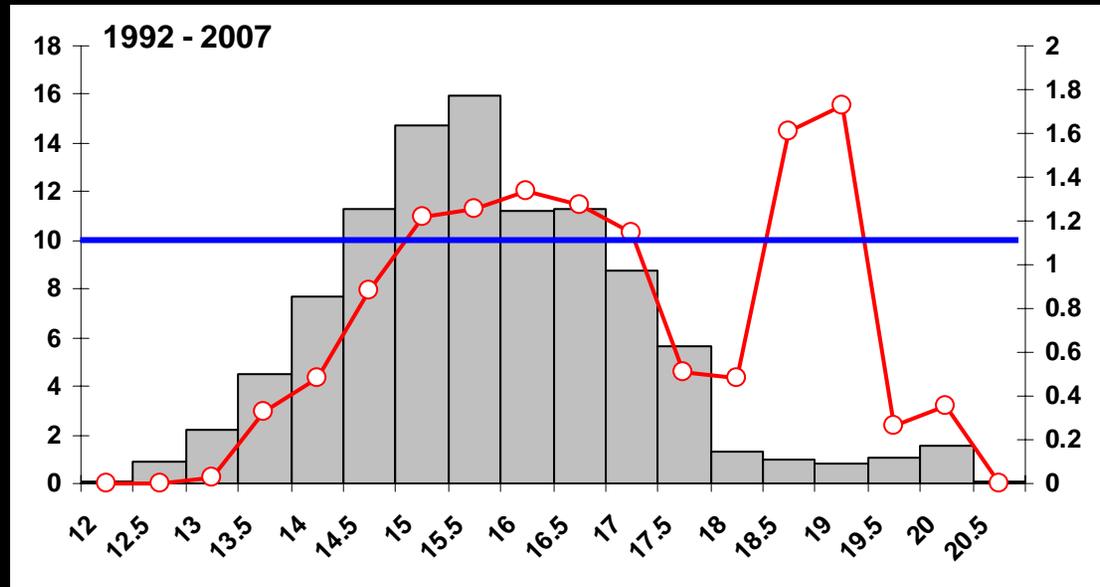
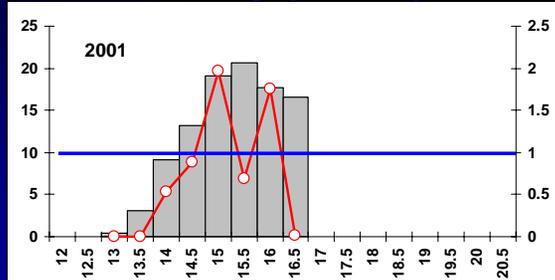
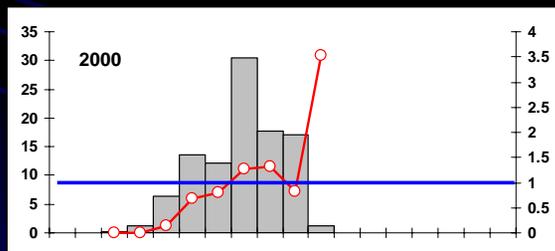
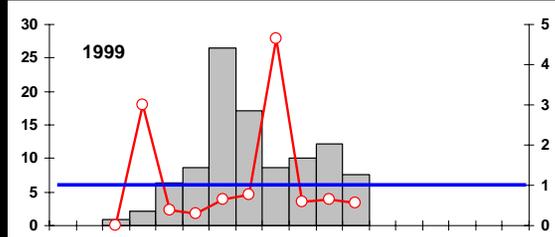
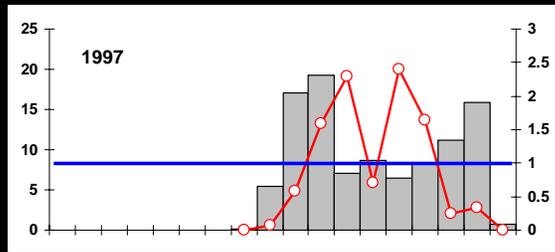
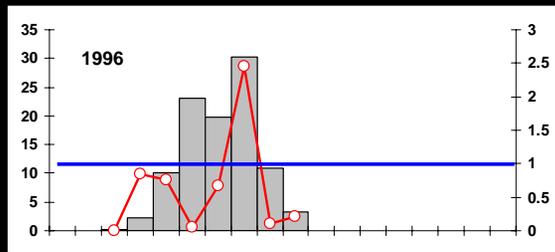
Año	Zona	Lo		Multinomial		GAM espacial	
		Po	Z	Po	Z	Po	Z
2002	Centro	4.587	-0.652	4.224	-0.530	4.068	-0.506
	Sur	12.029	-0.410	17.466	-0.567	16.949	-0.576
2004	Centro	9.479	-0.426	10.778	-0.305	9.950	-0.319
	Sur	25.625	-0.320	30.468	-0.305	30.421	-0.353
2005	Centro	43.044	-1.028	23.589	-0.614	35.544	-0.809
	Sur	91.144	-0.584	84.876	-0.384	79.383	-0.473



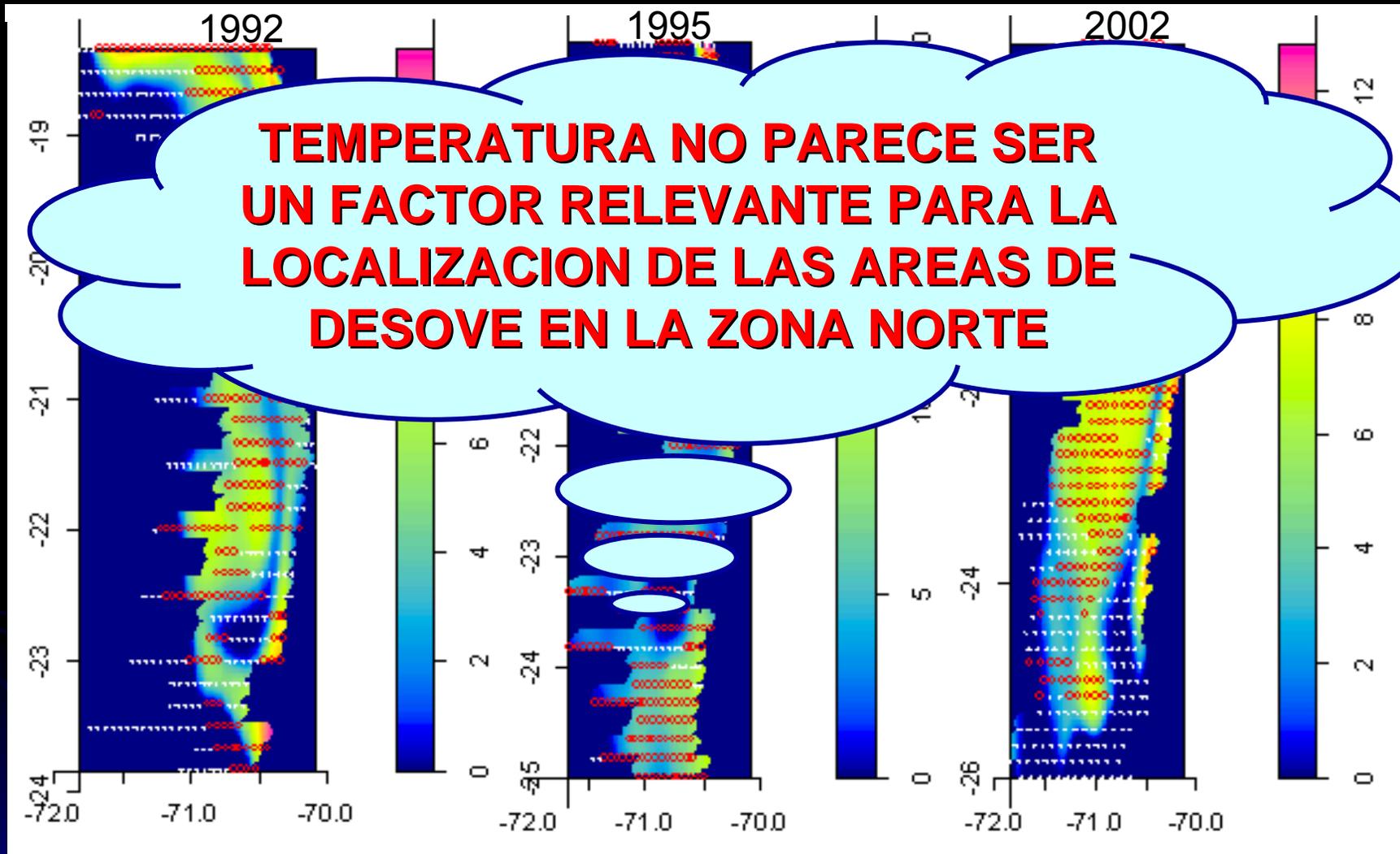
# Resultados: Localización áreas de desove: Norte



# Resultados: Localización áreas de desove: Norte ¿Temperatura? (Cuociente)



## Localización áreas de desove: Norte ¿Temperatura? (Modelo GAM)



Deviance: 59.1%

Po GLM + Lo =  $1.62 \cdot 10^{13}$

Po GLM + Mult. =  $1.45 \cdot 10^{13}$

Po GAM =  $8.91 \cdot 10^{11}$

Deviance: 63.7%

Po GLM + Lo =  $1.6506 \cdot 10^{13}$

Po GLM + Mult. =  $1.3630 \cdot 10^{13}$

Po GAM =  $5.2542 \cdot 10^{11}$

Deviance: 63.6%

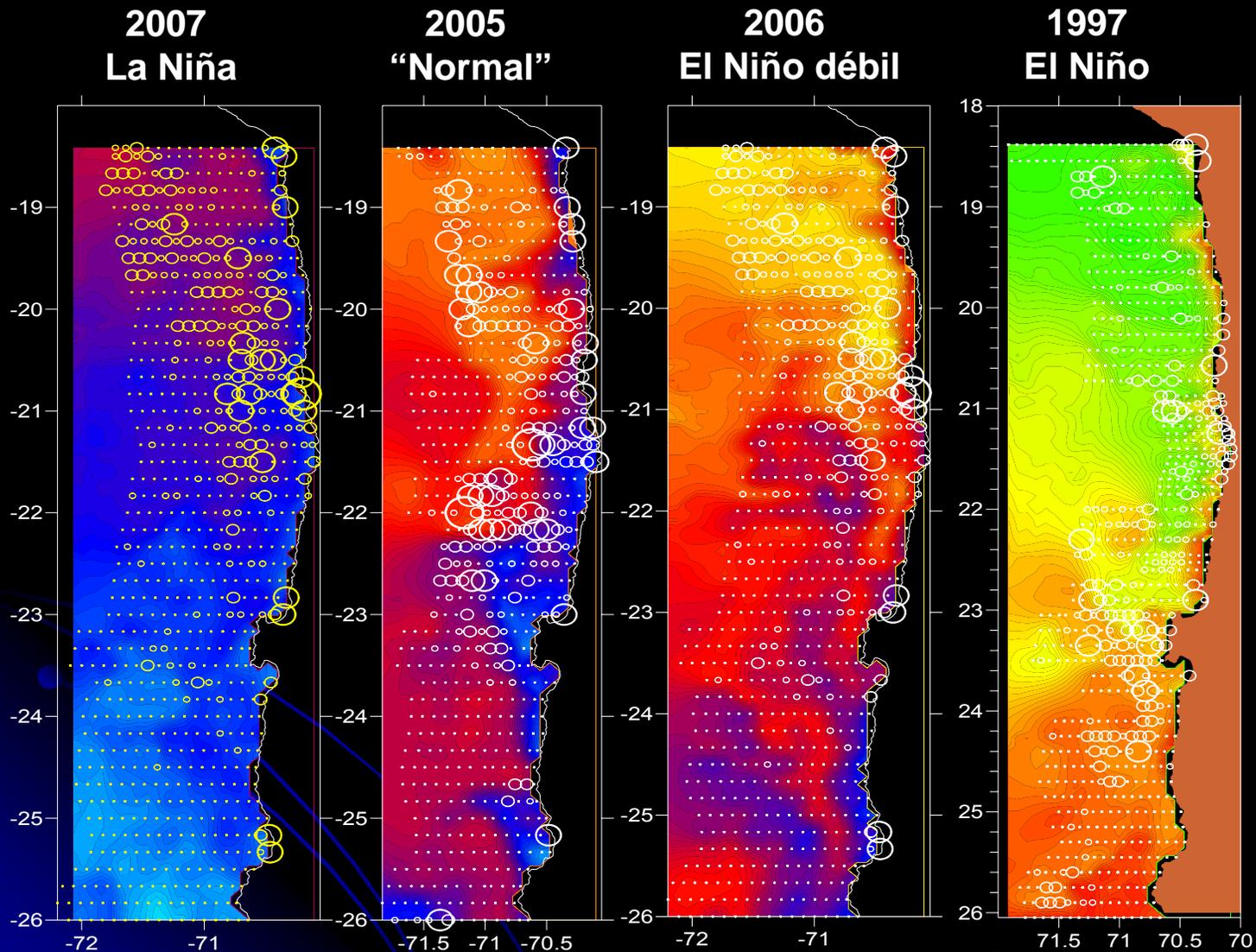
Po GLM + Lo =  $5.63 \cdot 10^{13}$

Po GLM + Mult. =  $4.87 \cdot 10^{13}$

Po GAM =  $3.30 \cdot 10^{11}$

Egg density ( $N^\circ/m^2$ ) estimated through General Additive Model using Latitude, Longitude and Temperature. Red circles are positive stations.

# Resultados: Localización áreas de desove: Norte ¿Temperatura?



TEMPERATURA

## Localización áreas de desove: Norte ¿Disponibilidad de alimento?

2001

2004

Zoo < 3.25 mm  
Nº/m<sup>3</sup>

Zoo < 1.25 mm  
Nº/m<sup>3</sup>

Zoo < 3.25 mm  
Nº/m<sup>3</sup>

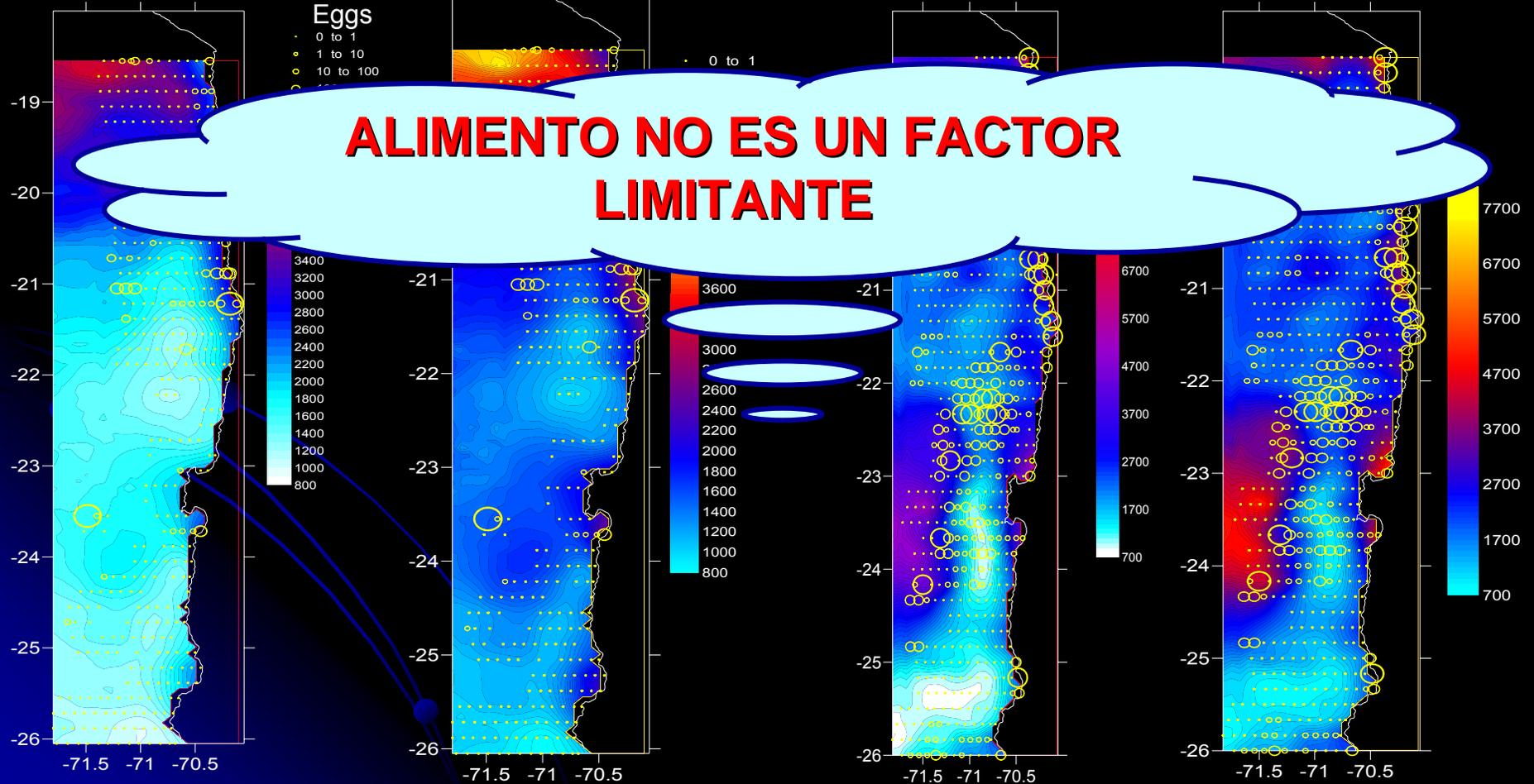
Zoo < 1.25 mm  
Nº/m<sup>3</sup>

Eggs

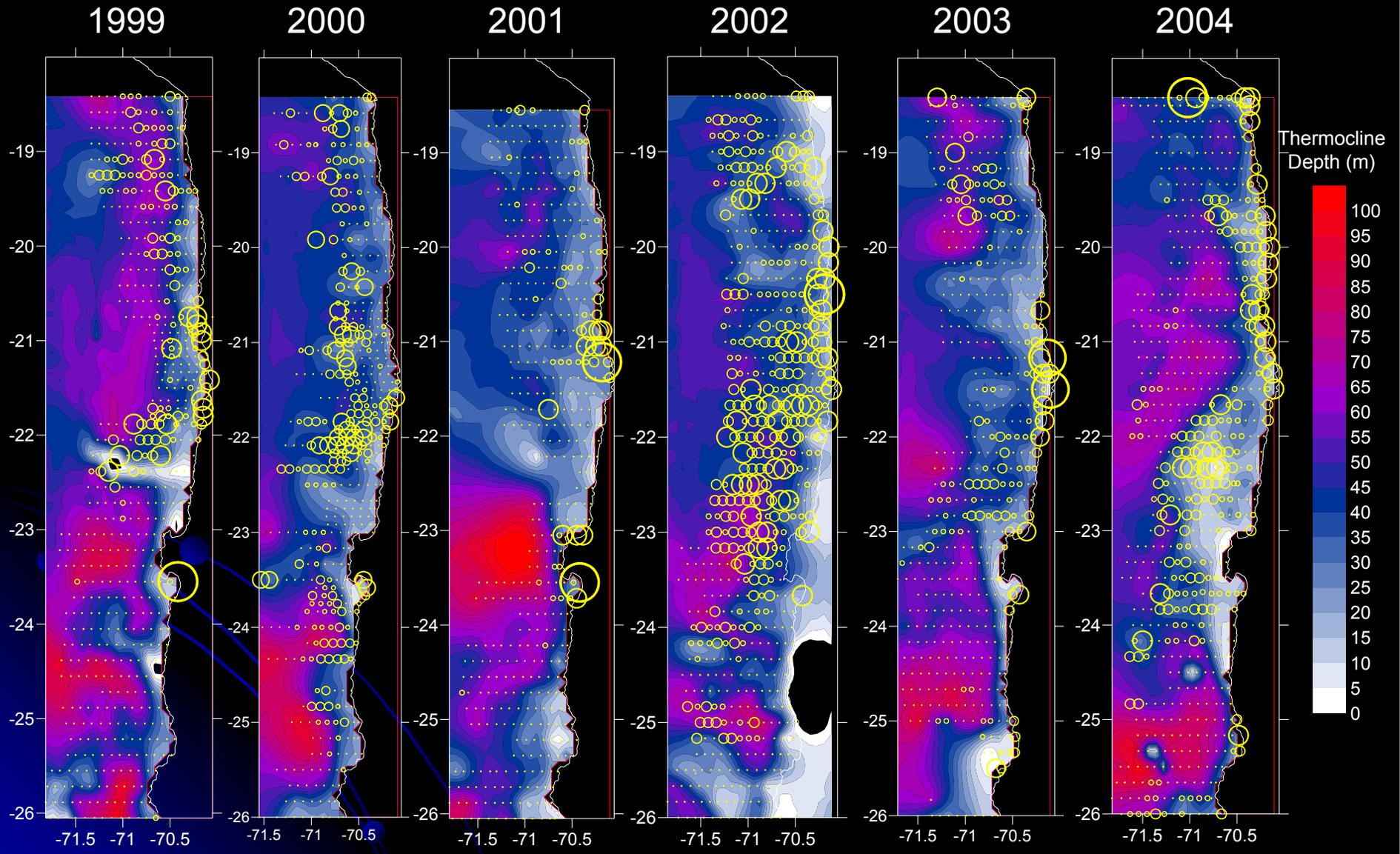
- 0 to 1
- 1 to 10
- 10 to 100

0 to 1

**ALIMENTO NO ES UN FACTOR LIMITANTE**



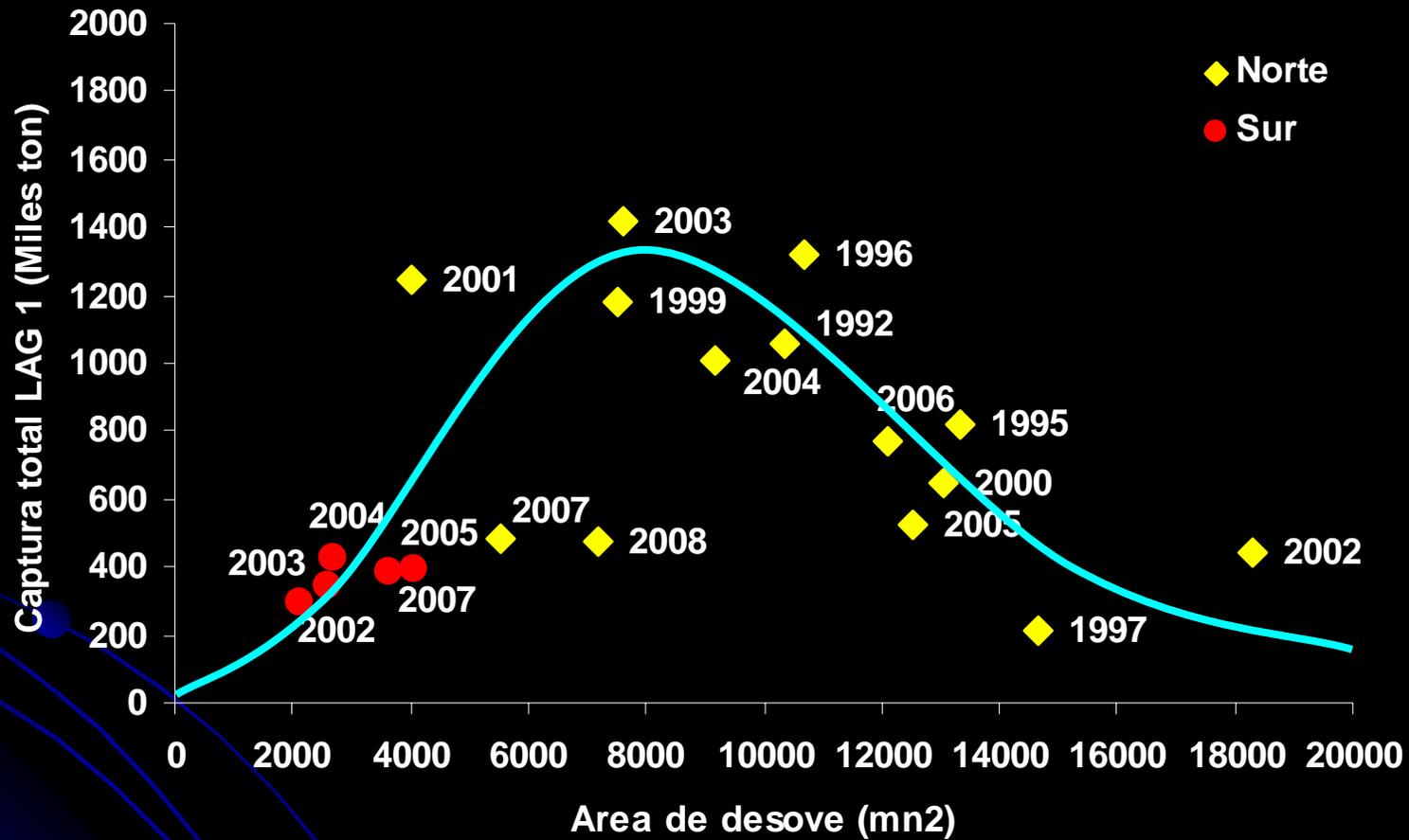
# Localización áreas de desove: Norte (Profundidad de la termoclina)



## Localización áreas de desove: Conclusiones

- En la zona sur el desove está restringido al sector más costero por sobre la plataforma continental, básicamente al interior del límite marcado por los 100 m de fondo. La temperatura solo explica marginalmente la distribución del desove (Castillo-Jordán et al 2007).
  - En la zona norte aún no se tiene una explicación satisfactoria para la localización de las áreas de desove.
- 





## **Presentación**

---

**Objetivo 2.2**  
**Oceanografía**

---





**Evaluación del stock  
desovante de anchoveta  
en la XV, I y II Regiones,  
año 2009**

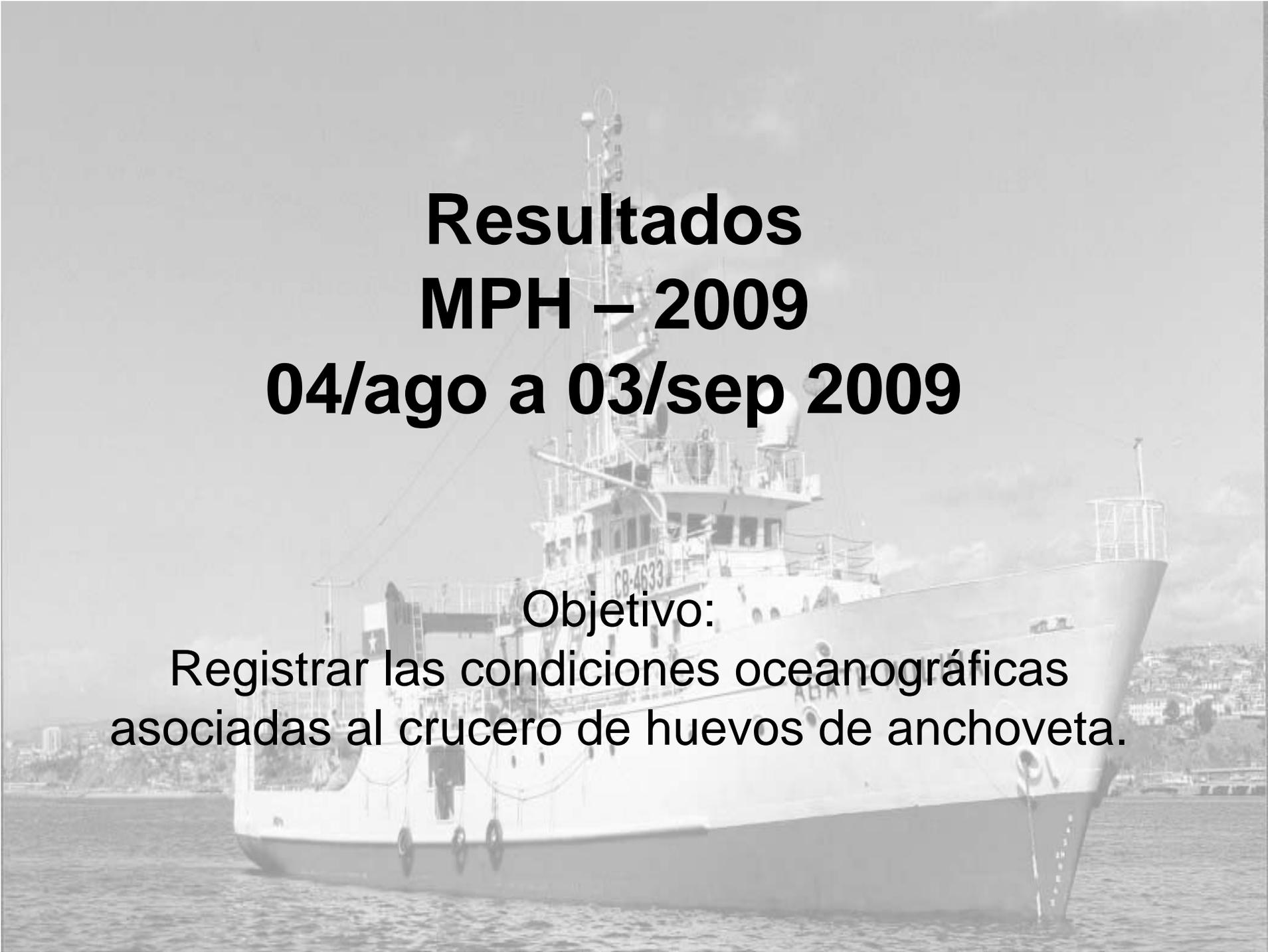
**PROYECTO  
FIP N° 2009-01**

## **Objetivo general**

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

## **Objetivos específicos**

1. Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta.
2. Registrar las condiciones oceanográficas asociadas al crucero de huevos de anchoveta.
3. Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas.
4. Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos.
5. Estimar la proporción de estadíos de madurez sexual microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta con su varianza asociada.
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.
7. Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.
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.



**Resultados  
MPH – 2009  
04/ago a 03/sep 2009**

Objetivo:

Registrar las condiciones oceanográficas asociadas al crucero de huevos de anchoveta.

# Condiciones regionales durante el crucero



# Índice Ecuatorial a la fecha del Crucero

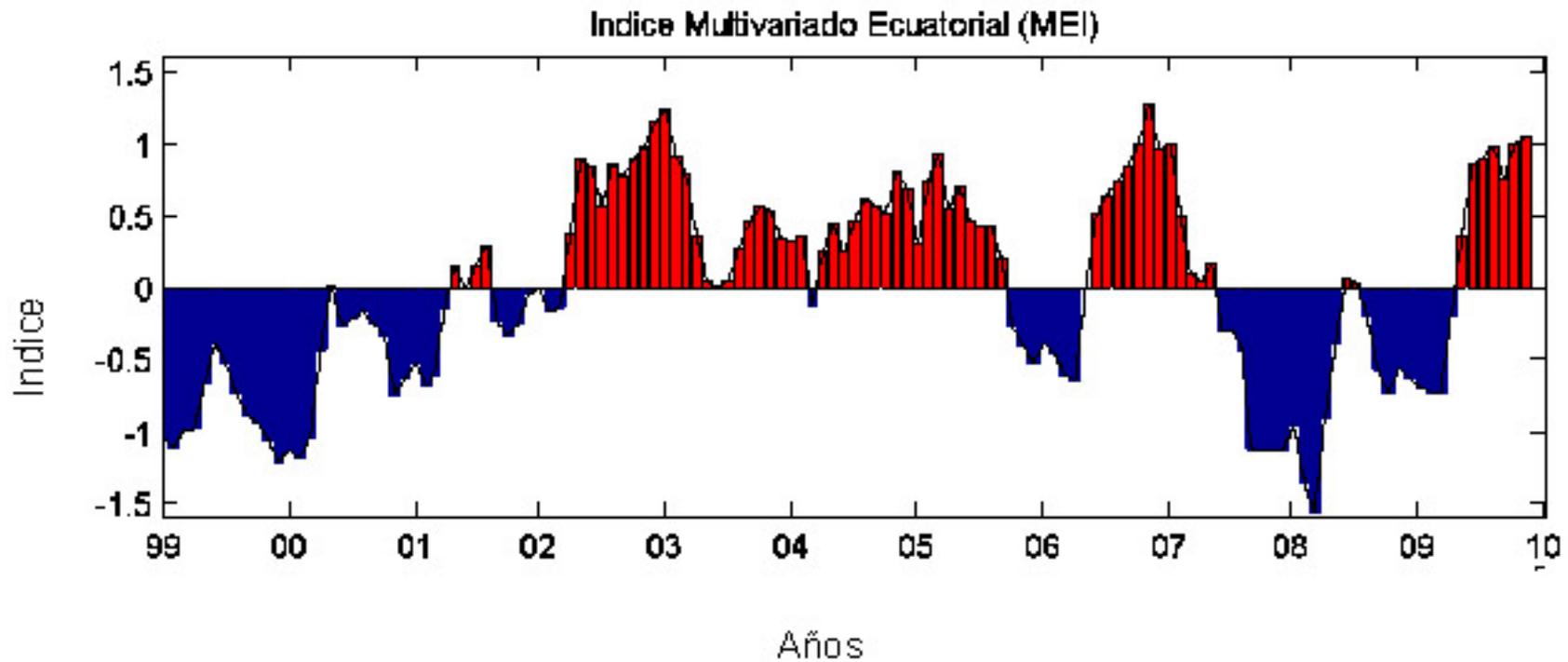


Figura 1. Valores históricos del índice multivariado Ecuatorial entre el periodo 1999-2009 (Fuente: Earth system research Laboratory (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>)).

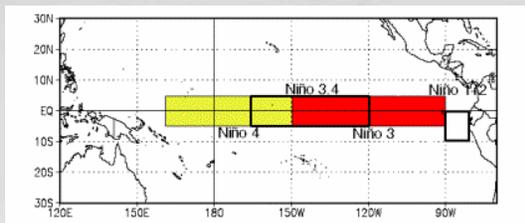
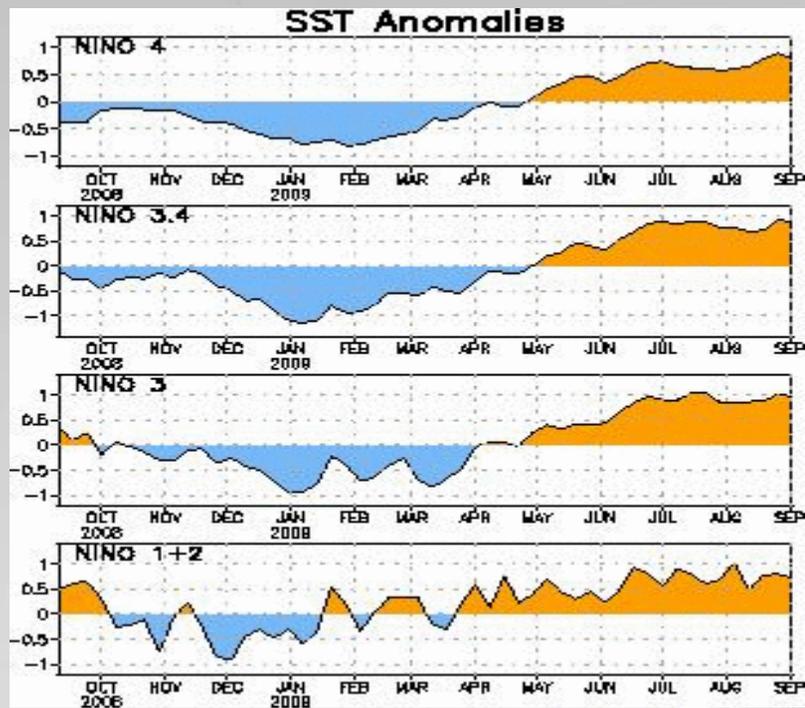


Figura 2. Series de Tiempo de áreas promediadas para las anomalías en la temperatura (°C) de la superficie del océano (SST) en las regiones de El Niño [Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4.

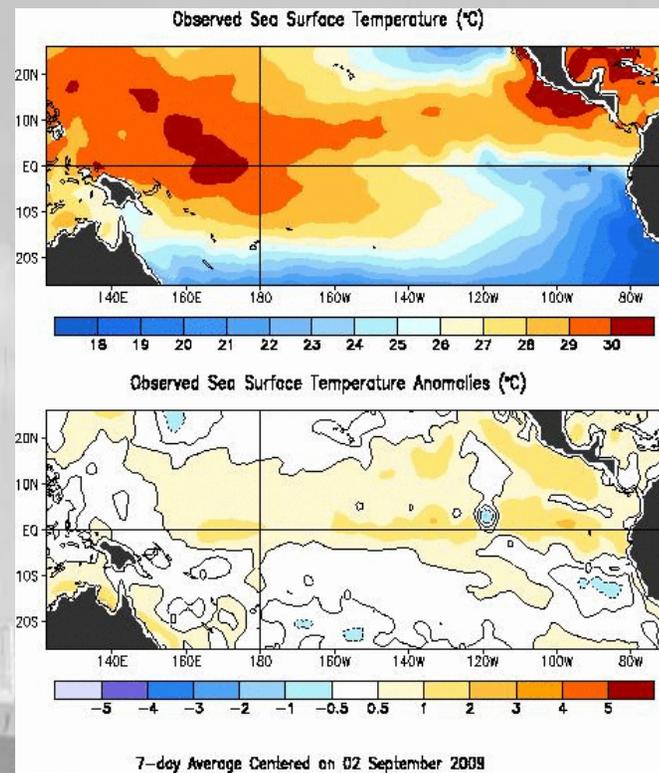


Figura 3. Temperatura superficial del mar y Anomalías (°C) de la Temperatura promedio de la Superficie del mar para fines de agosto del 2009 . Las anomalías son calculadas con respecto a los promedios del período base de 1971-2000 (NOAA, Climate Prediction Center).

**CRUCERO MPH - 2009**



# Muestreo MPH – 2009

El total de estaciones con datos de oceanografía fueron **708** (sin hacer 13 estaciones por mal tiempo y 52 por CTD con problemas).

En cada estación se obtuvo registros continuos verticales de **temperatura** (°C) y **salinidad** (psu) hasta un máximo de 100 m, mediante el uso de un **CTD** marca SEA BIRD modelo 19 y un CTD 19plusV2, ambos equipados con bomba.

Se realizaron **83** estaciones oceanográficas profundas (**Fig. 1b**) con muestreo de CTD hasta **500 m**, y se incluyó **clorofila a** y **oxígeno disuelto** hasta **100 m** de profundidad. Estas estaciones estuvieron ubicadas a lo largo de 12 secciones perpendiculares a la costa y a una distancia de ella de 1, 5, 10, 20, 40, 60 y 80 mn.

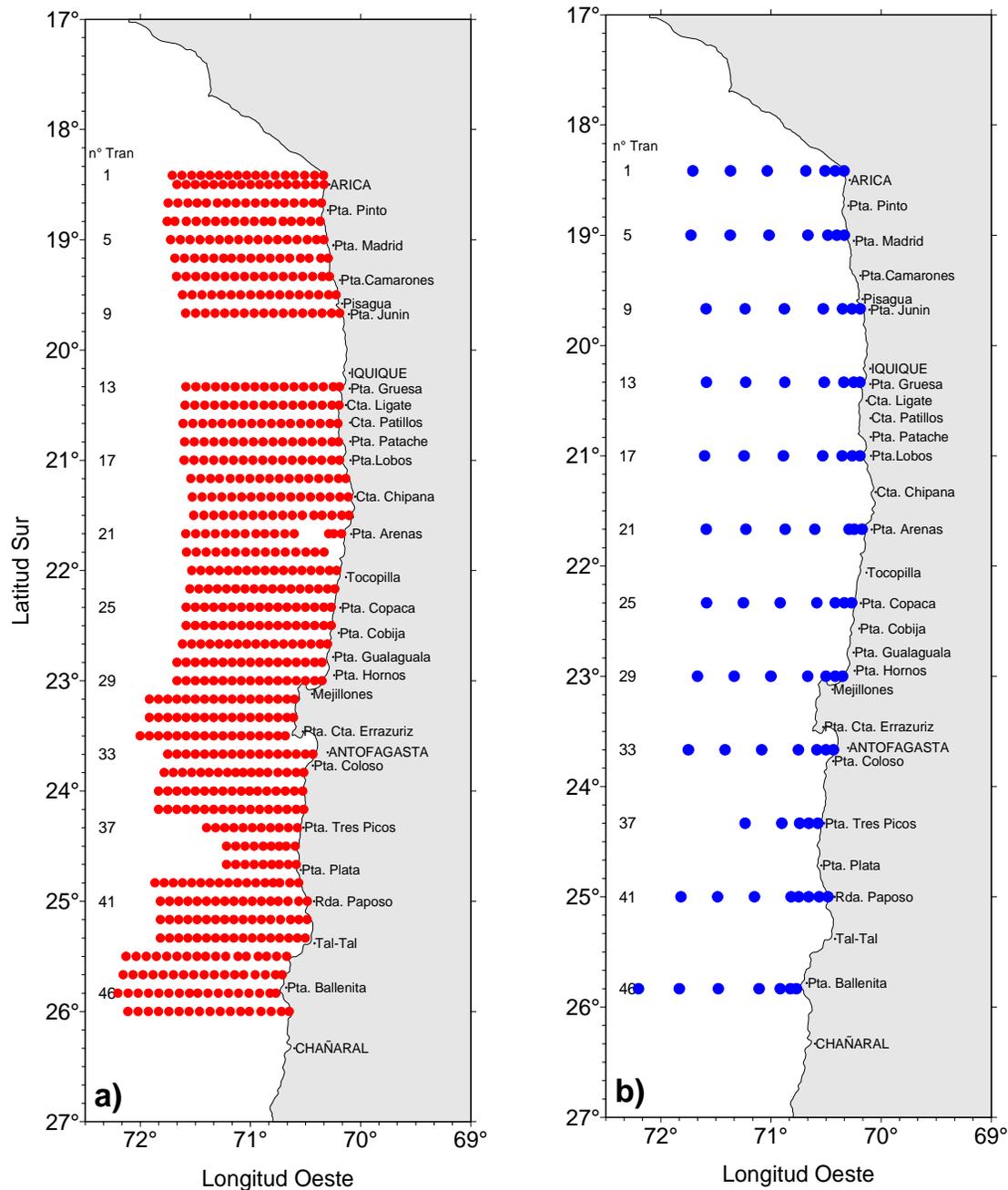
Se tomó información de viento en cada estación.



# Posición estaciones

Figura 4.- Ubicación geográfica de

- a) estaciones oceanográficas con CTD
- b) estaciones con muestreo de CTD clorofila a y oxígeno (estaciones oceanográficas profundas).



# Viento

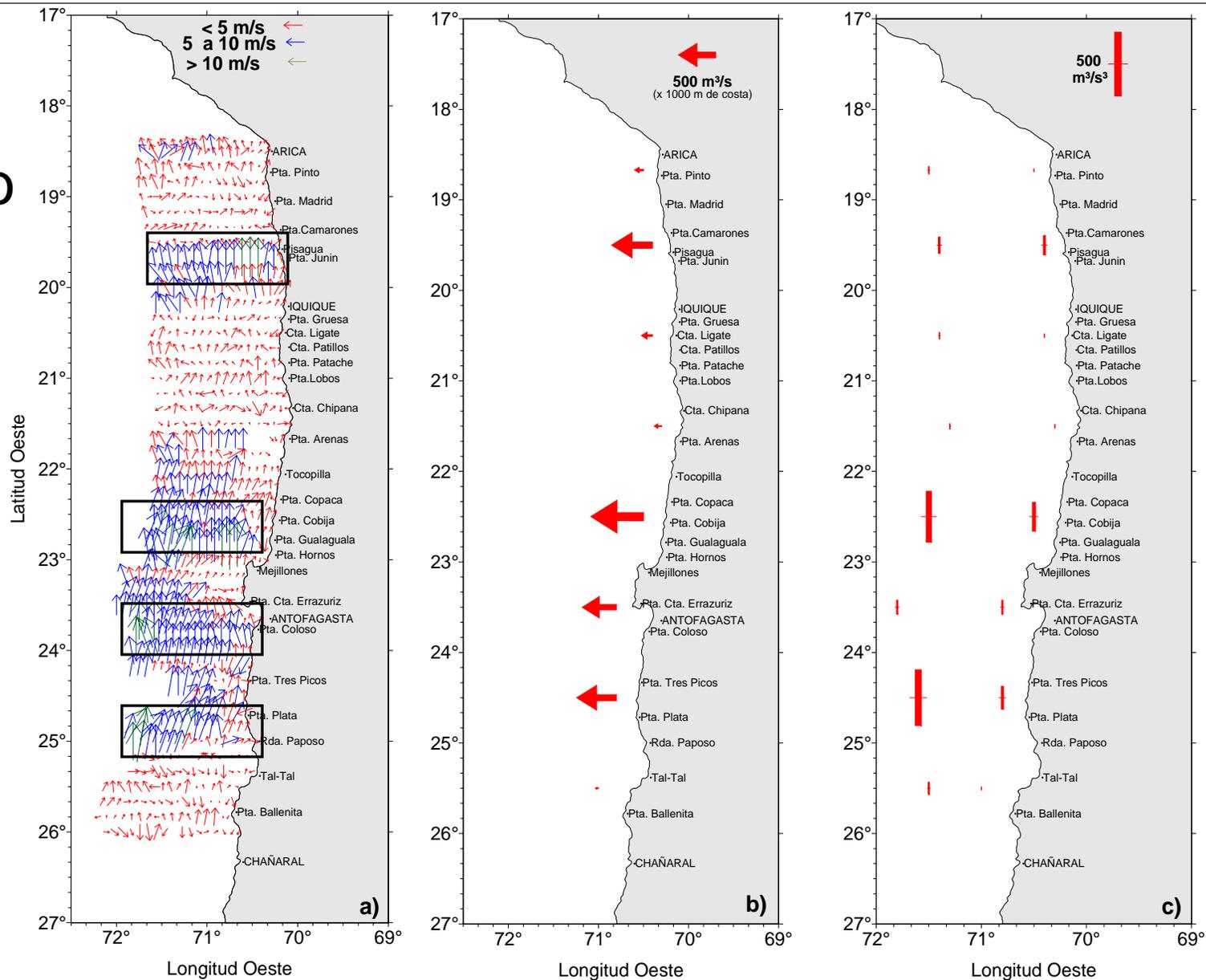


Figura 5. a) dirección e intensidad del viento (m/s), b) índice de surgencia promedio de las observaciones en las primeras 30 mn por grado de latitud y c) índice de turbulencia promedio costero y oceánico por grado de latitud del viento predominante medido en las estaciones oceanográficas.

## Viento satelital

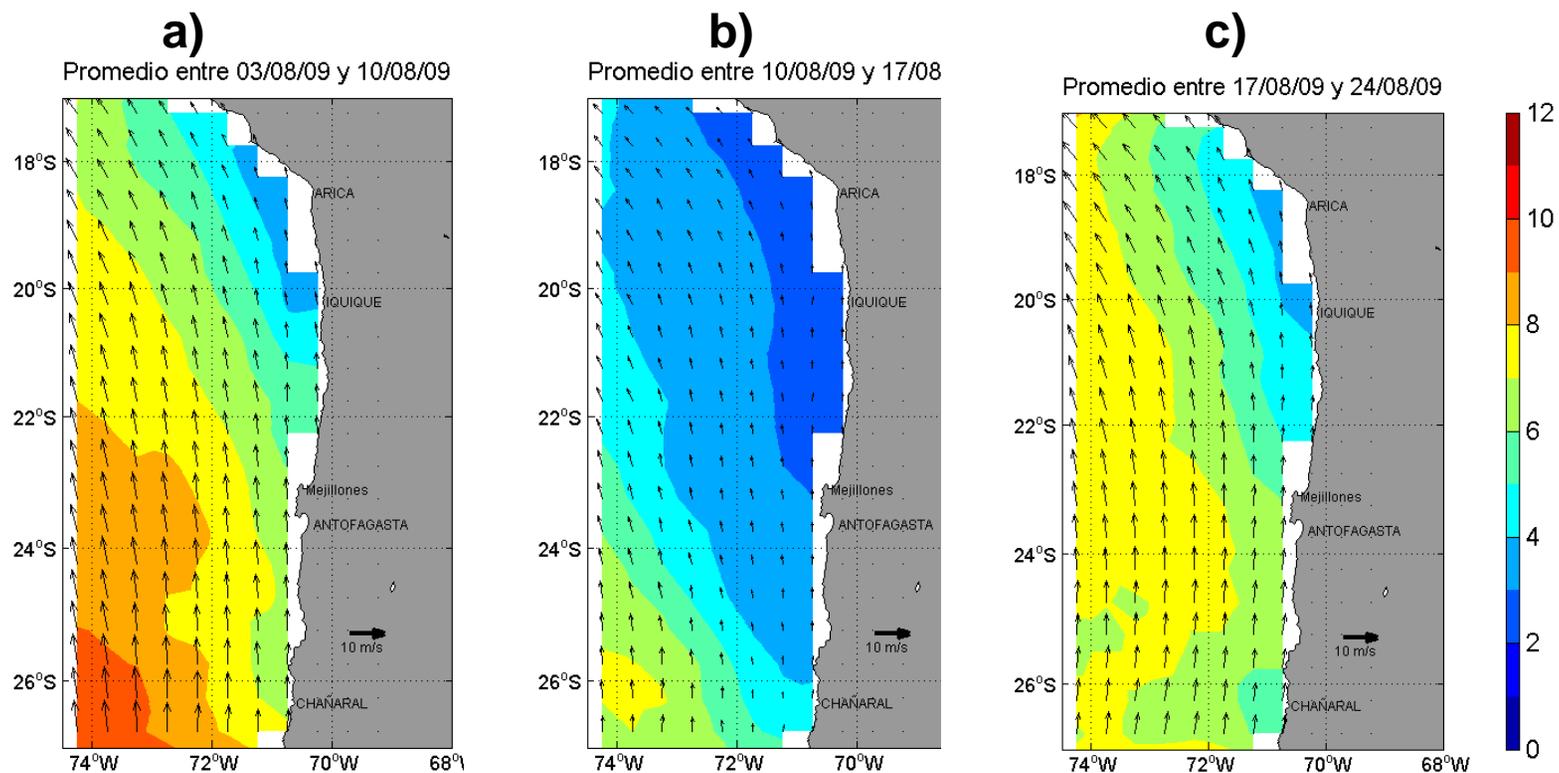


Figura 6. Distribución espacial del promedio semanal del viento y la magnitud (m/s) del viento (colores) en la zona norte de Chile, correspondiente a promedios semanales a) entre el 3 y 10 de agosto, b) 10 al 17 de agosto y c) 17 al 24 de agosto de 2009, proveniente de imágenes satelitales Quikscat. Crucero MPH - Invierno 2009.

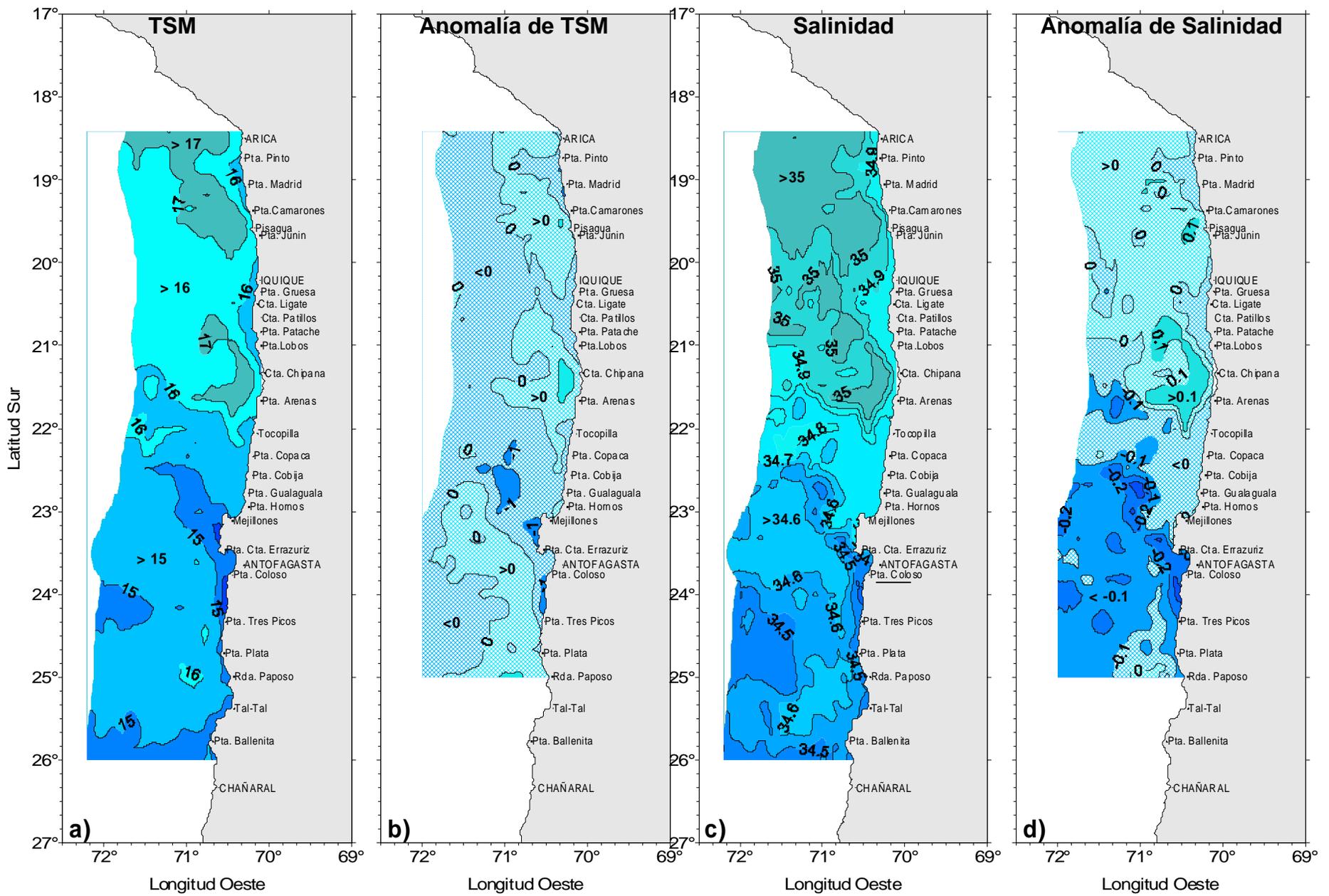


Figura 7. Distribución superficial de TSM, salinidad y sus anomalías

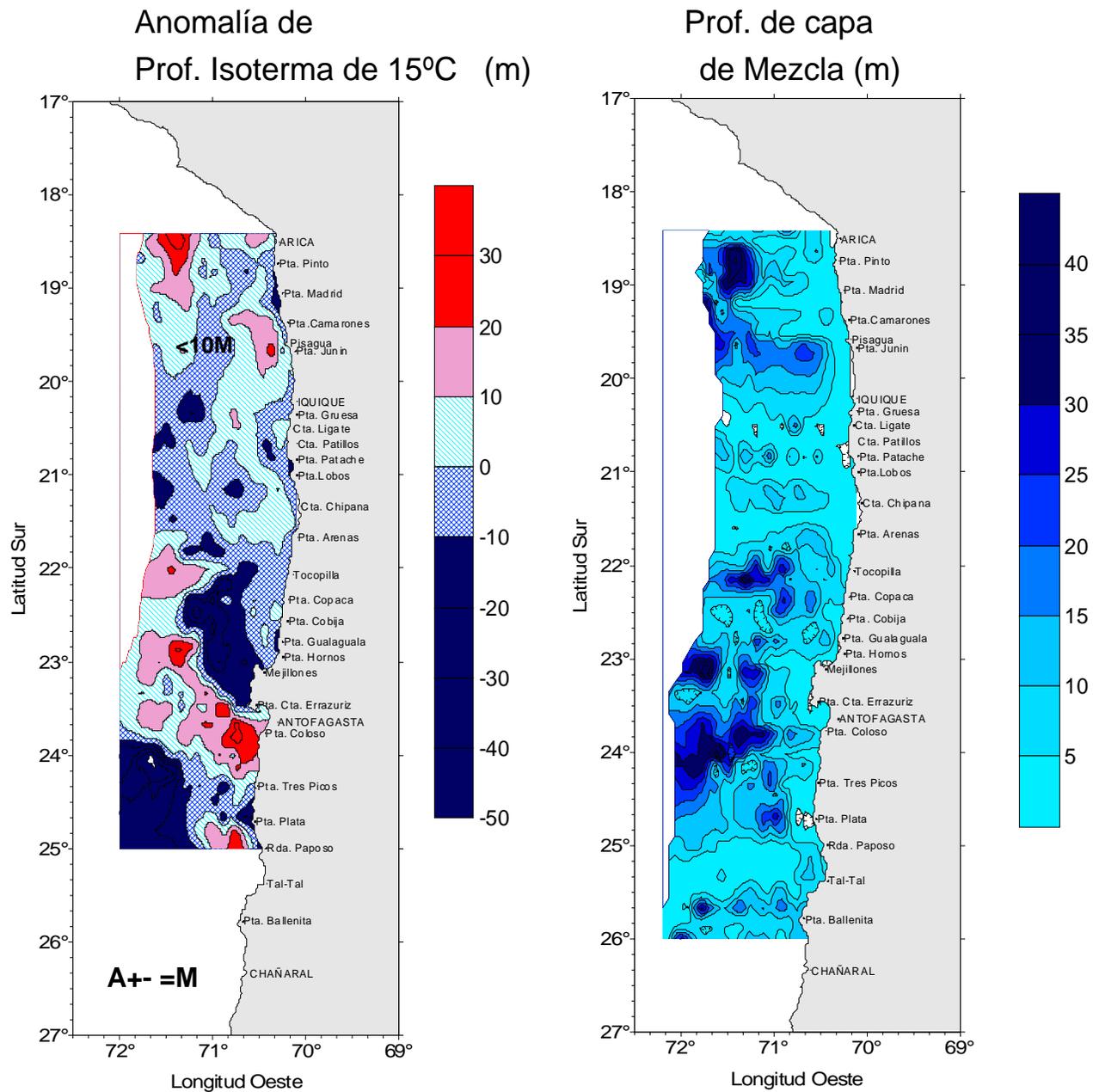


Figura 8. Distribución de anomalía de profundidad de la isoterma 15°C (m) y espesor de la capa de mezcla (m).

# Velocidad geostrófica durante periodos El Niño

Datos de crucero 1997 a 1998

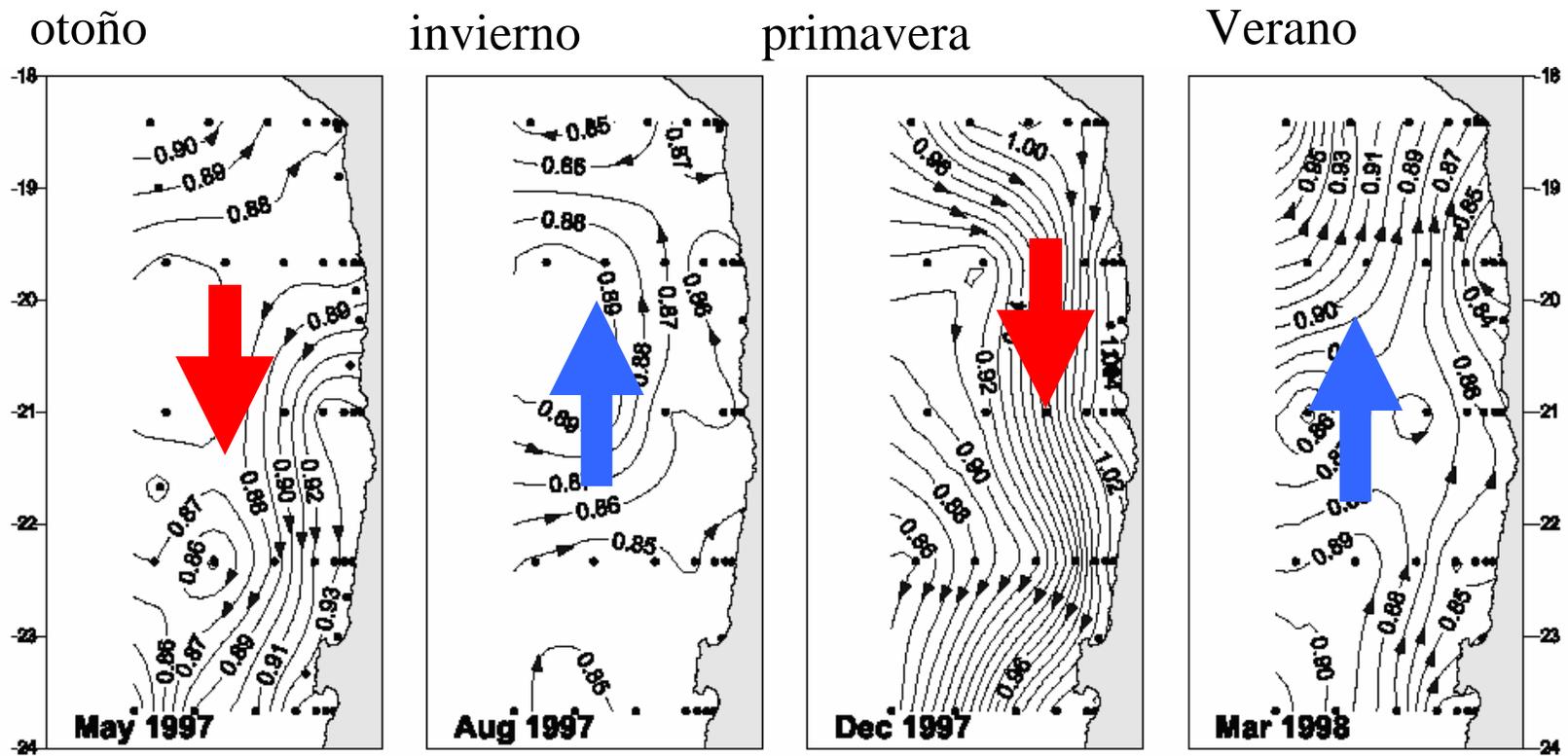


Figura 9. Anomalia geopotencial de superficie referida al nivel de 500 m durante el periodo cálido El Niño 1997-1998.

## Anomalía de nivel del mar y Velocidad geostrofica (satelital)

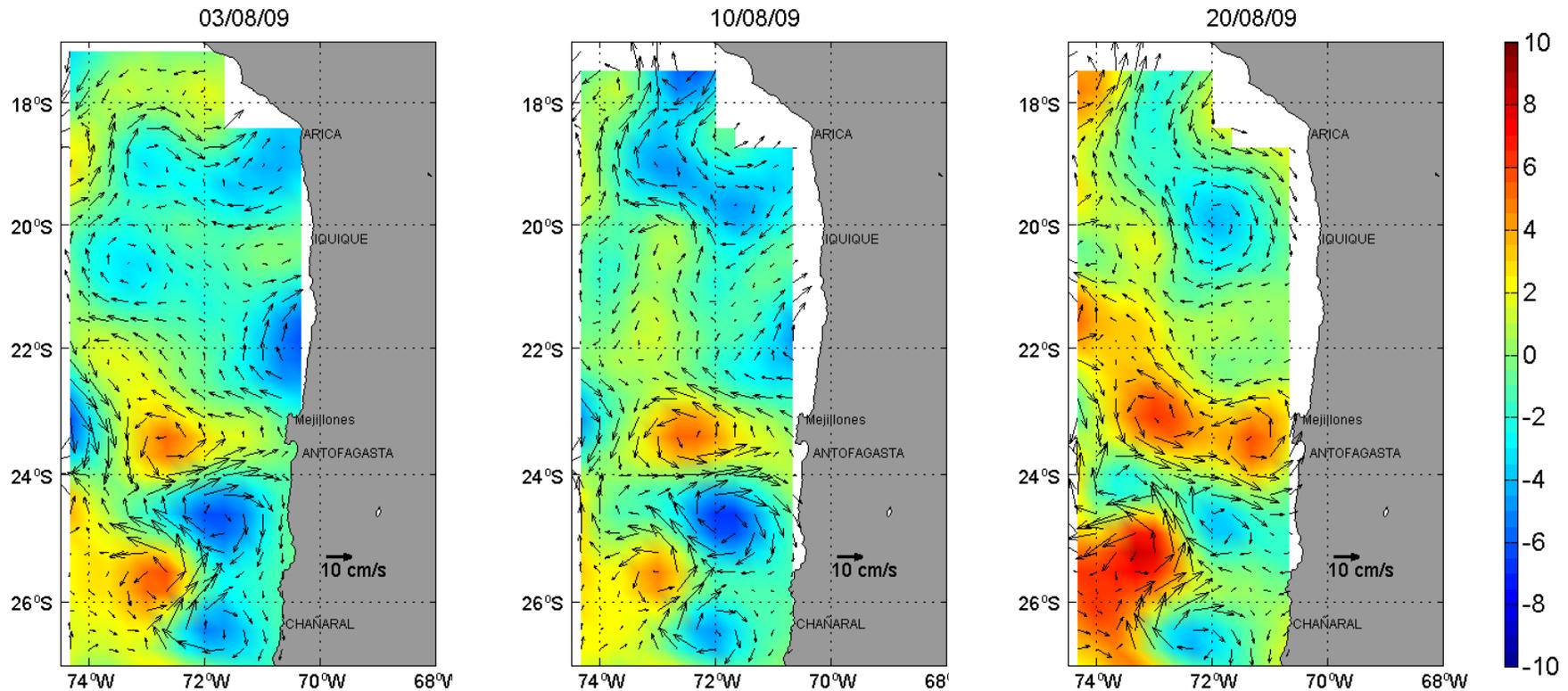


Figura 10. Distribución espacial de la anomalía diaria de nivel del mar (cm) y velocidad geostrofica (cm/s) correspondientes a la zona norte de Chile de los días a) 3, b) 10 y b) 20 de agosto de 2009. Las imágenes diarias son representativas de la situación prevaleciente durante el crucero.

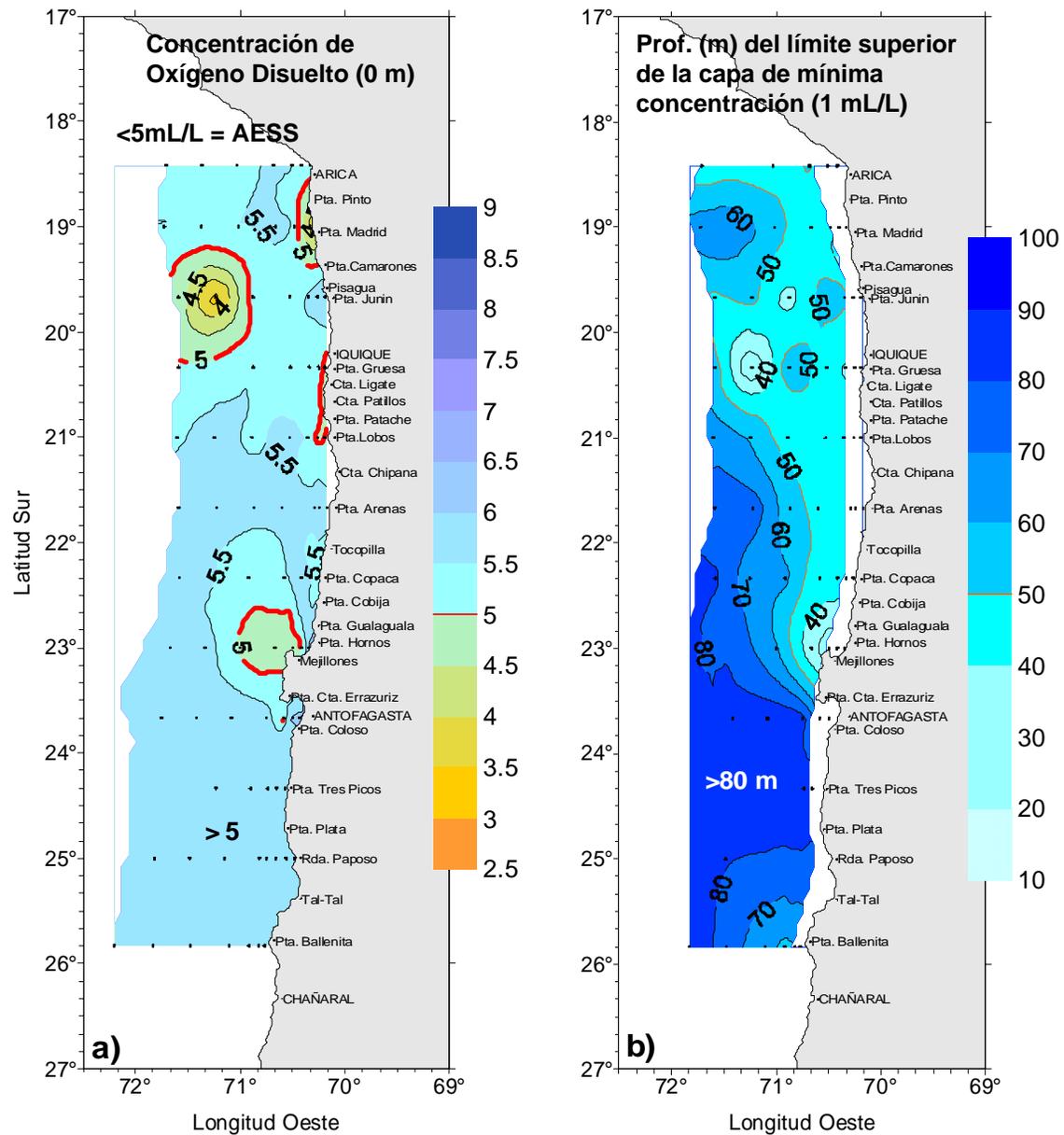


Figura 11. Distribución superficial de Oxígeno Disuelto (OD) y profundidad (m) del límite superior de la capa de mínimo OD en la vertical (1 mL/L).

## Oxígeno disuelto en la vertical (mL/L)

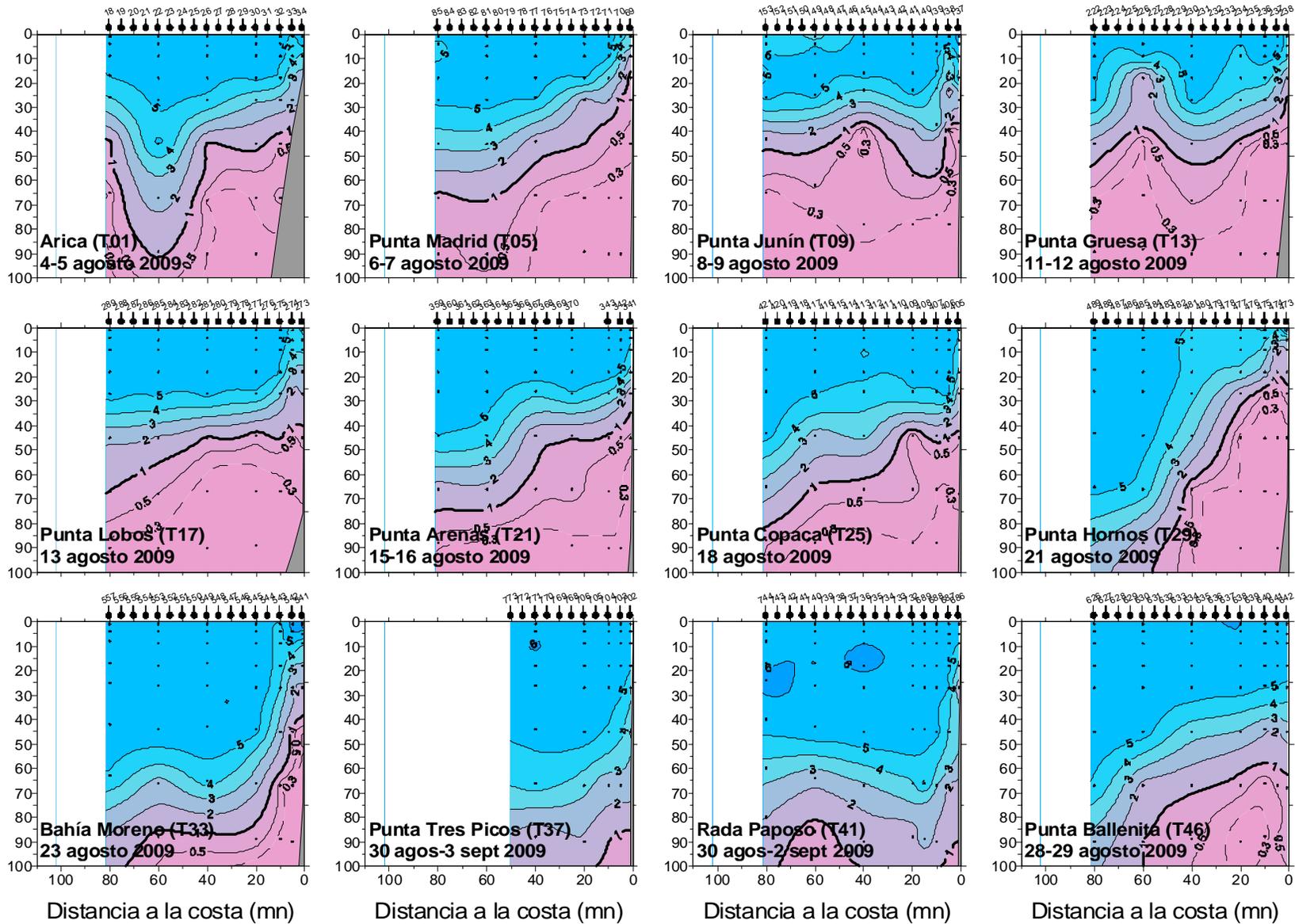


Figura 12. Distribución vertical de Oxígeno Disuelto (OD) ( mL/L).

# Pigmentos

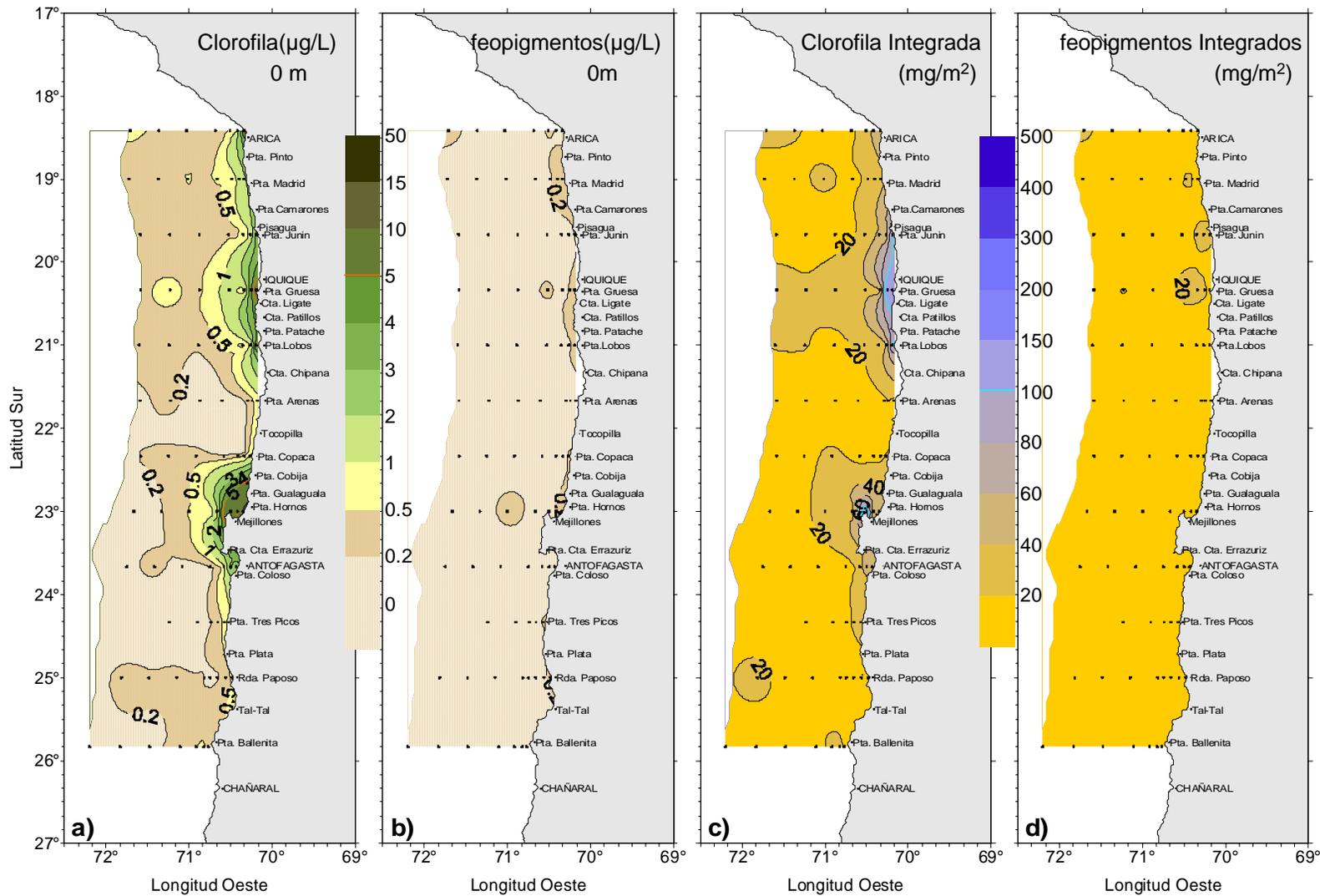


Figura 13. Distribución superficial de pigmentos.

## Verticales Clorofila ( $\mu\text{g/L}$ )

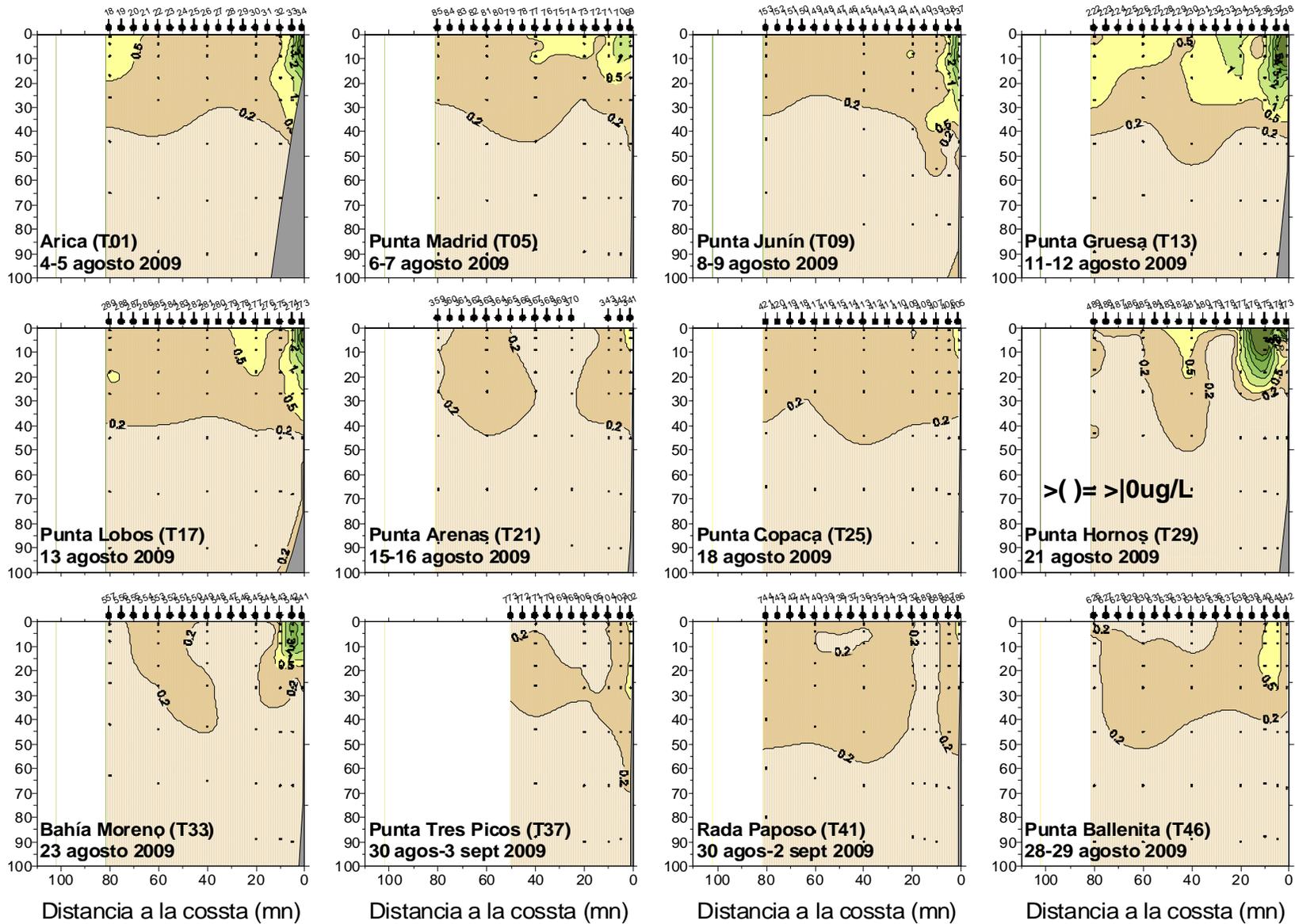


Figura 14. Distribución vertical de clorofila.

## Conclusiones

Desde junio de 2009 un periodo cálido **El Niño** se desarrolló en el cinturón Ecuatorial y se pronostica (actualmente) su duración hasta otoño de 2010.

Durante agosto de 2009, no se encontraron evidencias de la influencia de El Niño en la zona norte de Chile, debido a la presencia de un **El Niño** singular llamado **Madoki** que no afectó la costa sudamericana durante el periodo de realización del crucero.

Las **anomalías horizontales de temperatura y de salinidad** señalan la presencia de eventos locales y de mesoescala pero **no muestran una influencia del evento cálido que ocurría en el Pacífico Sur**.

El **crecimiento y posterior desprendimiento de un giro de mesoescala** desde la bahía de Antofagasta determina la formación de un **filamento de gran envergadura espacial** caracterizado por menores temperaturas y menores salinidades que se proyectó al noroeste alrededor de la península de Mejillones.

El **desarrollo del filamento** de mesoescala **modificó la estructura vertical en la columna de agua** desde punta Coloso a punta Gualaguala.

**Máximos subsuperficiales de clorofila y bajos valores de feopigmentos** sugieren una baja productividad biológica durante el periodo de muestreo.

Las **características particulares de El Niño 2009**, que no ha afectado la costa sudamericana, **condicionan una baja respuesta del primer modo de la temperatura, densidad y huevos de anchoveta**





## **Presentación**

---

**Objetivo 2.8  
Asociación variables  
oceanográficas y huevos**

---



## **Proyecto FIP 2009-01**

# **EVALUACIÓN DEL STOCK DESOVANTE DE ANCHOVETA EN LA I, II y XV REGIONES, AÑO 2009**

## Objetivo

**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.**

**FIP: 2009-01**

**Victor Catasti**

**Juan Carlos Saavedra N.**

**ANALISIS INTEGRADO  
DE LA INFORMACION**



**Sistemas Información  
Geográfica  
SIG**

**Modelamiento  
Estadístico  
GAM**

# Análisis cartográfico

- Para establecer las relaciones se realizaron asociaciones cruzadas entre la distribución de los huevos y las variables oceanográficas.
- Se generaron los gráficos de frecuencia 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.

# Centros de Gravedad (CG)

$$CG = \frac{\sum_{i=1}^m Lat(Long)_i * Den_i}{\sum_{i=1}^m Den_i}$$

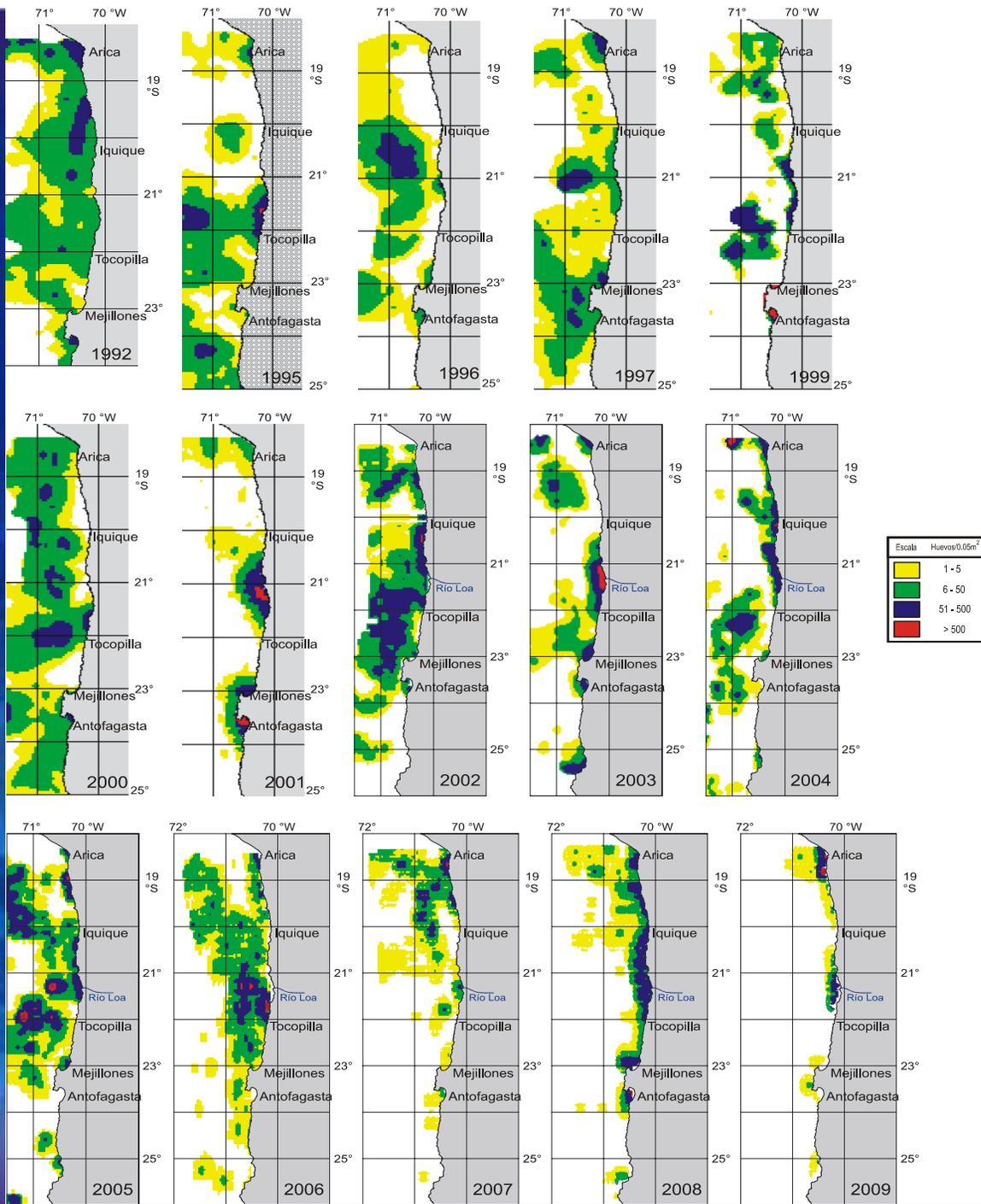
# DISTRIBUCION ESPACIAL DE HUEVOS DE ANCHOVETA

3 zonas principales:

Frente de Arica,

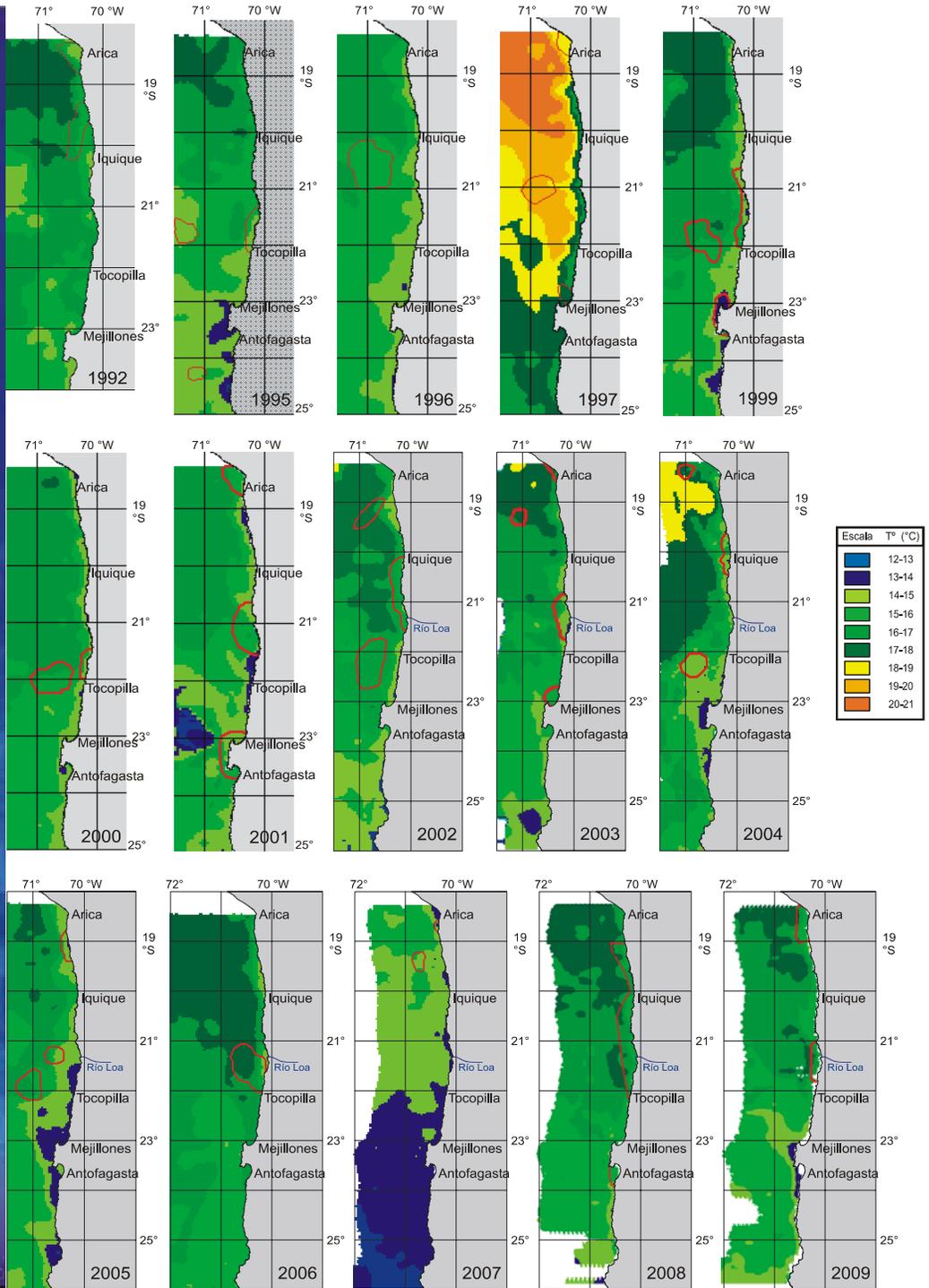
Alrededores de Pta Lobos y,

Antofagasta-Mejillones



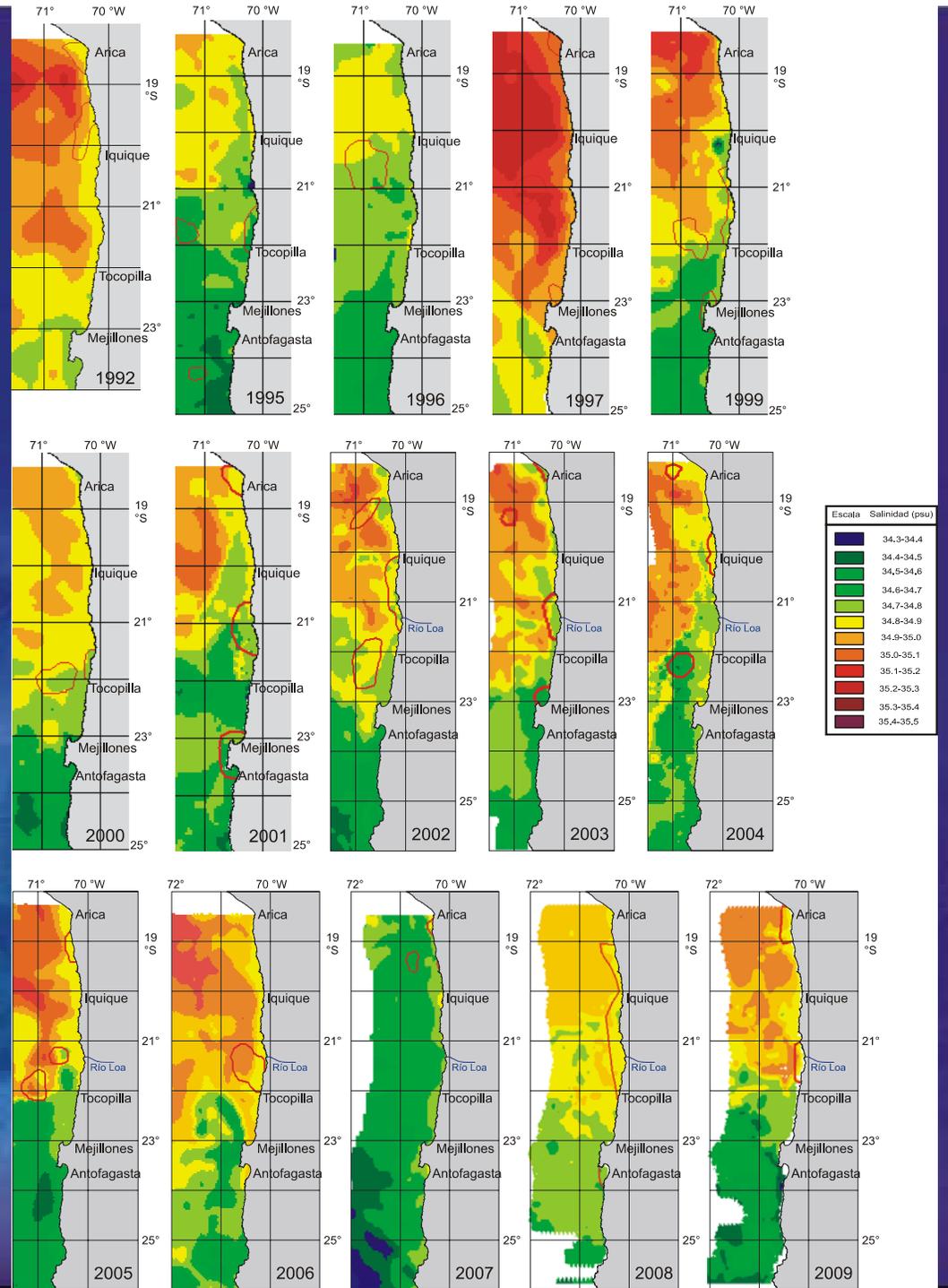
# DISTRIBUCION ESPACIAL DE VARIABLES OCEANOGRAFICAS

## Temperatura.



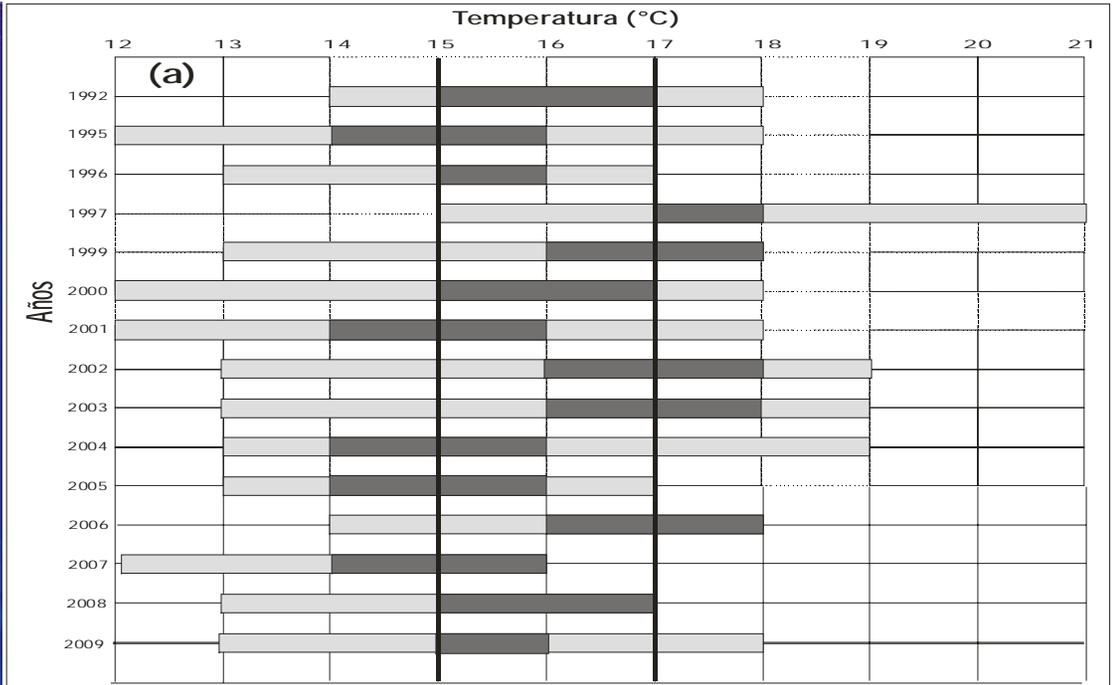
# DISTRIBUCION ESPACIAL DE VARIABLES OCEANOGRAFICAS

## Salinidad.

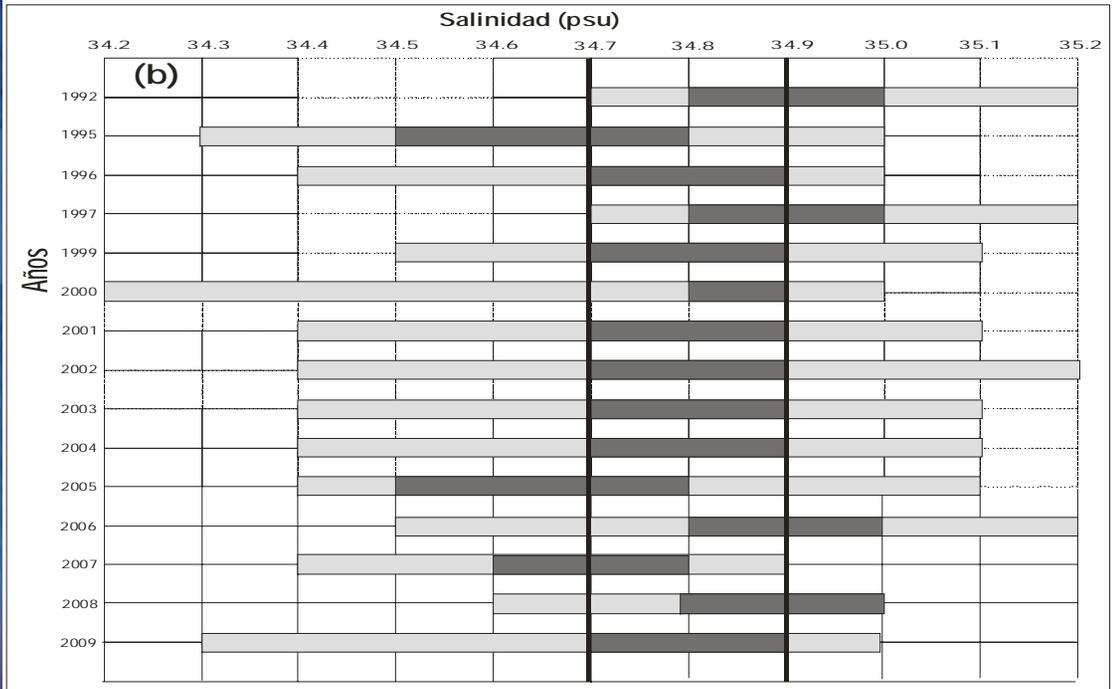


# RANGOS HISTORICOS

## Temperatura



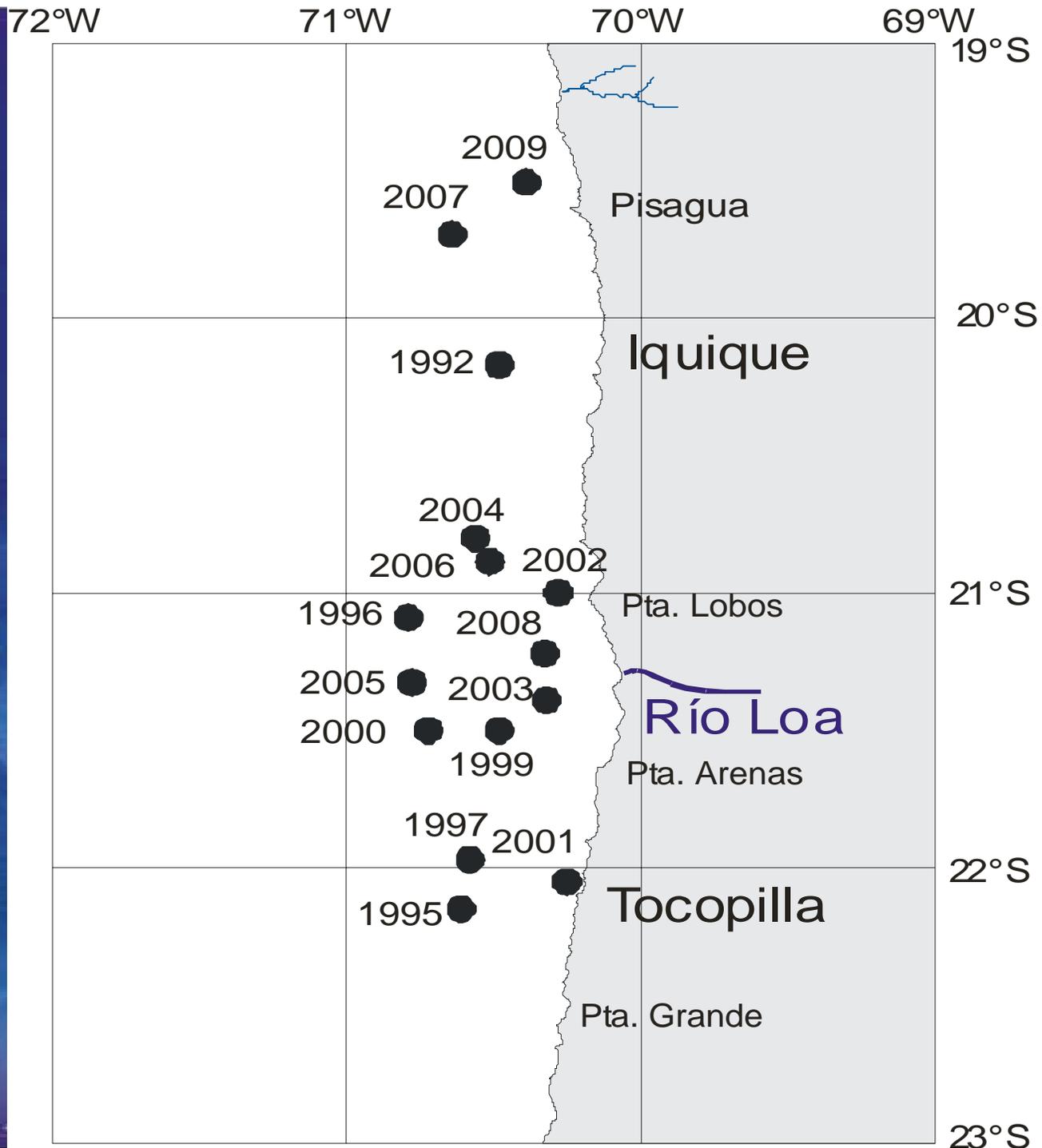
## Salinidad



Rango
  Moda

## CENTROS DE GRAVEDAD

- No mostraron un comportamiento territorial acotado.
- Los años 1992, 2007 y 2009 presentan CG localizados al norte de Iquique debido a las altas concentraciones frente de Arica y a la virtual desaparición de huevos desde Tocopilla al sur.



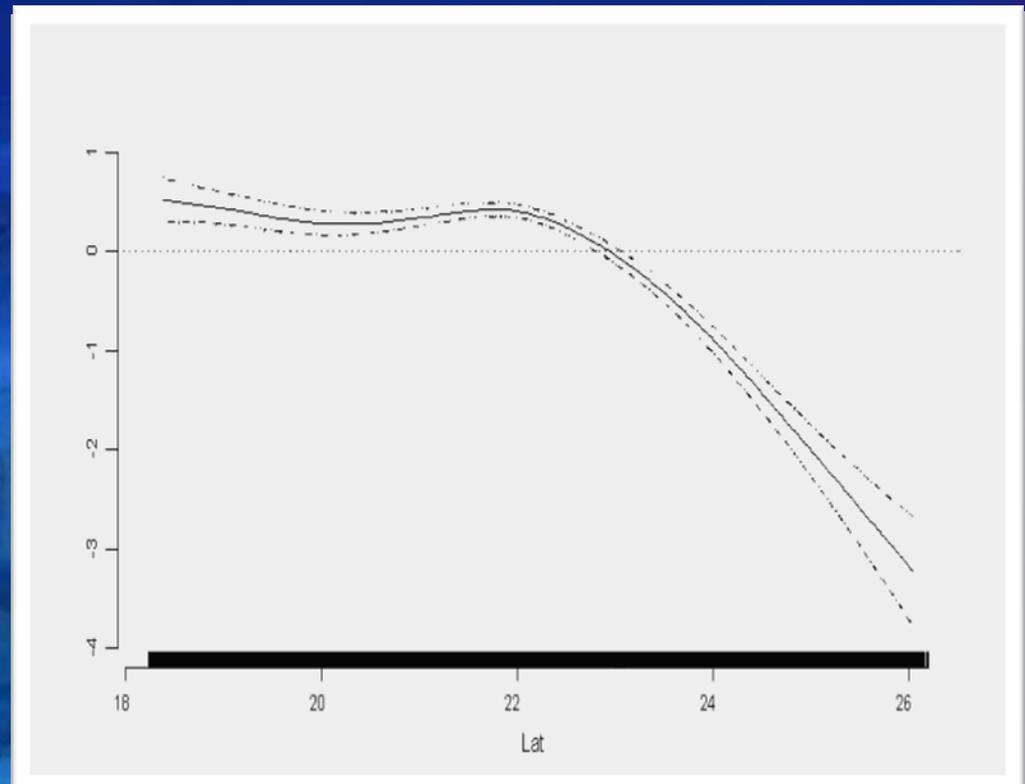
# Modelamiento Estadístico

- Las variables a modelar fueron presencia de huevos y su densidad (número x 0,05 m<sup>-2</sup>).
- Fueron modeladas como función de variables de localización (latitud, longitud) y oceanográficas (salinidad y temperatura); además, se incorporó un predictor lineal correspondiente al año.
- Los modelos fueron significativos, con pseudo-R<sup>2</sup> de 0,15 y 0,1 presencia y densidad de huevos respectivamente.

# Análisis de presencia/ausencia

## Latitud

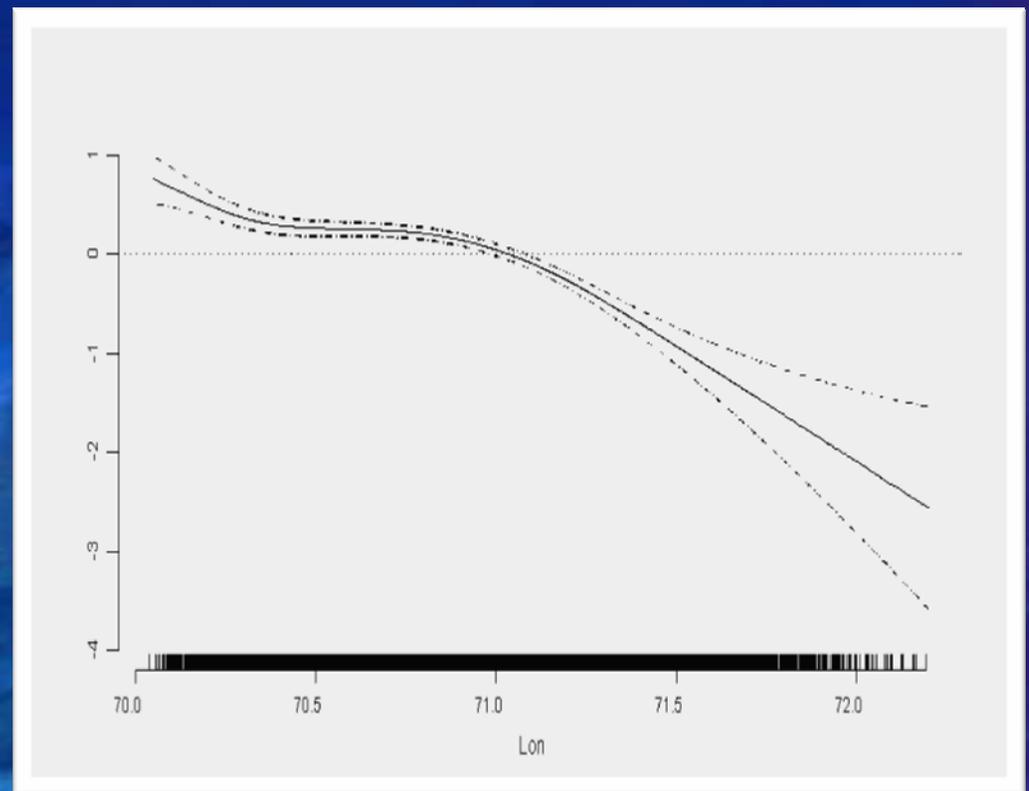
- Latitudes inferiores a los  $23^{\circ}$  S (al norte de mejillones), existe un efecto positivo en encontrar estaciones con presencia de huevos.
- Disminuyendo gradualmente al sur de ésta latitud



# Análisis de presencia/ausencia

## Longitud

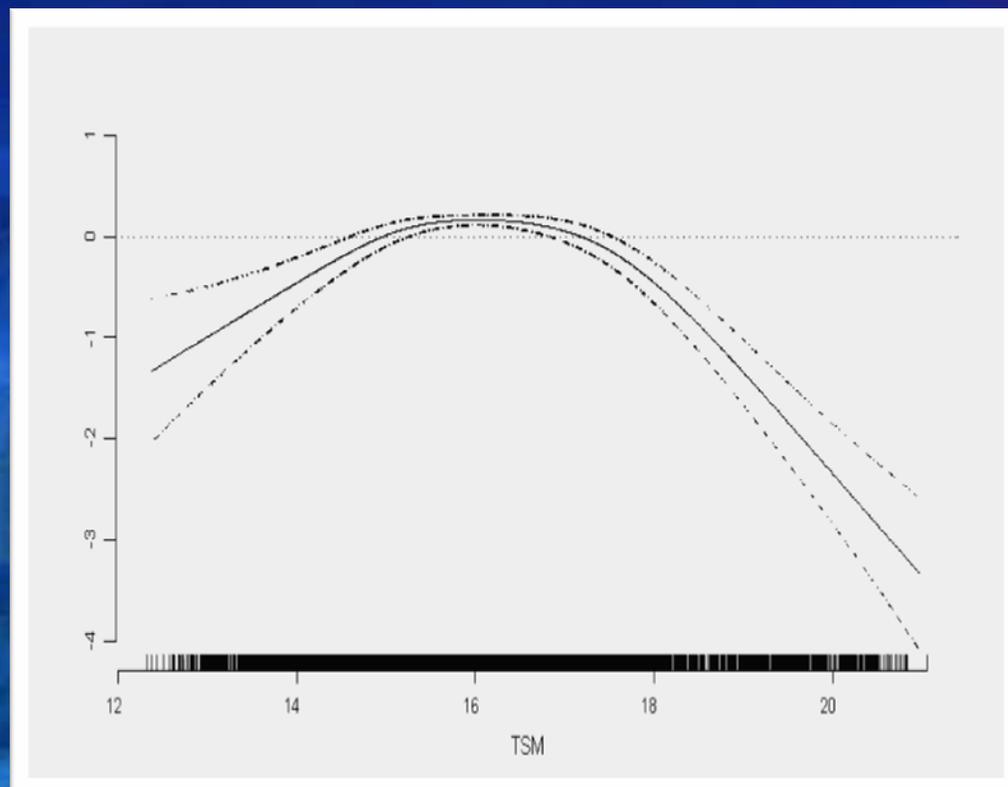
- La longitud tiene un efecto positivo para valores entre los  $70^{\circ}36'$  y  $71^{\circ}12'$  W y negativo a longitudes mayores
- Es decir el proceso de desove aparece vinculado a la zona costera.



# Análisis de presencia/ausencia

## TSM

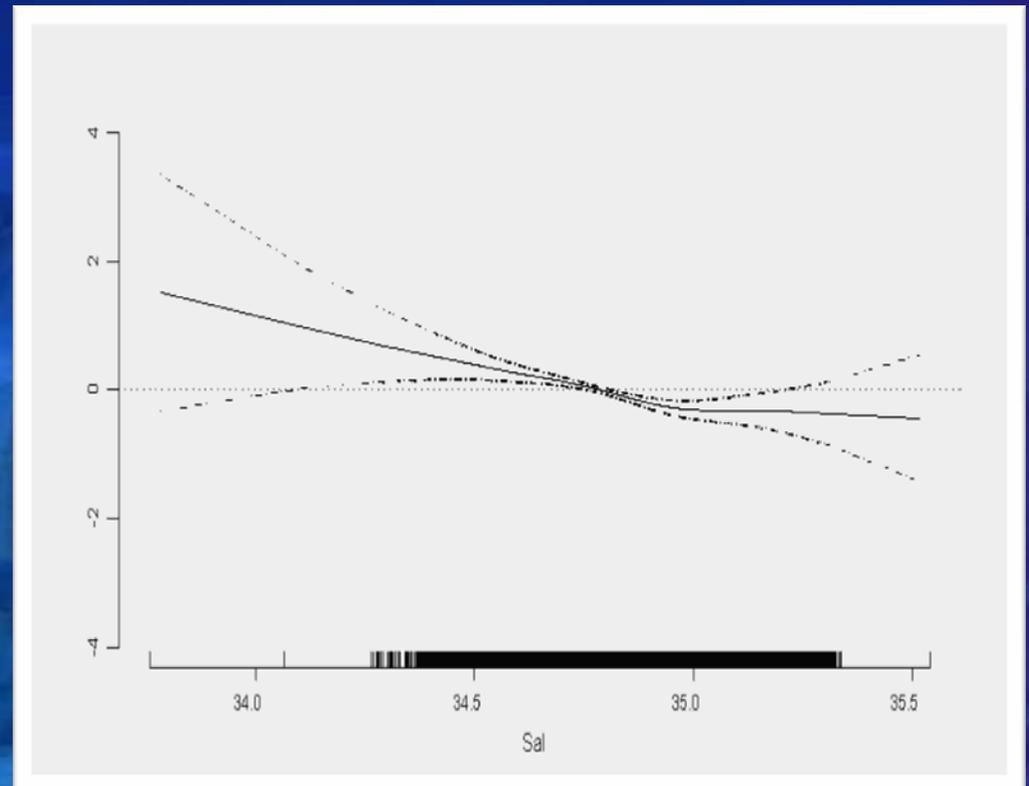
- Para la TSM, se observa una ventana positiva entre los 15° y 17° C, mientras que para temperaturas fuera de éste intervalo el efecto es negativo



# Análisis de presencia/ausencia

## Salinidad

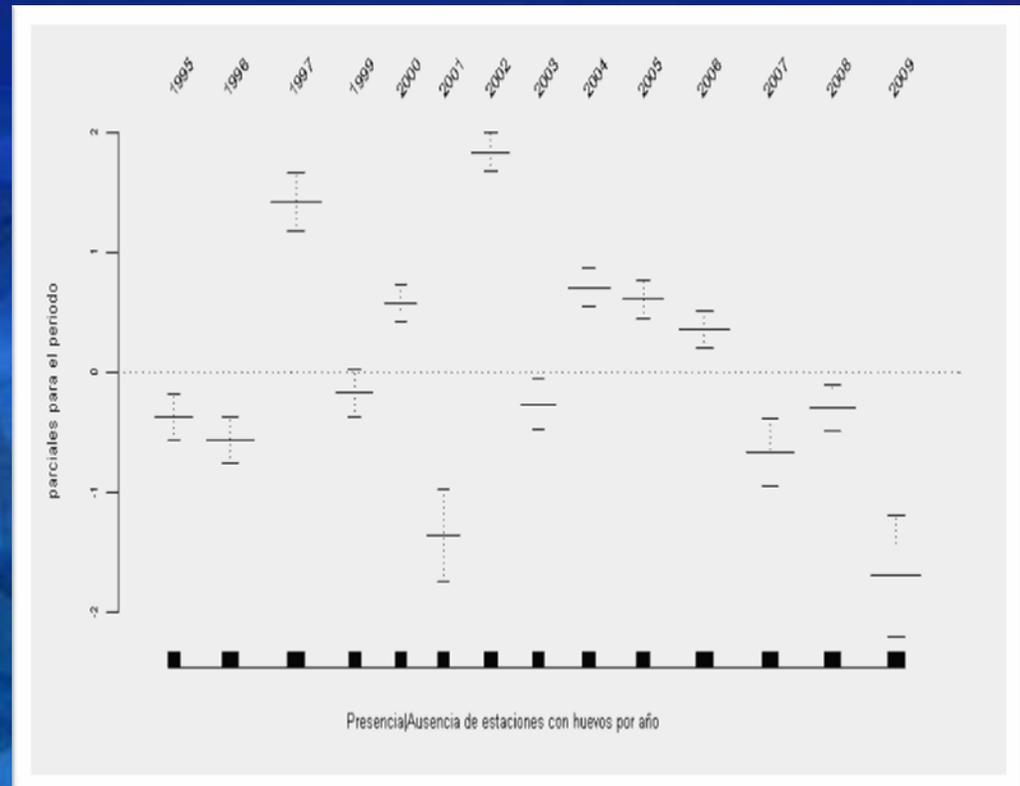
- Alta incertidumbre en el suavizador a salinidades inferiores a las 34,4 psu a consecuencia de la baja ocurrencia de éstas, no se observa un efecto en la presencia de huevos por estación para las otras salinidades



# Análisis de presencia/ausencia

## Año

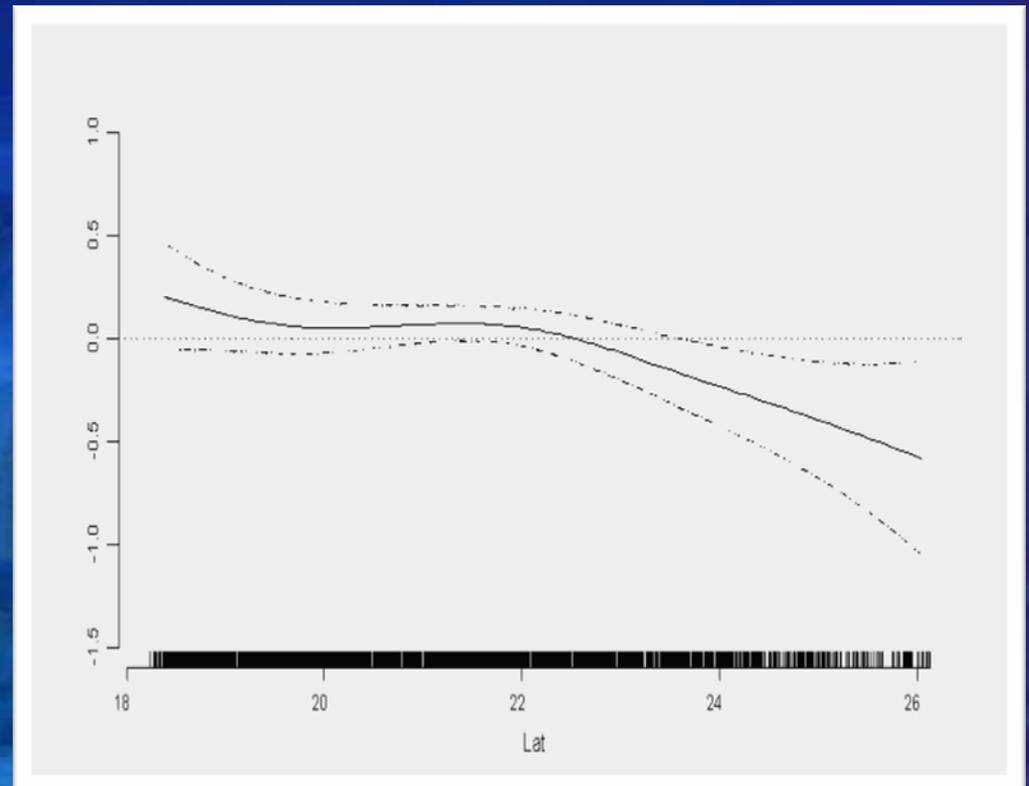
- La señal asociada al año indica una menor probabilidad de encontrar estaciones con huevos los últimos tres años y el 1995, 1996, 1999, 2001 y 2003.
- Los demás años muestran una mayor probabilidad



# Análisis de densidad de huevos

## Latitud

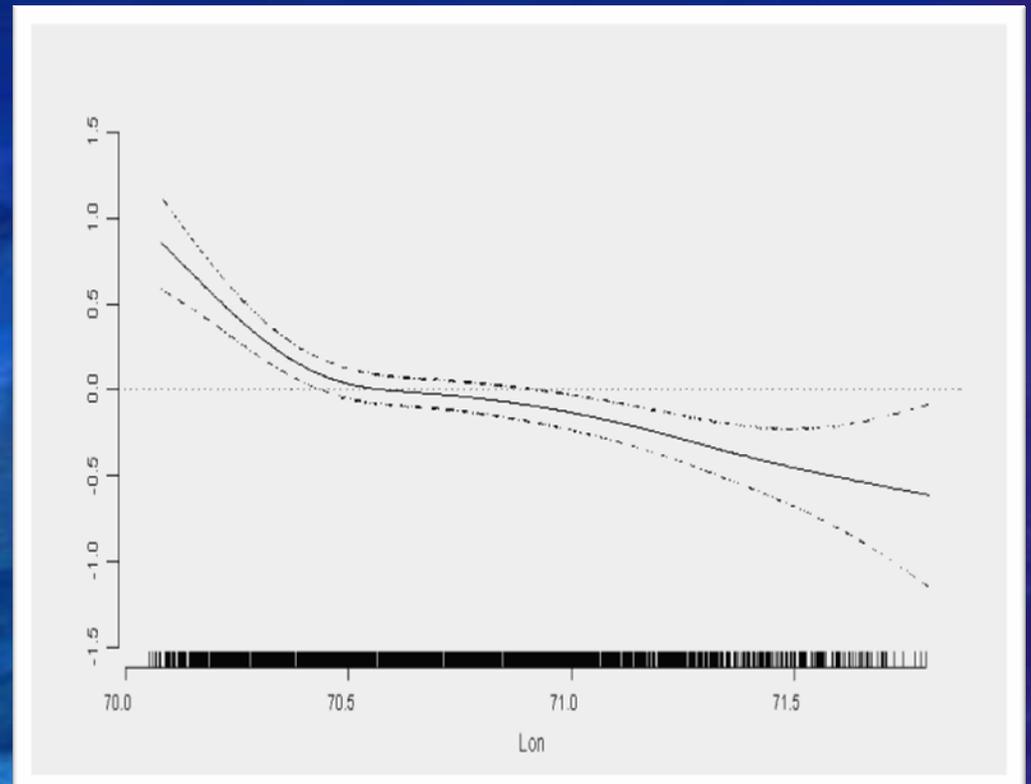
- Al igual que en la presencia de huevos, la función suavizada para la latitud muestra que al norte de los 23° S existe un efecto positivo sobre la densidad de huevos y la influencia es negativa a latitudes superiores



# Análisis de densidad de huevos

## Longitud

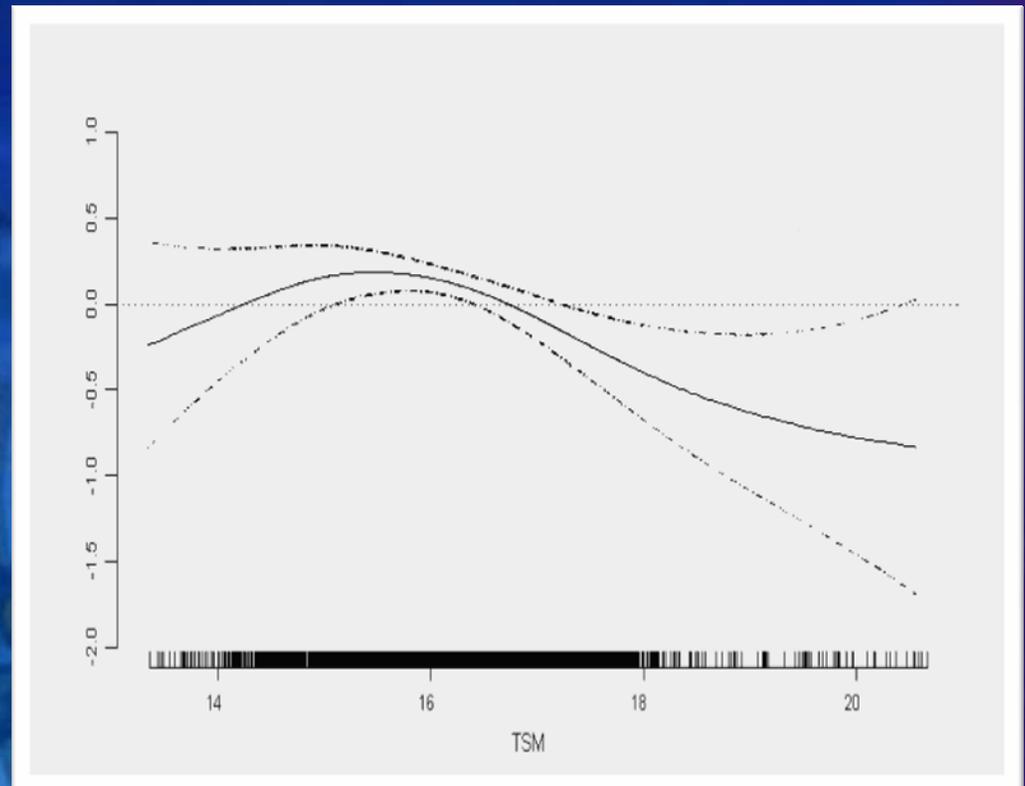
- El efecto de la función suavizada muestra que el proceso de desove ha estado vinculado a una zona más costera que oceánica, teniendo un impacto positivo gradual en la densidad de huevos el área localizada al este de los  $70^{\circ}33' W$



# Análisis de densidad de huevos

## TSM

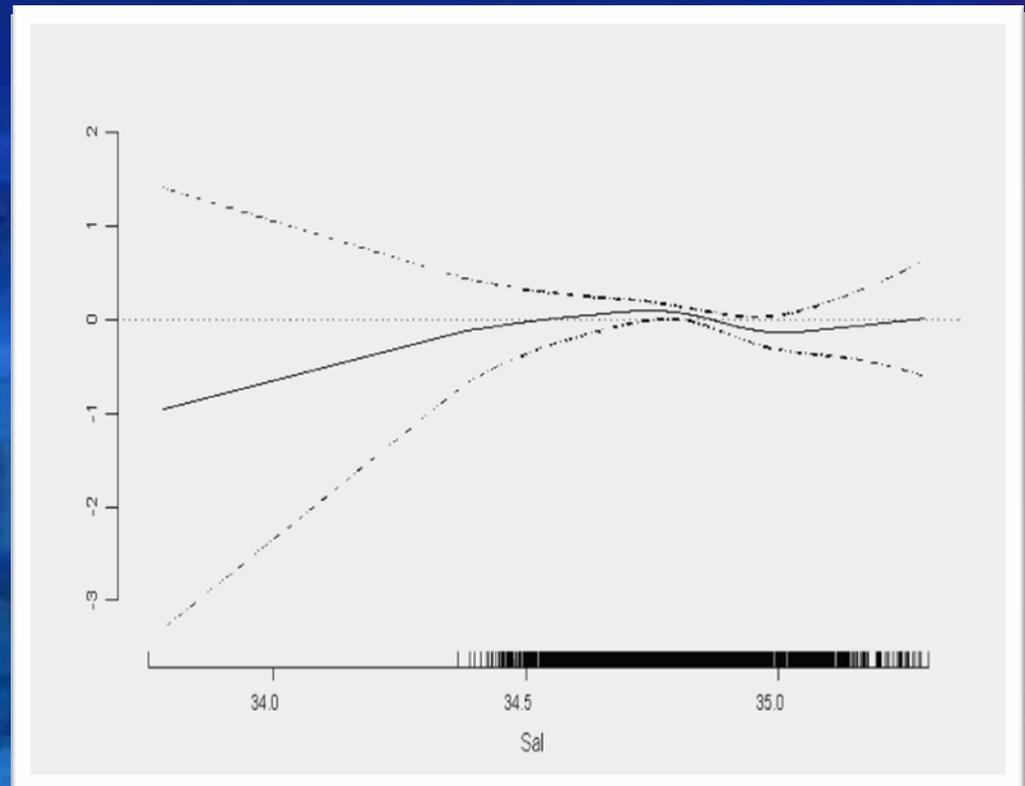
- Las estaciones con huevos se localizaron principalmente entre los 14° y 18° C y que temperaturas inferiores a los 17° C tienen un efecto positivo sobre la densidad de huevos,
- Sobre ésta temperatura la influencia es negativa.



# Análisis de densidad de huevos

## Salinidad

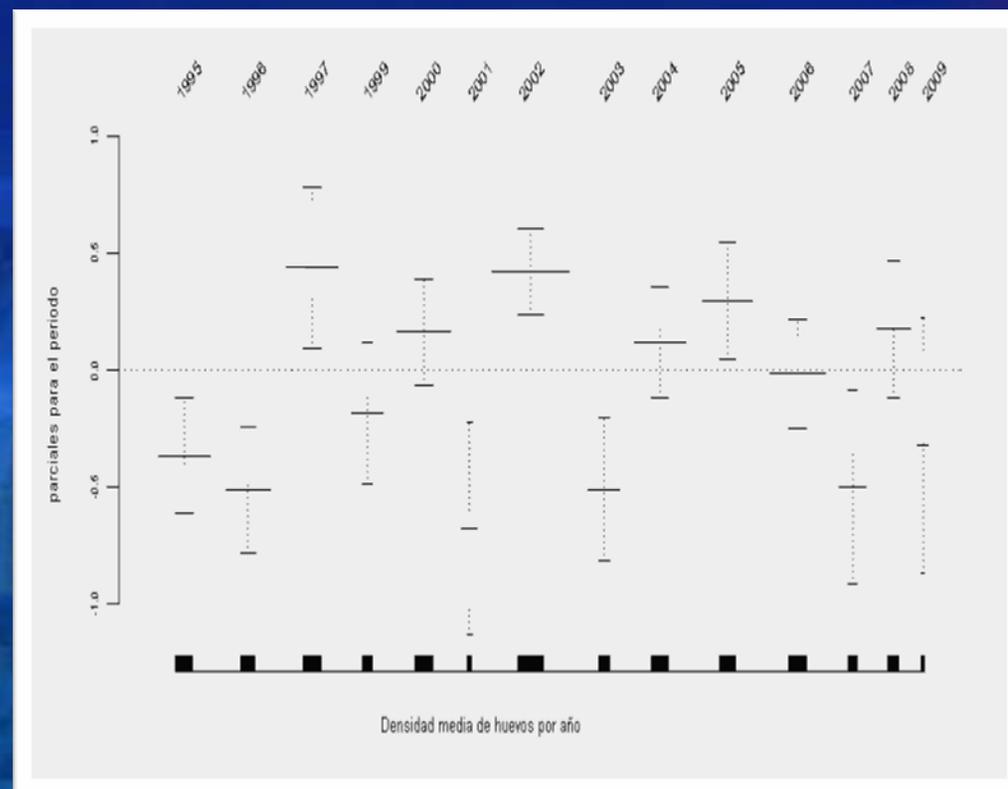
- Los huevos estuvieron presentes en un rango que va entre las 33,8 y 35,3 psu.
- No se observa un efecto a salinidades mayores a los 34,8 psu
- Alta variabilidad fuera del intervalo de las 34,50 y 35,10 psu.



# Análisis de densidad de huevos

## Año

- La contribución parcial del factor periodo indica que este último año como los años 1995, 1996, 2001, 2003 y el 2007 se tuvo un efecto negativo en la densidad de huevos.



# Discusión

- El análisis del patrón de distribución de los huevos indicó una cobertura geográfica costera con mayores agregaciones en los bordes de gradientes térmicos y salinos.
- En la zona se apreció una migración de las agregaciones en dirección norte, en este sentido, entre los años 2007-2009 los huevos cambian de comportamiento espacial respecto de años precedentes.
- Respecto a los rangos de distribución preferencial los huevos de anchoveta se distribuyeron en el rango 13-17,9°C, con una preferencia por el rango 15-15,9°C.

# Discusión

- En el caso de las salinidades, los huevos se localizan en un amplio rango entre 34,3 y 34,9 psu con una predilección por el rango 34,7-34,89 psu.
- 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, longitudes localizadas al este de los 70° 22' W tienen un impacto positivo gradual en la densidad .
- En cuanto a las condiciones oceanográficas, temperaturas entre los 15° y 17° C favorecieron la presencia de huevos de anchoveta





---

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO  
Sección Ediciones y Producción  
Blanco 839, Fono 56-32-2151500  
Valparaíso, Chile  
[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)

---





[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)