



INFORME FINAL

Evaluación del stock desovante de anchoveta
en la XV, I y II Regiones, año 2013

FIP N° 2013-06 / 2014



INFORME FINAL

Evaluación del stock desovante de anchoveta
en la XV, I y II Regiones, año 2013

FIP N° 2013-06 / julio - 2014

REQUIRENTE

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA
Presidente Consejo
Raúl Súnico Galdames

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP
Director Ejecutivo (I) y
Jefe División Investigación Pesquera
Jorge Castillo Pizarro

JEFE DE PROYECTO

Hernán Reyes Rivas

ANIVERSARIO



FIP N°2013-06 / Julio 2014

AUTORES

*Abundancia y distribución de
huevos de anchoveta*
Vivian Valenzuela Cuevas
Paola Moreno González
Cristian Azócar Santander

Condiciones oceanográficas
Hernán Reyes Rivas
Milena Pizarro Revello

*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 Quiñones
Gustavo Herrera Urzúa
Eduardo Díaz Ramos
Paola Moreno González
Cristian Azócar Santander
María Gabriela Böhm Stoffel

*Distribución espacial de huevos y variables
oceanográficas*
Fernando Espíndola Rebolledo
Juan Carlos Saavedra- Nieves
Víctor Catasti Barraza

COLABORADOR

Carlos Gaspar Solís

I. RESUMEN EJECUTIVO

En el presente documento, Informe Final, se entregan los resultados de la totalidad de las actividades realizadas en el marco del proyecto FIP N° 2013-06 “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2013”, que dan cumplimiento a los objetivos planteados en los términos básicos de referencia. Este proyecto fue ejecutado por el Instituto de Fomento Pesquero a requerimiento del Consejo de Investigación Pesquera, para dar respuesta a las necesidades de investigación y la posterior adopción de medidas de administración de la pesquería de anchoveta de la Zona Norte.

Este proyecto busca cuantificar, mediante la aplicación del Método de Producción de Huevos, la biomasa desovante de anchoveta entre Arica (18°25’S) y Carrizalillo (26°03’S) y además, incrementar la comprensión de la distribución y abundancia de huevos en asociación con las condiciones ambientales. Para esto se realizaron los cruceros correspondientes al módulo de huevos y al módulo de adultos durante agosto y septiembre de 2013, periodo de mayor actividad reproductiva de la especie.

El crucero de huevos se realizó entre el 14 de agosto y el 11 de septiembre de 2013 a bordo del PAM “Raulí”, perteneciente a la empresa pesquera CORPESCA S.A. y arrendado para estos efectos. El diseño de muestreo aplicado contempló una grilla sistemática de 47 transectas localizadas perpendiculares a la costa y espaciadas cada 10 mn, lo que permitió cubrir un área de 36.696 mn². En cada transecta, en general se efectuaron 17 estaciones separadas cada 5 mn, las que abarcaron hacia el oeste hasta las 80 mn. Se realizó un total de 770 estaciones bio-oceanográficas (huevos-CTD) de las 799 programadas.

Los cruceros de adultos se efectuaron durante la veda reproductiva de anchoveta, empleando las naves “Cormorán”, “Don Gino” y “Bandurria” de la Empresa Pesquera CORPESCA y “Claudia Alejandra” de Empresa Pesquera Camanchaca, arrendadas para estos efectos y que fueron autorizadas mediante Resolución de Pesca de Investigación de la SUBPESCA número 2245 (9/08/2013). Las naves operaron en viajes de 5 días en las cuatro subzonas en que se subdividió el área de estudio. Adicionalmente, para garantizar el número de lances con pesca requeridos, en la primera semana de agosto y en septiembre una vez terminada la veda, se realizaron muestreos de adultos en la pesquería; de igual manera, durante el periodo de veda, el IFOP ejecutó la pesca de investigación “Monitoreo reproductivo de anchoveta, entre la XV y II Región, 2013” con cinco naves, oportunidad que se aprovechó la plataforma de muestreo para la recolección de ejemplares adultos. En total se realizaron 89 lances en la zona de estudio, de los cuales 48 lances fueron efectivos.

De acuerdo al seguimiento de los indicadores reproductivos en la pesquería, el 2013 la anchoveta presentó un proceso de maduración gonadal anómalo, ya que no se manifestó el reposo relativo de otoño que caracteriza el patrón reproductivo de esta especie. Sin embargo, el periodo de máxima intensidad de desove se afianzó entre la tercera semana de julio y la primera semana de agosto y se mantuvo hasta fines de septiembre, resultado que sustenta el periodo de realización de los cruceros de investigación.

La condición oceanográfica en la zona de estudio se presentó como localmente neutra, en concordancia con la condición regional normal que se presenta desde abril de 2012 y que es el periodo neutro más prolongado de los últimos 12 años.

Los procesos de surgencia costera habituales para la zona de estudio se presentaron en intensidad débil a moderada en la mitad norte y débil en la mitad sur, condiciones que permitieron que las mayores concentraciones superficiales de clorofila se ubicaran en general entre Arica y Antofagasta, mientras que las menores concentraciones se ubicaron en las áreas donde hubo penetración de agua oceánica hacia la costa y también al sur de Antofagasta. La información de clorofila satelital señala que en agosto de 2013 se presentó la concentración promedio más baja de los meses de agosto de toda la serie satelital analizada.

El 2013, la distribución espacial de huevos disminuyó respecto a los dos años anteriores, registrándose un índice de ocupación de un 37 % con un núcleo relevante de desove en las cercanías de Arica e Iquique. El área de desove se estimó en 10.819 m², lo cual representa una cobertura de desove inferior al promedio de la serie 1992-2012.

Por su parte, en el 2013 la abundancia de huevos fue la tercera más baja del periodo 1992-2013. Así también, en el 2013, la intensidad del desove estimada en relación a las estaciones positivas fue de 31 huevos/0,05 m² mientras que la densidad referida a las estaciones totales alcanzó a 8 huevos/0,05 m², niveles inferiores en un 39% y un 58% respecto a los estimados en invierno de 2012, respectivamente.

La producción diaria de huevos estimada con el modelo de Lo fue de 55,07 huevos/0,05 m²/día, con un coeficiente de variación (CV) de un 28 %. En tanto, con el modelo multinomial se estimó en 58,27 huevos/0,05 m²/día y la precisión fue muy similar al modelo anterior. Por su parte, la fracción diaria de hembras desovantes se estimó en 0,24 con un CV del 7,7%.

De los restantes parámetros requeridos para estimar la biomasa desovante de anchoveta, la fecundidad media poblacional se estimó en 15.027 ovocitos; la proporción de hembras en peso en 0,53 y el peso promedio de hembras maduras en 24,5 g. Parámetros que se estimaron con una alta precisión, que se refleja en CV inferiores al 3,5 %.

La biomasa desovante de anchoveta para el 2013 estimada por el modelo tradicional de Lo fue de 520.336 t, mientras que a través del Modelo Multinomial se estimó en 550.629 t, ambos con un CV cercano a 53%, valor de biomasa similar a los dos años anteriores pero con una precisión estimada menor. Esta alta incertidumbre en la estimación de la biomasa está determinada principalmente por la precisión de la estimación de la producción diaria de huevos.

Las mayores densidades medias de huevos en un contexto histórico de los MPH, correspondieron a los años 1997, 2000, 2002, 2004, 2005, 2011 y el 2012, estos dos últimos años con una alta proporción de estaciones con huevos, comparada con el promedio histórico. Mientras que el 2013 junto a los años 1996, 2001, 2007 y 2009 presentan las menores densidades medias.

La presencia de huevos de anchoveta se encuentra positivamente relacionada con la temperatura y la salinidad superficial, y en algunos años se presentan formas típicas a las encontradas para la ventana ambiental óptima. Por su parte, la densidad de huevos también se presenta positivamente relacionada con la temperatura superficial, pero respecto de la salinidad tiende a aparecer aleatoriamente relacionada.

El área al norte de los 23° S presenta las condiciones oceanográficas más favorables para el desove de anchoveta, proceso que es principalmente costero.



Las estimaciones de probabilidad de presencia de huevos de anchoveta permiten identificar tres áreas de desove recurrentes, la principal que va desde el sur de Iquique hasta el río Loa, una en la zona costera de Arica y otra en el área costera de Antofagasta. Zonas de desove ocasionales se ubicaron desde el límite norte de la zona prospectada hasta los 23,6° S, principalmente al norte de Pisagua, en Iquique, en una amplia zona al frente de Tocopilla y desde Mejillones al sur.

I. EXECUTIVE SUMMARY

This document report all activities carried out within the framework of FIP Project N° 2013-06 “Stock assessment of spawning anchovy in Regions XV, I and II, 2013”, to achieve the objectives stated in the terms of reference. This project was executed by Instituto de Fomento Pesquero at the request of the Fisheries Research Council, to respond to research needs and the subsequent adoption of management measures in the northern anchovy fishery.

This Project seeks to quantify spawning biomass for anchovy between Arica (18°25'S) and Carrizalillo (26°03'S) through the use of the Egg Production Method, and increase knowledge about the distribution and abundance of eggs in association with environmental conditions. To this end, surveys were carried out of egg and adult modules in August and September, 2013, period in which this species displays the highest reproduction activity.

The egg survey took place from August 14th until September 11, 2013 on board the PAM “Raulí”, property of the fishing company CORPESCA S.A. and leased for this purpose. The sampling design used envisaged a systematic grid with 47 transects located perpendicular to the coast and separated each 10 mn, covering an area of 36.696 mn². In general, 17 stations were located at each transect, separated each 5 mn, reaching 80 mn westward. A total of 770 bio-oceanographic stations were installed (eggs-CTD) out of the 799 programmed stations.

Adult surveys were performed during the reproductive closure for anchovy with the use of vessels “Cormorán”, “Don Gino” and “Bandurria” property of the fishing Company CORPESCA and “Claudia Alejandra” property of the fishing company Camanchaca, leased for this purpose and authorized by means of a Fisheries

Research Resolution number 2245 issued by SUBPESCA (9/08/2013). The vessels operated throughout 5 day trips in the four subzones in which the study area was subdivided. Additionally, to ensure the required number of sets with capture of fish, samples of the adults in the fishery were taken once the closure was lifted, during the first week of August and September. During the closure, IFOP conducted a fishing research operation entitled "Reproductive monitoring of anchovy between Regions XV and II, 2013". The operation was carried out with five vessels, and the sampling platform was used to collect adult individuals. In total, 89 sets were made in the study zone, of which 48 were effective.

According to the follow ups of the reproductive indicators in the fishery, in 2013 anchovy showed an anomalous gonadic maturation, since the relative resting period in autumn which characterizes the reproductive pattern in this species, was not observed. Nevertheless, the maximum spawning intensity occurred between the third week of July and the first week of August, and continued until the end of September. The surveys are driven by the results from such period.

The oceanographic condition of the study area appeared to be locally neutral, in accordance with the normal regional condition that prevailed from April 2012, considered to be the most prolonged neutral period in the last 12 years.

The usual coastal upwelling processes in the study area displayed a weak to moderate intensity in the northern half and weak in the southern half. These conditions allowed for higher surface concentrations of chlorophyll between Arica and Antofagasta, while the lowest concentrations were detected in areas with displacement of ocean water toward the coast and also south of Antofagasta. Satellite chlorophyll information indicates that the average lowest concentration of the complete satellite series was recorded in August 2013.

In 2013, the spatial distribution of eggs decreased in comparison to previous years, and a 37% occupancy index with a relevant spawning nucleus near by Arica and Iquique. The spawning area was estimated in 10.819 mn^2 , accounting for a spawning coverage below the average level of the 1992-2012 series.

On the other hand, in 2013 egg abundance was the third lowest in the 1992-2013 periods. Additionally, in 2013, the estimated spawning intensity with relation to positive stations was 31 eggs/ $0,05 \text{ m}^2$ while the density accounting for the total number of stations reached 8 eggs/ $0,05 \text{ m}^2$, levels 39% and 58% compared to the spawning intensity estimated in winter of 2012, respectively.

The daily egg production estimated with the Lo model was 55,07 eggs/ $0,05 \text{ m}^2/\text{day}$, with a coefficient of Variation (CV) of 28%. Whereas 58,27 eggs/ $0,05 \text{ m}^2/\text{day}$ was estimated with the multinomial model, with a level of accuracy very similar to the previous model. For its part, the daily fraction of spawning females was estimated at 0,24 with a CV of 7,7%.

As to the other parameters required to estimate the spawning biomass of anchovy, the mean stock fecundity was estimated at 15.027 ovocytes; the proportion of females in weight at 0,53 and the average weight of mature females at 24,5 g. These parameters were estimated with a high level of accuracy, which is reflected in a CV under 3,5 %.

The traditional Lo model estimated the spawning anchovy biomass for 2013 in 520.336 t, while the Multinomial model estimated 550.629 t, both with a CV close to 53%, a level of biomass similar to the two previous years but with a lower estimated accuracy. This high uncertainty in biomass estimation is mainly determined by the accuracy of the daily egg production estimation.

Within a historical context, the highest mean egg densities of MPH were recorded in years 1997, 2000, 2002, 2004, 2005, 2011 and 2012. The last two years displayed a high proportion of stations with eggs, compared to the historical average. While in 2013, together with 1996, 2001, 2007 and 2009 show the lowest mean densities.

The presence of anchovy eggs shows a positive relationship with temperature and surface salinity, and some years display typical forms found in the optimal environmental window. On the other hand, egg density displays a positive relationship with surface temperature, but seems to have a random relationship with salinity.

The area north of 23° S displays the most favorable oceanographic conditions for anchovy spawning, a process that is mainly coastal.

Probability estimations related to the presence of anchovy eggs led to the identification of three recurrent spawning areas, the main area distributed between Southern Iquique and Loa River, one in the coastal zone of Arica and another in the coastal area of Antofagasta. Occasional spawning zones are located from the northern limit of the prospected zone up to 23,6° S, mainly north of Pisagua, in Iquique, in an extensive area off of Tocopilla and southward from Mejillones.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N INVESTIGACI3N PESQUERA

II. ÍNDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN EJECUTIVO / EXECUTIVE SUMMARY	1
II. ÍNDICE GENERAL	11
III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS.....	13
IV. OBJETIVOS.....	29
1. Objetivo general	29
2. Objetivos específicos	29
V. ANTECEDENTES GENERALES.....	30
VI. DESARROLLO METODOLÓGICO	39
1. Zona de estudio y plan de muestreo	39
2. Monitoreo reproductivo que fundamentó el inicio y término del crucero	41
3. Crucero ictioplanctónico. Plan de muestreo	52
4. Crucero adultos	55
5. Metodología por objetivo específico	61
5.1 Objetivo específico 2.1	61
5.2 Objetivo específico 2.2	64
5.3 Objetivo específico 2.3	75
5.4 Objetivo específico 2.4	78
5.5 Objetivo específico 2.5	88
5.6 Objetivo específico 2.6	92
5.7 Objetivo específico 2.7	96
5.8 Objetivo específico 2.8	98
VII. RESULTADOS	111
1. Monitoreo reproductivo que fundamentó el inicio del crucero	111
2. Crucero ictioplanctónico.	113
3. Crucero adultos	113

3.1	Número de lances en muestreo de adultos	113
3.2	Número de anchovetas muestreadas en cada lance	114
3.3	Distribución espacial de anchoveta	114
3.4	Distribución de tamaños de ejemplares de anchoveta	115
4.	Objetivo específico 2.1	115
5.	Objetivo específico 2.2	118
6.	Objetivo específico 2.3	143
7.	Objetivo específico 2.4	144
8.	Objetivo específico 2.5	146
9.	Objetivo específico 2.6	151
10.	Objetivo específico 2.7	152
11.	Objetivo específico 2.8	153
VIII.	DISCUSIÓN	167
IX.	BASE DE DATOS FIP N° 2013-06	181
X.	CONCLUSIONES	187
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	191

FIGURAS

TABLAS

ANEXOS:

- Anexo 1.** Instructivo de muestreo: Utilizado a bordo por parte de los Observadores Científicos.
- Anexo 2.** Procedimientos de recopilación, transmisión, validación y almacenamiento de datos.
- Anexo 3.** Taller 1 de Coordinación de Actividades (23 julio 2013).
Taller 2 Presentación de Resultados (01 abril 2014).
(Se adjunta CD con Presentaciones del Taller).
- Anexo 4.** Personal participante por actividad (HH). FIP N° 2013-06.

III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

FIGURAS

- Figura 1.** Serie histórica de las capturas de anchoveta y sardina española extraída por la flota cerquera en la Zona Arica – Antofagasta (Fuente: IFOP).
- Figura 2.** Grilla de 799 estaciones de huevos propuesto y rango latitudinal de operación de los barcos cerqueros industriales que trabajaron en forma conjunta, en la recolección de adultos de anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2013.
- Figura 3.** Ubicación geográfica de a) estaciones oceanográficas y b) estaciones con muestreo de clorofila y oxígeno (estaciones oceanográficas profundas). Crucero MPH - Invierno 2013.
- Figura 4.** Coeficiente de Variación de fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta (FPO de día 1), para diferentes combinaciones de tamaños de muestra de lances y hembras muestreadas por lance. Año 2000 y 2002.
- Figura 5.** Coeficiente de Variación de fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta (FPO de día 2), para diferentes combinaciones de tamaños de muestra de lances y hembras muestreadas por lance. Año 2000 y 2002.
- Figura 6.** Coeficiente de Variación de fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta (FPO de día 1 y de día 2), para diferentes combinaciones de tamaños de muestra de lances y hembras muestreadas por lance. Año 2000 y 2002.
- Figura 7.** Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial (N^0) para anchoveta de la zona norte en base a 1035 hembras.

- Figura 8.** Gráfica de los intervalos de confianza interanuales para los parámetros rango, efecto pepita y umbral parcial del modelo exponencial para el ajuste del variograma.
- Figura 9.** Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta. Series históricas 1987-1993; 1999-2001; 2005-2009 y años 2008 al 2013. La línea horizontal representa el valor referencial de actividad reproductiva.
- Figura 10.** Variación semanal del IGS promedio histórico 2000-2012 y en el 2013. La línea indica el valor referencial de actividad reproductiva.
- Figura 11.** Variación mensual del índice de actividad de desove (IAD) y del índice de atresia ovárica (IAO). Ciclo anual 2001 a 2003, y entre junio de 2008 y septiembre de 2013. La línea horizontal representa el IAD referencial ($\geq 25\%$) que define el periodo de la máxima intensidad de desove (MID).
- Figura 12.** Variación semanal del IAD promedio histórico 1999-2012 y en el 2013. La línea horizontal representa el IAD referencial ($\geq 25\%$) que define el periodo de la máxima intensidad de desove (MID).
- Figura 13.** Variación semanal del IAO promedio histórico 1999-2012 y en el 2013.
- Figura 14.** Distribución espacial de los lances de pesca. Crucero MPH – Invierno 2013.
- Figura 15.** Distribución de tamaños de anchoveta capturadas entre las XV, I y II Regiones. a) por sexo (M: machos, H: hembras), b) total. Crucero MPH 2013.
- Figura 16.** Distribución de la densidad promedio de huevos de anchoveta con respecto a) a la distancia de la costa y b) a la latitud. Crucero MPH – Invierno 2013.

- Figura 17.** Distribución y abundancia de huevos de Anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2013.
- Figura 18.** Distribución geográfica de las estaciones positivas y negativas a la presencia de huevos de anchoveta. Crucero MPH – Invierno 2013.
- Figura 19.** Distribución espacial y abundancia de huevos de Anchoveta. Cruceros MPH Inviernos 1992 - 2013.
- Figura 20.** Densidad media de huevos de anchoveta ($N^{\circ}/0,05 \text{ m}^2$) estimada a través del estimador de la media de una distribución delta, período 1992 – 2013.
- Figura 21.** Relación entre la proporción de estaciones positivas y el coeficiente de variación de la densidad media de huevos anuales estimados mediante el método delta. Periodo 1992.2013.
- Figura 22.** Proporción de estaciones positivas (con huevos), período 1992 – 2013.
- Figura 23.** Distribución espacial de los lances de pesca v/s la densidad de huevos de anchoveta. Crucero MPH Invierno 2013.
- Figura 24.** Cartas del viento horario de intensidad a) menor a 5 m/s, b) 5 a 10 m/s, c) mayor a 5 m/s, d) viento con componente norte. Crucero MPH - Invierno 2013.
- Figura 25.** Cartas de a) promedios del índice de surgencia y b) promedios de turbulencia. Los promedios se obtuvieron de mediciones del viento de las estaciones dentro de 1° de latitud. Crucero MPH - Invierno 2013.
- Figura 26.** Distribución superficial de a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad y d) anomalía de salinidad. Crucero MPH - Invierno 2013.

- Figura 27.** 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 en el nivel de 50 m de profundidad y d) diferencia de salinidad entre superficie y el nivel de 50 m. Crucero MPH - Invierno 2013.
- Figura 28.** Distribución de a) Densidad superficial ($\sigma\text{-t}$) kg/m^3 , b) profundidad de la isoterma de 15°C (m) y c) anomalía de profundidad de la isoterma 15°C (m). Crucero MPH - Invierno 2013.
- Figura 29.** Distribución de a) espesor de la capa de mezcla (m), b) concentración de oxígeno disuelto superficial (mL/L) y c) profundidad de la concentración de 1 mL/L de OD (m). Crucero MPH - Invierno 2013.
- Figura 30.** Distribución de a) clorofila a superficial ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmento superficial ($\mu\text{g/L}$), c) clorofila integrada (mg/m^2) y d) feopigmentos integrados (mg/m^2) Crucero MPH - Invierno 2013.
- Figura 31.** Distribución vertical de temperatura (°C) en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 32.** Distribución vertical de temperatura (°C) de los primeros 100 m en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 33.** Distribución vertical de salinidad en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 34.** Distribución vertical de salinidad de los primeros 100 m en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 35.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$) en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 36.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$) de los primeros 100 m en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.

- Figura 37.** Anomalía vertical de temperatura (°C) y salinidad 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 2013.
- Figura 38.** Distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L), transectas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 39.** Distribución vertical del porcentaje de participación de la masa de agua Subtropical (AST) en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 40.** Distribución vertical del porcentaje de participación de la masa de agua Subantártica (ASAA) en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 41.** Distribución vertical del porcentaje de participación de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 42.** Distribución vertical clorofila-a (µg/L), transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 43.** Distribución vertical feopigmentos (µg/L), transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.
- Figura 44.** Valores medios estimados de clorofila integrada (mg/m²) para los cruceros MPH entre 2004 y 2013, según estimadores de razón y geoestadístico..
- Figura 45.** Índice de surgencia cada 3 horas 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 noviembre de 2013 (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile).

- Figura 46.** Índice de surgencia cada 3 horas 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 noviembre de 2013, filtrado con medias móviles de 15 pesos (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile).
- Figura 47.** Anomalía del IS 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 noviembre de 2013, filtrado con medias móviles de 15 pesos (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile).
- Figura 48.** Temperatura superficial del mar (°C) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales entre los días a) 14 al 20 de agosto, b) 21 al 28 de agosto, c) 29 de agosto al 5 de septiembre y d) 6 al 13 de septiembre de 2013.
- Figura 49.** Anomalía de la temperatura superficial del mar (°C) de la imagen del satélite MODIS-A correspondiente al promedio del mes de agosto y septiembre de 2013.
- Figura 50.** Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales entre los días a) 14 al 20 de agosto, b) 21 al 28 de agosto, c) 29 de agosto al 5 de septiembre y d) 6 al 13 de septiembre de 2013. La línea negra marca la isolínea de $1 \mu\text{g/L}$.
- Figura 51.** Anomalía del nivel del mar (cm) y velocidad geostrofica (cm/s) provenientes de la combinación de los satélites ERS, Topex y Jason, correspondientes a los días a) 16 de agosto, b) 24 de agosto, c) 1 de septiembre y d) 8 de septiembre de 2013.
- Figura 52.** a) Serie de tiempo del Indicador Ecuatorial Multivariado (MEI) y b) serie de rangos de intensidad de los periodos cálidos y fríos asociados al valor MEI para el periodo Julio 2002 – febrero 2014. Fuente: NOAA (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>).

- Figura 53.** Series de tiempo para el período julio 2002 - febrero 2014 de a) MEI, b) rangos MEI y clasificación ENOS, c) promedio de ATSM (°C) entre las latitudes 18° a 26°S en el sector costero y oceánico. Promedio de ATSM (°C) al norte y sur de los 23°S sector d) costero y e) oceánico. Diagrama Hovmöller de ATSM f) costero y g) oceánico, para el área total, latitudes 18° a 26°S.
- Figura 54.** Series de tiempo para el período julio 2002 - febrero 2014 de a) rangos MEI y clasificación ENOS, b) MEI, y c) promedio de la concentración de clorofila satelital ($\mu\text{g/L}$) (cloas) entre las latitudes 18° a 26°S en el sector costero. Promedio de cloas ($\mu\text{g/L}$) al norte y sur de los 23°S en el sector d) costero y e) oceánico. Diagrama Hovmöller de cloas f) costero y g) oceánico, para el área total, latitudes 18° a 26°S.
- Figura 55.** Distribución de tallas de las hembras muestreadas en cada año de aplicación del método de producción de huevos en la zona norte.
- Figura 56.** 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 57.** Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubación.
- Figura 58.** Estimaciones de Producción diaria de huevos ($\text{N}^{\circ}/0,05 \text{ m}^2/\text{día}$), ponderado por la proporción del área de desove respecto del área de crucero, para anchoveta de la zona norte en base a las dos metodologías aplicadas
- Figura 59.** Distribución temporal de los estadios madurez microscópica y FPO de la zona norte de Chile. Líneas azules verticales representan la distribución horaria de los lances de pesca. Líneas segmentadas verticales las 24:00 h. Línea roja representa un ajuste de distribución Gamma (Con hora acumulada a partir de las 12:00). Información acumulada del 2004 al 2012.

- Figura 60.** Edades medias de los estadios de FPO según ajuste por modelo de tipo Gamma en base a la hora acumulada a partir de las 00:00. Círculos: Edades medias. Líneas verticales: Desviación estándar.
- Figura 61.** Proporción de FPO por estrato de peso corporal (Descontado el peso del ovario) de las hembras. Se indica el número de hembras en cada estrato. Línea segmentada es el promedio de la proporción de FPO de 0,45.
- Figura 62.** Proporción de FPO en función de la hora para la zona norte. Se indica el número de hembras en cada hora.
- Figura 63.** Conceptualización y proyección de la Proporción FPO en función de la hora del día (Mismos datos de figura 57. Se repite información de las 24 a 48 horas), para el estadio Vitelado. Círculos negros son los datos considerados en la proyección (Línea segmentada). Círculos blancos no son considerados en proyección por estar en la hora pico de desove (23:00 h). Flecha azul indica hora en que la proporción de FPO sería cero (Ausencia de FPO = Total reabsorción).
- Figura 64.** Proporción de FPO en función de la hora para la zona norte por estrato de peso corporal (Descontado el peso del ovario).
- Figura 65.** Proporción de FPO en estadios 1 al 4 (izquierda) y 5 al 7 (derecha) de acuerdo a la hora de captura. Base de datos histórica de 15222 hembras; 3141 con FPO 1 al 4 y 2578 con FPO 5 al 7.
- Figura 66.** Proporción de huevos en estadio 1 colectados en el plancton. Base de datos de las aplicaciones del MPH desde 1992 al 2011. Media estimada según ajuste normal de 23,7 horas y desviación estándar de 1,59 horas (Línea roja). Sobre las barras se entrega el número de huevos colectados en cada hora.
- Figura 67.** Fecundidad parcial en función del peso corporal para el año 2013.

- Figura 68.** Regresiones de Fecundidad parcial en función del Peso Corporal para distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.
- Figura 69.** Biomosas desovantes estimadas en cada año de aplicación del Método de producción Diaria de Huevos.
- Figura 70.** Áreas de crucero y de desove para cada año de aplicación del Método de producción Diaria de Huevos.
- Figura 71.** Distribución espacial y temporal de huevos de anchoveta. Período 1992-2013.
- Figura 72.** Distribución espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Período 1992-2013.
- Figura 73.** Distribución espacial y temporal de la salinidad superficial. Período 1992-2013.
- Figura 74.** Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de: a) temperatura (°C) y b) salinidad. Período 1992-2013.
- Figura 75.** Índices de ocupación (IOC) de las distribuciones de huevos de anchoveta. Período 2005-2013.
- Figura 76.** Frecuencia acumulada y rangos de preferencia de huevos de anchoveta en relación: a) temperatura y b) salinidad. Crucero 2013.
- Figura 77.** Distribución espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de huevos de anchoveta. Período 1992-2013.
- Figura 78.** Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura y salinidad superficial sobre la variable densidad de huevos de anchoveta, ajustado un modelo poisson-compuesto (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta y líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza.

- Figura 79.** Tendencias de los índices por año obtenidos del ajuste del modelo GAM para la densidad de huevos de anchoveta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza.
- Figura 80.** Variaciones anuales en la ocurrencia espacial y densidad de huevos de anchoveta (*Engraulis ringens*). Proporción de estaciones con huevos (barras) y densidad geométrica media anual de huevos (línea) con los intervalos de confianza del estimador al 95%.
- Figura 81.** Histograma de frecuencia para los valores de la primera función discriminante para los diferentes años.
- Figura 82.** Histograma de frecuencia para los valores de la segunda función discriminante para los diferentes años.
- Figura 83.** Gráfico de las dos principales funciones discriminantes que definen las condiciones ambientales donde los huevos de anchoveta fueron recolectados. Valores positivos del primer eje discriminante están fuertemente correlacionado con la temperatura y los valores positivos.
- Figura 84.** Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la temperatura superficial del mar para el período 1995-2013. La parte oscura de la caja representa el 25% y 75% de la distribución de probabilidad de la variable y la línea entre esos rango es el promedio.
- Figura 85.** Rangos de distribución preferencial de huevos de anchoveta respecto de la salinidad superficial del mar para el período 1995-2013. La parte oscura de la caja representa el 25% y 75% de la distribución de probabilidad de la variable y la línea entre esos rango es el promedio.
- Figura 86.** Coeficientes de los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) para anchoveta en función de la temperatura superficial del mar. La líneas punteadas alrededor de la línea negra (valor de los coeficientes del

GAM) indica los intervalos de confianza al 95% y la línea punteada horizontal indica el nivel cero.

Figura 87. Coeficientes de los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) para anchoveta en función de la salinidad superficial del mar. La líneas punteadas alrededor de la línea negra (valor de los coeficientes del GAM) indica los intervalos de confianza al 95% y la línea punteada horizontal indica el nivel cero.

Figura 88. Resultados del análisis cuociente para la caracterización del hábitat del desove de anchoveta en relación de la temperatura superficial del mar. Histograma de frecuencia representa el número de observaciones dentro de cada categoría, la línea continua representa el valor cuociente de la concentración de huevos. La línea punteada horizontal representa la hipótesis nula de que la distribución de huevos es aleatoria con respecto a la de la variable ambiental.

Figura 89. Resultados del análisis cuociente para la caracterización del hábitat del desove de anchoveta en relación de la salinidad superficial del mar. Histograma de frecuencia representa el número de observaciones dentro de cada categoría, la línea continua representa el valor cuociente de la concentración de huevos. La línea punteada horizontal representa la hipótesis nula de que la distribución de huevos es aleatoria con respecto a la de la variable ambiental.

Figura 90. Variogramas teóricos ajustados al variograma experimental mediante los modelos no-lineales con efectos mixtos para la anchoveta durante el periodo de estudio. La línea punteada representa el variograma teórico con sólo efectos fijos, la línea continua representa el variograma teórico con efectos fijos y aleatorios y los puntos representan las estimaciones del variograma empírico.

Figura 91. Distribución espacial del hábitat del desove realizado para anchoveta durante el periodo de estudio. Escala de colores es proporcional a la probabilidad de presencia de huevos.

- Figura 92.** Mapa promedio y de variabilidad del desove realizado para anchoveta durante el periodo 1995-2013.
- Figura 93.** Zona espacial de: recurrente, ocasional y desfavorable áreas de desove de anchoveta para la zona norte de Chile.
- Figura 94:** Relación entre área de desove (m^2) y la Biomasa desovante (ton) según modelo de Lo y Multinomial.
- Figura 95:** Relación entre el área de desove y la producción diaria de huevos ($N^{\circ}/0,05 m^2/día$) (Arriba) y la proporción del área de desove respecto del área de crucero (Abajo) según la asignación de edad según el Modelo de Lo (izquierda) y Multinomial (Derecha). Círculo rojo es 2013.
- Figura 96:** Relación entre el área de desove (m^2) y la captura total del año (t). Captura para el año 2013 es una cifra preliminar al 8 de diciembre.
- Figura 97:** Relación entre la proporción del área de desove respecto del área de crucero y la captura total del año (t). Captura para el año 2013 es una cifra preliminar al 8 de diciembre.
- Figura 98:** Relación entre el Po ponderado (Producto del Po del ajuste del modelo de decaimiento con la proporción del área de desove respecto del área de crucero) y la biomasa estimada según modelo de Lo y Multinomial.
- Figura 99:** Producción diaria de huevos estimada en cada año durante el pico de desove (agosto-septiembre) en función de las capturas del primer semestre de cada año.

TABLAS

- Tabla 1.** Caracterizaci3n microsc3pica para determinar la fase de madurez gonadal en hembras de anchoveta (Sep3lveda *et al.*, 1999).
- Tabla 2.** Clasificaci3n histol3gica de los fol3culos postovulatorios (FPO) de anchoveta, seg3n grado de degeneraci3n (Claramunt *et al.*, 2007).
- Tabla 3.** Par T-S tipo de las masas de agua para el periodo de invierno utilizados en el c3lculo de porcentaje de participaci3n de masa de agua (PPMA).
- Tabla 4.** Clasificaci3n de los estadios de desarrollo embrionario. (Santander *et al.*, 1984).
- Tabla 5.** Caracter3sticas de los estadios morfo histol3gicos de los fol3culos postovulatorios (FPO) de *Engraulis encrasicolus* (ICES, 2005; Alday *et al.*, 2006).
- Tabla 6.** Variaci3n semanal de los indicadores reproductivos (IGS, IAD e IAO) de la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta, enero-septiembre, 2013.
- Tabla 7.** Posici3n geogr3fica de los lances efectuados durante el crucero MPH, m3dulo adultos, en la XV, I y II Regi3n, agosto - septiembre 2013.
- Tabla 8.** Resultados de los cruceros de huevo para las distintas aplicaciones del MPH.
- Tabla 9.** Resultados de los estimadores de Raz3n y Geoestad3stico para la clorofila integrada de la serie cruceros entre 2004 y 2013.
- Tabla 10.** Resumen de los datos de los lances. Hora del lance (hora y fracci3n de hora), n3mero de hembras (n), Estadios de Madurez Microsc3pica (EMM), Fol3culos postovulatorios (FPO), peso total (PT; Corregido), fecundidad parcial estimada (FECUNDIDAD) y Proporci3n de hembras en peso (Prop. Hembras).

- Tabla 11.** 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 12.** Resultados del ajuste del modelo probabilístico para la edad de los estadios de huevos en anchoveta zona norte.
- Tabla 13.** 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° huevos/ m^2 /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.
- Tabla 14.** Número de lances y total de hembras muestreadas en los distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.
- Tabla 15.** 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 2012. EMM 5: Estadio de núcleo migrante. EMM 6: Hembras hidratadas.
- Tabla 16.** Parámetros del ajuste de un modelo de distribución tipo Gamma 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. EMM 5: Estadio de núcleo migrante. EMM 6: Hembras hidratadas.
- Tabla 17.** Estimaciones de fracción desovante diaria según la clasificación en 7 estadios de FPO. Fracción desovante FPO 0 corresponde a la utilización de los estadios de núcleo migrante e hidratadas. Fracción desovante FPO 1 corresponde a la utilización de FPO de estadios I al IV.

- Tabla 18.** Número total de hembras por estadio de madurez y proporción con o sin FPO, zona Norte.
- Tabla 19.** Parámetros de las regresiones entre fecundidad parcial y peso corporal para cada año de aplicación del MPH en la zona norte de Chile.
- Tabla 20.** Parámetros de adultos obtenidos en las distintas aplicaciones del MPH en la zona norte.
- Tabla 21.** Estimaciones de la producción diaria de huevos (huevos/0,05 m²/día), su varianza y coeficiente de variación (CV, %), área de desove, área de estudio y biomasa de anchoveta encada año de aplicación del método. (*: Se utilizó función global de fecundidad parcial).
- Tabla 22.** Análisis de devianza para los efectos de las covariables en el ajuste del modelo GAM para la densidad de huevos de anchoveta. Desde los años 1995 a 1997, 1999 al 2009, 2011 al 2013.
- Tabla 23.** Razón entre la devianza explicada por el único predictor ambiental y la del modelo nulo para los diferentes años del periodo de estudio.
- Tabla 24.** Prueba de Kolmogorov-Smirnov para las curvas derivadas de la densidad de huevos de anchoveta y las variables ambientales.
- Tabla 25.** Resumen del modelo no-lineal con efectos mixtos para el ajuste del variograma considerando todos los parámetros (nugg, psil y rang) como efectos combinados.
- Tabla 26.** Resumen del modelo no-lineal con efectos mixtos para el ajuste del variograma considerando el efecto pepita (nugg) y el rango (rang) como efectos fijos y el umbral parcial (psil) como efecto aleatorio.
- Tabla 27.** Parámetros del modelo exponencial del variograma para anchoveta durante el periodo de estudio, los efectos aleatorios son mostrados en negrita e itálica.

ANEXOS

- Anexo 1.** Instructivo de muestreo: Utilizado a bordo por parte de los Observadores Científicos.

- Anexo 2.** Procedimientos de recopilación, transmisión, validación y almacenamiento de datos.

- Anexo 3.** Taller 1 de Coordinación de Actividades (23 julio 2013)
Taller 2 Presentación de Resultados (01 abril 2014).
(Se adjunta CD con Presentaciones del Taller).

- Anexo 4.** Personal participante por actividad (HH). FIP N° 2013-06.

IV. OBJETIVOS

1. 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.

2. Objetivos específicos

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

V. ANTECEDENTES GENERALES

En la zona norte de Chile, es posible identificar tres periodos en el desarrollo de la pesquería pelágica, el primero de 1955 a 1976 que se basó casi exclusivamente en la extracción de anchoveta (*Engraulis ringens*), donde se observó un crecimiento sostenido del recurso hasta 1966 alcanzando 1,1 millones de t, para luego registrar una fuerte reducción de las capturas, siendo más notable posterior al evento El Niño 1972–73, con niveles promedio de 330 mil t (1974–1976). El segundo período comienza a mediados de la década del 70 y corresponde a una etapa de bajas capturas de anchoveta y un aumento notable en la abundancia de sardina española (*Sardinops sagax*), especie que sostuvo la pesquería hasta fines de la década del 80 con capturas promedio de 1,8 millones de t entre 1978 y 1980. El tercer periodo se establece desde mediados de los 80 y se caracteriza por una mayor abundancia de anchoveta y el colapso de la sardina española, donde las capturas se estabilizan en torno a los 1,3 millones de t, cifra que fue disminuyendo para promediar las 850 mil t en el período 2006 – 2012.

En la **Figura 1** se muestra la evolución de las capturas de anchoveta y sardina española de la flota cerquera en la Zona de Arica – Antofagasta. Al respecto, la pesquería de pequeños pelágicos ha presentado tres períodos: el primero de 1955 a 1976, basado en la extracción de anchoveta donde se observó un rápido crecimiento de la captura hasta llegar a 1,1 millón t en 1966, para luego fluctuar en torno a las 800 mil t (1967-1971) y disminuir a niveles de 330 mil t posterior al evento El Niño 1972-73. El segundo período comienza a mediados de la década del 70 y corresponde a una etapa de baja captura de anchoveta y un aumento notable en la abundancia de sardina española, especie que sostuvo la pesquería hasta fines de la década del 80, con un registro de captura máxima de 2,6 millones de t en 1986, posteriormente ésta declina y se llegan a niveles inferiores

a 50 mil t entre 1995 y 2001 (excepto 1999 que alcanzó 226 mil t), para prácticamente desaparecer de la actividad extractiva a partir del 2004. El tercer período comienza a mediados de los 80 y se caracteriza por una mayor abundancia de anchoveta y fluctuaciones importantes de las capturas, en torno a las 850 mil t, con un máximo histórico de 1,9 millones de t en 1994. En los dos últimos años, 2012 y 2013, la captura de anchoveta alcanzó las 700 mil t.

Claramente los desembarques en esta zona muestran grandes oscilaciones, asociadas a la inestabilidad del stock, provocada por la sobreexplotación del recurso y las fluctuaciones en las condiciones ambientales que ocurren a diferentes escalas temporales y espaciales (Martínez *et al.*, 1995; Yáñez *et al.*, 1995; Yáñez *et al.*, 2001; Yáñez *et al.*, 2005, Böhm *et al.*, 2014). Cabe señalar que aparte del fenómeno "El Niño", la zona norte está afectada por otros procesos físicos importantes como "El Viejo" y las ondas atrapadas a la costa (OAC). Además en esta zona ocurren procesos de surgencia y están presentes estructuras oceanográficas como giros de mesoescala (Hormazábal *et al.*, 2004). "El viejo" está 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 intra-estacionalmente 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 (Hormazábal *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.*, 2004), se hace necesario la estimación de la biomasa a través de distintas metodologías. En este sentido, una metodología alternativa para la evaluación de la biomasa desovante en peces pelágicos como la anchoveta, corresponde al “Método de Producción de Huevos” (MPH), desarrollada en 1980 por investigadores del Southwest Fisheries Science Center, La Jolla, California. La producción diaria de huevos se estima a partir del número de huevos totales evaluados en una prospección ictioplanctónica en asociación a otras variables y la fecundidad específica diaria de la población adulta, se determina mediante el procesamiento de muestras de peces, obtenidas durante cruceros de pesca, las que proporcionan información respecto de la fecundidad parcial, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción de sexos.

- **Antecedentes del Método de Producción de Huevos (MPH)**

El Método de Producción de Huevos define la biomasa desovante como la fracción de peces capaces de desovar durante el período del crucero (Parker, 1980). Los peces que no son capaces de desovar son presumidos como aquellos que no han llegado a su primera madurez sexual. Peces en condición de

postdesove se asume que han sido capaces de desovar durante el crucero de forma tal, que son incluidos como parte de la biomasa desovante (Macewicz *et al.*, 1996). La biomasa desovante se estima por la relación entre la producción diaria de huevos (huevos evacuados al mar en un día por la población total de hembras) y la fecundidad específica diaria de la población adulta (huevos potenciales de ser desovados por día por tonelada métrica). La producción diaria de huevos se calcula de los datos de densidad y estado de desarrollo embrionario de los huevos recolectados en un crucero de ictioplancton. La fecundidad específica diaria de la población adulta, se determina mediante el procesamiento de muestras de peces obtenidas durante un crucero de pesca, las cuales proporcionan información respecto de la fecundidad parcial, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción de sexos.

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

El método para la estimación de la biomasa desovante de anchoveta, se fundamenta en gran parte en el ciclo de desarrollo del ovario, el cual pasa por una

serie de estadíos. 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 MPH 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 año 2002; y desde el año 2000 en jurel a través de proyectos financiados por el Fondo de Investigación Pesquera. En la aplicación del MPH 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 biomazas 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).

La evaluación indirecta del stock de anchoveta sur de Perú y norte de Chile se basa en un análisis estadístico edad estructurado con información en tallas. Actualmente, la CPUE no se utiliza en la evaluación de este recurso, situación que obedece a que la CPUE en peces pelágicos pequeños no es un buen indicador de la abundancia. El problema que existe es conocido como hiperdepleción (Harley *et al*, 2001), es decir, a pesar que la abundancia del recurso decae la CPUE se sigue incrementando o se mantiene, por lo tanto no sirve como indicador de abundancia. Sin embargo, se emplean otros indicadores de calibración, como son

los provenientes de los estudios MPH y RECLAN (Reclutamiento de anchoveta) que evalúan directamente la condición del stock en sus distintas etapas (desove y reclutamiento). Respecto al uso de la biomasa desovante del MPH en la evaluación de stock de anchoveta actual, este índice se utiliza como indicador de la biomasa desovante relativa del stock de anchoveta sur de Perú y norte de Chile, debido a que el MPH no cubre toda el área de distribución del stock. El MPH es el único índice de stock desovante para el stock de anchoveta sur de Perú y Norte de Chile, y corresponde a una serie de más de 10 años, cuya aplicación ha sido revisada en varios talleres.

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

Se destaca que gran parte de los tópicos mencionados necesitaron de cambios en la metodología estadística básica en GAM. Por ejemplo, la estimación de la producción diaria de huevos (P_0) y la tasa de mortalidad diaria (Z) es un problema específico del MPH. 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 2013.

VI. DESARROLLO METODOLÓGICO

De conformidad con la metodología presentada en la propuesta técnica y con la finalidad de cuantificar la biomasa desovante de anchoveta e incrementar la comprensión de la distribución y abundancia de huevos en asociación con las condiciones ambientales en la zona norte de Chile, se realizaron los cruceros Módulo Huevos y Módulo Adultos para el recurso anchoveta, durante el período de máxima actividad reproductiva del año 2013.

1. Zona de estudio y plan de muestreo

La zona de estudio corresponde al área marítima entre Arica (18°25´S) y punta Carrizalillo (26°00´S), que es equivalente el área prospectada en este mismo proyecto desde el año 2006.

El crucero de prospección y muestreo de ejemplares adultos de anchoveta se realizó con embarcaciones cerqueras industriales entre el 1 de agosto y el 29 de septiembre de 2013, ambas fechas inclusive.

Debido a que en años anteriores la colección de ejemplares adultos durante el periodo de veda era insuficiente para cumplir con el número mínimo de lances requeridos (40), durante este año se inició la recolección de ejemplares antes de que se decretara la veda reproductiva del recurso. Colaboraron en dicha recolección en el periodo comprendido entre el 1 a 5 de agosto las naves PAM “Eperva 65” y “Tornado” de la Empresa Pesquera CORPESCA y “Costa Grande 1” de Empresa Pesquera Camanchaca.

Durante el periodo de veda reproductiva del recurso anchoveta y según Resolución de Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca número 2245 del 9 de agosto de 2013, las naves autorizadas para la pesca de investigación de adultos fueron las siguientes: PAM: “Cormorán”, “Don Gino” y “Bandurria” de la Empresa Pesquera CORPESCA y “Claudia Alejandra” de Empresa Pesquera Camanchaca, las que operaron en cruceros de 5 días en las cuatro subzonas en que se subdividió el área de estudio (**Figura 2**). En el periodo de veda, IFOP ejecutó la pesca de investigación “Monitoreo reproductivo de anchoveta, entre la XV y II Región, 2013” según Resolución de Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca número 2392 del 27 de agosto de 2013, las naves autorizadas para tales efectos fueron los siguientes PAM: “Angamos 9”, “Parina I”, “Livilcar” y “ Eperva 65” de la Empresa Pesquera CORPESCA y “Claudia Alejandra” de Empresa Pesquera Camanchaca, en esta oportunidad se aprovecha la plataforma de muestreo para la colección de ejemplares adultos.

Cuando se levantó la veda biológica de este recurso colaboraron en la recolección de anchoveta adulta los PAM: “Trueno I”, “Eperva 64” y “Relámpago” de la Empresa Pesquera CORPESCA; “Atacama IV” de la Empresa Pesquera Camanchaca. Todos los lances de pesca, antes, durante y después de la veda reproductiva, se realizaron dentro de la zona definida para el crucero huevos (**Figura 2**).

La obtención de los datos oceanográficos físico-químicos y la recolecta de huevos se realizó en forma ininterrumpida entre el 14 de agosto y el 11 de septiembre de 2013. El crucero módulo huevos se efectuó a bordo del PAM “Raulí”, arrendado a la Empresa Pesquera Corpesca S.A, el cual abarcó una extensión longitudinal comprendida entre 1 mn de la costa y las 80 mn como máximo. Se realizó un total 770 estaciones bio-oceanográficas (huevos-CTD) de las 799 programadas, lo que corresponde al 96,3 % del muestreo planificado y a un área de 36.696 mn². Estas

estaciones se distribuyeron en un total de 47 transectas perpendiculares a la costa separadas cada 10 mn. En cada transecta se realizaron 17 estaciones espaciadas cada 5 mn (**Figura 3a**). En 8 de estas secciones (6, 7, 10, 11, 26, 27, 28, 35 y 36) se hicieron estaciones desde la costa hasta una distancia menor a las 80 mn dado que se presentaron condiciones de fuerte marejada en la mitad sur de la zona o por necesidad de disminuir el tiempo de operaci3n en la mitad norte para cumplir los plazos de uso de la embarcaci3n arrendada.

En las estaciones ubicadas a 1, 5, 10, 20, 40, 60 y 80 mn de las secciones de: Arica (18°25'S), punta Madrid (19°00'S), punta Junín (19°40'S), punta Gruesa (20°20'S), punta Lobos (21°00'S), punta Arenas (21°40'S), punta Copaca (22°20'S), punta Hornos (Mejillones, 23°00'S), bahía Moreno (Antofagasta, 23°40'S), punta Tres Picos (24°20'S), rada Paposó (25°00'S) y punta Ballenita (25°50'S) se realizaron estaciones oceanográficas con CTD hasta una profundidad máxima de 500 m, con toma de muestras de agua para análisis de clorofila y oxígeno disuelto (OD) en la vertical. De estas estaciones se realizaron un total de 84 (**Figura 3b**).

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

Con la finalidad 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 “Asesoría Integral para la pesca y acuicultura, 2013” Actividad N° 1.10: Programa de Seguimiento de la Pesquería pelágica zona norte. En el período de máxima intensidad de desove (**MID**), prácticamente la totalidad de anchoveta se encuentra en fases de madurez avanzadas; se produce un

incremento de hembras hidratadas y de ovarios con folículos postovulatorios; y existe una baja evidencia de regresión o atresia; vale decir, este periodo se caracteriza por la ocurrencia y permanencia de altos valores de **IGS** e **IAD** y muy bajos o nulos índices de **IAO**.

Muestreo biológico

El muestreo reproductivo de la anchoveta considera el ciclo anual 2013 en los principales puertos de la zona norte (Arica-Antofagasta), registrándose la información biológica de la especie como longitud total (cm), peso total eviscerado y de gónadas (g), sexo y estadios de madurez.

La toma de muestras se realiza principalmente en tierra y se privilegia cubrir un mayor número de viajes (conglomerados), ya que los peces presentan características más similares dentro del conglomerado que entre conglomerados (Pennington & Volstad, 1994; Pennington *et al.*, 2002; Young *et al.*, 2003; Helle & Pennington, 2004; Young, 2006). Lo anterior se corrobora también en este estudio, donde para estimar la fracción diaria de hembras desovantes en el crucero de adultos, la estrategia de muestreo se orienta a medir pocos peces en el lance y privilegiar un mayor número de lances, de acuerdo a los resultados de un proceso de simulación para la determinación de tamaños de muestra.

La colección de la muestra en planta se realiza desde el vibrador, posterior a los 5 minutos después de iniciada la descarga, esto con el fin de evitar coleccionar ejemplares residuales de capturas anteriores. Cabe precisar que antes de comenzar a succionar el pescado desde la bodega del barco a los pozos de las plantas, se introduce agua a presión a la bodega lo que contribuye a homogenizar la captura de los diferentes lances.

El procedimiento de muestreo consistió en recolectar ovarios de anchoveta, los que fueron inmediatamente fijados en formalina tamponada 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, en el período de enero a septiembre, 5.412 hembras y microscópicamente, en el periodo de incremento del IGS, a partir de junio y hasta septiembre, 2.160 ovarios de anchoveta.

La recopilación de datos se realizó siguiendo los procedimientos estándares establecido por IFOP en el marco del proyecto Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Pelágicas (Böhm *et al.*, 2013).

La componente metodológica considera 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 un levantamiento de datos en puerto (desembarques) y eventualmente a bordo de naves cerqueras.

Población objetivo

La población objetivo fue el stock de anchoveta del norte grande de Chile y los ejemplares capturados para efectos de este estudio por las flotas industrial y artesanal.

B. Plan operativo

Fuentes de captación de datos

Como se indicó anteriormente, 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 Regiones 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, concentrándose la flota artesanal en la XV y I Región.

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

Flota Industrial

- Iquique
- Arica
- Mejillones

Con respecto al tamaño de la flota industrial, en la actualidad existe un total de 66 embarcaciones industriales operando en esta pesquería (C. Hernández, 2013 com. pers. en base a datos del proyecto Seguimiento), las que se distribuyen según su frecuencia de recalada para el 2012 y 2013 de la siguiente manera:

Arica : 18
Iquique: 41
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

En los puertos de Arica, Iquique y Mejillones, participaron observadores científicos de IFOP cuya función principal fue la recolección de datos de las embarcaciones seleccionadas para el muestreo en tierra o a bordo, siguiendo los instructivos desarrollados para estos efectos (**Anexo 1**).

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

Las muestras biológicas se recolectaron 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:** Sexo y madurez sexual: a cada ejemplar se le determinará 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), confirmando la información a través de criterios microscópicos.

La frase anterior hace referencia a que el muestreador clasificará en terreno el estado de madurez gonadal de los ejemplares muestreados, mediante criterios macroscópicos empleando la escala de madurez propuesta por Simpson y Gil (1967); posteriormente, las asignaciones realizadas por el muestreador serán confirmadas en el Laboratorio a través del análisis histológico de las gónadas que son fijadas en formalina para diferentes propósitos del estudio.

Para validar una escala, y que no es el propósito de este estudio, se requiere la recopilación y análisis de muestras que cubran un periodo más amplio que el comprometido en la ejecución del presente proyecto, de manera de garantizar una frecuencia de ejemplares de todas las fases gonadales.

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 aseguró 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 al grado de madurez del ejemplar. Permite monitorear el desarrollo de la actividad reproductiva del recurso, cuya evolución refleja procesos de maduración, desove y de reposo gonadal.

Notación:

Wg_j : Peso de la gónada del *j*-ésimo ejemplar

W_j : Peso eviscerado del ejemplar *j*

n : Numero de ejemplares en la muestra

Estimador del índice \hat{R} (IGS)

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

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

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

Coefficientes de variación e intervalos de confianza

El coeficiente de variación se calculó mediante la siguiente expresión:

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

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 estándar, dado que la distribución límite del estimador, conforme el tamaño de muestra aumenta ($n > 30$), es normal ($\alpha=0,05$).

En la interpretación 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 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 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 dominante, caracterizándose por la presencia de hembras en actividad de desove durante todo el año, con cambios en su incidencia e intensidad.

La variación anual del **IGS** para esta especie es de carácter estacional, con registros máximos que se alcanzan en el bimestre agosto-septiembre. 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.

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

Para obtener el indicador histológico de la actividad de desove (**IAD**) se requiere de la observación sistemática del ovario para identificar la presencia de folículos postovulatorios de diferentes estadios y de ovocitos hidratados, para estimar la proporción de individuos que alcanzaron esta condición en el stock parental.

El análisis histomorfológico del parénquima gonadal se realizó de acuerdo a los criterios señalados por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989) y Hunter y Macewicz (1985) (**Tabla 1**), orientado a identificar ovocitos en diferente grado de desarrollo, de folículos postovulatorios y de estadios atrésicos.

Para efecto de la clasificación de los folículos postovulatorios se utilizó la definición propuesta por Claramunt *et al.* (2007) para la anchoveta, la que considera 7 estadios de degeneración (**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:

$$IAD = \frac{n_{h0} + n_{h-1}}{n_m} 100$$

- n_{h0} : número de hembras de día 0 que desovarán y desovaron en la noche de la captura, cuyos ovarios presentan ovocitos hidratados y FPO I, respectivamente.
- N_{h-1} : número de hembras de día -1 que desovaron la noche anterior de la captura, cuyos ovarios presentan FPO II al IV.
- n_m : número de hembras maduras

Para el indicador histológico de la atresia ovárica (**IAO**) se requiere conocer la incidencia de hembras con atresia ovocitaria masiva ($\geq 50\%$ ovocitos atrésicos), según:

$$IAO = \frac{n_{hao}}{n_m} 100$$

- n_{ao} : número de hembras con $\geq 50\%$ de ovocitos vitelados con atresia (Hunter y Macewicz, 2003).

Análisis macroscópico y microscópico

Se determinó el período de máxima intensidad de desove (MID) mediante el análisis de las tendencias, en base semanal y mensual de la anchoveta en las diferentes fases de madurez del ovario; de la evolución de los indicadores histológicos **IAD** e **IAO** y las variaciones del índice gonadosomático (**IGS**). Este período se asocia a prácticamente la totalidad de la anchoveta adulta en fases de madurez avanzadas; con el incremento de hembras hidratadas y de ovarios con folículos postovulatorios; y de menor evidencia de regresión o atresia, caracterizándose el periodo de máxima intensidad de desove por la ocurrencia y permanencia de altos valores de **IGS** e **IAD** y de bajos o nulos valores de **IAO**.

3. Crucero ictioplanctónico. Plan de muestreo

El crucero de prospección de huevos debe compatibilizar los siguientes aspectos:

- 1) Área cubierta
 - 2) Duración, y
 - 3) Densidad de muestreo
-
- a) El área cubierta es uno de los factores más importantes, ya que la zona prospectada debe ser tal, que asegure que sea mayor al área esperada de desove. La incerteza que genera el tener las áreas de desove cortadas en sus límites es de una magnitud desconocida y dado que el MPH estima la biomasa desovante en el área de desove, el no cubrirla completamente podría alterar los estimados de biomasa.
 - b) La duración del crucero debe ser la menor posible, dado que el método asume que los parámetros a estimar son constantes en el lapso de tiempo que dura el crucero de prospección. Se encuentran bien documentados los cambios temporales que existen en los parámetros reproductivos (fecundidad, fracción desovante).
 - c) La densidad de estaciones debe tender a obtener un tamaño de muestra tal que asegure un buen estimado de la densidad media de huevos y en último término de un estimado insesgado de la producción diaria de huevos.

Al compatibilizar estos criterios, se concluye que la grilla a prospectar, asegura bien el área, la duración del crucero está en el límite de lo aceptable y la densidad de estaciones es la adecuada, ya que si bien un aumento en el número de estaciones podría tener un impacto en aumentar la precisión, la exactitud no sufriría un

incremento significativo, dado que un aumento en el tamaño de muestra sólo disminuiría la incertidumbre asociada al parámetro de interés P_o .

Diseño de muestreo de huevos de anchoveta

El diseño de muestreo estuvo basado en una grilla sistemática de 47 transectas localizadas perpendiculares a la costa y espaciadas cada 10 mn, salvo las dos primeras transectas en que la separación fue de 5 mn, lo que permitió cubrir un área de 36.696 mn². En cada transecta, en general se realizaron 17 estaciones oceanográficas separadas cada 5 mn, las que abarcaron hacia el oeste hasta las 80 mn (**Figura 3**). El total de estaciones de ictioplancton (huevos) realizadas fue 770.

El número de estaciones a realizar 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 utilizó la relación:

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

Donde: Z es el percentil $1-\alpha/2$ de la distribución normal estándar, r corresponde al nivel de error de estimación, S y \bar{X} corresponden al estimador de la desviación estándar y el estimador de la densidad media de huevos respectivamente, estimados sólo desde las estaciones con presencia de huevos, según las siguientes expresiones:

$$\bar{X} = \frac{1}{n^+} \sum_{i=1}^{n^+} X_i$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n^+ - 1} \sum_{i=1}^{n^+} (X_i - \bar{X})^2}$$

Donde:

n^+ : Número de estaciones con presencia de huevos

X_i : Densidad de huevos en la estación i

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

Utilizando el valor estimado de la densidad media y la desviación estándar para las estaciones positivas de los cruceros, se pudo establecer que para un valor α del 5% y un nivel de error de estimación del 24%, se requieren 263 estaciones positivas. Así, conociendo la relación entre el número de estaciones positivas y las negativas de los cruceros anteriores, se estimó un total de 658 estaciones a realizar, sin embargo, y de acuerdo a los antecedentes originados en el taller de divulgación de los resultados del Proyecto FIP N° 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 manera se estimó un total de 799 estaciones a realizar.

4. Crucero de 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.

Cada una de estas naves, estuvo equipada básicamente con sonar, radar, ecosonda, navegador por satélite, radiogoniómetro, radios HF y VHF y de una red de cerco anchovetera. Estas naves operaron simultáneamente con el crucero de recolección de huevos.

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

Determinación del tamaño de muestra

En los cardúmenes de clupeídeos, como la anchoveta, la distribución de los peces es generalmente homogénea, respecto al tamaño y a la condición de las gónadas, por lo cual la estimación de la fracción de hembras en desove se relaciona con el tipo de muestreo aplicado, situación que es evidente durante la época de mayor

actividad de desove. De acuerdo al conocimiento del proceso reproductivo de 3sta especie, en per3odos sin perturbaci3n ambiental, los card3menes 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 dise1o de muestreo orientado a estudiar los par3metros de adultos correspondi3 a un muestreo 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 dise1o de muestreo empleado en 17 aplicaciones del MPH en el 3rea de estudio permiti3 concluir que con 40 lances efectivos se pueden estimar en forma 3ptima los par3metros de adultos. Al respecto, cabe se1alar 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 a1os 2001 y 2002 (Oliva *et al.*, 2002) e igual n3mero de ellos en el a1o 2003 y 2004 (Braun *et al.*, 2005) **(Tabla 14).**

En la determinaci3n del tama1o de muestra, para estimar la fracci3n diaria de hembras desovantes de anchoveta (*Engraulis ringens*), se adopt3 un procedimiento de simulaci3n, en el cual se probaron varios escenarios de muestreo de lances de pesca y ejemplares hembras al interior del lance, en el marco del dise1o de muestreo por conglomerados biet3pico que se utiliza en este estudio, analizando el comportamiento del coeficiente de variaci3n en la estimaci3n de este par3metro.

Para este efecto, se seleccionaron los datos correspondientes a los estudios realizados en el 2000 y 2002 atendiendo por una parte, al mayor número de lances realizados en dichos años y por otra, a que representan un máximo (19%) y un mínimo (14%) de la fracción diaria promedio de hembras desovantes de la serie histórica, respectivamente. Para la estimación de esta proporción, se seleccionaron muestras aleatorias de unidades de primera y segunda etapa, a partir del conjunto de datos de lances y ejemplares. El experimento consistió en extraer de 5 a 60 lances, a intervalos de 5, y al interior del lance de 5 a 30 hembras, también a intervalos de 5. Para cada combinación de tamaño de muestra, se seleccionaron 500 muestras aleatorias. En cada re-muestreo, se estimó la fracción diaria de hembras desovantes considerando los folículos post - ovulatorios de día 1, de día 2 y la combinación de ambos. Finalmente se estimó el promedio y varianza, para cada combinación de lances/ejemplares hembras, y también el coeficiente de variación.

En las **Figuras 4 a 6** se muestra el comportamiento del coeficiente de variación de la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta, para las diferentes combinaciones de tamaños de muestra. En términos generales, se aprecia que la precisión del estimado, fue mucho más sensible a las variaciones en el número de lances, que a variaciones en el número de peces observados en el lance, lo que plantea una estrategia de muestreo orientada a medir pocos peces al interior del lance y a privilegiar un mayor número de lances. En este esquema, una muestra de 30 lances y de 20 a 30 hembras por lance, garantizan un coeficiente de variación promedio inferior a 20% para fracciones desovantes altas y bajas tanto, para las estimaciones a partir de FPO de día 1, como de día 2 y la combinación de ambos.

La posici3n de cada lance se determin3 en el curso del crucero, en consideraci3n a la distribuci3n espacial de los card6menes y a las condiciones meteorol3gicas imperantes en la zona de estudio.

Se recolect3 un m6nimo de 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 Mac Call (ms) en Santander *et al.*, (1984a) y Rojas y Oliva (1993), con la finalidad de registrar la incidencia de fol6culos postovulatorios, para la determinaci3n de la frecuencia de desove (el rango del coeficiente de variaci3n en relaci3n al n6mero de lances y anchovetas a procesar se ubicar6 entre 0,125 y 0,150). En aquellos lances con presencia de hembras hidratadas, se recolectaron como m6nimo 30 anchovetas en esa condici3n. Los lances se realizaron a lo largo de las 24 horas del d6a, de esta manera se logra una adecuada dataci3n de los fol6culos postovulatorios y un buen muestreo de las hembras hidratadas.

Las muestras se recolectaron desde la cubierta de la embarcaci3n con baldes, obteniendo anchovetas sin golpes y con la m6nima p6rdida de escamas.

Para garantizar la aleatoriedad de la muestra de ejemplares de cada lance con pesca, en el proceso de trasvasije del pescado desde el copo a las bodegas, en el secador se tomaron dos a tres baldes de 20 kg equi-espaciados en el tiempo. De uno de los baldes se toma una submuestra de 2300 g (aproximadamente 100 ejemplares) para el muestreo de proporci3n sexual y muestreo de longitud (tama6o de muestra sustentado en el Programa de Seguimientos de Pesquer6as Pel6gica, IFOP). De igual manera se tomaron submuestras para obtener 35 hembras maduras y hembras hidratadas por lance; si no se alcanzan estos

tamaños de muestra, se continua con los baldes siguientes. Con esta información se obtienen las muestras necesarias para la estimación de los parámetros de adultos.

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

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

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

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

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

Corrección de peso por efecto del fijador

Debido a que los peces se preservan en formalina hasta su procesamiento en laboratorio, es necesario aplicar una corrección a los registros de peso, ya que el fijador introduce una variación. De acuerdo a lo recomendado por Hunter (1985), en el sentido que dentro de los factores que influyen en esta variación está el tamaño de los peces, el estado del pez cuando es preservado, el tiempo en formalina y la razón de formalina y diluyente. Por lo que los efectos de preservación con este componente son muy específicos, siendo necesaria una calibración para cualquier cambio de técnica, especie o estadio de vida. La corrección por formalina se efectuó en base a 15 ejemplares a los cuales se les pesó en fresco y luego a 1, 4, 11, 18, 27 y 41 días. El factor de corrección a utilizar corresponde al tiempo transcurrido entre la captura de las hembras en el crucero y su llegada al laboratorio, el cual estuvo en torno a los 30-40 días y que corresponde a un 94,6% del peso inicial. Es decir que hubo una pérdida de un 5,4% por efecto de la formalina y por tanto se debió corregir.

5. Metodología por objetivo específico

5.1 Objetivo específico 2.1

“Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta”

5.1.1 Recolección de las muestras

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

En cada estación se obtuvo una muestra de plancton mediante un muestreador CalVET (versión PAIROVET) de 0,05 m² de área de boca y 0,150 mm de abertura de malla (Smith & Hewitt, 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.

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.

5.1.2 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.

5.1.3 Procedimiento en laboratorio

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 y clasificación por estadio de desarrollo.

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.

5.1.4 Análisis de la información planctónica

Basado en los valores cuantitativos de los análisis de las muestras de plancton y con el propósito de contar con antecedentes comparativos, se determinaron algunos parámetros tales como el poblacional y densidad promedio de huevos de anchoveta.

Se incorporó además, la estimación de la densidad de huevos mediante un enfoque modelo basado, atendiendo a que la distribución de esta variable presenta una asimetría positiva y una gran presencia de datos cero. Para este propósito se empleó la distribución delta, que es una distribución lognormal modificada con el objetivo de incluir las observaciones ceros (McConnaughey & Conquest, 1993; Pennington, 1983, 1996). El estimador de la media (\hat{c}) y el estimador de la varianza ($\hat{V}(\hat{c})$), para el método delta están dados por:

$$\hat{c} = \frac{m}{n} \exp(\bar{y}) G_m(s_y^2/2); \quad m > 1$$

$$\hat{V}(\hat{c}) = \frac{m}{n} \exp(2\bar{y}) \left[\frac{m}{n} G_m^2(s_y^2/2) - \left(\frac{m-1}{n-1} \right) * G_m \left(\frac{m-2}{m-1} s_y^2 \right) \right]; \quad m > 1$$

Donde:

- n : Total de estaciones
- m : Cantidad de estaciones (observaciones) positivas
- \bar{y} ; s_y^2 : Estimador de la media y la varianza de la variable transformada a logaritmo natural
- $G_m(t)$: Serie infinita en función de la varianza de la variable transformada a logaritmo, de la forma:

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

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 y el software SURFER 8.0.

Para efectos de establecer una comparación interanual se utilizó la serie histórica estandarizada de huevos de anchoveta para el período 1992/2013, obtenida para la zona norte de Chile en aplicaciones precedentes del MPH.

5.2 Objetivo específico 2.2

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

5.2.1 Recolecta de muestras y registro de datos oceanográficos

En cada estación se obtuvieron registros continuos de temperatura y salinidad hasta un máximo de 100 m, mediante el uso de un CTD marca SEA BIRD modelo SB19 plusV2 o SB19, ambos equipados con bomba y en función en modo autocontenido.

En cada estación se obtuvieron registros continuos de temperatura y salinidad hasta un máximo de 100 m en las estaciones de huevos y hasta 500 m en las estaciones oceanográficas profundas. Se utilizó un CTD marca SEA BIRD modelo SB19 plusV2 o SB19 (sólo estaciones de huevos), ambos equipados con bomba y en función en modo autocontenido. En las estaciones profundas se obtuvo además registros continuos oxígeno y fluorescencia.

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 operadas en forma manual. El muestreo en las estaciones oceanográficas profundas se realizó en los niveles estándar de 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75 y 100 m como máximo. Los análisis de OD se realizaron a bordo mediante el método Winkler modificado por

Carpenter (1965). La información de oxígeno con el método de Winkler, se utilizó para corregir los datos el sensor de OD. Para revisar el buen funcionamiento de los equipos CTD se realizaron ocasionalmente perfiles duplicados de los datos de temperatura y salinidad.

Durante la realización de todas las estaciones se registró información meteorológica de carácter básico: temperatura y humedad relativa del aire, e intensidad y dirección del viento (valor predominante observado). En el registro se utilizaron las normas, tablas y códigos del National Oceanographic Data Center (NODC, 1991).

5.2.2 Medición de la clorofila-a

En las estaciones oceanográficas profundas se colectaron muestras para los análisis de clorofila-a. Para esta variable se filtró *in situ* un volumen estandarizado de 50 mL con un sistema de filtrado múltiple Millipore, utilizando filtros de fibra de vidrio (MFS GF-75, 25 cm de diámetro) (Jeffrey *et al.*, 1997). Las muestras se congelaron en nitrógeno líquido hasta su posterior análisis en el laboratorio en tierra.

La extracción de la muestra para el análisis de clorofila-a, realizó en forma pasiva, con una solución acuosa de acetona al 90% v/v, por un período de 24 horas y a -20°C. La lectura del sobrenadante fue 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.

5.2.3 Procesamiento de la información oceanográfica del crucero

CTD

La información del CTD se procesó de acuerdo al procedimiento estándar recomendado por el fabricante en el manual SBE Data Processing for Windows (data processing software) (<http://www.seabird.com/products/ModelList.htm>). Con los datos ya procesados se confeccionaron las cartas de distribución superficial de las variables comprometidas. Con los datos verticales se obtuvo información del espesor de la capa de mezcla, temperatura y salinidad en el nivel de 50 m y su diferencia con los valores superficiales, realizándose las respectivas cartas y su posterior análisis, profundidad de la isoterma de 15°C y la profundidad del mínimo OD (1 mL/L).

Los valores de salinidad práctica se entregan en forma adimensional, siguiendo recomendaciones de UNESCO (1981a). El cálculo de la densidad se realizó utilizando la ecuación internacional de estado del agua de mar de 1980 (Millero & Poisson, 1981, UNESCO, 1981b y 1981c). Para señalar la densidad se utilizará la denominación sigma-t.

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

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

- Termoclina: Se define como termoclina la capa de agua que presentó una variación de temperatura mayor o igual a $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Los cálculos de gradiente para la definición de termoclina y el valor de gradiente máximo se obtuvo por diferencia de temperatura entre dos niveles consecutivos (cada un metro). El valor de gradiente promedio se obtuvo de los gradientes metro a metro que se registraron en la termoclina.
- Límite de la capa de mínimo oxígeno disuelto: Corresponde a la profundidad de ubicación de la concentración de 1 mL/L de oxígeno disuelto. Se utilizaron los datos del sensor de oxígeno corregido.

Masas de agua

Para el análisis de las masas de agua se calculó el porcentaje de participación de las masas de agua (PPM): Subtropical, Subantártica y Ecuatorial subsuperficial de cada estación. Los PPM de cada estación se obtuvieron mediante el método del triángulo de mezcla (Mamayev, 1975) y se representaron en forma gráfica como secciones verticales. Los valores de los pares T-S de las aguas tipo, utilizados en los triángulos de mezcla se muestran en la **Tabla 3**.

Anomalías

Para el nivel superficial se presentan valores de anomalía mensual de temperatura, salinidad, como también a nivel subsuperficial la de la profundidad de la isoterma de 15°C . El valor de anomalía corresponde a la diferencia entre el valor observado y el histórico mensual, por lo tanto los valores positivos de esta variable indican una condición por sobre el promedio. Los valores promedio

históricos fueron obtenidos de los promedios mensuales calculados por Blanco (1996). Los promedios históricos de temperatura, salinidad y profundidad de la isoterma de 15°C recién señalados 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. Se indica que para este crucero sólo se usaron los promedios mensuales del mes de septiembre, aun cuando el muestreo de un área menor en el sur de la zona se hizo en la última semana de agosto.

Distribuciones verticales

Se graficó la distribución vertical de las variables temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto de todas las secciones. Se obtuvo los valores de anomalía vertical de temperatura y salinidad a lo largo de la transectas de bahía Moreno (23°40'S), Punta Lobos (21°00'S) y Arica (18°25'S), con los que se realizaron gráficos de distribución. Los valores promedio mensuales de temperatura y salinidad de las transectas corresponden a los obtenidos con la serie histórica de IFOP desde 1963 al 1996 para el mes de septiembre. La metodología aplicada en la obtención de los promedios verticales de estas transectas corresponde a la indicada por Blanco *et al.* (2001).

Vientos de crucero

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° de latitud. Los valores del IS se expresan en $m^3 \cdot s^{-1}$ por 1.000 metros de costa. El IS instantáneo se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$M_x = \frac{t_y}{f} \quad (1)$$

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

ω : Velocidad angular de la tierra

l : Latitud del lugar

A su vez, de la ecuación 1:

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

Donde en (3):

r_a : Densidad del aire (1.25 Kg/m^3)

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

v : Componente norte sur de la velocidad del viento

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

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

Con la información de viento registrado en las estaciones se determinó también el índice 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 información de los datos individuales de IT se obtuvo un valor de IT promedio costero y el IT promedio oceánico, 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.

Vientos de aeropuerto del año 2013 y su anomalía

Utilizando un registro tri-horario de magnitud y dirección del viento, desde el 1 de enero del 2013 al 30 de noviembre del 2013, obtenidos del Aeropuerto Diego Aracena, Iquique (20°32' S 70°11'W, a 52 m sobre el nivel del mar) y la estación Cerro Moreno, Antofagasta (23°26'S 70°26 W, a 135 m sobre el nivel del mar) se calculó el Índice de surgencia instantáneo (Bakun 1973, 1975 y 1987).

Luego los datos se filtraron con un filtro triangular de 45 pesos con el fin de eliminar el ruido pero manteniendo en la ponderación los picos más significativos y se calculó la anomalía en base a la resta del ciclo anual calculada a partir de una serie histórica que va desde enero de 2000 al 30 de noviembre de 2013.

Condición de normalidad

La determinación de la “condición de normalidad” estacional de la zona de estudio, hace uso, entre otros, de valores de anomalía de temperatura y salinidad para el nivel de superficie y de la profundidad de la isoterma de 15°C para el caso

vertical. Las anomalías de estas variables son entonces la diferencia de los datos obtenidos de crucero con los promedios de datos históricos para el mes de septiembre.

Así, los valores de anomalía registrados en el sector oceánico de la zona de estudio y que comprenden el rango en temperatura, salinidad y profundidad de la isoterma de 15°C que están en $\pm 1^\circ\text{C}$, $\pm 0,1$ en salinidad y ± 10 m, respectivamente, no son significativos, ya que están en el rango de 1 desviación estándar, por lo tanto, se encuentran dentro de lo que se considera como variación normal del sistema. En el caso del sector costero, en promedio (primeras 20 mn), éste rango aumenta al doble, es decir $\pm 2^\circ\text{C}$ y $\pm 0,2$ en salinidad y hasta ± 20 m, aproximadamente. Los rangos dados son promedios para cada sector. Se indica que los términos “anomalía no significativa” y “anomalía significativa” no están aplicados en un sentido estricto a una prueba estadística, bastando para ello el definir un criterio que en este caso corresponde al indicado.

En definitiva, la determinación de la “condición de normalidad” de la zona de estudio hace uso de valores de anomalía señalados, junto con el análisis de las procesos locales o de forzamiento remoto que se presentan en la zona al momento del crucero y que justifican las anomalías encontradas.

Clorofila

Respecto a la clorofila-a, una vez cuantificadas las concentraciones se parearon con los datos de fluorescencia *in vivo* y se procedió a realizar la estimación de clorofila a través de la fluorescencia por cada estación. En las estaciones 310, 490, 491, 492, 494, 560, 718, 754 y 770 no se encontró un buen ajuste, por lo que se consideró en adelante los valores discretos de laboratorio en el análisis de la variable.

Esta información permitió confeccionar cartas de distribución vertical para todas las transectas, además de las cartas superficiales. Los resultados de clorofila estimada y de los productos de degradación o feopigmentos se expresan en $\mu\text{g/L}$. La concentración de los feopigmentos 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 utilizando la información metro a metro, mientras que para los feopigmentos se utilizó el cálculo del valor integrado según Lohrenz *et al.* (1988), utilizando la siguiente ecuación:

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

Donde:

$\sum Feop$ Es el feopigmento integrado en la columna de agua entre 0 y 100 m como máximo

i Son las profundidades de muestreo discretas definidas en el punto 5.2.1 para el feopigmento y por metro en la clorofila estimada

C_i y C_{i+1} Son las concentraciones de feopigmento ($\mu\text{g/L}$), en la profundidad i , desde superficie a la profundidad máxima de 100 m.

D_i y D_{i+1} Son las profundidades respectivas (m).

Estimadores para clorofila integrada

Con el objetivo de contar con una estimación media de la densidad de clorofila para los periodos de 2004 a 2011 se utilizaron dos tipos de estimadores, un estimador de razón entre la densidad de clorofila y el número de estaciones por transecta (Cochran, 1977; Hansen *et al.*, 1954) y otro haciendo uso del método de

variables regionalizadas o geoestadístico (Petitgas, 1991; Rivoirard *et al.*, 2000; Roa-Ureta y Niklitschek, 2007).

5.2.4 Recopilación de información satelital del periodo del crucero

Las imágenes de TSM y clorofila fueron confeccionadas con datos semanales de promedio compuesto de 8 días que fueron obtenidos del programa “Ocean Color Web” que distribuye datos del satélite MODIS-Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), con una resolución espacial de 4 x 4 km y resolución temporal variada. Promedio compuesto significa que cada pixel está promediado de acuerdo a la cantidad de información disponible en el periodo de 8 días, quedando en blanco o como nube si al menos no hay un solo dato válido para el pixel. En ambas variables, las imágenes satelitales promedio semanales dan mejor cuenta de su distribución espacial que una imagen de un solo día. Los promedios semanales corresponden a los siguientes periodos: 14 al 20 de agosto, 21 al 28 de agosto, 29 de agosto al 5 de septiembre y del 6 al 13 septiembre de 2013. Sensores AVHRR a bordo del satélite permiten obtener la TSM de la primera capa del océano tanto de día como de noche. Para el cálculo de la anomalía de TSM satelital para el mes de agosto y septiembre de 2013 se trabajó con los datos promedio mensual al los cuales se les restó el promedio de todos los datos de TSM satelital del mismo mes de la serie 2002-2013. En el caso de la clorofila ésta corresponde a la clorofila (cloas) integrada hasta el 20 % de penetración de la luz.

Datos diarios del campo superficial de corrientes geostróficas fueron obtenidos del Centro de Datos de Oceanografía Satelital, Interpretación, Validación y Almacenamiento llamado AVISO (<http://www.jason.oceanobs.com>), con una resolución espacial de 0,25° x 0,25° y temporal de cada un día, y distribuidos con

un mes de desfase. Estos datos satelitales son el resultado del procesamiento combinado de todos los satélites disponibles usando una interpolación óptima y tomando en cuenta los errores a lo largo de la longitud de onda (Ducet *et al.*, 2000). La combinación de diferentes satélites proporciona mapas más realistas mejorando la descripción de la variabilidad de meso-escala del océano. De esta información se obtuvo una imagen diaria de anomalías del nivel medio del mar en 4 días representativos durante el desarrollo del crucero y que son: 16 y 24 de agosto, 1 y 8 de septiembre de 2013. Las corrientes geostróficas superficiales se representan como flechas.

5.2.5 Condiciones oceanográficas en el periodo 2002-2014

Para el análisis de las condiciones oceanográficas en el periodo julio 2002-febrero de 2014 en la zona norte, se confeccionaron diagramas de anomalía de temperatura y de clorofila satelital en formato 2D (latitud vs tiempo) llamado Hovmüller para el área entre los 18° y 26°S. Estos diagramas se realizaron para el sector costero (primeras 20 mn) y el oceánico (40 a 60 mn). La información utilizada para estos diagramas son datos promedio compuesto mensuales de temperatura y clorofila que fueron obtenidos del programa "Ocean Color Web" que distribuye datos del satélite MODIS-Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). Las anomalías de temperaturas satelital (ATSM) se calcularon a partir de la elaboración de una señal anual promediando los datos mensuales de cada mes en la serie julio 2002- febrero de 2014 y luego restando este promedio a los datos mensuales de la serie. Se confeccionó también una serie de tiempo del promedio de las anomalía de temperatura y un promedio de concentración de clorofila, para el sector costero y oceánico en el mismo periodo en el caso de la ATSM y sólo para el costero en la clorofila.

5.2.6 Caracterización de la condición ambiental regional

Para el análisis regional se utilizó la serie de tiempo del Índice Ecuatorial Multivariado (MEI) entre junio de 2002 y febrero de 2014, el cual permite estimar las condiciones Ecuatoriales referentes a periodos fríos o cálidos. Este índice combina la Presión a nivel del Mar, las Componentes Zonal y Meridional del viento, la TSM, la temperatura superficial del aire y la fracción total de nubosidad en la zona Ecuatorial y es obtenido de la página de Internet de la NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>). Para el mismo periodo se utilizó también la serie de rangos bimensuales del MEI y su categorización de los procesos ENOS que usa el percentil 30, quintil y decil de acuerdo a la serie de rangos del MEI entre 1950 y 2014 (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/rank.html>).

5.3 Objetivo específico 2.3

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

5.3.1 Proporción de hembras en peso (R)

La fracción de hembras en peso (proporción sexual) fue estimada para cada lance de una submuestra compuesta de los primeros 100 ejemplares colectados al azar (2.300 gramos de peces aprox.) (Rojas y Oliva, 1993). 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. El promedio de la muestra y la varianza fueron estimados de acuerdo a:

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

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

Donde:

$$\bar{R}_i = \frac{W_i^H}{m_i^*}$$

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

- $\bar{\bar{R}}$: Proporción promedio de hembras por lance, sobre la base del peso.
- \bar{R}_i : Proporción hembras en el lance i
- W_i^H : Peso del total de las hembras en la muestra del lance i .
- m_i^* : Peso del total de los ejemplares en la muestra (machos y hembras) en el lance i .
- \bar{m}^{*2} : Peso promedio de las muestras por lance, elevado al cuadrado
- n : Número de lances.

5.3.2 Peso promedio de hembras maduras (W)

De cada lance, las primeras 30-35 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:

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

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

- \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 sub-muestreados desde cada lance i .
- n : Número de lances.
- \bar{m}^2 : Número medio de peces muestreados por lance, elevado al cuadrado
- W_{ij} : Peso del ejemplar j en el lance i

El peso total del cuerpo de las hembras, fue ajustado en aquellas hembras que histológicamente presentaron ovocitos hidratados a través de la relación matemática que resulte entre el peso total del cuerpo y el peso del cuerpo sin gónada.

5.4 Objetivo específico 2.4

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

5.4.1 Análisis de las muestras de huevos

El análisis de las muestras de ictioplancton consistió en la identificación y separación de la totalidad de los huevos de anchoveta y su posterior clasificación por estadio de desarrollo.

La clasificación de los estadios de desarrollo de los huevos de anchoveta se efectuó de acuerdo a una escala de 11 estadios propuesta por Santander et al., (1984), que se basa en los cambios morfológicos que se producen en el transcurso de la embriogénesis (**Tabla 4**). Los huevos que no pueden ser asignados a ninguno de dichos estadios debido a opacidad o daño 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 metodología permite corregir eventuales errores de análisis (Stauffer y Picquelle, 1985), al contrario de aquella que analiza un número constante de huevos por muestra.

Para la asignación de edad y de acuerdo a los resultados del proyecto FIP 2006-38 “Mejoramiento del Método de Producción Diaria de Huevos aplicado en pelágicos pequeños” (Claramunt *et al.*, 2007), al igual que en el año 2007 se aplicaron dos metodologías: 1) El método tradicional de Lo (1985) y 2) Modelo Multinomial (Ibaibarriaga *et al.*, 2007, Bernal *et al.* 2007b).

a) 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), que emplea la siguiente la función:

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

Donde:

- $y_{i,t}$: edad del huevo del estadio i a la temperatura t , que se obtiene del modelo temperatura dependiente.
- K : hora del lance
- T : remanente de edad dado por $(y_{i,t} + 23) - 24$

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 asignarán a un estadio de desarrollo según los siguientes criterios:

1. Huevos que pueden ser identificados dentro de un rango de estadios, serán 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 asignarán aleatoriamente siguiendo una distribución uniforme dentro del rango de estadios posibles.

Existe una recomendación generalizada de cortar los estadios de desarrollo cercanos al desove debido a una subestimación por reclutamiento incompleto. Hay investigadores que eliminan las edades menores a 8 horas (Armstrong *et al.*, 1988) y otros que eliminan el primer estadio. Dado que lo que se pretende estimar es un intercepto al origen, se debe tener la precaución de no eliminar observaciones que no estén subestimadas, ya que podría provocar elevación artificial del intercepto a edad cero (P_0). En el proyecto “Mejoramiento del Método de Producción de Huevos aplicado en pelágicos pequeños” (Claramunt *et al.*, 2007), se analizó el problema de

los cortes y se llegó a que la mejor opción es cortar las edades menores o iguales a 4 horas y las iguales o superiores al 95% de la edad de eclosión según la temperatura de la estación ictioplanctónica.

b) 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), desarrollaron un procedimiento innovativo y estadísticamente fundamentado de asignación de edad, y que fue 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 embriog3nesis discretizada en estadios de desarrollo de los huevos es funci3n de la temperatura (e.g. Pepin, 1991), y en menor grado de otros par3metros ambientales. Usualmente, la informaci3n sobre la tasa de desarrollo de los huevos en funci3n del estadio de desarrollo y de la temperatura se obtiene a partir de experimentos de incubaci3n. El nuevo procedimiento metodol3gico de asignaci3n de edad considera un proceso multinomial, en el cual la probabilidad de pertenecer a uno de los once estadios de desarrollo depende de la edad de los huevos (conocida y dada la hora del desove) y la temperatura. De esta manera, a partir de un experimento de incubaci3n 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 informaci3n sobre la distribuci3n de la actividad de desove durante el ciclo diario afectar3 el proceso de asignaci3n 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 observaci3n (hora de colecta). En un caso extremo, si el desove es perfectamente sincr3nico (los huevos son desovados a un hora dada del día, e.g. medianoche) y el desarrollo dura hasta la eclosi3n 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 duraci3n del desarrollo del huevo dura m3s de un día, entonces una edad promedio aproximada y observada en el experimento de incubaci3n 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 3poca del crucero para atribuir una edad exacta. La sincronía del desove puede ser formalizada

como una funci3n densidad de probabilidad (pdf) de edad dada la fecha del crucero, i.e. $f_i(a | \tau)$. Un descubrimiento reciente es que la mortalidad debera ser utilizada para asignar una edad adecuada a los huevos, ya que los huevos m1s viejos son menos probables de ser encontrados y as1, cuando diferentes cohortes diarias pueden ser asignadas a un huevo, es m1s probable que 1ste sea m1s joven que viejo.

Al considerar lo argumentado, y considerando el Teorema de Bayes, se obtiene la distribuci3n de edades dada la informaci3n 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 distribuci3n posterior $\hat{p}(a | s, T, \tau)$, o clasificar los huevos en cohortes diarias directamente utilizando la distribuci3n posterior. El nuevo procedimiento de asignaci3n de edad presenta varias ventajas respecto del m1todo tradicional, tanto en relaci3n a c3mo se modela la informaci3n que proviene de los experimentos de incubaci3n y en relaci3n a c3mo se asigna la edad en el m1todo tradicional. En relaci3n con el modelo de incubaci3n:

El nuevo modelo es claramente descrito y justificado estad1sticamente, lo cual marca una diferencia con el procedimiento autom1tico desarrollado por Lo (1985), i.e.

- Aunque f1cil de implementar, asigna aleatoriedad a las variables equivocadas (edad, la cual es realmente fija y decidida por el investigador)

- Está compuesto de dos modelos diferentes, uno de edad media y otro de duración de estadios. La estimación de la edad media no está 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 máxima verosimilitud, incluyendo insesgamiento y eficiencia, y facilita la comparación con otros métodos basados en 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 estén disponibles.
- 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 distribución asumida para la sincronía del desove, y éstos pueden ser incluidos en cualquier estimación subsiguiente que incluya la edad (e.g. la tasa de mortalidad diaria).

Tambi3n, la distribuci3n posterior puede utilizarse para agrupar los huevos en cohortes diarias (como en el m3todo convencional).

5.4.2 Estimaci3n de la producci3n diaria de huevos $P_{(t)}$ y tasa de mortalidad

El c3lculo de la producci3n diaria de huevos, su varianza y tasa de mortalidad son estimados por un ajuste usando GLM (General Linear Models), tanto para la dataci3n hecha por el m3todo tradicional de Lo (1985) como al proveniente del Modelo Multinomial. Estos fueron implementados en el programa eggs y eggsplore, en plataforma R, por Miguel Bernal.

El c3lculo de la producci3n diaria de huevos m3todo tradicional de Lo (1985) se basa en un modelo de tipo exponencial (Picquelle y Stauffer, 1985) dado por:

El c3lculo de la producci3n diaria de huevos 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} : N3mero de huevos de la edad k , en la estaci3n j del estrato i
- P_i : Producci3n diaria en n3mero de huevos por unidad de 3rea en el estrato i
- Z_i : Tasa de mortalidad diaria de huevos en el estrato i
- t_{ijk} : Edad en fracci3n de d3as
- ε_{ijk} : Error aleatorio aditivo

El ajuste est3 basado en un ajuste de un modelo lineal generalizado (GLM) que permite la utilizaci3n de la distribuci3n binomial negativa con un par3metro 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*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.

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

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

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

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

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

Se utilizará el estimador de post-estratificación propuesto por Picquelle y Stauffer (1985) para el tratamiento del estrato positivo (área de desove, A_1) y el estrato negativo (correspondiente al área sin presencia de huevos, A_0). El cálculo de la producción diaria total (P) será estimada desde el (los) valor(es) de P_i y el área ponderada por estratos, de esta manera:

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

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 (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 mn^2 .

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

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

Donde la varianza de P_0 es cero por definición.

5.5 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”

5.5.1 Procesamiento de las muestras en el laboratorio Histol3gico

Los espec3menes preservados en formalina neutralizada se procesaron en el laboratorio, registr3ndose la longitud total de cada ejemplar mediante un icti3metro, con una precisi3n de 0,5 cent3metros y el peso total, adem3s del peso g3nada, pesados en una balanza con una precisi3n de 0,01 gramos. Terminada la fijaci3n, los ovarios se deshidrataron e incluyeron en paraplast, para luego efectuar cortes histol3gicos de 5 micrones de espesor, los que fueron teñidos con hematoxilina y contrastados con eosina. Finalmente, se montaron en portaobjetos con entellan o permount para su posterior lectura y an3lisis.

Las variaciones de la condici3n reproductiva se determinaron a trav3s del an3lisis de la distribuci3n mensual de los estadios de madurez de los ovarios, en base al diagn3stico histol3gico del par3nquima gonadal, aplicando una escala microsc3pica espec3fica. Para c3lculos de fracci3n desovante solo se consideran las hembras maduras (Estadios 2 al 8), descartando las virginales (Estadio 1).

5.5.2 Estimaci3n de la fracci3n diaria de hembras desovantes (F)

El c3lculo de la fracci3n diaria de hembras desovantes se basa en el criterio utilizado por Hunter y Goldberg (1980). Durante la ovulaci3n, los ovocitos completamente hidratados son liberados desde sus fol3culos. El fol3culo vac3o o fol3culo postovulatorio es una evidencia de desove reciente, no se fragmenta y se mantiene íntegro en el ovario, 3ste se deteriora r3pidamente y es reabsorbido.

Para conseguir una mayor definición del proceso de degeneración de los Folículos Postovulatorios (FPO) se construyó una clasificación de estadios de degeneración de éstos, 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 **Tabla 5** 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), éstos corresponden a las gónadas que presentaron ovocitos con núcleo en migración e hidratados que permiten definir si la hembra desovará en el mismo día de la captura.

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 2011. En total se analizaron 10768 hembras y 5303 FPO fueron 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 h) 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 en el lance i fue estimada por:

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

Donde:

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

Y cada uno de los términos es:

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 fracción desovante del lance i es:

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

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

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

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:

- $\bar{\bar{F}}$: Fracción promedio de hembras desovantes por día en todos los lances.
- m_{yi} : $((m_{1i} + m_{2i}) / 2) + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}$ = Número corregido de hembras maduras en el i ésimo lance.
- \bar{m} : Número corregido promedio de hembras maduras $\bar{m} = \sum \frac{m_{yi}}{n}$
- n : Tamaño de muestra

5.6 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 reciente (presencia de folículos postovulatorios) y seleccionando sólo aquellos que con seguridad estaban hidratados, los cuales se pesaron con una precisión de 0,01 g.

El procedimiento técnico de conteo se inició con la absorción de líquido superficial del ovario con papel filtro, sub-muestreando la mitad más grande del ovario. Se

tomaron tres segmentos del tejido, uno del centro y dos de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario. Estas tres submuestras fueron de aproximadamente 0,2 g cada una, asegurando una cantidad no inferior a 100 ovocitos hidratados por submuestra.

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

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

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

Donde:

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

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

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

$$Y_{ji} = a + bX_{ji}$$

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 .

Los análisis de fecundidad que se han realizado durante todos los años de aplicación del MPH no reflejan una situación de heterocedasticidad en los datos (Fig 7), pero se observa que los modelos ajustados presentan bajos coeficientes de determinación (r^2), que es algo normal en las estimaciones de fecundidad y aún cuando se considere “bajo”, la asociación lineal (r) entre la fecundidad y el peso corporal, que es lo que interesa en este análisis, ha sido significativa. Tal vez otras variables pudieran contribuir a aumentar la explicación de la variabilidad del modelo, como son el tamaño de los ovocitos, estado fisiológico, edad, número de desoves previos, entre otras. Sin embargo, interanualmente esta relación es bastante estable, tal como fue analizado por Claramunt *et al.* (2012).

A las hembras maduras de cada lance se les estimó 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 : Número de peces muestreados en el lance i .
- \bar{E}_i : Promedio de la fecundidad parcial en el lance i .

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

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

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 regresión.
- n_h : Número de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresión.
- W_i^* : Peso corporal promedio de hembras en el lance i .
- W_h^* : Peso corporal promedio de hembras utilizadas en la regresión.
- $Var(\beta)$: Varianza de la pendiente de la regresión.
- n : Número de lances.

5.7 Objetivo específico 2.7

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

El método empleado para estimar la biomasa del stock desovante se basa en el modelo desarrollado por Parker (1980) y modificado por Stauffer y Piquelle (1980):

$$B = K \frac{P_0 \cdot A \cdot W}{R \cdot E \cdot F}$$

Donde:

- B : Biomasa desovante en toneladas métricas.
- P₀ : Producción diaria de huevos por unidad de área (Nº/0,05 m²/día)
- W : Peso promedio de las hembras maduras (g) de la población.
- R : Proporción de sexos (fracción de hembras de la población en peso).
- F : Fracción de hembras maduras que desovan por día.
- E : Fecundidad parcial (número promedio de huevos desovados por hembra por desove).
- A : Area de desove (en unidades de muestreo. 0,05 m²)
- K : Factor de conversión de gramos a toneladas métricas.

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

$$\begin{aligned}
 \text{Var}(B) = & B^2 \{ \text{Var}(P_o) / P_o^2 + \text{Var}(W) / W^2 + \text{Var}(R) / R^2 + \text{Var}(E) / E^2 \\
 & 1 \\
 & + \text{Var}(F) / F^2 + 2[\text{Cov}(P_o W) / P_o W - \text{Cov}(P_o R) / P_o R - \text{Cov}(P_o E) / P_o E \\
 & - \text{Cov}(RF) / P_o F - \text{Cov}(WR) / WR - \text{Cov}(WE) / WE - \text{Cov}(WF) / WF \\
 & + \text{Cov}(RE) / RE + \text{Cov}(RF) / RF + \text{Cov}(FE) / FE] \}
 \end{aligned}$$

Para cada lance i dentro de un estrato (o el área total) se estima un valor de los parámetros de interés \bar{R}_i , \bar{E}_i , \bar{W}_i y \bar{F}_i de acuerdo con las fórmulas de Picquelle y Stauffer (1985). Además para cada estrato (o área total) se tiene una estimación de \hat{R}_i , \hat{E}_i , \hat{W}_i y \hat{F}_i , luego la covarianza se puede estimar usando la fórmula:

$$\text{cov}(\hat{y}_1, \hat{y}_2) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i k_i (\bar{y}_{1i} - \hat{y}_1)(\bar{y}_{2i} - \hat{y}_2)}{\bar{m} \bar{k} n(n-1)}$$

n : Número de lances en el estrato (o en el área total)

m_i : Número de hembras muestreadas en el lance i para estimar el parámetro

k_i : Número de hembras muestreadas en el lance i para estimar el parámetro

\bar{y}_{2i}

\bar{y}_{1i} : Valor del parámetro 1 (cualquiera entre \bar{R}_i , \bar{F}_i , \bar{W}_i y \bar{E}_i)

\bar{y}_{2i} : Valor del parámetro 2 (distinto del parámetro 1).

5.8 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”

Para el cumplimiento de este objetivo se realizó un análisis integrado de las variables biológicas-oceanográficas recolectadas durante los diferentes proyectos de evaluación del stock desovante de anchoveta de la zona norte de Chile. Se dispuso y validaron los archivos de una base de datos correspondiente a 18 cruceros realizados en invierno durante el período 1992 - 2013.

La información recolectada considera los siguientes registros: fecha de muestreo, estación de muestreo, posición geográfica (latitud y longitud) de los muestreos de huevos de anchoveta y su valor de densidad expresado en número de huevos por 0,05 m²; asimismo, se dispone de datos de temperatura y salinidad provenientes de las estaciones oceanográficas realizadas en los mismos cruceros.

Con esta información se estudiaron las relaciones ambiente-recurso a través de un análisis espacio-temporal de la presencia y abundancia de los huevos de anchoveta y de las variables oceanográficas asociadas, empleando Sistemas Geográficos de Información (SIG), modelación con métodos Aditivos Generalizados (GAM), análisis multivariado y análisis geoestadístico.

5.8.1 Relaciones entre la distribución de huevos de anchoveta y las variables ambientales oceanográficas mediante SIG.

a) Procesamiento de la información

Se utilizó, como plataforma de trabajo, los SIG IDRISI Kilimanjaro (Eastman, 2003) y TNTmips (Microimages, 1997), sistemas que permiten superponer distintos planos de información para estudiar 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 prepararon los archivos de vectores bases en formato SIG, que incluyen la georreferencia con sus respectivos datos. Finalmente, a los mapas de abundancia de huevos se les determinó el Índice de Ocupación (IOC), por categorías, de acuerdo a:

$$IOC_i = \frac{NC_i}{NT}$$

donde:

IOC_i : Índice de Ocupación de la categoría "i".

NC_i : N° de pixeles de la categoría "i".

NT : N° pixeles totales.

Con el objeto de relacionar y superponer los distintos planos de información, los mapas fueron estandarizados, de manera de disponer de cartografías que posean una misma resolución y cobertura geográfica. Lo anterior significó generar imágenes en rasters con un número similar 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.

b) Análisis integrado entre la distribución espacial de huevos y las variables oceanográficas.

Para determinar la asociación entre la distribución de los huevos de anchoveta y las variables ambientales, se aplicó una tabulación cruzada o tabla de contingencia entre las variables analizadas, asimismo, la existencia de asociación se realizó por medio de la prueba χ^2 (Chi-cuadrado). Las hipótesis a probar fueron:

H_0 : No hay asociación entre densidad (huevos) y variable oceanográfica.

H_1 : Sí hay asociación entre densidad (huevos) y variable oceanográfica.

La estadística de prueba está dada por:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^r \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \rightarrow \chi^2_{(c-1)(r-1)}$$

Donde:

O_{ij} : Número de pixeles observados de la categoría (i, j) .

E_{ij} : Número de pixeles esperados de la categoría (i, j) .

El número de píxeles esperado corresponde al valor que debería darse según lo establecido en la hipótesis nula, asumiendo que ésta es verdadera. La estadística de prueba se distribuye como una Chi-cuadrado con $(c-1)(r-1)$ grados de libertad. El criterio de “aceptación o de rechazo” de la hipótesis Nula está dado por: Rechazar la hipótesis nula si $\chi^2_{\text{calculado}} > \chi^2_{\text{tabla}}(c-1, r-1)$, al nivel de significación “ α ” (igual a 0,05 por ejemplo).

Una vez determinada la existencia de asociación entre las variables, se cuantificó el grado de asociación a través del índice V (*Cramer*) (Aguilera, 2001), cuyo rango de variación se encuentra entre 0 y 1. Valores destacados del índice corresponden a:

- “0” indica que no existe asociación entre las variables;
- “1” indica que las variables presentan una asociación perfecta.

Por cierto que la proximidad al valor “0” es un antecedente de no asociación entre las variables o que el recurso se localizó en un estrecho rango de las variables ambientales, además constituye un antecedente de concentración del recurso. Por el contrario, una proximidad a “+1” es una presunción de alta asociación entre las variables y de que el recurso posee una alta cobertura espacial y se distribuye en un amplio rango de la variable ambiental.

c) Determinación de los centros de gravedad (CG)

Para las cartografías de huevos de anchoveta de cada crucero se calculó el centro de gravedad (CG) mediante 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 en el n-ésimo crucero.

Den_{in} : Densidad de huevos de la i-ésima estaci3n en el n-ésimo crucero.

5.8.2 Modelamiento estadístico de la densidad de huevos de anchoveta asociado a variables ambientales (GAM).

Los datos que se analizan se caracterizan por presentar una proporci3n importante de estaciones negativas (muestras en las cuales no se observan huevos), la que puede ser modelada considerando dos aproximaciones, una distribuci3n delta (Aitchison & Brown, 1957; Pennington, 1983), donde los valores ceros son tratados separadamente y los valores positivos se ajustan a una distribuci3n log-normal, o una distribuci3n poisson-compuesta (Jorgensen, 1997; Shono, 2008), que permite modelar de manera conjunta variables que poseen una mezcla de observaciones positivas y una presencia recurrente de valores cero. En este trabajo se emple3 esta última aproximaci3n.

Con el advenimiento de nuevas herramientas computacionales, la distribuci3n poisson-compuesta ha podido ser modelada como funci3n de factores o covariables a trav3s de modelos lineales generalizados (McCullagh & Nelder, 1983; Candy, 2004; Tascheri *et al.* 2010) y/o modelos aditivos generalizados (Hastie & Tibshirani, 1990; Gordon *et al.*, 1992; Augustin *et al.*, 1998).

Dado que el objetivo de este an3lisis se orienta a conocer la relaci3n entre las variables oceanogr3ficas y la distribuci3n de huevos de anchoveta, se hizo uso de estos 3ltimos modelos, atendiendo a la naturaleza no lineal de los predictores de localizaci3n y oceanogr3ficos considerados. El GAM es un m3todo estadístico, similar al de regresi3n cl3sica, pero con supuestos distribucionales m3s generales, adem3s 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 funci3n de enlace $g(\cdot)$ define la relaci3n entre la respuesta y el predictor lineal $\beta_0 + \sum_k S_k(x_k)$. La respuesta, y , se asume que se distribuye de acuerdo a una de las amplias familia de distribuciones estadísticas. El t3rmino x_k es el valor de la k -ésima covariable. El t3rmino β_0 es un intercepto, y $S_k(\cdot)$ es una funci3n de suavizamiento unidimensional para la k -ésima covariable.

La variable de inter3s a modelar corresponde a la densidad de huevos (número x $0,05 \text{ m}^{-2}$) y es modelada como una funci3n de variables de localizaci3n (latitud, longitud) y oceanogr3ficas (salinidad y temperatura), las cuales fueron introducidas en el modelo a trav3s de funciones no-param3tricas suaves, de la forma de los suavizadores splines c3bicos (Hastie y Tibshirani, 1990); adem3s, se incorpor3 un predictor lineal correspondiente al ańo. Este 3ltimo factor permite conocer la tendencia del índice, en un contexto interanual.

5.8.3 Análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas.

En este análisis se emplean datos correspondientes a 16 cruceros bio-oceanográficos realizados durante el período 1995 - 2013. La información correspondiente al año 1992 no fue considerada por la alta ausencia de registros de temperatura y salinidad, y tampoco la correspondiente al año 2009 debido a la escasa cobertura espacial de los datos que no permitieron realizar un ajuste adecuado del modelo espacial exponencial del variograma, y además durante este crucero se observaron valores muy bajos en la densidad de huevos de anchoveta.

Para explorar las relaciones entre las variables oceanográficas y la densidad de huevos de anchoveta, se consideró el registro promedio de la temperatura medida a los 10 metros de profundidad y la registrada en la superficie del mar, de igual manera se hizo para los registros de salinidad.

Caracterización áreas preferidas para el desove

Los valores de densidad de huevos de anchoveta fueron transformados a escala logarítmica usando sólo aquellas estaciones de muestreo en que a lo menos un huevo de anchoveta fue observado, de manera de asegurar la normalidad en los datos. La densidad media de huevos fue calculada como un promedio geométrico de los huevos recolectados por 0,05 m².

$$PG = \text{antilog} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log Y$$

Los intervalos de confianza al 95% de este promedio geométrico está dado por:

$$CL = \text{antilog } y \pm \sqrt{s^2/n}$$

Donde n es el número de estaciones en las cuales al menos un huevo de anchoveta fue observado, Y es el número de huevos de anchoveta por 0,05 m² y s^2 es la varianza (Basilone *et al.*, 2013).

Para visualizar las diferencias de la distribución de huevos entre años y las condiciones ambientales a las cuales los huevos fueron encontrados, los datos fueron reducidos a dos dimensiones usando el análisis discriminante canónico o lineal (Fisher, 1936; Rao, 1948; Borcard *et al.*, 2011). La finalidad de este análisis discriminante es encontrar las coordenadas canónicas (combinación lineal de las p variables discriminantes) que mejor permiten diferenciar entre g grupos (años). Una vez encontrada esa combinación (la función discriminante) podrá ser utilizada para clasificar nuevos casos. Aunque el análisis exploratorio demostró que la temperatura y la salinidad presentan algún grado de correlación lineal para algunos años, ambas variables fueron usadas en este análisis. Las nuevas variables canónicas (los dos ejes principales), que son derivadas como una combinación lineal de las variables originales fueron graficadas. Para identificar aquellos puntos para ciertos grupos (años), se aplicó el método de dividir los datos, de manera de extraer el primer grupo principal aplicando la función 'k-means' la cual está disponible para el lenguaje de programación y estadístico R (R Development CoreTeam, 2004). De esta manera se visualiza aquellos cruceros que presentan características similares dado sus ejes canónicos y aquellos cruceros que presentan características opuestas, como las que ocurren cuando se presenta el fenómeno de El Niño (1997) o La Niña (2007).

De manera de evaluar el hábitat potencial del desove como un conjunto de condiciones oceanográficas dentro de las cuales fueron observados la presencia de huevos de anchoveta, se aplicaron los modelos aditivos generalizados (Hastie and Tibshirani, 1990) para ajustar una curva suavizada a un único predictor (temperatura o salinidad) y una única variable respuesta (número de huevos). Se usó un único predictor ambiental para identificar la relación existente con la densidad de huevos de anchoveta para cada año en particular usando la librería 'gam'. La salida de los GAM son ajustes suavizados para cada variable oceanográfica como predictor. Cada ajuste por año puede ser analizado con respecto al nivel de devianza explicada y del rango de la región de confianza para el suavizador. El predictor ambiental por año puede ser clasificado de acuerdo al criterio mencionado anteriormente, tal que el mejor modelo por año puede ser seleccionado (Planque *et al.*, 2007).

Análisis de regla cuociente (van der Lingen *et al.*, 2001; Twatwa *et al.*, 2005, Bernal *et al.*, 2007a; Claramunt *et al.*, 2012; Basilone *et al.*, 2013) fue aplicado para evaluar los rangos preferenciales de las variables ambientales a los cuales fueron encontrados los huevos de anchoveta durante el periodo de estudio, salvo los años 1992 y 2009. Cada variable ambiental fue asignada a un número de categorías (c), por lo general alrededor de 30 para asegurar que la máxima ocurrencia por categoría no exceda el 20% de todas las mediciones (Twatwa *et al.*, 2005). Así el porcentaje de frecuencia de ocurrencia (% de la variable ambiental) y el porcentaje del total de número de huevos (% huevos) dentro de cada categoría fueron calculados. Los valores del cuociente (Q_i) fueron graficados con respecto a las variables ambientales e interpretadas para indicar una selección favorable del hábitat cuando $Q_i > 1$ y una selección desfavorable del hábitat cuando $Q_i < 1$, usando la siguiente expresión:

$$Q_i = \frac{\% \text{ huevos}_c}{\% \text{ variable ambiental}_c}$$

Donde el sufijo *c* se refiere a cada variable ambiental medida, la temperatura y salinidad superficial del mar. La prueba no-paramétrica de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1999) fue usada para evaluar si la distribución de frecuencia acumulativa de los huevos de anchoveta por categoría de la variable ambiental difiere de la distribución acumulativa de la variable ambiental. Diferencias no significativas entre las dos distribuciones acumulativas fue asignada como la hipótesis nula, es decir, la distribución observada de huevos de anchoveta fue aleatoria con respecto a la distribución de la variable ambiental.

Mapeo de áreas preferidas para el desove

Áreas recurrente, ocasional y desfavorable para el desove de la anchoveta fueron identificadas usando la técnica de análisis espacial kriging universal, la cual permite evaluar la probabilidad de presencia de huevos dentro del área de estudio para cada uno de los años considerados en el análisis. El método kriging permite interpolar la variable de interés considerando la estructura espacial de los datos descrita por la función del variograma (Isaaks and Srivastava, 1989; Cressie, 1993). El variograma experimental representa la semi-varianza entre los pares de datos como una función de la distancia espacial entre ellos. El variograma experimental es calculado usando la siguiente ecuación:

$$\gamma(\mathbf{h}) = \frac{1}{2n(\mathbf{h})} \sum_i^{n(\mathbf{h})} [Z(x_i) - Z(x_i + \mathbf{h})]^2$$

Donde $\gamma(\mathbf{h})$ representa el variograma experimental para la distancia \mathbf{h} , $n(\mathbf{h})$ es el número de pares de observaciones separadas por la distancia \mathbf{h} en una dirección

dada, $Z(x_i)$ es el valor observado de la variable en la ubicaci3n x_i y $Z(x_i + h)$ es el valor observado de la variable a una distancia h de la ubicaci3n x_i . El variograma experimental fue aplicado sobre las coordenadas geogr3ficas transformadas a kil3metros, dado por un componente espacial en la direcci3n este y otro norte usando el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM). La librería 'rgdal' fue usada para transformar las coordenadas latitud y longitud a coordenadas UTM en kil3metros. Para cada a3o de muestreo se gener3 un polígono que encierra todas aquellas estaciones muestreadas en el crucero de evaluaci3n, permitiendo usar este polígono para eliminar aquellas observaciones interpoladas (kriging) fuera del área donde se realiz3 el crucero de evaluaci3n.

Como es ampliamente conocido que la distribuci3n de la densidad de huevos es sesgada hacia valores bajos, con una alta presencia de valores cercanos a cero y cero, la estructura espacial de los huevos de anchoveta es muy difícil de describir con el variograma calculado sobre los datos originales. Una soluci3n usada para este tipo de datos (Bellier *et al.*, 2007; Planque *et al.*, 2007; Basilone *et al.*, 2013) es calcular el variograma experimental transformando los datos a binarios (presencia/ausencia) y así la estructura espacial no es influenciada por la densidad de los huevos. Para tal efecto se consider3 codificar 1 cuando la concentraci3n de huevos fue mayor o igual a uno y codificado 0 cuando hubo ausencia de huevos, así el variograma experimental fue calculado para cada crucero de un a3o en particular.

El variograma teórico fue ajustado al variograma experimental por medio del ajuste del siguiente modelo exponencial:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|}{r}\right) \right]$$

Donde $\hat{\gamma}(h)$ es el variograma te3rico, C_0 es el efecto pepita (nugget), C es el umbral parcial y r es el rango. En orden a tomar en cuenta la variabilidad interanual en los par3metros del modelo espacial, como se aprecia en el an3lisis exploratorio de los datos de la **Figura 8** observ3ndose una alta variabilidad interanual en el umbral parcial del modelo exponencial y una variaci3n moderada para los restantes par3metros, se aplicaron los modelo no-lineales con efectos mixtos (Pinheiro and Bates, 2000) agrupando los datos por a3os. La librería 'nlme' del programa R fue usada para ajustar el modelo del variograma al variograma empírico. La co-variable fue la distancia entre las posiciones de muestreo y algunos par3metros fueron considerados variables entre grupos (efectos aleatorios), mientras que otros fueron mantenidos fijos (efectos fijos) para todos los diferentes grupos (Bellier *et al.*, 2007). Para el caso del modelo de la ecuaci3n anterior, C_0 y r son considerados efectos fijos para todos los a3os, y C es considerado como un efecto aleatorio que varía para cada a3o del periodo analizado. Una vez que el modelo espacial de correlaci3n de huevos fue establecido (ecuaci3n anterior), el m3todo kriging puede ser establecido. La presencia y ausencia para los huevos de anchoveta son interpolados por el m3todo kriging universal (Cressie, 1993) en una grilla regular de 10 kil3metros aproximado.

De los cruceros de evaluaci3n del stock desovante de anchoveta analizados, el mapa promedio y el mapa de desviaci3n est3ndar fueron calculados a partir de la estimaci3n de probabilidad de la presencia en cada ubicaci3n espacial de una grilla que representa toda el 3rea de estudio cubierta por los cruceros. El mapa promedio representa el h3bitat del desove realizado e indica la distribuci3n de la probabilidad media donde los huevos de anchoveta fueron desovados, mientras que el mapa de variabilidad muestra la variabilidad interanual del desove durante todo el periodo de estudio. El mapa de probabilidad media, acotado de 0,0 a 0,9, fue clasificado en tres categorías mediante la divisi3n de tres intervalos iguales –

baja (probabilidad $\leq 0,3$), media ($0,3 < \text{probabilidad} \leq 0,6$) y alta (probabilidad $> 0,6$). El mapa de variabilidad fue clasificado en dos principales categorías, siguiendo el mismo criterio usado para el mapa de probabilidad media (intervalos iguales): alta ($DE > 0,35$) y baja ($DE \leq 0,35$) variabilidad.

El área de desove es caracterizada de acuerdo a la clasificación de Bellier *et al.* (2007) y que considera las siguientes tres categorías: 1) Zonas de desove recurrente (ZDR): áreas con alta probabilidad promedio y baja desviación estándar, donde la anchoveta desova cada año en esos sitios; 2) Zonas de desove ocasional (ZDO): áreas con alta probabilidad y alta desviación estándar, donde la anchoveta desova en algunos años pero no en otros en esos sitios; y 3) Zonas de desove desfavorables (ZDD): áreas con baja probabilidad promedio y baja desviación estándar, donde la anchoveta casi nunca desovan en esas áreas. Las librerías 'gstat' (Pebesma and Wesseling, 1998) y 'rgeos' (<http://trac.osgeo.org/geos/>) fueron usadas para estudiar la estructura espacial, definir la topología geométrica de la zona de estudio y estimar las intersecciones de los polígonos generados de las clasificaciones de los mapas promedio y de variabilidad.

Para generar los polígonos que definen las diferentes categorías para el mapa promedio y el de variabilidad, y posteriormente intersectarlos para generar las tres áreas de desove, se generó un único mapa para cada categoría (5 mapas; 3 del promedio y 2 de variabilidad) a la cuál se estimó el kernel de densidad en dos dimensiones sobre una grilla regular de puntos usando la librería 'KernSmooth'. Luego se estimó la línea del contorno donde se produce el cambio de densidad, mediante el uso de la función 'contourLines' las que posteriormente fueron transformadas a objetos de polígonos espaciales con proyección UTM en kilómetros usando la librería 'sp'.

VI. RESULTADOS

1. Monitoreo reproductivo que fundamentó el inicio del crucero

El seguimiento reproductivo, a través del análisis de la variación semanal y mensual del índice gonadosomático (IGS) e indicadores histológicos de la actividad de desove y de la atresia ovárica, permitió monitorear la época de pleno desove de la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta.

El **IGS** durante el año 2013 previo al crucero, medido con 5.412 hembras (cifra 42% menor respecto a lo medido en el 2012 en igual periodo), se caracterizó por no presentar el descenso normal de fines de verano a registros mínimos en otoño, observándose en el bimestre abril-mayo valores de **IGS** que se mantuvieron en torno al 5%, muy por sobre a los niveles históricos (**IGS** = 5% promedio referencial histórico de actividad reproductiva). A partir de junio el **IGS** se incrementó notoriamente (6%), alcanzando en julio al 7%, indicando que la anchoveta inició su máxima actividad ovárica, con registros máximos en agosto y septiembre (8%) (**Figuras 9 y 10**),

El cálculo de los índices microscópicos se sustentó de la observación histológica de 2.160 hembras, las que fueron muestreadas desde la primera semana de junio hasta la última semana de septiembre, a objeto de intensificar y precisar el monitoreo de la actividad reproductiva de la anchoveta en el período de incremento del **IGS**. El análisis microscópico fue satisfactorio en la medida que 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 semanal microscópico mostró sobre 90% de hembras activas reproductivamente (fases ováricas agrupadas 3 a 8) en el periodo de junio a septiembre, concordante al patrón reproductivo de la anchoveta en la zona norte.

El seguimiento del **IAD** (**Tabla 6; Figuras 11 y 12**) mostró el incremento desde mediados de junio, pero a fines de julio los valores se mantuvieron mayormente bajo el umbral de 25%, lo que indicó para julio (23%) una menor intensidad de desove respecto al patrón histórico. A partir de la primera semana de agosto el **IAD** aumentó (27%) y permaneció con un registro alto hasta la última semana de septiembre (45%).

El comportamiento al incremento del **IAD** definió el periodo de la máxima intensidad de desove (**MID**) que se afianzó entre la tercera semana de julio (28%) y la primera semana de agosto (27%) y se mantiene hasta la última semana de septiembre, sustentado por la mayor incidencia de hembras hidratadas y de ovarios con folículos postovulatorios.

El comportamiento característico de **IAO** (**Figuras 11 y 13**) indica una mayor incidencia de atresia en otoño, periodo de menor actividad reproductiva, mientras que está prácticamente ausente durante el evento de desove principal (junio a mediados de octubre). Desde mediados de octubre la presencia de atresia con registros relativamente bajos señalan los primeros indicios de la disminución de la intensidad de desove. En el 2013 (**Tabla 6**), el **IAO** mostró registros bajos entre junio y septiembre, con un máximo de 2,5% en la semana 31, lo que fue concordante con el desarrollo del proceso reproductivo.

El análisis reproductivo a la última semana de septiembre de 2013, indicó que el proceso de desove de la anchoveta se mantuvo alto al igual que lo observado

entre julio e inicio de agosto, visualizándose en este período la permanencia de índices reproductivos altos (**IGS** e **IAD**).

Los resultados indicaron que durante la ejecución del crucero de huevos y de la toma de datos para ejemplares adultos, la anchoveta se encontró en condición desovante, en su periodo de la máxima intensidad de desove (**MID**). No se observaron hembras en regresión ni una alta frecuencia de atresia que evidenciara la disminución de la actividad reproductiva.

2. Crucero Ictioplanctónico

De los 770 lances efectuados con red Calvet, se obtuvieron 201 registros positivos, con un total de 6267 huevos. La media de huevos por estación positiva alcanzó a 31 huevos/0,05 m².

El área prospectada fue de 36696 mn², en tanto el área de desove estimada correspondió a 10819 mn² (29.5%).

3. Crucero de adultos

3.1 Número de lances en muestreo de adultos

De acuerdo al diseño de muestreo, se efectuaron 89 lances en total, de los cuales 48 fueron efectivos (**Tabla 7, Figura 14**). Al respecto, es importante mencionar, que en las anteriores aplicaciones del MPH en Chile, se han realizado 50 lances (Rojas y Oliva, 1993), 40 lances (Claramunt *et al.*, 1996), 32 lances (Claramunt *et al.*, 1997), 60 lances (Oliva *et al.*, 1998), 51 lances (Oliva *et al.*, 2000), 60 lances (Oliva *et al.*, 2001), 60 lances (Oliva *et al.*, 2002), 60 lances (Oliva *et al.*, 2003), 60

lances (Braun *et al.*, 2004), 60 lances (Braun *et al.*, 2005) y en Perú 40 lances (Ayon y Buitron, 1997).

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

La estrategia utilizada permitió obtener suficientes lances con pesca de anchoveta de acuerdo a lo requerido por el “Método de Producción de Huevos”.

3.2 Número de anchovetas muestreadas en cada lance

En los lances con presencia de hembras hidratadas, se muestrearon 30 a 35 hembras, considerando que este tamaño de muestra garantiza un coeficiente de variación inferior al 20% para fracciones desovantes altas y bajas, tanto para las estimaciones a partir de FPO de día 1, como de día 2 y la combinación de ambos, según lo planteado en propuesta técnica, las que se analizaron histológicamente de acuerdo a lo propuesto por Rojas y Oliva (1993), con el fin de registrar la incidencia de folículos postovulatorios para la determinación de la frecuencia de desove.

3.3 Distribución espacial de anchoveta

La distribución espacial adoptada por los ejemplares adultos de anchoveta durante el periodo de estudio, se extendió latitudinalmente desde Arica (18°28') hasta el norte de Tocopilla (21°50'S) y desde la primera hasta las 88 mn.

Particularmente se detectó anchoveta en el sector comprendido entre Arica a caleta Pisagua donde se congregó el 52% de los lances efectivos, el resto de los lances se concentró entre Tocopilla y Pisagua (48%) (**Figura 14**).

3.4 Distribución de tamaños de ejemplares de anchoveta

Durante el crucero se midieron 5.695 anchovetas, cifra 5% mayor respecto al año 2012. Del total de anchovetas medidas, 2.903 correspondieron a machos con longitudes comprendidas entre 11,5 a 17 cm de longitud total, con una moda en los 15 cm (29,4 %), mientras que las hembras (2.792) presentaron un rango de tamaño similar a los machos, también con una moda en los 15 cm (33,7 %) (**Figura 15**). En comparación con las tallas registradas en igual período del año 2012, se observan diferencias en la amplitud de talla (machos: 11,5 – 16,5 cm; hembras: 12,0 – 18,5 cm) y valores modales en machos y hembras de 13 cm.

4. Objetivo específico 2.1

“Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta”

El área de crucero prospectada a partir del año 2002 superó las 30.000 mn², cubriéndose en el año 2013 de 36.696 mn² (**Tabla 8**), correspondiendo ésta a la cuarta área prospectada más grande, después de los años 2006, 2007 y 2009. En relación al 2012, el área se incrementó en un 13,6 % respecto del año 2012. Dentro de este mismo período también se ha registrado el mayor número de estaciones positivas y las mayores abundancias, sin embargo, en esta ocasión, la abundancia registrada entre punta Carrizalillo (26°00´S) y Arica (18°25´S) fue la tercera más baja desde 1992, con un total de 6.283 huevos, lo que representa un 41,7% menos respecto al invierno de 2012, distribuyéndose éstos en 201 estaciones positivas (26%) de un total de 770. La densidad media de huevos por estaciones positivas y totales en el crucero de 2013 fue de 31 y 8 huevos/0,05 m², respectivamente.

El desove fue mayoritariamente costero, localizándose el 82% de los huevos en las primeras 25 millas (**Figura 16a**), se extendió a lo largo de toda la franja latitudinal de muestreo, entre Arica y punta Carrizalillo (26°00´S) y desde la

primera hasta las 80 mn; sin embargo, el 97% de los huevos se concentraron en la mitad norte de la zona de estudio, entre Arica y punta Cobija (**Figura 17**). Dentro de esta zona, la mayor dispersión hacia el sector oceánico se detectó entre Arica e Iquique, a partir de esta última localidad las concentraciones de huevos comenzaron a aglomerarse hacia las primeras millas de la costa. Desde el sur de Antofagasta los huevos se detectaron en estaciones bastante aisladas unas de otras y con mayor frecuencia hacia sectores más oceánicos. Individualmente hubo dos transectas que son las que presentaron la mayor densidad promedio de huevos que el resto, con un 13% cada una, localizadas frente a punta Pinto ($18^{\circ}40'S$) y caleta Ligate ($20^{\circ}30'S$) (**Figura 16b**). En el área cubierta por estas dos transectas se detectaron los dos focos de desove más importantes (690 y 673 huevos/ $0,05m^2$, a 1 y 25 mn, respectivamente), cuya densidad en conjunto representó el 22% respecto del total de huevos de anchoveta cuantificados. El resto de los registros positivos exhibieron abundancias que fluctuaron entre 1 y 431 huevos/ $0,05 m^2$ (**Figura 17**).

Los índices que dan cuenta de la intensidad del desove de anchoveta, el 2013 exhibieron importantes disminuciones respecto al año anterior. La intensidad del desove estimada a partir de las estaciones positivas decreció un 39%, mientras que la intensidad referida a la totalidad de estaciones se redujo en un 58%.

El actual crucero fue el que exhibió la menor variabilidad espacial en la distribución de las estaciones positivas, secundado por los años 1992 y 2000 (**Figura 18; Tabla 8**) al presentarse las estaciones positivas bastante aglomeradas, con muy pocos focos de huevos dispersos de los núcleos principales (**Figura 19**).

La estimación de la densidad media de huevos de anchoveta mediante el método delta-lognormal se muestra en la **Figura 20**. Se comprueba que este parámetro

presenta una variabilidad interanual importante, fluctuando entre valores promedios cercanos a 37 huevos/0,05 m² en el 2002 y próximos a 5 huevos/0,05 m² en el 2007. De igual manera, se observan dispersiones intraanuales variables que se reflejan en estimaciones de densidad media de huevos más o menos precisas, entre las primeras destacan las estimaciones de los años 1995, 1997, 2000, 2002, 2006, 2011 y 2013 con coeficientes de variación (CV) inferiores al 20% .y entre las segundas, sobresalen las estimaciones correspondientes al 2001 y 2009 que se caracterizan por tener un CV en torno al 50%, coincidiendo con una baja proporción de estaciones positivas registradas en estos dos años, 12 % y 5% respectivamente. Para el 2013, con este método, se estimó una densidad media de 7,5 huevos/0,05 m² (CV= 17%), corresponde a la tercera más baja de la serie 1992-2013, superada sólo por las estimaciones de los años 2007 y 2009.

No se observa una relación entre los niveles anuales de densidad de huevos de anchoveta y la proporción de estaciones positivas, pero si existe una asociación inversa entre esta última y el CV de las estimaciones de la densidad de huevos, vale decir a mayor proporción estaciones positivas mayor es la precisión de la estimación de este parámetro (**Figura 21**). En el 2013 la proporción de estaciones positivas alcanzó al 26 % y está dentro de los nueve períodos anuales más bajos (**Figura 22**).

Por otra parte, la distribución de los lances de pesca cubrió toda la extensión latitudinal considerada en el diseño de muestreo para los huevos (**Figura 13**). La totalidad de los lances positivos se concentró exclusivamente en el sector norte de la zona de estudio, coincidente con el área de mayores densidades de huevos de anchoveta, éstos abarcaron desde Arica hasta el norte de Tocopilla, no superando las 25 mn en toda la zona a excepción del las transectas 2, 3 y 4 (Arica y punta Pinto), sector donde los lances se extendieron hasta las 80 mn, pero no siendo a esta distancia de la costa coincidentes a la presencia de huevos. Desde Tocopilla

al sur la distribución de los lances de pesca estuvo asociada a las estaciones más costeras (entre 1 y 45 mn), pero todos ellos sin presencia del recurso.

5. Objetivo específico 2.2

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

5.1 Vientos *in situ*

Durante el período de estudio los vientos en general fueron débiles, ya que el 79 % de los registros presentó intensidades menores a 5 m/s y se distribuyeron a lo largo de toda la zona (**Figura 24a**), mientras que un 20 % fluctuó entre 5 a 10 m/s, focalizándose principalmente en el sector oceánico al sur de Antofagasta y en el sector costero frente a Mejillones (**Figura 24b**). Se registró un porcentaje mínimo (1%) con intensidades mayores a 10 m/s, concentrados principalmente fuera de las 10 mn en el área de Mejillones (**Figura 24c**). Los vientos con componente norte alcanzaron el 32% de los datos y estuvieron repartidos principalmente entre Arica y punta Camarones, Iquique a caleta Patillos, de los 22° S a punta Gualaguala y en menor medida en punta Errázuriz y punta Ballenita (**Figura 24d**). De los vientos medidos en las primeras 30 mn, el 67% (329 registros) fue favorable a la surgencia.

El índice de surgencia (IS) promedio fue menor a 20 m³/s en Arica y presentó un aumento a partir de caleta Chipana y hasta los 24°30' S, donde se registró un máximo de 470 m³/s (**Figura 25a**). Entre las latitudes 19° y 21° S y de los 26° a 27° S, los IS fueron negativos (transporte hacia la costa) con un rango entre -16 y -147 m³/s, éste último en el extremo sur del área muestreada. El índice de turbulencia promedio (IT) en el sector costero fluctuó entre 8 y 181 m³/s³ y en el sector oceánico, entre 38 y 360 m³/s³ (**Figura 25b**). El IT máximo costero se ubicó entre los 22° y 23° S, mientras que el oceánico se localizó entre los 24° y 25° S.

Entre Arica y los 21° 30' S y al sur de los 26° S los valores de IT, tanto costeros como oceánicos, fueron menores a 100 m³/s³.

5.2 Distribuciones a nivel

5.2.1 Temperatura superficial (TSM)

La temperatura superficial del mar (TSM) presentó un gradiente norte sur con un foco > 18 °C entre las 40 y 60 mn entre Arica y punta Madrid (**Figura 26a**). En la costa de Arica se registró el máximo de 18,7 °C. Hacia el sur las TSM descendieron hasta un mínimo de 13,3 °C que se midió en las 60 mn frente a punta Ballenita, predominando de Antofagasta al sur las temperaturas <15 °C. Los gradientes costa-océano estuvieron débilmente desarrollados, observándose sólo dos focos costeros de menor temperatura, uno entre punta Gruesa y punta Lobos y el otro en la estación costera de Mejillones.

La anomalía de temperatura (ATSM) tuvo valores en el rango ±1 °C en la mayor parte de la zona, primando ampliamente valores negativos menores a 1°C (absoluto) tanto en la costa como en el sector oceánico (**Figura 26b**). Focos negativos mayores a 1 (absoluto) se registraron en pequeñas áreas, siendo el más importante el ubicado en el sector oceánico de punta Copaca. ATSM positivas menores a 1 °C se registraron también en pequeños focos más bien costeros, siendo el más importante el desarrollado entre Arica y punta Madrid, que abarcó hasta las 60 mn con un máximo de 2 °C en la estación costera de Arica.

5.2.2 Salinidad superficial (SSM)

La salinidad superficial presentó un rango entre 34,5 y 35,2 (**Figura 26c**). El mínimo estuvo ubicado en las 60 mn de punta Ballenita y el máximo en las 40 mn

de punta Junín. En el sector costero, un gradiente este-oeste dentro de las 20 mn se extendió entre Arica y punta Lobos, coincidiendo con un foco oceánico de salinidades mayores a 35,1 que descendió hasta 34,8 en la costa. Hacia el sur, el gradiente principal fue norte-sur, primando salinidades menores a 34,7 desde Antofagasta al sur, con mínimos de 34,6 en la mayor parte de la sección de punta Ballenita.

La anomalía de salinidad (ASSM) en la mayoría de la zona fluctuó en el rango $\pm 0,1$, primando las anomalías negativas tanto en el sector costero como oceánico (**Figura 26d**). Los focos negativos mayores a 0,1 más importantes se ubicaron en el sector oceánico entre punta Madrid a punta Gruesa y desde punta Arenas a punta Copaca, mientras que el sector costero se registró sólo uno entre punta Madrid y punta Junín. ASSM positivas se registraron en el sector intermedio del muestreo (20 a 60 mn) entre Arica y punta Lobos con máximos superiores a 0,1 en dos pequeños focos en punta gruesa (20 mn) y punta Lobos (40 mn). Hacia el sur, pequeños focos de ASSM positivos se ubicaron en el sector oceánico de Mejillones y entre las 10 y 40 mn de rada Paposó.

5.2.3 Temperatura en el nivel de 50 m

En el área de estudio la temperatura en el nivel de 50 m fluctuó entre 12 ° y 16 °C. Sin embargo, en el sector costero predominaron temperaturas entre 13 ° y 14 °C, destacándose el área de Tocopilla donde este rango se extendió hasta las 80 mn. Temperaturas menores a 13 °C se localizaron en un foco, que va en forma segmentada, desde Antofagasta a punta Ballenita. El área de Tocopilla es la única que presentó TSM de 13 ° a 14 °C. Las temperaturas máximas se encontraron en el sector más oceánico de Iquique, Mejillones y punta Tres Picos (**Figura 27a**).

5.2.4 Diferencia térmica entre superficie y nivel de 50 m

La diferencia térmica entre los dos niveles de profundidad señalados muestra en general valores positivos en el rango de 0° a 4,7 °C (**Figura 27b**). Esta diferencia térmica aumenta hacia el norte, donde diferencias > 2 °C se ubican al norte de Mejillones con máximos > 4 °C, formando un foco costero frente a Arica y que alcanzó hasta las 70 mn. Los mínimos valores (< 1 °C), se ubicaron en el sector intermedio y oceánico de Mejillones al sur.

5.2.5 Salinidad en el nivel de 50 m

La distribución de salinidad en este nivel registra una notoria variabilidad pues se forman diversos focos a lo largo de la franja costera y oceánica (**Figura 27c**). El rango de salinidad va de 34,4 a 35, donde el mínimo señalado ocupa un pequeño foco frente a punta Tres Picos, mientras el máximo se posicionó a 80 mn frente a Iquique. De Arica a Tocopilla predominan en la costa salinidades > 34,8, también frente a Mejillones desde la costa hasta el sector oceánico, mientras de punta Tres Picos al sur predominan valores < 34,7.

5.2.6 Diferencia de salinidad entre superficie y nivel de 50 m

En esta variable hay un rango de valores totales de -0,27 a 0,46 (**Figura 27d**). De Arica a los 23° S predominan los valores positivos, encontrándose las diferencias mayores a 0,3 en el sector oceánico de Arica a punta Arenas. Al sur de los 23° S de latitud las diferencias salinas son mayoritariamente menores a 0,1, con focos negativos de 0 a -0,1.

5.2.7 Densidad superficial

La densidad superficial presentó un rango de entre 25,01 y 25,96 kg/m³, con el mínimo en la costa de Arica y el máximo en las 40 mn de punta Ballenita (**Figura 28a**). Se observó principalmente un gradiente norte-sur, partiendo por un mínimo < 25,4 kg/m³ dentro de las 40 mn en el sector de Arica, aumentando a valores > 25,6 kg/m³ desde punta Junín al sur hasta valores > 25,8 kg/m³ entre rada Paposó y punta Ballenita. En el sector costero un foco de valores menores a 25,6 kg/m³ se ubicó entre punta Lobos y punta Arenas.

5.2.8 Isotherma de 15°C

La profundidad de la isoterma de 15°C (zl15) fluctuó entre 0 y 82 m, presentando marcados gradientes costa-océano en la franja costera entre Arica y Mejillones, aumentando desde un nivel menor a 20 m en la costa hasta profundidades mayores a 50 m entre punta Junín y punta Lobos. Hacia el sur, el máximo nivel de zl15 del muestreo se registró en punta Tres Picos, mientras que en rada Paposó la zl15 sólo se registró entre las 40 y 60 mn. En Antofagasta la zl15 se ubicó a menos de 10 m en las estaciones costeras y a nivel más superficial en las oceánicas (**Figura 28b**).

La anomalía de profundidad de la isoterma de 15 °C presentó un rango entre ± 10 m entre Arica y Mejillones, con valores tanto positivos como negativos, salvo por la presencia de dos focos negativos mayores a 20 m (absoluto) ubicados en el sector oceánico de punta Madrid y punta Copaca, y un foco positivo mayor a 10 m en las 40 mn de Mejillones. Hacia el sur un foco de anomalías negativas mayores a 40 m se registró en Antofagasta y dos focos negativos uno mayor a 40 m en las 80 mn de punta Tres Picos y otro > 30 m en las 20 mn de rada Paposó (**Figura 28c**).

5.2.9 Capa de mezcla (CM)

La capa de mezcla (CM) (**Figura 29a**) fluctuó entre 0 y 75 m, primando espesores menores a 10 m principalmente dentro de las 40 mn, con la excepción de un foco en el sector costero de punta Gruesa que superó los 25 m y uno mayor a 15 m en las 20 mn de punta Ballenita. En el sector oceánico focos de CM mayor a 10 m se registraron frecuentemente fuera de las 60 mn siendo el de mayor tamaño el que se extendió desde Antofagasta hasta punta Ballenita, conteniendo el máximo del muestreo a 80 mn de rada Paposo.

5.2.10 Oxígeno superficial (OD)

El oxígeno disuelto (OD) (**Figura 29b**) superficial presentó un rango de entre 3,64 y 7,09 mL/L. En la mayor parte de la zona, y principalmente en el sector oceánico, el OD mantuvo concentraciones entre 5 mL/L y 6 mL/L, salvo por dos pequeños focos de OD menor a 5 mL/L en las 80 mn punta Madrid y en las 40 mn de punta Ballenita. En el sector costero se observan las mayores variaciones, con pequeños focos de OD mayor a 6 mL/L en la milla de Arica y Antofagasta, en la punta norte de la península de Mejillones, más un foco de mayor tamaño entre punta Arenas y punta Lobos, donde se registró el máximo del muestreo. En la costa, focos de concentraciones de OD menores a 5 mL/L también fueron escasos y de poca extensión, ubicándose éstos en las 10 mn de punta Madrid, en las estaciones costeras entre punta Junín (mínimo del muestreo) y punta Gruesa, en punta Lobos, en Mejillones, y entre las 5 y 10 mn de Antofagasta.

5.2.11 Profundidad de la concentración de 1 mL/L

La profundidad de la concentración de 1 mL/L de OD, que representa el límite superior de la capa de mínimo OD (**Figura 29c**), presentó dentro de los primeros

100 m muestreados un fuerte gradiente costa-océano, registrándose dentro de las primeras 20 mn profundidades entre 17 y 50 m entre Arica y punta Arenas (con los mínimos del muestreo registrados en Arica y punta Junín), más el área entre Mejillones y Antofagasta. En el sector de punta Copaca la profundidad de esta isolínea aumentó de 50 m a 5 mn hasta 68 m en la primera milla, mientras que desde punta Tres Picos a punta Ballenita el nivel de profundidad aumentó entre 60 y 70 m dentro de las 5 mn. Hacia el sector oceánico, focos de profundidades mayores a 70 m se ubicaron en las 80 mn frente a Arica y 40 mn en punta Madrid, en tanto que desde punta Junín al sur ocuparon gran parte del área de muestreo, alcanzando un máximo que sobrepasó los 100 m en las 70 mn de punta Arenas. Al sur de Antofagasta hasta punta Ballenita estas profundidades (> 100 m) formaron un foco de gran extensión el que se acercó hasta las 10 mn en rada Paposo. Cabe destacar la elevación hasta 31 m observada en las 40 mn de punta Ballenita.

5.2.12 Distribución superficial de clorofila y feopigmentos

La distribución de clorofila-a estimada (cloa) superficial (**Figura 30a**) abarcó un rango entre 0,21 µg/L y 10,98 µg/L, máximo ubicado en las 10 mn de punta Lobos. Las concentraciones de cloa presentaron una banda productiva (concentraciones > 1 µg/L) costera entre Arica y Antofagasta, la que se extendió hacia el oeste hasta un máximo de más de 20 mn en punta Lobos y un mínimo de 1 mn en punta Copaca. Focos de concentraciones mayores a 5 µg/L se registraron en el sector más costero de punta Junín, punta norte de la península de Mejillones y Antofagasta, siendo el de mayor tamaño el ubicado en el entorno de punta Lobos donde el foco superó las 10 mn hacia el oeste. En esta última sección al igual que en Antofagasta, se registraron pequeños focos de concentraciones mayores a 10 µg/L. Desde punta Tres Picos al sur las concentraciones costeras fueron muy inferiores a las del sector

centro-norte, con máximos de 0,5 µg/L. En el sector oceánico amplios focos de concentraciones, que superan los 0,5 µg/L, se registraron entre punta Lobos y punta Copaca superando las 80 mn de la costa, y entre las 40 y 60 mn desde Antofagasta al sur, registrándose un solo punto de concentración > 1 µg/L en las 40 mn de Antofagasta.

Los feopigmentos (feop) superficiales (**Figura 30b**) presentaron un menor rango de concentraciones las que fluctuaron entre 0 y 2,6 µg/L, con escasos focos de valores mayores a 1 µg/L, los que se ubicaron en las estaciones costeras entre punta Madrid y punta Junín , punta Lobos y Antofagasta, con extensiones que superaron las 10 mn sólo en punta Lobos. Las concentraciones más altas, superiores a 2µg/L, se registraron en las 5 mn de punta Junín y en la milla de Antofagasta. En el sector costero entre punta Arenas y punta Copaca y desde punta Tres picos al sur, más el sector oceánico las concentraciones de feop fluctuaron en torno a los 0,2 µg/L.

5.2.13 Distribución de clorofila y feopigmentos integrados

La distribución de la clorofila-a integrada (cloint) (**Figura 30c**) abarcó un rango de valores entre 19 y 395 mg/m². La cloint presentó una franja costera de valores mayores a 100 mg/m² que abarcó desde Arica a punta Arenas, la que se mantuvo dentro de las 10 mn, con una mínima extensión en punta Junín. Dentro de esta franja dos focos de valores superiores a 300 mg/m² se registraron en las 5 mn de Arica y punta Lobos, siendo éste último el máximo del muestreo, luego focos de valores por sobre 200 mg/m² se registraron en punta Madrid y entre punta Lobos y punta Arenas. Hacia el sur, sólo dos focos mayores a 100 mg/m², pero de pequeño tamaño, se registraron en la punta norte de la península de Mejillones y en las 5 mn de Antofagasta. El resto del sector fluctuó entre 20 y 40 mg/m².

Los feopigmentos integrados (feopint) (**Figura 30d**) tuvieron un rango de entre 4 y 90 mg/m², registrándose esporádicos focos por sobre 60 mg/m² en el sector costero de Punta Junín, entre punta Lobos y punta Arenas, donde se registró el máximo del muestreo. Focos de valores > 40 mg/m² se ubicaron en el sector costero de punta Madrid, punta Gruesa y Antofagasta, mientras que en el resto de la zona los feopint fluctuaron en torno a los 20 mg/m².

5.3 Distribuciones verticales

5.3.1 Temperatura

La distribución vertical de la temperatura (°C) se entrega en las **Figuras 31 y 32**. En estas imágenes se observa que las mayores variaciones se registraron en la capa de los primeros 100 m, bajo este nivel las isotermas descienden gradualmente hasta un mínimo de 8 °C, observándose en la mayoría de ellas pendientes negativas hacia la costa, lo que es más pronunciado desde punta Lobos al sur. La única sección que presentó pendiente positiva fue punta Copaca, pero sólo hasta las 40 mn mientras que hacia la costa la pendiente cambió a negativa. Dentro de los primeros 100 m, temperaturas mayores a 15 °C se registraron dentro de los primeros 50 m hasta punta Hornos, siendo apenas registrada en la costa de bahía Moreno, y sólo en núcleos en punta Tres Picos y rada Paposó. Las mayores temperaturas superficiales (> 18 °C) se registraron sólo en pequeños focos en el extremo norte, descendiendo rápidamente hasta los 16°C, que es la temperatura característica de esta capa hasta punta Arenas. Hacia el sur la temperatura descendió hasta los 14 °C. Dentro de esta capa superficial las isotermas, en general, presentaron pendiente positiva hacia la costa, siendo esto más intenso entre Arica y punta Arenas y entre punta Hornos y

bahía Moreno, afectando la capa más superficial en las primeras 5 mn. En Arica se observó un calentamiento en la milla, lo que se tradujo en una profundización de las isotermas.

5.3.2 Salinidad

La distribución vertical de la salinidad se entrega en las **Figuras 33 y 34**. En éstas se aprecia la formación de tres capas bien definidas, la capa salina superficial que disminuye su presencia de norte a sur con máximos de 35,1 hasta punta Lobos (superando este valor en un solo punto en Pisagua) y mínimos de 34,6 en el extremo sur. La capa de mínima subsuperficial que aumenta su participación de norte a sur, ubicada en el sector más oceánico entre los 50 y 150 m con valores de 34,7 en Arica y disminuyendo hasta 34,5 en el sur, y mínimo de 34,4 en pequeños núcleos entre bahía Moreno y rada Paposó. La tercera capa ubicada bajo la mínima, es una capa de mayor salinidad centrada en los 150 m con valores típicos de 34,8, los que tienden a disminuir en presencia hacia el sur, siendo reemplazada por valores de 34,7 desde punta Tres Picos al sur. Bajo los 250 m la salinidad desciende gradualmente con la profundidad hasta valores de 34,6 en el norte y 34,5 en el sur en los niveles más profundos. Hacia la costa, se observa que la capa de mínima subsuperficial y algo de la de máxima profunda se acercan hacia la superficie, restringiendo la capa salina superficial fuera de las 5 a 10 mn desde el extremo norte hasta punta Copaca, predominando en el sector costero más superficial valores de 34,8.

5.3.3 Densidad

La distribución vertical de la densidad (kg/m^3) se entrega en las **Figuras 35 y 36**. Estas distribuciones siguen un patrón similar a la temperatura, con las mayores

variaciones en la capa de los primeros 100 m. En esta capa se observaron fuertes pendientes positivas hacia la costa, principalmente desde Arica a bahía Moreno, hacia el sur también se observan pero menos definidas con ascensos a distancias intermedias, seguidas de profundizaciones y ascensos en la costa, esto último en bahía Moreno y rada Paposó. Las menores densidades superficiales se registraron desde punta Arenas al norte con valores $< 25,8 \text{ kg/m}^3$, hasta un mínimo de $25,4 \text{ kg/m}^3$ en pequeños focos superficiales en el extremo norte. Hacia el sur, la densidad de la capa superficial aumentó hasta valores de 26 kg/m^3 en punta Ballenita. Bajo los 100 m la densidad aumentó gradualmente con la profundidad hasta un máximo de $26,8 \text{ kg/m}^3$, en los niveles bajo los 400 m. En general, bajo los 200 m las pendientes fueron negativas, registrándose en punta Copaca la mayor alteración con pendiente positiva hasta las 40 mn.

5.3.4 Distribución vertical de las anomalías de temperatura y salinidad

La **Figura 37** muestra las anomalía verticales de temperatura (AT) y salinidad (AS) de las secciones de Arica (T1), Punta Lobos (T17) y bahía Moreno (T33). La AT en Arica registra en general valores negativos en la capa de los primeros 100 m, los que alcanzan un valor máximo de -1°C en el sector oceánico a 75 mn de la costa entre los 50 y 100 m de profundidad. El núcleo de valores negativos menores a 0,5 (absoluto) se extiende hacia la superficie del sector costero (> 5 mn) diagonalmente, formándose un núcleo pequeño de valores de hasta -2°C en la costa. El núcleo de AS negativas tiene la misma forma y extensión que el de AT, siendo el máximo de $-0,2$ en el sector oceánico y el resto del núcleo de valores entre $-0,2$ y $-0,1$. Un núcleo de AS positivos de hasta 0,1 se localizó en la capa de 25 a 50 m entre las estaciones de 60 y 75 mn.

En la sección de Punta Lobos la distribución de anomalías es similar a la anterior para ambas variables pero con el núcleo de AT y AS subsuperficial negativos más desarrollado ($-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-0,2$, respectivamente) y desplazado hacia la costa, pero esta vez sin llegar a la capa superficial, abarcando en el caso de la AS por fuera de las 20 mn y en la AT por fuera de las 40 mn. El núcleo de valores positivos de ambas anomalías ubicado sobre el núcleo negativo también se desplazó hacia el este, ubicándose en las 40 mn y centrado en los 25 a 40 m con valores de $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0,1$, en AT y AS respectivamente.

La sección de Antofagasta (bahía Moreno) destaca el núcleo de AT negativos $>1^{\circ}\text{C}$ (absoluto) que abarca prácticamente toda la sección y hasta 50 m de profundidad, con un núcleo de AT máxima negativa de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre las 20 y 40 mn y desde los 25 a 50 m de profundidad. En salinidad toda la capa superficial de los primeros 25 m tiene AS negativas de $-0,1$ a $-0,05$, destacándose en esta sección el núcleo subsuperficial de valores positivos mayores a $0,05$, y que alcanza un máximo en el centro de $0,2$, que está localizado en las 40 mn entre 50 y 100 m.

5.3.5 Oxígeno disuelto

La distribución vertical del oxígeno disuelto (mL/L) se entrega en la **Figura 38**. En esta se observa que el fuerte gradiente óxico (concentraciones entre 1 y 5 mL/L) se profundiza hacia el sur principalmente en el sector oceánico, partiendo en Arica con profundidades entre los 45 y 70 m, hasta bajo los 80 m desde punta tres Picos a punta Ballenita. La capa superficial bien oxigenada, mayor a 5 mL/L, en el sector oceánico aunque con variaciones tendió a aumentar su espesor hacia el sur, mientras que hacia la costa debido a la pendiente positiva del gradiente, el espesor de esta capa disminuyó notoriamente. En la capa superficial, sólo algunos núcleos esporádicos de pequeño tamaño superaron los 6 mL/L, siendo el

más notorio el ubicado en las 10 mn de punta Lobos. En el sector costero superficial, las isolíneas de concentraciones menores a 5 mL/L, interceptaron la superficie en Pisagua (el más intenso), punta Gruesa, punta Lobos, punta Hornos y punta Ballenita, en bahía Moreno esto ocurrió más afuera, entre las 5 y 10 mn. Un aumento de la concentración de OD se registró en los primeros 15 m de la estación costera en Arica y también en bahía Moreno, hundiendo el gradiente hacia la costa.

La isolínea de 1 mL/L presentó en general fuertes pendientes positivas hacia la costa llegando hasta los 30 m o menos en las estaciones costeras entre Arica y bahía Moreno. Hacia el sur se encontró más profunda, salvo en las 40 mn de punta Ballenita donde se elevó hasta los 30 m. En las secciones de punta Copaca y punta Hornos la mínima profundidad se alcanzó en las 5 mn ya que en las estaciones costeras se observó una fuerte profundización de las isolíneas hasta por debajo de los 65 m.

5.3.6 Masas de Agua

La distribución vertical del AST dentro de los primeros 100 m se entrega en la **Figura 39**. Esta masa de agua se presentó en la capa superficial dentro de los 90 m como máximo, perdiendo presencia en intensidad hacia el sur, pero no en área ocupada. Núcleos superficiales de porcentaje de masa de agua (PPMA) mayores a 60% se registraron entre Arica y punta Lobos, disminuyendo gradualmente hacia el sur hasta estar presente con 20% como máximo en punta Ballenita. Resalta el núcleo mayor a 70% ubicado en las 40 mn que se extendió desde el extremo norte hasta punta Lobos, el que abarcó desde la superficie hasta cerca de los 40 m. Dentro de éstos núcleos se observaron tres de AST prácticamente puros, > 90%, los que se ubicaron a nivel superficial en punta Madrid y dentro de los

primeros 30 m punta Junín, ambos centrados en las 40 mn, más un núcleo subsuperficial en las 80 mn de punta Junín centrado en los 30 m. En Arica, las isolíneas de PPMA tuvieron una fuerte pendiente positiva hacia la superficie de la estación de 5 mn de la costa, aumentando luego en la estación costera donde superó el 60% el los primeros 10 m.

La distribución vertical del ASSA dentro de los primeros 100 m se entrega en la **Figura 40**. Esta masa de agua ubicada sub-superficialmente tuvo una participación relativamente baja dentro de la columna, con PPMA generalmente del 20% en las estaciones costeras de la parte norte aumentando hacia el sur hasta 30 a 40% como máximo en pequeños núcleos en punta Ballenita. Esta masa sólo superó el 50% de PPMA en pequeños núcleos ubicados bajo los 60 m hacia el sector oceánico sur del área de muestro.

La distribución vertical del AESS dentro de los primeros 100 m se entrega en la **Figura 41**. Esta masa estuvo presente en prácticamente toda el área de muestreo, salvo en donde el AST estuvo con núcleos > 90%. A nivel superficial el AESS tuvo porcentajes entre 20% en el norte y 40% en el sur, sin embargo la diferencia estuvo en que entre Arica y bahía Moreno los porcentajes aumentaron rápidamente con la profundidad, encontrándose valores por sobre 60% desde los 30 m en el sector más costero, mientras que en el extremo sur el núcleo estuvo más profundo. PPMA superiores a 80% se registraron en los niveles más profundos en el sector oceánico y acercándose a las capas intermedias en el costero entre Arica y bahía Moreno, pero sólo en pequeños núcleos costeros, pero profundos, bajo los 70 m hacia el sur de la zona.

5.3.7 Clorofila-a y feopigmentos

La distribución vertical de clorofila-a estimada (cloa) ($\mu\text{g/L}$) se entrega en las **Figura 42**. En esta distribución los núcleos de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ se registraron entre Arica y bahía Moreno, mientras que hacia el sur en punta Tres Picos la concentración máxima superó los $0,5 \mu\text{g/L}$ y en rada Paposo y punta Ballenita aunque se registraron núcleos $> 1 \mu\text{g/L}$, éstos tuvieron una mínima presencia en la costa. En general los núcleos de cloa no superaron los 45 m, mientras que hacia el oeste la extensión en general no superó las 20 mn, siendo los de mayor extensión los núcleos de punta Lobos, punta Hornos y bahía Moreno. En el sector oceánico se observaron tres núcleos pequeños de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$, siendo dos subsuperficiales el primero ubicado a 80 mn en punta Arenas y el otro a 40 mn en punta Copaca, más un núcleo que abarcó desde superficie hasta los 35 m a 40 mn en bahía Moreno, este último conectado con el foco costero. En cuanto a concentraciones, la mayores se registraron en Arica y punta Lobos con máximos $> 20 \mu\text{g/L}$, punta Arenas $>15 \mu\text{g/L}$, bahía Moreno $> 10 \mu\text{g/L}$ y punta Madrid, Pisagua y punta Hornos con $> 5 \mu\text{g/L}$.

La distribución vertical de feopigmentos (feop) en la capa de los primeros 100 m se muestra en la **Figura 43**. Los feop presentaron escasos núcleos de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$, los que se concentraron el sector centro norte, entre Arica y Pisagua, más punta Lobos, punta Arenas y bahía Moreno donde fue a penas perceptible en el sector costero. Las mayores concentraciones superaron los $3 \mu\text{g/L}$ en la estación costera de punta Arenas y máximos $> 2 \mu\text{g/L}$ se registraron en Pisagua y bahía Moreno. El núcleo de punta Lobos destacó por superar los 75 m de profundidad en las estaciones costeras.

5.4 Serie de los promedios de clorofila integrada por crucero

Para el análisis de la clorofila integrada de los cruceros entre 2004 y 2013 se ocuparon dos tipos de estimadores, el de razón (ER) y el geoestadístico (EG) presentando ambos una tendencia similar en los resultados, con la excepción de los años 2011, 2012 y 2008, donde el EG presentó un menor valor (**Tabla 9, Figura 44**).

Las estimaciones de razón fueron mayores a las del EG, en tanto que el error de estimación y el coeficiente de variación en general fueron menores para el ER, debido esto a que el estimador geoestadístico toma en cuenta la variabilidad espacial de los datos. Al margen de lo anterior, en general ambos métodos muestran que los años más ricos en términos de cantidad de clorofila fueron los años 2005 y 2013, aunque el ER agrega a los anteriores el año 2011 como el segundo más rico. En la serie de ambas estimaciones se observa un descenso relativo entre 2006 y 2009, siendo este último el año de mayor pobreza pigmentaria de la serie. Tomando en cuenta lo anterior y lo corta de la serie, no se puede descartar el uso del estimador geoestadístico en futuros análisis.

5.5 Serie de Índice de surgencia (Transporte Ekman) y anomalía

La serie de índice de surgencia (IS) calculado a partir de los vientos registrados entre enero y noviembre de 2013 en los aeropuertos de Iquique y Antofagasta se muestra en la **Figura 45 y 46**. En ellas se observa que la serie de Iquique tuvo permanentemente valores más altos que Antofagasta doblando o triplicándolos en ocasiones. De mayo a septiembre ambas series muestran un descenso en las intensidades, aunque Iquique mantiene pulsos que superan los 2000 m³/s (**Figura**

45). Desde finales de septiembre ambas series se intensifican a valores similares al comienzo del año. La serie de Antofagasta tiene una menor variabilidad y por lo general, el IS apenas supera los 1000 m³/s con un promedio aproximado a los 500 m³/s, mientras que en Iquique este promedio está cerca de los 2000 m³/s, con eventos puntuales que superan los 3000 m³/s entre enero a abril y desde septiembre a noviembre. En el periodo del crucero, tercera y cuarta semana de agosto y primeros 9 días de septiembre se registra en ambas series los eventos de transporte hacia la costa (IS negativo) más intensos del periodo, siendo también más frecuentes en Iquique. En la serie filtrada (**Figura 46**) destaca que el evento de mayor intensidad en Iquique se observó en febrero y en menor medida a mediados de octubre y mediados de noviembre, mientras que en Antofagasta el evento más intenso se observó a mediados de septiembre y entre el 20-25 de julio.

En la serie de la anomalía del índice de surgencia (AIS) (**Figura 47**) también se observa que Iquique tiene eventos más fuertes que Antofagasta, en forma permanente. Esto refleja la diferencia en las magnitudes ya que en Iquique los máximos están cerca de los ±1000 m³/s, mientras que en Antofagasta alcanzan los ±500 m³/s, salvo en el periodo de fines de julio a septiembre donde en ambas series se aprecia que existe una fuerte fluctuación y junto con ello una fuerte caída en la intensidad, principalmente en la primeras semanas de septiembre en Antofagasta con un mínimo de -2000 m³/s cercano al 10 de septiembre, y a los -1000 m³/s en Iquique.

5.6 Imágenes de satélite

5.6.1 TSM y ATSM satelital

La imagen satelital de TSM de la primera semana (**Figura 48a**) muestra una gran área nubosa, sin embargo se puede observar que al norte de caleta Chipana predominaron temperaturas mayores a 17 °C en el sector oceánico, foco que se acercó hacia la costa en Arica, en los 20° S y en caleta Chipana. Hacia el sur las TSM descendieron por debajo de los 15 °C en el sector costero de la península de Mejillones y de Tal-Tal al sur. En la segunda semana (**Figura 48b**) se aprecia una situación similar a la anterior, sin embargo se puede observar que las temperaturas mayores a 17 °C predominaron en el sector oceánico al norte de los 20° S, manteniéndose en la costa entre punta Pinto y Pisagua. La isoterma de 16°C abarcó en general, como máximo, hasta punta Guasilla, en los 72° W, mientras que hacia el sur las TSM inferiores a 15 °C ocuparon toda el área desde rada Paposó al sur.

En la tercera (**Figura 48c**) y cuarta semana (**Figura 48d**) de cruce también hay abundante nubosidad, sin embargo se logra apreciar el aumento de TSM principalmente en el sector oceánico al norte de los 20° S y 22° S, respectivamente, con TSM >18 °C. En el sector costero primaron TSM por sobre 17°C al norte de los 20° S y menores a 17 °C hacia el sur hasta punta Tres Picos, con un foco de TSM menor a 16 °C en la península de Mejillones y desde punta Tres Picos al sur, con la excepción de un foco de TSM > 17 °C desde Mejillones hasta los 24° S en torno a los 71° W. En la cuarta semana, TSM por sobre 20 °C se registraron en los 72° W a la altura de caleta Patillos, mientras que hacia el sur las menores a 16 °C se percibieron desde el sur de Antofagasta, más un foco cercano a la costa entre caleta pabellón de Pica y punta del Urcu.

En las anomalías de TSM satelital (ATSM) de los meses de agosto y septiembre (**Figura 49**) se observa una gran cubierta nubosa que afectó principalmente el sector oceánico al norte de los 24° S y 22°S respectivamente. Sin embargo, en ATSM del mes de agosto se observa un rango de valores $\pm 1^{\circ}\text{C}$, pero predominan ampliamente valores negativos y éstos están ubicados principalmente en el sector oceánico. Focos de anomalías positivas se registraron de los 72° W a la costa hasta los 24° S, ampliando su extensión al Suroeste pero siempre con valores menores a $+1^{\circ}\text{C}$. En el sector costero, las anomalías positivas sólo se registraron en caleta Chipana, punta Tres Picos y de punta Plata al sur.

En septiembre la ATSM satelital también se mantuvo, en general, en el rango $\pm 1^{\circ}\text{C}$, pero predominan ampliamente valores positivos tanto en el sector oceánico como costero, con tendencia a aumentar hacia el sector oceánico al norte de los 22° S. En la costa las anomalías negativas se ubicaron entre punta Madrid y punta Junín, caleta Patillos a caleta Chipana, en la punta norte de la península de Mejillones y punta Tres Picos.

5.6.2 Clorofila satelital

La clorofila satelital semanal promedio (**Figura 50**) muestra una gran cobertura nubosa en la primera, tercera y cuarta semana sin embargo, se logra distinguir que en el sector costero de la primera semana hay una banda costera bien definida de concentraciones entre 1 y 10 $\mu\text{g/L}$ que se extendió entre Arica y punta Lobos, aumentando la concentración hacia el sur de Pisagua. Esta banda tuvo una máxima prolongación hacia el oeste en caleta Patillos. Hacia el sur, a pesar de las nubes, se aprecia un foco de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ que se extendería entre los 22° S y Mejillones con máximos $> 5 \mu\text{g/L}$, mientras que el último foco se ubicó en

Antofagasta con una concentración máxima $> 5 \mu\text{g/L}$. En la segunda semana disminuyeron las concentraciones del borde costero, registrándose valores $> 5 \mu\text{g/L}$ en pequeños focos entre caleta Patillos y Chipana. Hacia el sur, focos de cloa mayor a $1 \mu\text{g/L}$ se registraron en Mejillones y Antofagasta (máx. $> 2 \mu\text{g/L}$). En el sector oceánico se presentan altas concentraciones, $>1 \mu\text{g/L}$, entre punta Pinto y punta Colorada (20° S), destacándose el núcleo en los 72° W frente a punta Pinto ($> 5 \mu\text{g/L}$).

En la tercera semana, una banda costera de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ ocupó la mayor parte entre Arica y Antofagasta, con focos aislados de valores $> 5 \mu\text{g/L}$. Mientras que en la cuarta semana la cubierta nubosa se presentó en gran parte del sector costero, por lo que sólo se pudo identificar un foco de concentraciones $>10 \mu\text{g/L}$ en el sector de Antofagasta y la punta sur de la península, uno $> 5 \mu\text{g/L}$ en Arica, y otro de valores $> 2 \mu\text{g/L}$ entre el norte de punta del Urcu y caleta pabellón de Pica.

5.6.3 Anomalía del nivel del mar

La anomalía del nivel del mar (ANM) y velocidad geostrofica (**Figura 51**) semanal se muestra en fechas representativas de las cuatro semanas del crucero. En las tres primeras imágenes los giros tanto ciclónicos como anticiclónicos variaron levemente su ubicación y su intensidad, alcanzando la mayor intensidad anticiclónica en la tercera semana con una estructura que aparece en el sector costero al norte de Mejillones, generando un circulación hacia el sur en ese lugar. Por otra parte, los giros y estructuras ciclónicas asociadas a ANM negativas se intensificaron y primaron claramente en la cuarta imagen, ubicándose los giros más intensos entre los 73° y 74° W frente a punta Camarones y una estructura costera a la misma altura, más un giro de menor intensidad y tamaño ubicado al

oeste de los 73° W a la altura de punta Plata y una estructura que abarcó desde punta Tres Picos al sur y de costa hasta los 72° W aproximadamente. Esta semana se mantuvo la estructura anticiclónica al norte de Mejillones pero con una intensidad menor a la imagen anterior.

5.6.4 Condiciones regionales (Pacífico Ecuatorial)

La serie del MEI en el periodo julio 2002 a febrero de 2014 (**Figura 52a**) muestra valores positivos desde principios de la serie hasta mediados de 2005, desde mediados de 2006 a mediados 2007, desde mediados 2009 a mediados de 2010 y un último periodo que corresponde a abril 2012 hasta mayo 2013, excepto por los meses de febrero y marzo en que el MEI fue levemente negativo. Los valores MEI de estas fases positivas no superaron el valor de 1,5, midiéndose ese máximo en febrero de 2010.

En esta serie, la primera fase de valores de MEI negativos fue breve y se dio entre octubre de 2005 y abril de 2006 llegando hasta -0,62. La segunda fase fue más prolongada y abarcó desde junio de 2007 hasta abril de 2009, con sólo un mes de MEI positivo (0,06) en junio de 2008. En esta larga fase fría, el MEI negativo más intenso fue de -1,5 en marzo de 2008. El periodo de los MEI más negativos en esta serie, y la segunda desde 1950, partió en junio de 2010, con un máximo de -2 en el mes de septiembre, y finalizó en marzo de 2012 con un MEI de -0,4. Desde junio de 2013 a febrero de 2014 los valores MEI han sido principalmente negativos aunque relativamente menores con un máximo de -0,6 en agosto, con una excepción en octubre pero de valor positivo menor a 0,1.

Los rangos de los datos MEI que son promedios de dos meses (**Figura 52b**), muestran que en la serie 2002-2014 hubo una alternancia de periodos cálidos El Niño y fríos La Niña de intensidad y duración variables. Desde el comienzo de la serie hasta mediados de 2003 hubo un proceso cálido que alcanzó una intensidad moderada, el cual fue seguido de otro proceso cálido en el primer semestre de 2005. Un proceso frío, que escasamente alcanzó una intensidad débil, se midió en los primeros meses de 2006, para pasar rápidamente a un periodo cálido que fue de intensidad moderada a fuerte desde noviembre del mismo año hasta el primer trimestre del 2007.

Continúan en esta serie dos procesos fríos, uno fuerte con un máximo en marzo de 2008 y otro débil con un pico en febrero de 2009. A continuación hubo un proceso cálido que alcanzó un máximo en febrero de 2010 y rápidamente paso a un proceso frío de intensidad fuerte con un máximo en septiembre de 2010, pero que se mantuvo fuerte hasta abril de 2011. Tras un muy breve periodo neutral comenzó un nuevo periodo frío débil desde agosto de 2011 a marzo de 2012, el que pasó rápidamente a un periodo cálido breve que duró desde abril a septiembre de 2012, el cual no fue definido como evento El Niño por la NOAA. Desde septiembre 2012 a mayo de 2013 los rangos MEI indican una condición neutral, observándose de junio a agosto una tendencia hacia condiciones frías La Niña débil, lo que cambió rápidamente en septiembre a condiciones neutrales, por lo que no fue considerado como tal por la NOAA, lo que significa que se considera periodo neutral entre abril de 2012 y febrero de 2014.

5.7 Serie de Temperatura satelital

5.7.1 Serie de Temperatura satelital

En las serie de ATSM se registró entre 2002 y 2006, en general, una situación variable tanto negativa como positiva, pero que no supera el valor de 1 °C, con algunas excepciones (**Figura 53cde**). Se destacan entre el 2006-2014 dos periodos negativos como los más intensos, el primero en el año 2007, con anomalías de -1 °C en el sector costero y -2 °C en el oceánico, principalmente en el sector oceánico del área norte donde llega casi hasta -3 °C (18° a 23° S). El segundo periodo entre junio y diciembre de 2010 tuvo anomalías negativas promedio >1 °C (absoluto) en la costa del área norte, y cercanas a -1 °C en el sector oceánico tanto al sur como al norte de los 23° S.

Hay también tres periodos de ATSM positivos principales que se destacan en la serie por cobertura espacial y temporal (**Figura 53cdefg**). El primero de éstos ocurre en el año 2006, con ATSM positivas que se mantienen prácticamente todo el año con un pico en el primer semestre donde se registran ATSM cercanas a 1 °C. El segundo periodo cálido en la zona norte se presenta en los años 2009-2010, donde hubo ATSM que superaron 1 °C principalmente en el sector oceánico. En el primer semestre de 2011 se presentaron en la zona de estudio ATSM en general positivas, que superaron el valor de 0,5 °C en el sector oceánico.

En el periodo neutro Ecuatorial del periodo junio-agosto 2011 y desde el momento de reactivación del periodo frío La Niña posterior (septiembre), las ATSM en la zona variaron entre -0,5 y 0,5 °C pero sólo hasta enero de 2012 ya que en febrero es cuando comienza el tercer periodo cálido en la zona, con anomalías positivas que llegaron a 1 °C en promedio, pero que localmente en algunas áreas entre

Arica y Antofagasta superaron los 2 °C en marzo de 2012 y se mantuvieron bajo el valor de +0,5 °C desde agosto hasta noviembre de ese año (**Figura 53f**).

Para enero y febrero de 2013 se presentaron ATSM positivas que llegaron a 1°C tanto en la costa como el sector oceánico del área sur, para luego en marzo disminuir abruptamente a entre 0° y -1 °C en toda la zona, manteniéndose en valores negativos menores a 0,5 °C hasta octubre, excepto en el área oceánica norte y sur en el mes de mayo, que es el único mes desde marzo que registró valores positivos de hasta +0,5 °C. Entre noviembre 2013 y enero de 2014 la tendencia fue hacia valores positivos con máximo > 1 °C tanto en el sector costero como oceánico del área sur, cambiando a valores negativos en febrero, aunque menores a 0,5 °C (absoluto).

5.7.2 Serie de Clorofila satelital

En cuanto a la serie de promedios de las clorofilas satelitales en la banda costera de las primeras 20 mn, se observan fluctuaciones importantes desde el inicio de la serie hasta finales de 2007, continuando posteriormente un periodo de mayor estabilidad que se extiende hasta septiembre de 2012 (**Figura 54c,d,e**). Entre finales de 2008 y finales de 2011 se observa una clara tendencia negativa en la serie, en particular, prácticamente durante todo el año 2009, 2010 y el primer semestre del 2011, donde se registraron valores menores al promedio. El 2012 se invierte la tendencia, sobrepasando los valores promedios de la serie con un máximo de 13,1 µg/L en julio. En el 2013 la clorofila se mantuvo bajo el promedio hasta el mes de agosto, para incrementarse en septiembre y alcanzar el registro más alto del año con 13,5 µg/L. El comportamiento de la clorofila muestra que en agosto de 2013 se alcanzó la menor concentración comparativamente con igual mes de toda la serie; de igual manera, en septiembre se registró la segunda concentración más alta respecto del mismo mes de la serie.

La separación por áreas (norte y sur de los 23° S) (**Figuras 54de**) muestra que hay diferencias en el sector costero norte y sur, teniendo el sector del norte concentraciones más altas que el del sur, mientras que en el sector oceánico el promedio de la serie de las dos áreas son similares. Ambas series tienen un comportamiento similar en el tiempo.

La figura de la serie costera latitud/tiempo de clorofila (**Figura 54ef**) muestra la disminución de los focos de altas concentraciones con posterioridad al 2008, manteniéndose sólo el área entre los 18° y 20° S como aquella donde se presentan los focos más importantes y recurrentes. En el sentido norte-sur la franja costera productiva se ve interrumpida frecuentemente a la altura de la península de Mejillones (23° S). Hacia el sur, sólo el área de Antofagasta se puede considerar como un foco recurrente de altas concentraciones, y en menor medida los focos menos frecuentes ubicados entre los 25° S y 26° S. Principalmente en el sector norte y en menor medida en el sur, se observa una mayor frecuencia de máximos a mediados de cada año.

La serie oceánica muestra una tendencia similar a la costera aunque con otra escala de concentraciones. En este sector, focos esporádicos de concentraciones mayores a 1 µg/L se registraron hasta el año 2009 siendo el extremo norte, 18° a 19° S, el área más recurrente en el tiempo, con áreas más extensas a mediados de 2005, 2006 y 2007. Desde 2008 en adelante sólo un par de focos se registraron a comienzos de 2010 y 2011, aproximadamente en los 24° S y de los 22° S al sur a mediados de 2012 y 2013, observándose además un pequeño foco, > 1,5 µg/L, cercano a los 26° S a finales de año.

6. Objetivo específico 2.3

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

6.1 Proporción sexual en peso de hembras maduras

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó una amplitud comprendida entre 0,36y 0,78 (**Tabla 10**) con un promedio de 0,53, una varianza igual a 0,00032 y un coeficiente de variación de 3,4%.

6.2 Peso promedio de hembras maduras

La distribución de tallas de las hembras en el año 2013 presenta un rango amplio, con moda centrada a los 14,5 cm (**Figura 55**).

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, resultando

$$PT = -0,3434 + 1,080*PC$$

$$r^2 = 0,98$$

$$n = 1217$$

El peso promedio del cuerpo de las hembras maduras, fluctuó de 17,9 a 26,8 gramos (**Tabla 10**). El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 24,47 gramos, con una varianza de 0,074 y un coeficiente de variación de 1,1%.

7. 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”

7.1 Producción diaria de huevos

El número de huevos por estadio de desarrollo, indicó una mayor representación en el estadio 2, 3 y 4, observándose una disminución paulatina a partir del estadio 2 (**Figura 56**, situación normal respecto del promedio histórico en que el estadio 1 y 2 se encuentran sub-representados por su baja probabilidad de muestreo debido a su corta duración y a que la hora de muestreo debe ser cercana a la hora pico de desove (23:00 h).

7.2 Asignación de edad a Huevos

Como fue señalado en la metodología, se aplicaron dos enfoques para la asignación de edad a los huevos de anchoveta, correspondientes a la metodología tradicional de Lo (1985) y al Modelo Multinomial (Bernal *et al.*, 2001)

7.3 Estimación tradicional de Lo:

La ecuación utilizada en esta oportunidad, a diferencia de aplicaciones anteriores del método, corresponde a la ajustada para *Engraulis ringens* de la zona norte de Chile, en base a los datos del experimento de incubación de Soto (2001) y que se encuentran detallados en Claramunt *et al.*, (2007). Los parámetros de la ecuación se entregan en **Tabla 11**.

7.4 Modelo Multinomial

El ajuste del modelo probabilístico multinomial utilizado para la datación de huevos de anchoveta zona norte se presenta en la **Figura 57** y la **Tabla 12**.

7.5 Estimación de P_0

En **Tabla 13** se entregan los resultados de las estimaciones de P_0 y Z según las dos metodologías contenidas en los paquetes *eggs* y *eggsplore* de R. Para el “Modelo de Lo GLM” la desviación estándar de la edad de los huevos para el estadio es tomado de los experimentos de incubación. En el caso del Modelo Multinomial se especificó la desviación estándar en 1,5 horas en el parámetro “Spawn.sig” dentro de “depm.control” en el paquete *eggs* de R. La producción diaria de huevos estimada para el modelo de Lo es de 55,07 huevos/0,05m²/día con un coeficiente de variación de 28%. En el modelo multinomial la estimación es de 58,27 huevos/0,05m²/día con un coeficiente de variación de 29%. La tasa de mortalidad instantánea para el modelo de Lo se estima en 0,061 hora⁻¹ y para el modelo Multinomial en 0,063 hora⁻¹, con errores estándar de 0,0099 y 0,0107 respectivamente, siendo ambas mortalidades significativamente distintas de cero ($P < 0,05$). Esta significancia de los parámetros proviene del mismo ajuste, considerando la distribución exacta o asintótica del estimador. Es decir, el estadístico de contraste (basado en el estimador y su varianza) se compara con un valor tabulado dado por la distribución probabilística de éste, para el caso de la Multinomial y el modelo de Lo, la distribución del estadístico es asintóticamente normal y por lo tanto, el valor del estadístico de contraste es comparado con esta distribución.

Una vez ponderadas las estimaciones de la producción diaria de huevos por la proporción de área de desove (área positiva respecto del área total), se observa que el parámetro alcanzó valores similares a los estimados el 2011 y 2012 (**Figura 58**).

8 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”

Se analizaron 1277 hembras, correspondientes a 37 lances provenientes de la Pesca de Investigación (**Tabla 14**).

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

8.1 Fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta

La distribución horaria de los estadios ováricos y FPO obtenidos en los proyectos del 2004 al 2012 de acuerdo a la metodología seguida por Claramunt *et al.*, (2007) se entrega en **Tabla 15** y es representada en la **Figura 59**. El ajuste de un modelo de distribución horaria de los FPO indica que en general puede ser tratada como una distribución Gamma, (i.e. Con cierta asimetría) (**Tabla 16**). La **Figura 59** indica que el estadio de núcleo migrante (EMM 5) se manifiestan a partir de las 23:00 horas, máximo hacia las 8:00 horas y muestra un decaimiento hacia horas de la tarde, que coinciden con el incremento de las hembras hidratadas, las que tienen un máximo hacia las 15:00 horas. Hay un claro pico en la incidencia de hembras con FPO I entre las 23:00 y 2:00 h. Esta moda de los FPO I se va desplazando en el tiempo en los FPO II; III y IV. La amplitud (desviación estándar) se incrementa en el estadio IV (**Figura 59 y Tabla 16**). La distribución del estadio FPO V presenta una gran amplitud, indicando un posible solapamiento 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 Gamma (**Figura 60**) se observa claramente la progresión en el tiempo del estadio I al IV. Del estadio V 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 5,4% aprox. estimado según el ajuste (**Tabla 16**) y 5,9% observado (**Tabla 15**), provendría de la noche anterior de desove, esto es, las hembras con FPO IV capturadas entre las 18:00 y 2:00 h provendrían de la noche anterior de desove (i.e. tienen más de 24 h), ya que en este lapso se está produciendo el desove (FPO I) y la degeneración no es tan rápida.

Para el año 2013, la distribución horaria de los FPO muestra la misma tendencia que la obtenida para los años 2004 al 2011 (**Figura 59**). En donde 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, por lo que no se recomienda su utilización para efectos de cálculo.

Considerando a los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5) e Hidratado (EMM 6) como pertenecientes al grupo de desove que desovaré dentro de las próximas 24 horas, la fracción desovante se estima en 0,295, con una varianza de 0,00107 y un coeficiente de variación de 11,1%. Considerando los FPO de I al IV (Excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 h) como correspondientes hembras que desovaron la noche anterior, o sea con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estima en 0,19 con una varianza de 0,00063 y un coeficiente de

variación de 13,2%. Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,242, una varianza de 0,00035 y un coeficiente de variación de 7,7%.

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. Sin embargo, la nueva clasificación de los estadios para la estimación de fracción desovante (Núcleo migrante + Hidratadas y FPO I al IV) ha mostrado bastante consistencia entre ellos (**Tabla 17**).

8.2 Patrones de largo plazo en los FPO (No comprometido en la oferta técnica).

Como una forma de validar la asignación de edades de los FPO se utilizó la base de datos histórica de los 15 años de aplicación del Método (MPH) en la zona norte, lo que totaliza 21622 hembras con análisis histológico de sus ovarios. En una primera aproximación se efectuaron análisis de la presencia o ausencia de FPO, es decir sin ninguna distinción de estadio o edad. Se calculó la frecuencia de FPO por estrato de peso corporal, con el requisito de que en cada estrato de peso quede un número igual o superior a 200 ejemplares.

Los resultados indican que el 45,2% de las hembras maduras presenta FPO. La mayoría de los ejemplares, el 70,4% (15222 ejemplares), se encuentran en estadio de vitelado (EMM 4) y de éstos, el 61,1% tiene presencia de FPO. Los estadios de núcleo migratorio (19,8%) e Hidratado (8,5%) representan en conjunto el 28,4%, de los cuales solamente el 5,9% y 1,6% respectivamente tiene

presencia de FPO (**Tabla 18**). Sobre esta base se puede señalar que la gran mayoría (95,1%) de los FPO se presentan en el estadio vitelado y por lo tanto, es en este estadio donde se produce su reabsorción. La proporción de FPO no muestra tendencia a través de los estratos de peso corporal de las hembras, estando en torno al 45% (**Figura 61**).

La proporción de hembras con presencia de FPO en función de la hora de captura, muestra un decaimiento sostenido hasta las 20:00 h para luego aumentar al acercarse la hora pico de desove (23:00 h) (**Figura 62**). Una conceptualización del proceso se muestra en **Figura 63**, en donde se observa el aumento de FPO en torno a la hora pico de desove para luego decaer sostenidamente. En el día 2 se tendría la mezcla de FPO provenientes del desove del día 1 (Indicado en figura por la proyección de la línea) y FPO del día 2 (círculos negros y segunda línea en figura). La proyección lineal realizada solo con la proporción de FPO hasta las 20:00 h indica una total reabsorción de los FPO del día 1 a las 47 horas. Por estrato de peso corporal se observa la misma tendencia, indicando por un lado la consistencia en la tasa de reabsorción y por otro, que no hay efecto del tamaño de la hembra en la tasa de reabsorción (**Figura 64**).

Sobre la base de la información histórica desde que se está aplicando la escala de FPO de siete estadios (2007), lo que corresponde al análisis de 15222 hembras, se estimó la proporción de FPO en los estadios 1 a 4 y de 5 a 7. Para el primer grupo (1 al 4) se observa un decaimiento sostenido a través del tiempo y no lineal, cuya proyección indica una ausencia de este grupo al cabo de 26 horas. Para el segundo grupo de FPO en estadios 5 al 7, no se observa decaimiento debido al solapamiento de distintas edades provenientes de más de un desove (**Figura 65**).

Los resultados de los patrones de largo plazo en torno a los FPO permiten formular ciertas premisas:

- a) En anchoveta existe sincronía en el desove, evidenciada por la proporci3n de huevos en estadio 1 (reci3n fertilizados) colectados desde el plancton (**Figura 66**). Este se produce entre las 21:00 y 2:00 h, con un pico en las 23:00 h. Por lo tanto, el intervalo de desove de una hembra debe ser n3mero entero (ej.: 3 o 4 días). Si el promedio es 3,5 significa que algunas hembras desovan cada 3 días y otras cada 4 días.
- b) El 95,1% de los FPO se encuentran en el estadio Vitelado, por lo tanto es en este estadio donde se produce la reabsorci3n.
- c) En el estadio Vitelado, el 61,1% de los ovarios tiene FPO. Por tanto la duraci3n de los FPO es el 61% del tiempo que dura el estadio vitelado
- d) Las hembras hidratadas no tienen FPO viejos, por tanto las anchovetas desovan a intervalos mayores a 2 días (esto pone un límite inferior).
- e) La frecuencia de FPO en funci3n del peso corporal muestra una asíntota cercana al 45%. La divisi3n de esta proporci3n por la duraci3n del FPO nos daría la fracci3n desovante de largo plazo. Es decir si los FPO duran 2 días, la fracci3n desovante diaria de largo plazo estaría en torno al 22,5%. Esta estimaci3n es concordante con las estimaciones de fracci3n desovante diaria seg3n la escala de 7 estadios de FPO y con los criterios utilizados en la **Tabla 17**.
- f) La proporci3n de FPO en funci3n de la hora de captura muestra una declinaci3n hacia las 20 horas en forma global y por estrato de peso, la cual proyectada en el tiempo indica una ausencia de FPO (reabsorci3n completa) a las 47 horas.
- g) Si los FPO duran 47 horas, implica una frecuencia de desove cada 4 días (72 horas), ya que se tendría para el ciclo entre desoves: 2 días con FPO (47 h), más 1 día sin FPO (Vitelados sin FPO) y otro día para núcleo migratorio e

hidratación (para desovar a las 23 horas). Por lo tanto, el estadio vitelado duraría 72 horas (47 h con FPO + 24 h sin FPO). Si el estadio vitelado dura 72 horas, el 61,1% (Proporción de vitelados con FPO) de este valor corresponde a 43,3 h, valor cercano a la duración predicha de FPO (47 h).

- h) El decaimiento en la proporción de FPO de estadios 1 al 4 es concordante con una duración de este grupo de 24 horas.

9 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 41 hembras que efectivamente clasificaron microscópicamente como hidratadas (**Figura 67**) 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.

$$\text{Fecundidad} = 1502,2 + 589,9 * (W)$$

n : 41

r : 0,63

Sa : 2598,88

Sb : 116,45

Syx : 2809,33

P(Pendiente=0)= $1,018 \cdot 10^{-5}$

La regresión ajustada para el año 2013 predice fecundidades dentro del rango de la serie, (**Figura 68; Tabla 19 y 20**)

La fecundidad parcial promedio, utilizando el modelo ajustado el 2013 y los datos de pesos medidos en los 37 lances efectivos del 2013, varió de 11372 a 16272 ovocitos por hembra (**Tabla 10**). La fecundidad media poblacional se estimó en 15026 ovocitos/hembra, con una varianza de 228063 y un coeficiente de variación de 3,2%.

10 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 resulta en 520.336 ton, con una varianza de $7,42309E+10$ y un coeficiente de variación de 52,4%. Por el Modelo Multinomial se estima una biomasa de 550.629 ton con una varianza de $8,80176E+10$ y un coeficiente de variación de 53,9% (**Tabla 21**). Estas diferencias se explican por los distintos ajustes de acuerdo a la datación de los huevos. Sin embargo, ambas estimaciones son similares a la de los últimos años (**Figura 69**). Esta tendencia también se observa en el área de desove, la cual es levemente inferior al 2012 (**Figura 70**).

11. 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”

11.1 Relaciones entre la distribución de huevos de anchoveta y las variables ambientales oceanográficas mediante SIG.

En la **Figura 71** se presenta la distribución espacial de los huevos de anchoveta correspondiente a la temporada de invierno de los cruceros realizados entre 1992 y 2013. De la misma manera, en las **Figuras 72 y 73** se observan las distribuciones de la temperatura y salinidad, respectivamente.

Entre 1992 y 1996, el ictioplancton exhibió un moderado comportamiento territorial caracterizado por concentraciones regulares. El foco que presentó las mayores densidades se emplazó entre Iquique y Tocopilla vinculado preferentemente a aguas con temperaturas entre 14 ° y 16 °C (**Figuras 72 y 74a**). En el caso de la salinidad, en 1992 se registraron valores altos asociados al evento “El Niño”, que incluso alcanzó los 35,5 al norte de Iquique (**Figura 73**). La distribución de los huevos respecto a la salinidad, indica que éstos se encuentran entre los 34,3 a 34,9, con una preferencia por salinidades entre los 34,5 y 34,7 (**Figura 74b**).

En 1997 el ictioplancton presentó una localización espacial más desplazada hacia el sur, debido a los efectos del fenómeno ENOS. Se identificaron tres núcleos principales: el primero frente a Arica muy pegado a la costa; el segundo y el más importante frente a Punta Lobos (latitud 21° S) a una distancia de 40-50 mn y el tercero, que se situó entre Mejillones y Antofagasta (**Figura 71**). La temperatura

asociado a este fenómeno presentó un gran aumento, es así que el núcleo de mayor densidad de huevos estuvo relacionado con el borde costero con aguas de 18-19 °C, en dicho año los huevos se ubicaron en temperaturas que fluctuaron entre 15 ° y 21 °C (**Figura 74a**). De igual manera la salinidad experimentó un importante incremento, los huevos se distribuyeron en el rango 34,7-35,2, y preferentemente a salinidades superiores a los 34,8.

En el período 1999-2001, la cobertura de huevos disminuyó significativamente (a excepción del 2000). Sin embargo se detectaron núcleos de grandes densidades, uno localizado al sur de Iquique hasta las proximidades de Tocopilla, en una zona que no sobrepasó las 25 mn de la costa; el segundo se observó a unas 50 mn frente a Tocopilla y el tercero, se emplazó entre Mejillones y Antofagasta. Este último foco, se caracterizó por presentar una densidad de huevos muy alta que superó los 1.500 huevos/0,05 m² y por tener una cobertura netamente costera. El primer núcleo se encontró en aguas surgentes, en tanto que el último y más importante estuvo asociado a una masa de aguas frías de temperaturas de 13 - 14°C. En cuanto a las salinidades, éstas decaen considerablemente y se ubican entre 34,1-35,2, en este periodo los huevos se concentraron en el estrato 34,7-35,1 asociados mayoritariamente a la moda de 34,7-34,8 (**Figuras 73 y 74b**).

Entre el 2002 y 2004 hubo un leve aumento en la cobertura espacial de los huevos. En este período se destacaron dos sectores: el primero, caracterizado por densidades intermedias, se localizó al sur de Arica y se extendió incluso hasta el oeste de los 71° W; en tanto, el segundo núcleo se ubicó entre Iquique y el Loa y abarcó un área de casi 1.000 mn², con densidades que superaron en algunas pocas estaciones los 1.000 huevos/ 0,05 m². Estas áreas de agregación de huevos se encontraron asociadas a aguas con temperaturas que fluctuaron entre los 13 ° y 17 °C y en sectores de gradientes térmicos relevantes. En relación a la

salinidad, los huevos se localizaron en el estrato de 34,4-35,2, con una nítida predilección por el estrato 34,7-34,8, lo que es coincidente con lo registrado en años anteriores.

Durante los años 2005-2009, hubo una reducción en la cobertura geográfica, en especial en el extremo sur del área prospectada. La repartición territorial de los huevos fue la menor de toda la serie analizada, especialmente el 2009 en que el Índice de Ocupación (IOC) representó sólo el 10 % del área muestreada (**Figura 75**). En este período se observaron dos focos principales: el primero frente al puerto de Arica, cubriendo un área cercana a las 280 mn² donde se registraron las mayores concentraciones con densidades superiores a los 1.000 huevos/0,05 m²; el segundo foco importante se ubicó frente a Iquique cubriendo un área aproximada de 700 mn². Hubo un tercer núcleo (app 800 mn²) que se situó entre Pta. Lobos y Tocopilla, con densidades estimadas superiores a los 500 huevos/0,05 m².. En relación a la temperatura, se aprecia que los núcleos principales quedaron restringidos por el borde interno de las aguas de 15 °C y las mayores abundancias ocurrieron dentro del intervalo 14 ° y 16 °C. En cuanto a la salinidad, los huevos de anchoveta se localizaron en el rango 34,4-35,1 y preferentemente entre los 34,6-34,9.

En los años 2011 y 2012, el índice de ocupación (IOC) reveló un gran aumento y alcanzó a un 58 % del área prospectada, siendo el mayor índice estimado en el período de estudio (**Figura 75**). No obstante, las estaciones positivas presentaron mayoritariamente densidades bajas de ictioplancton, con valores destacados sólo en los sectores costeros frente de Arica y del río Loa. Las mayores densidades estuvieron asociadas a isotermas de 14 ° a 16 °C y a isohalinas de 34,7 a 34,8.

El 2013 la distribuci3n espacial de huevos disminuy3 respecto a los dos a1os anteriores, registr3ndose un IOC de 37 % con un n1cleo relevante ubicado al SW de Iquique a 30 mn de la costa. Los huevos se localizaron entre los 13 ° y 18 °C, con una moda en la isoterma de 16°C (38% de las celdas). El coeficiente $V(Cramer)$ se estim3 en 0,58, lo que revela una significativa correlaci3n entre la proporci3n de celdas positivas y la temperatura (**Figura 76a**). En el caso de la salinidad, se observ3 una distribuci3n bimodal de la frecuencia de celdas positivas, con una moda principal en las isohalinas de 34,8-34,9 (42 % de pixeles) y otra secundaria en 35,1 (29 % de registros), la asociaci3n entre las variables tambi3n fue alta con un $V(Cramer)$ de 0,41 (**Figura 76b**).

An3lisis de los Centros de Gravedad (CG)

El estudio de los CG de la distribuci3n de huevos de anchoveta present3 variaciones interanuales importantes, sin embargo es posible visualizar algunos patrones. As3 en 1992 el CG se localiz3 frente a Iquique debido a que los focos de mayor abundancia se ubicaron hacia el norte del 3rea prospectada (**Figuras 71 y 77**). En 1995 el CG se desplaz3 hacia el sur, superando incluso la cuadra de Tocopilla, corresponde a la posici3n m3s meridional de la serie analizada y se debi3 a que la repartici3n geogr3fica de los huevos estuvo centrada mayoritariamente al sur de los 21° S, no detect3ndose n1cleos relevantes al norte de esta latitud. Por su parte, 1996 se vuelve a producir un cambio en la distribuci3n de los huevos ya que virtualmente no existen registros al sur de Mejillones y adem3s, se produce una gran concentraci3n al SW de Iquique a una distancia de 40-50 mn de la costa, lo que implic3 que el CG se ubicara en una regi3n bastante oce3nica a unas 40 mn de la costa.

En 1997 debido a que esta área del Pacífico estuvo bajo la influencia del evento ENOS, se observó una distribución del ictioplancton mucho más desplazada hacia el sur, con un CG ubicado frente a Tocopilla a unas 20 mn de la costa. En los años 1999 y 2000 los CG se localizaron al SW del río Loa, consistente con la localización de las mayores agregaciones de huevos de anchoveta en esta zona. El 2001 el CG nuevamente migró hacia el sur para ubicarse a la cuadra de Tocopilla, debido a las condiciones cálidas del mar en este año.

Durante el 2002 y 2003, los CG se situaron al norte del río Loa en posiciones bastante costeras que no sobrepasaron las 10 mn y que tienen relación con que los mayores focos de abundancia se encontraron en las primeras millas de la costa. En 2004-2005, los CG migraron hacia sectores más oceánicos, a unas 40 mn de la costa, debido principalmente a que los focos estaban emplazados frente al río Loa y Tocopilla. En el año 2006 el CG se situó a unas 25 mn de la costa (al NW de Pta. Lobos), influenciado por las altas densidades que se presentaron en las proximidades del río Loa (**Figura 77**).

El 2007 debido a que la zona de estudio estuvo bajo la influencia del evento “La Niña”, los huevos se distribuyeron mucho más desplazados hacia el norte en aguas de 14 ° y 15 °C; por lo tanto, el CG se situó frente a Pisagua a unas 30 mn de la costa. Por su parte, en el 2008 el CG volvió a posicionarse en las cercanías del río Loa, a unas 10 mn de la costa, para nuevamente desplazarse el 2009 en dirección norte alcanzando Pisagua, esto último debido a las altas concentraciones de ictioplancton frente a Arica y a la virtual desaparición al sur de Tocopilla. Pese a que en el 2009 se anunció la llegada del fenómeno “ENOS” la zona estuvo bajo la influencia de bajas temperaturas, lo que llevó al corrimiento del centro de gravedad hacia el norte.

Finalmente, en los años 2011-2012 los huevos de anchoveta exhibieron una alta cobertura espacial, con un CG desplazado a la altura del río Loa a unas 30 mn de la costa, lo que es concordante con las buenas concentraciones que se encontraron en el lugar en dicho período. El 2013, se reportó un foco relevante de abundancia de huevos al SW de Iquique, a unas 30 mn de la costa, que coincide con la ubicación del CG (**Figura 77**).

11.2 Modelamiento estadístico de la densidad de huevos de anchoveta asociado a variables ambientales (GAM).

El resultado del ajuste del modelo GAM se resume en la **Tabla 22**. El modelo de efectos principales de cuatro covariables (latitud, longitud, temperatura y salinidad superficial) y un factor correspondiente al año, fue significativo (valor $p < 0,001$), con un porcentaje total de devianza explicada del 20 %. Los predictores incorporados en el modelamiento de la densidad de huevos, presentaron un comportamiento no-lineal (valores p significativos, valores $p < 0,001$), donde las variables de posición seguido de la salinidad, explican el 85 % del total de devianza explicada por el modelo (**Tabla 22**). La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines en la **Figura 78**.

La función suavizada para la latitud y longitud muestra que al sur de los 23° S y a longitudes al este de los 71° W (estaciones cercanas a la costa), existe un efecto positivo sobre la densidad de huevos, indicando que el proceso de desove aparece vinculado al norte del área de estudio y a una zona más costera que oceánica. En relación a la temperatura, se puede observar que niveles entre los 14 ° y 17 °C tienen un efecto positivo sobre la densidad de huevos, mientras que

por sobre este último valor el efecto es negativo. Cabe destacar que temperaturas fuera del intervalo de los 14 ° y los 18 °C, poseen una alta incertidumbre en la estimación, reflejada en las amplias bandas de confianza del suavizador. La variable salinidad (Sal), también muestra una alta incertidumbre en el suavizador a valores inferiores a las 34,4 y superiores a las 35,3 a consecuencia de la baja ocurrencia de estos valores de salinidad, mientras que en este intervalo no presenta un claro efecto sobre la densidad de huevos (**Figura 78**).

La contribución parcial del factor año indica que para 1997, 2000, 2002, 2004, 2005, 2011 y el 2012 se tuvo un efecto positivo en la densidad de huevos, coincidiendo en la mayoría de los años con una mayor probabilidad de éxito de encontrar estaciones positivas. Por otro lado, para el año 2013 al igual que en 1996, 2001, 2007 y el 2009, se presentó un efecto negativo en la densidad media de huevos de anchoveta producto de una menor densidad de huevos en las estaciones positivas (1996, 2007 y 2013) y una menor probabilidad de encontrar estaciones con huevos (2001 y 2009) (**Figura 79**).

11.3 Análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas.

El promedio geométrico de la densidad de huevos varió de 7,5 a 15,1 huevos por 0,05 m² para el año 1995 y 2002, respectivamente (**Figura 80**). Aunque en el año 2001 se registró la menor cobertura espacial de muestreo, en este año no se registró el menor valor de densidad de huevos durante el periodo de estudio. Sin embargo el valor de densidad de huevos durante el 2001 fue superior sólo en una unidad de huevos por 0,05 m² con respecto al menor valor registrado en la serie, 1995. De cualquier modo, no habría una tendencia entre una mayor densidad de huevos de anchoveta y una mayor cobertura espacial de muestreo, ya que en el

año 2008 se registró una baja cobertura espacial de muestreo y el valor observado de densidad de huevos de anchoveta fue el segundo más alto de la serie, con un valor de 14 huevos por 0.05 m².

Desde la perspectiva del análisis multivariado, las condiciones ambientales donde los huevos de anchoveta fueron encontrados variaron significativamente de año en año. El primer eje canónico o discriminante explica el 70 % de la varianza entre años, la temperatura y la salinidad superficial del mar estuvieron positivamente correlacionadas con el primer eje canónico, $r = 0.92; P < 0.0001$ y $r = 0.53; P < 0.0001$, respectivamente. El segundo eje canónico explica sólo 29 % de la varianza entre años, la temperatura y la salinidad superficial del mar estuvieron positivamente correlacionadas con el segundo eje canónico, $r = 0.39; P < 0.0001$ y $r = 0.85; P < 0.0001$, respectivamente.

Una manera adecuada para mostrar los resultados del análisis discriminante canónico o lineal es hacer histogramas de frecuencia de los valores de la primera y segunda función discriminante para los diferentes años. En la **Figura 81** se muestran los histogramas para la primera función discriminante, donde se observan claras diferencias para los años 1997 y 2007, las que fueron bien separadas por el primer eje discriminante, cuyos valores para el año 1997 estuvieron entre 0,4 y 5,0, mientras que los valores para el año 2007 estuvieron entre -5,0 a -0,4, lo que no hay solapamiento en los valores de la función discriminante. Para los años restantes no se aprecian diferencias en los valores de la primera función discriminante.

Para analizar si la segunda función discriminante, separa bien esos años, en la **Figura 82** se muestra el histograma de frecuencias de los valores de la segunda función discriminante para los diferentes años. Los años 1997 y 2007 no

presentaron diferencias con respecto a la segunda función discriminante. Sin embargo, para los años 1995 y 2013 se observaron diferencias, las que fueron bien separadas por la segunda función discriminante, con valores para el año 1995 que estuvieron entre -3,0 y 0,4, mientras que para el año 2013 los valores estuvieron entre -0,4 a 3,0, presentando algún grado de solapamiento entre los valores de la segunda función discriminante. Para los años restantes no se aprecian diferencias en los valores de la segunda función discriminante.

Según las diferencias observadas en los valores de la primera y segunda función discriminante, los años 1995, 1997, 2007 y 2013 presentaron diferencias asociadas con ciertas condiciones ambientales (**Figura 83**) a las cuales fueron encontrados los huevos en la zona norte de Chile. En efecto, en estos años se registraron los valores más bajos de densidad de huevos que el promedio (10,3 huevos por 0,05 m²) de la serie para el periodo de estudio, 7,51; 10,16; 7,85 y 8,33 respectivamente. Para la primera función discriminante, durante el año 2007 bajas densidades de huevos estuvieron concentradas en los valores negativos del primer eje canónico. En esos valores canónicos negativos, el hábitat del desove de anchoveta fue muy frío, con valores de la temperatura superficial del mar entre los 14 y 15°C en promedio (**Figura 84**). Por otro lado, en el año 1997 los valores de densidad de huevos estuvieron concentrados en los valores positivos del primer eje canónico. En esos valores canónicos positivos, el hábitat del desove de anchoveta fue muy cálido, con valores de temperatura superficial del mar entre los 17 y 18 °C en promedio (**Figura 84**).

En cambio, para la segunda función discriminante en el año 1995 bajas densidades de huevos estuvieron concentradas en los valores negativos del segundo eje canónico. En esos valores canónicos negativos, el hábitat del desove de anchoveta fue poco salino, con valores de salinidad superficial del mar entre

los 34,6 y 34,7 en promedio (**Figura 85**). Por otro lado, en el año 2013 los valores de densidad de huevos estuvieron concentrados en los valores positivos del segundo eje canónico. En esos valores canónicos positivos, el hábitat del desove de anchoveta fue muy salino, con valores de salinidad superficial del mar entre 34,9 y 35,0 en promedio (**Figura 85**).

La relación entre la presencia de huevos de anchoveta y el predictor ambiental individual muestra que el vínculo con la temperatura superficial del mar es claramente visible para algunos años (**Figura 86**). La forma de las relaciones varía considerablemente de año en año, presentado algunos años formas típicas a las de la ventana ambiental óptima, como es el caso para el año 1995 y 2002. En algunos años las formas de las relaciones tienden a tener una tendencia creciente (2000, 2007 y 2011) y en otras una decreciente (1999, 2003, 2006 y 2012) según aumentan los valores de la temperatura superficial del mar. En la **Tabla 23** se muestra la razón entre la devianza del único predictor ambiental y la del modelo nulo para los diferentes años. El valor más alto de la razón fue observado en el año 2008, donde la magnitud relativa del efecto de la temperatura alcanzó su mayor rango en el eje-y del suavizador para el GAM, en torno a los 16,5 °C (**Figura 86**). Por otro lado, el menor valor de la razón fue observado en el año 2011, donde el efecto de la temperatura fue casi horizontal, siguiendo la línea punteada en torno al valor cero, desde los 14 °C hasta los 17 °C.

Para el caso de la relación entre la presencia de huevos y la salinidad superficial del mar, se aprecia que ésta es claramente visible para algunos años (**Figura 87**). La forma de las relaciones varió año en año, en cierta forma parecida a las que fueron observadas para la temperatura, y en algunos años con formas típicas a las encontradas para la ventana ambiental óptima, como es el caso del año 1995, 2002, 2008 y 2012. En algunos años las formas de las relaciones tienden a tener

una tendencia decreciente (2001 y 2003) y otras creciente (2005 y 2007) según aumenta los valores de la salinidad superficial del mar. El mayor valor de la razón entre la devianza explicada por el predictor y la del modelo nulo fue observado en el año 2008, al igual que la temperatura (**Tabla 23**). Donde la magnitud relativa del efecto de la salinidad alcanzó su mayor rango en el eje-y del suavizador del GAM, en torno a los 34,8 (**Figura 87**). Por otro lado, el menor valor de la razón fue observado en el año 2013, donde el efecto de la salinidad superficial del mar fue casi horizontal, siguiendo la línea punteada en torno al valor cero, desde los 34,8 hasta los 35,2.

En la **Figura 88** se muestran las gráficas de las curvas cociente derivadas de los datos de densidad de huevos de anchoveta y de la temperatura superficial del mar provenientes de los cruceros de evaluación del stock desovante para los diferentes años del periodo de análisis. Las pruebas de Kolmogorov-Smirnov mostraron que la distribución de huevos de anchoveta no fueron aleatoriamente relacionadas a la temperatura superficial del mar para los diferentes años, salvo en el año 1996 y 2007 donde el estadístico y la probabilidad estuvieron muy cercanas (**Tabla 24**). El análisis del cociente indicó una preferencia a un rango acotado de valores de temperatura de 18,8 a 19,3 °C durante el año 1997 (El Niño), mientras que para el año 2007 (La Niña) las preferencias fueron observadas en los 13,8 °C y en los 15,2 °C.

Las gráficas y las pruebas de Kolmogorov-Smirnov para las curvas cociente derivadas de los datos de densidad de huevos de anchoveta y de la salinidad superficial del mar estuvieron aleatoriamente relacionadas a la salinidad para los diferentes años del periodo de análisis (**Tabla 24; Figura 89**). En resumen, el análisis del cociente para la zona norte de Chile mostró diferentes picos de valores cocientes (preferencias de hábitat) para cada año del periodo de estudio.

Desde la perspectiva de la modelación espacial no lineal, una estrategia en la construcción del modelo es partir con un modelo con todos los parámetros con efectos aleatorios y evaluar cuales de los parámetros podría ser ajustado a efectos fijos y cuales a efectos aleatorios. Un problema con esta aproximación es que cuando una estructura general definida positiva es asumida para la matriz de varianza-covarianza para los efectos aleatorios, Ψ , el número de parámetros a estimar se incrementa con la cuadrado del número de efectos aleatorios (Pinheiro and Bates, 2000). En la **Tabla 25** se muestra el modelo completo con efectos combinados, donde los efectos fijos muestran una alta significancia estadística (valor-t) y con valores de probabilidad iguales a cero. La alta correlación mostrada en el umbral parcial (**Tabla 25**) y la alta variabilidad mostrada en la **Figura 90** estarían sugiriendo que el parámetro umbral parcial debería ser considerado como un efecto aleatorio. En la **Tabla 26** se muestra el modelo con efecto aleatorio para el parámetro umbral parcial y los restantes como efectos fijos, con una importante reducción del logaritmo de la verosimilitud. Una manera de evaluar la significancia estadística de considerar el umbral parcial como un efecto aleatorio en el modelo anterior, es evaluar este modelo con respecto al modelo completo mediante la función genérica 'anova'. La prueba mostró un valor de 80,44 para la razón-L con un valor de probabilidad menor a 0,0001, confirmando que el parámetro umbral parcial debe ser tratado como un efecto aleatorio que varía para cada año en particular de la serie analizada.

Para los diferentes años, el modelo del variograma ajustado al variograma empírico mediante los modelos no-lineales con efectos mixtos son mostrados en la **Figura 85**, y los parámetros resultantes de la modelación son resumidos en la **Tabla 27**. Una vez que el modelo espacial de correlación de huevos de anchoveta fue establecido (anteriormente), el método kriging universal fue aplicado sobre una grilla regular de diez kilómetros. Las estimaciones de la probabilidad de presencia de

huevos de anchoveta permiten distinguir una alta variabilidad espacial con diferentes patrones de distribución de ocurrencia de huevos (**Figura 91**). En los años 1996, 1999, 2001, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2013 hubo una alta ocurrencia de huevos al norte de los 23,6° S y una muy baja ocurrencia de encontrar huevos al sur de este límite. En la gran mayoría de estos años, se observó una alta probabilidad de presencia de huevos de anchoveta en los 18,6° S, en zonas cercanas a Arica. Altas probabilidades de ocurrencia de huevos de anchoveta fueron observadas al sur de los 23,6° S durante los años 1997, 2000, 2002, 2004, 2011 y 2012. En los últimos cuatro cruceros de evaluación analizados se ha observado un patrón recurrente de alta probabilidad de presencia de huevos de anchoveta en la franja costera (primeros 37 km) de la zona de estudio (**Figura 91**).

Los mapas de probabilidad promedio y de desviación estándar de la presencia de huevos de anchoveta permiten identificar cuatro principales zonas de desove con alta probabilidad ($>0,6$) en la zona norte de Chile (**Figura 92**). Una localizada en Arica, Mejillones, Antofagasta y la de mayor extensión desde el sur de Iquique hasta el Río Loa, abarcando un área de 1200 kilómetros cuadrados aproximadamente, la extensión de esta zona puede ser clasificada como sitios de desove recurrente. Una zona amplia de probabilidad media que va desde el límite norte de la zona de estudio hasta Antofagasta, abarcando un área de 42000 kilómetros cuadrados aproximadamente.

De acuerdo a la clasificación de Bellier *et al.* (2007) se intersectaron los polígonos espacial que definen los mapas de probabilidad media y de variabilidad para el periodo 1995-2013, salvo los años 1992 y 2009. La **Figura 93** muestra las tres clasificaciones del área de desove encontradas, se identificaron las tres principales zonas de desove recurrentes de anchoveta, con un área principal

desde el sur de Iquique hasta el Río Loa, una en la zona costera de Arica y otra en el área costera de Antofagasta. Amplias zonas de desove ocasionales fueron observadas en la zona de estudio, abarcando desde el límite norte de la zona de estudio hasta los 23,6° S, principalmente al norte de Pisagua, en Iquique, una amplia zona al frente de Tocopilla y en Mejillones al sur.

VIII. DISCUSIÓN

La anchoveta en la zona norte de Chile presenta un patrón reproductivo caracterizado por un periodo de alta actividad ovárica en invierno-primavera, que decrece en verano para alcanzar un reposo sexual relativo en otoño. De igual manera, el comportamiento histórico de los indicadores reproductivos evidencia que el período de máxima intensidad de desove se inicia durante julio y alcanza la mayor actividad en el bimestre agosto-septiembre (Böhm *et al.*, 2013), siendo este último periodo el adecuado para cuantificar la biomasa desovante de este recurso mediante el método de producción de huevos.

En el 2013 este patrón en cierta medida se vio alterado, ya que la anchoveta no manifestó el descenso característico de la actividad o reposo relativo en los meses de otoño, sino que presentó un proceso de maduración gonadal continuo anómalo (Böhm *et al.*, 2014). Estos autores no entregan una explicación respecto a esta anomalía observada en actividad reproductiva de la anchoveta, y dado que es una condición previa al desove no fue abordada este proyecto.

A partir de junio, no obstante, el desarrollo ovárico se incrementó notoriamente, para alcanzar un máximo de actividad en julio y que se mantuvo en agosto y septiembre, concordante con el comportamiento característico del índice gonadosomático descrito para esta especie; sin embargo, el indicador de desove (IAD) evidenció en julio una menor intensidad respecto al patrón histórico. A fines de julio e inicio de agosto comenzó el periodo de máxima intensidad de desove y se mantuvo hasta la última semana de septiembre. Estos antecedentes permiten señalar que la anchoveta durante la ejecución del crucero de evaluación se encontró en una condición desovante, sin mostrar evidencia de disminución de la actividad reproductiva.

En lo que respecta a las condiciones oceanográficas, se puede señalar que la zona intertropical desde mes de abril de 2012 hasta marzo 2014, se encontró en una condición definida como ENOS neutral (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/). No obstante, de junio a agosto de 2013, previo al crucero MPH 2013, el MEI y sus rangos señalaron una rápida tendencia hacia una condición fría, pero lo breve del periodo impidió que se declarara un evento La Niña. Actualmente (abril 2014) se mantienen condiciones neutras a nivel regional y se pronostica que éstas se mantendrían al menos hasta mediados de año, con una probabilidad del 50% que se desarrolle una condición cálida El Niño. (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/).

La zona norte de Chile es afectada por las condiciones cálidas y frías El Niño y La Niña que ocurren en el Pacífico Tropical (Blanco *et al*, 2002), uno de estos efectos es que durante los procesos cálidos El Niño se incrementa la participación de agua cálida y salina de tipo Subtropical (AST) en la zona (Reyes, 2004). La asociación entre procesos regionales y locales también es observada en la serie de tiempo de anomalía de temperatura superficial (ATSM), pero no habría necesariamente una simultaneidad en la escala temporal o una relación de intensidad entre ellos. En este sentido se destaca el proceso frío La Niña 2007, en que siendo éste de intensidad débil a moderado regionalmente, habría originado una condición local más fría en comparación con los efectos del evento La Niña fuerte 2010-2011. Los periodos locales neutros se asocian a los regionales del mismo tipo, sin embargo, la zona de estudio también tiene forzantes locales que durante condiciones ENOS neutral, como las presentes durante todo el año 2013, pueden modular su condición.

De acuerdo a lo anterior, se destaca el rápido aumento de las temperaturas superficiales en los dos primeros meses del año 2013 y que provocó anomalías de temperatura superficial (ATSM) de hasta $+1^{\circ}\text{C}$ en febrero en toda la zona de estudio en general, lo cual no estuvo acoplado a un evento regional similar, y por el contrario, los indicadores MEI y ATSM del sector Niño 1+2 tuvieron valores positivos cercanos a cero (en el rango de condición neutral) y valores negativos, respectivamente.

Asimismo, para marzo 2013 se destaca la rápida aparición de ATSM negativas pero menores a -1°C para toda la zona y que se mantuvieron hasta agosto, periodo en que se inició el crucero MPH 2013, exceptuando el mes de mayo en que se registraron ATSM de $+0,3^{\circ}\text{C}$ en promedio sólo para el sector oceánico. Continuando con la serie de ATSM, éstas muestran una pendiente positiva hasta enero de 2014 donde las anomalías fueron de $0,6^{\circ}$ y $0,8^{\circ}\text{C}$ en el sector costero y oceánico, respectivamente, para luego descender rápidamente a valores negativos en febrero siguiente.

Los datos de TSM del crucero jurel realizado en marzo-abril 2013 y que abarca la zona de estudio de este informe, señalaron para el periodo una condición normal que se ajusta a la situación regional indicada (Reyes & Pizarro, 2014). Para el mes de agosto y septiembre, periodo en que se realizó el crucero MPH, los datos *in situ* y satelitales dan cuenta también de una condición de normalidad en todas las variables, ya que las anomalías de temperatura y salinidad superficial del mar para los meses señalados muestran un claro predominio de valores negativos pero que no fueron mayores a 1°C y $0,1$, respectivamente, lo que está dentro de los rangos de normalidad indicados para esta zona.

En particular, la variable anomalía de la profundidad de la isoterma de 15 °C muestra algunos focos de valores negativos en el sector oceánico al sur de Tocopilla y otro frente a punta Madrid, sin embargo, la extensión y valores de estas últimas anomalías no indican una condición anormal para la zona y estarían asociados a procesos de circulación. Además las ATSM satelitales correspondientes a los promedios de agosto y septiembre indican anomalías para ambos meses dentro del rango de normalidad, lo que coincide con lo ya expuesto. En las anomalías de las transectas verticales la situación es similar, aunque en la sección de bahía Moreno se observaron núcleos de menor temperatura y mayor salinidad dentro de los primeros 100 m en las primeras 40 mn, lo que sin embargo no repercutió en la caracterización de normalidad para la zona de estudio.

El viento para la zona durante el periodo de invierno ha sido caracterizado como de intensidad mayoritariamente débil, pero con un alto porcentaje de viento con componente favorable a la surgencia (Bakun & Nelson, 1991). En este sentido, lo observado en las mediciones en terreno (estaciones) y en los aeropuertos de Antofagasta e Iquique así también lo señalan. Los procesos de surgencia costera habituales para la zona (Strub *et al.*, 1998) en esta oportunidad se presentaron en intensidad débil a moderada en la mitad norte y débil en la mitad sur de la zona de estudio, definido esto a través de la capacidad de bombear agua de tipo AESS a superficie (Ortiz, 1998).

En ese sentido, los datos de viento medidos *in situ* fueron mayoritariamente (79%) débiles en el sector costero (30 mn) y se registraron principalmente entre Arica y punta Copaca. Lo anterior disminuyó la intensidad de los procesos de afloramiento, situación que se observa también en la información de los aeropuertos. Cabe destacar que en este año el 68% de los registros de viento fueron favorables a la surgencia en comparación con el 85% de 2012.

Es claro en las series de transporte Ekman (TE) del año 2013, estimadas para Iquique y Antofagasta con información de aeropuertos, que ocurren eventos importantes de transporte hacia la costa, principalmente en agosto y septiembre y que no se observan en el resto de los meses con la misma frecuencia o intensidad. En este sentido se destaca que entre el 15 de agosto y 15 de septiembre se registraron al menos cinco eventos de TE hacia la costa en ambas series, donde principalmente las tres últimas superaron un TE de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo más intensas en Antofagasta.

Este efecto del viento se refleja en la falta de gradiente térmico costero superficial del mar, en la entrada de agua oceánica hacia la costa hacia el sector norte y en los altos valores de oxígeno disuelto a lo largo de toda la franja oceánica y costera, con la excepción de focos pequeños de menor valor en los centros de surgencia de AESS en superficie, en punta Junín, Punta Gruesa, Mejillones y Antofagasta en menor intensidad.

Sin embargo, a pesar de los bajos IS y escasos focos de OD bajo en la costa, las mayores concentraciones superficiales de clorofila se ubicaron entre Arica y Antofagasta, mientras que la menor concentración de clorofila superficial, integrada y satelital, se ubicó en las áreas donde hay afloramiento de agua de tipo Subantártica, esto último observado al sur de Antofagasta. Los focos costeros más notables: Arica, punta Lobos, punta Arenas y Antofagasta, no coincidieron con focos de menor TSM. Esto sería una consecuencia de la entrada de agua de tipo Subtropical al sector costero por el relajamiento de la surgencia, la que se mezcla con Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), sin embargo los análisis de masas de agua para el AESS en la vertical, indica porcentajes de participación (PPMA) mayor a 20% sin superar el 40% en superficie, pero que entre Arica y Antofagasta ya en los 30 m se observarían PPMA > 60%, lo que estaría

favoreciendo la actividad de los núcleos productivos de clorofila que en general se extendieron desde superficie hasta los 30 m como mínimo.

Los núcleos productivos (concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$) rara vez sobrepasaron los 40 m, en tanto que su extensión hacia el oeste llegó hasta las 20 mn sólo en punta Lobos, Mejillones y Antofagasta lo que también coincidió con PPMA mayores a 60% de AESS a esa distancia de la costa. Con respecto a la clorofila integrada, este año es uno de los más productivos luego de los años 2005 y 2011 según el estimador de razón, y el segundo más rico según el estimador geoestadístico, mientras que para ambos estimadores el año más pobre sería 2009, en la serie que va desde 2004 a 2013.

La clorofila satelital de los promedios semanales durante el crucero mostraron también una condición productiva desde Arica a Antofagasta, con focos de entre 5 y $10 \mu\text{g/L}$ dentro de una franja muy costera, destacando un foco oceánico cercano a los 72°W a la altura de punta Pinto, posiblemente generado por un giro de tipo ciclónico ubicado cercanamente, como ocurre también, pero con menores concentraciones, en los 73°W y 25°S . Hacia el sur de Antofagasta se observó pobreza pigmentaria durante las cuatro semanas. Para este sector se observan PPMA de AESS de entre 30 y 40% en superficie, sin embargo al ser un sector más turbulento y con el núcleo de la AESS más profundo, no se desarrollan en él núcleos productivos de relevancia, tanto en superficie como a nivel subsuperficial. Las mayores concentraciones de cloa en el sector oceánico se observan en la sección de Antofagasta donde valores $> 1 \mu\text{g/L}$ alcanzan las 40 mn a nivel subsuperficial, condición que puede deberse a la advección de aguas productivas desde el noreste transportada por el intenso flujo geostrofico que se mide en el lugar.

En la serie histórica satelital de clorofila se destaca un cambio en las concentraciones a fines de 2007, lo que es más evidente al norte de los 23° S. En este sentido, previo a 2007 las concentraciones en el sector costero del área norte, fueron en general las más altas de esta serie, con valores máximos entre 14 y 16 µg/L, mientras que en los años posteriores a 2007 este valor no se ha vuelto a registrar, remontando en 2012 con un máximo > 14 µg/L.

En el sector costero del área sur los rangos de concentración son menores, la tendencia es menos clara y el promedio es inferior al del área norte, con valores máximos mayores a 12 µg/L, al igual que en el sector norte, mucho más frecuentes hasta el 2008, registrándose solo en dos ocasiones con posterioridad a ese año, esto en 2010 y 2013.

En el sector oceánico del área norte, la mayor frecuencia de concentraciones 'altas' de cloa se registró en el periodo 2002-2007, las que llegaron hasta un máximo de 1,1 µg/L, mientras que en el periodo posterior los valores se han mantenido cercanos al promedio 0,43 µg/L, teniendo este sector una variación muy menor en relación al sector costero. El sector sur, es el que ha presentado las menores variaciones, y aunque se dio la mayor frecuencia de valores altos antes de 2008, el máximo de la serie se observó en noviembre de 2013 rompiendo el esquema anterior.

Entre los años 2008 y mediados de 2012, es destacable que el periodo neutro o tiempo de transición de los eventos ENOS son notoriamente más breves (menor a 3 meses) en comparación a lo que ocurre entre el 2002 y 2007. Por lo tanto, una mayor concentración de clorofila superficial se había dado, en general, en los periodos de transición o periodos neutros más largos, lo que se ajusta a los descrito por Montecinos *et al.* (2006). Sin embargo, el extenso periodo neutro

entre abril de 2012 a febrero de 2014 no refleja lo esperado. En este sentido, a pesar que se han registrado concentraciones que superan el promedio en el último periodo neutral, no se han vuelto a registrar niveles similares a los anteriores a 2008.

Dentro de la serie histórica de OD y a nivel superficial para el año 2013 (neutro local), los focos costeros < 5 mL/L fueron menos frecuentes que en 2012 (neutro) pero similar a 2008 y 2009 (neutro), mientras que la profundidad del límite superior de la capa de mínimo OD (LSCMOD) dentro de esta serie indica que su distribución no es claramente distinta, si se comparan periodos fríos y neutros, siendo el año más distinto el 2008 (neutro) con una clara profundización del LSCMOD en la zona. Durante los eventos cálidos regionales, sin embargo, en la zona norte de Chile la LSCMO se profundiza (Escribano *et al.*, 2004). Por lo anterior, la profundidad del LSCMOD estaría determinada principalmente por procesos locales y no regionales durante periodos fríos y neutros. Una posible causa de la falta de diferenciación entre periodo neutro y frío sería que en los eventos La Niña, si el AST es reemplazado por ASAA, no se alteraría mayormente la distribución del LSCMOD ya que ambas son masas de agua bien oxigenadas.

Durante el crucero de 2013 las temperaturas a una profundidad promedio de 10 m, que son las utilizadas en los cálculos de edad de los huevos, se encontraron dentro de los rangos considerados como normales. Por su parte el área de desove presentó una distribución costera y desplazada hacia el norte y en términos de cobertura estuvo en el rango medio de la serie histórica.

La biomasa desovante de anchoveta se estimó en torno a las 530 mil t con un CV próximo al 50%, esta estimación es similar a la biomasa obtenida en los dos años anteriores pero su precisión es menor, ya que en el 2011 y 2012 el CV no superó

el 35%. Las precisiones de las estimaciones de la biomasa desovante empleando esta metodología en general son bajas (Armstrong *et al.*, 1988; Claramunt *et al.*, 2007), y están determinadas básicamente por la precisión de la estimación de la producción diaria de huevos y la fracción desovante. La producción diaria de huevos ha sido un parámetro que se ha caracterizado por presentar una alta incertidumbre en las estimaciones de la serie analizada, esta situación se debe a diversos factores que tienen relación con la cobertura geográfica de las estaciones positivas, el grado de contagio, la abundancia en la zona, número de cohortes diarias identificadas, entre otros.

La frecuencia de desove de anchoveta estimada para el invierno de 2013 es muy similar a la encontrada durante los años 2007 a 2012. 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 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. Sin embargo, la nueva clasificación de los estadios para la estimación de fracción desovante (Núcleo migrante + Hidratadas y FPO I al IV) ha mostrado bastante consistencia entre ellos (**Tabla 10**). La sucesión de los estadios de degeneración de los FPO es un proceso continuo con un solapamiento entre los estadios contiguos, lo cual es un 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 ha sido 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 desovará 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). El análisis integrado de la serie de datos histórica, avala el uso de los estadios de FPO 1 al 4 como pertenecientes a edades menores a 24 horas y por lo tanto, su utilización para el cálculo de fracción diaria de hembras desovantes.

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 hembra), y la producción diaria de huevos, resultado concordante con Somarakis *et al.* (2004) para anchovetas europeas. Según estos autores, esto se debería principalmente a que en áreas de surgencia, la producción diaria de huevos generalmente es mucho más alta para un estrecho intervalo de valores de fecundidad específica. Señalan además, que probablemente la condición trófica y la capacidad de carga de las áreas de surgencia es mucho mayor que en los mares oligotróficos europeos, soportando una biomasa mucha más alta por unidad de área de mar

En la zona norte de Chile se encuentra una relación lineal entre el área de desove y la biomasa desovante estimada, mostrando sin embargo una mayor dispersión para la biomasa estimada a través del modelo de Lo. Esta relación es también reportada por Somarakis *et al* (*op cit*). El año 2013 se ubica dentro de la tendencia general descrita (**Figura 94**). El área de desove se encuentra mejor relacionada con la producción diaria de huevos y mejor aún con la proporción que representa el área de desove respecto del área cubierta por el crucero (**Figura 95**). Estas relaciones implican 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 competición trófica y/o canibalismo de huevos (Somarakis *et al.*, 2004). Este proceso es el que probablemente explique el que la extensión de las áreas de desove (en términos de millas náuticas cuadradas) presente una estrecha relación con las capturas totales del año (**Figura 96**), la cual se mejora al considerar la proporción del área de desove respecto del área de crucero (**Figura 97**). 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. La relación que si presenta un buen ajuste es entre el P_0 ponderado (Producto del P_0 del ajuste del modelo de decaimiento con la proporción del área de desove respecto del área de crucero) y la biomasa estimada, tanto para el modelo de L_0 como el Multinomial, estando el 2013 dentro de la tendencia general (**Figura 98**).

Resulta interesante el constatar que la magnitud de las capturas realizadas durante el primer semestre tendría un efecto negativo sobre la producción diaria de huevos estimada durante el pico de desove (agosto-septiembre), que aún cuando se observa con mayor fuerza para los resultados provenientes del Modelo de L_0 , en el Multinomial también se aprecia (**Figura 99**). La explicación a este efecto estaría en el hecho que la biomasa removida durante el primer semestre significa una merma en la biomasa que desova al momento del crucero de evaluación (pico de desove). Esto podría tener implicaciones importantes para la administración pesquera del recurso y por tanto merece una mayor atención.

El análisis de las áreas de desove de anchoveta en la zona norte de Chile ha mostrado un gran dinamismo a diferentes escalas espaciales y temporales, que se asocian a la variabilidad en las condiciones ambientales que constituyen importantes factores moduladores de los procesos biológicos y reproductivos de la anchoveta (Claramunt *et al.*, 1997; Castro *et al.*, 2000; Mori *et al.* 2011).

Al igual que lo reportado profusamente en la literatura, los resultados de este estudio, derivados del uso de herramientas de análisis espacial, modelamiento estadístico y análisis geoestadístico, indican que la presencia de huevos de anchoveta se encuentra positivamente relacionada con la temperatura y también con la salinidad superficial del mar, y en algunos años se presentan formas típicas a las encontradas para la ventana ambiental óptima. Las temperaturas más favorables se encuentran entre los 15 ° y 17 °C y las salinidades entre 34,4 y 34,9, aun cuando en periodos cálidos (El Niño) o fríos (La Niña), estos umbrales se desfasan hacia rangos superiores o inferiores. Por su parte, la densidad de huevos también se presenta positivamente relacionada con la temperatura y tiende a aparece aleatoriamente relacionada con la salinidad superficial del mar;

Espacialmente, el área al norte de los 23° S presenta las condiciones más favorables para el desove de anchoveta y se observa que éste es un proceso costero, pues longitudes localizadas al este de los 71° W tienen un impacto positivo gradual en la densidad de huevos de esta especie (**Figura 78**). Esto último se confirma con la localización de los centros de gravedad (CG) de las distribuciones de los huevos, que muestran que las áreas de desove se han posicionado mayoritariamente en las primeras millas de la costa.

Las estimaciones de la probabilidad de presencia de huevos de anchoveta permiten distinguir una alta variabilidad espacial con diferentes patrones de distribución de ocurrencia de huevos. En los años 1996, 1999, 2001, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008 y 2013 hubo una alta ocurrencia de huevos al norte de los 23,6° S y una muy baja ocurrencia al sur de este límite. En la gran mayoría de estos años, se observó una alta probabilidad de presencia de huevos de anchoveta en los 18,6° S, en zonas cercanas a Arica. En tanto, en los años 1997, 2000, 2002, 2004, 2011 y 2012 altas probabilidades de ocurrencia de huevos de anchoveta fueron observadas al sur de los 23,6° S.

Los mapas de probabilidad de presencia de huevos de anchoveta permiten identificar una zona amplia de probabilidad media, que va desde el límite norte de la zona de estudio hasta Antofagasta, abarcando un área de 42000 km² aproximadamente. En tanto, se identifican cuatro principales zonas de desove con alta probabilidad (>0,6) en la zona norte de Chile, localizadas en Arica, Mejillones, Antofagasta y la de mayor extensión desde el Río Loa hasta al sur de Iquique abarcando un área de 1200 km² aproximadamente.

De acuerdo a la clasificación de áreas de desove de Bellier *et al.* (2007), en la zona de estudio se pueden identificar tres principales zonas de desove recurrentes de anchoveta, una correspondiente al área principal que va desde el Río Loa hasta el sur de Iquique, una en la zona costera de Arica y otra en el área costera de Antofagasta (**Figura 93**). Estas zonas de desove recurrentes son áreas con alta probabilidad promedio de presencia de huevos y baja desviación estándar, donde la anchoveta generalmente desova cada año. De igual manera se identifican amplias zonas de desove ocasionales, que fueron observadas desde el límite norte de la zona de estudio hasta los 23,6° S, principalmente al norte de Pisagua, en Iquique, una amplia zona al frente de Tocopilla y en

Mejillones al sur. Las zonas de desove ocasionales son áreas con alta probabilidad promedio de presencia de huevos y alta desviación estándar, donde la anchoveta desova en algunos años en esos sitios.

En relación al área recurrente de desove principal, Pizarro *et al.* (1998) plantearon que la desembocadura del río Loa en las cercanías de punta Lobos, es un sector de alta producción biológica y mencionaron que frente a la desembocadura del río Loa en el norte de Chile se han encontrado históricamente concentraciones importantes de huevos y larvas de anchoveta.

IX. BASE DE DATOS FIP N° 2013-06

La estructura de las bases de datos, con toda la información básica que se obtuvo durante la ejecución del crucero correspondiente al proyecto FIP 2013 – 06, “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II regiones, año 2013” se encuentra almacenada en registros magnéticos en formato Excel. Los archivos y el formato de grabación de cada una de las componentes de oceanografía del proyecto se detallan a continuación.

1. Datos oceanográficos y meteorológicos

La información oceanográfica y meteorológica de cada una de las estaciones oceanográficas realizadas durante el crucero se encuentran en el siguiente archivo: **CRUCE560.XLS**, cuyo formato de codificación de datos meteorológicos corresponde a una modificación del formato **NODC**. El siguiente formato está compuesto por registros de identificación, meteorológicos y registros de información de profundidad, temperatura, salinidad, densidad (como sigma-t), oxígeno disuelto (de sensor), clorofila-**a** (de sensor), oxígeno disuelto (discreto Winkler), clorofila-**a** (discreta) y feopigmentos (discreto):

a) definición de las columnas en el archivo y unidades

Columna	descripción	Unidades
Crucero	número de crucero de IFOP	
país	país	
buque	nombre del buque	
n° Est	número de la estación	
lat(g)(°S)	latitud	grados Sur
lat(m)	minutos de latitud	
long(g)(°W)	longitud	grados Oeste
long(m)	minutos de longitud	
Año	año	
Mes	mes	
día	día	
Hora	hora local	
Minuto	minuto de la hora	
Profeco	profundidad de ecosonda	metros
Dir Olas	dirección de las olas	grados
Olasalt	altura de olas	ver códigos
Olasper	período olas	ver códigos
Dir Viento	dirección del viento	grados
int Viento	velocidad del viento	nudos
Pres atmof	presión barométrica	milibar
T seco	Temp del Aire	°C
% hum rel	Humedad relativa	(%)
Tiempo Pres	tiempo presente	ver código
Tipo nube	tipo de nubes observadas	ver códigos
Cant nube	cantidad de nubes	ver códigos

Continuación

Columna	descripción	Unidades
visibilidad	visibilidad	ver códigos
profundidad	profundidad del dato	metros
Temp .	temperatura del agua	°C
Salinidad	salinidad del agua	psu
Sigma-t	densidad del agua	sigma-t (kg/m ³)
Oxig sensor	oxígeno disuelto de sensor	mL/L
Cloa sensor	Corofila- a sensor	µg/L
OxigW	Oxígeno disuelto discreto Winkler	mL/L
Cloa	Clorofila- a discreta	µg/L
Feop	feopigmentos discreto	µg/L

Observaciones:

Códigos de datos meteorológicos

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

ALTURA DE LA OLA DOMINANTE			
CODIGO	Altura en metros		
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 observado		

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 observado

OTROS
Direcciones viento y olas = (en grados verdaderos)
Intensidad del viento = en nudos (calma=0)
Cantidad de nubes = de 0 a 8 partes 9 = no observable o no observado.

2. Datos huevos de anchoveta

La información asociada a huevos de anchoveta de cada una de las estaciones bio-oceanográficas realizadas durante el crucero se encuentran en el siguiente archivo: **Final huevos 2013.xls**, cuyo formato está compuesto por registros de información de distancia de la costa, fecha y hora de recolecta, temperatura de 10°C, latitud, longitud y número de huevos por estadio de desarrollo.

a) Definición de las columnas en el archivo y unidades

Columna	descripción	Unidades
N°Est.	Número estación	
Dist Costa	Distancia a la costa	mn
Mes	Fecha de muestreo	
Día	Fecha de muestreo	
Hora fracción	Hora de muestreo y fracción de hora	
T-10 m	Temperatura a 10 m	°C
Latitud	En grados y fracción de grado	
Longitud	En grados y fracción de grado	
I	Número de huevos en estadio I	
II	Número de huevos en estadio II	
III	Número de huevos en estadio III	
IV	Número de huevos en estadio IV	
V	Número de huevos en estadio V	
VI	Número de huevos en estadio VI	
VII	Número de huevos en estadio VII	
VIII	Número de huevos en estadio VIII	
IX	Número de huevos en estadio IX	
X	Número de huevos en estadio X	
XI	Número de huevos en estadio XI	
Total huevos	Número total de huevos	

1. Parámetros de Adultos

La información asociada al módulo adultos de anchoveta de cada lance de pesca realizado durante el crucero se encuentran en el siguiente archivo: **Adultos MPH 2013.xls**, cuyo formato de registros de información se detalla a continuación:

PLANILLA HEMBRAS

PAM	Pesquero Alta Mar
MES	Mes del Lance
DIA	Día del Lance
Hora fracción	Hora y fracción de hora
LANCE	Número de lance correlativo
Orden	Número de hembra en el lance
LT	Longitud Total (cm)
PT	Peso Total (g)
PG	Peso ovario (g)
EMMI	Estado Madurez Microscópico (Histología) numérico Estado Madurez Microscópico (Histología)
DIAGNOSTICO	descripción
FPO	Folículo Postovulatorio (Estadio del 1 al 7). 999 = Sin FPO

PLANILLA PROP. SEXUAL

PAM	Pesquero Alta Mar
MES	Mes del lance
DIA	Día del lance
Hora fracción	Hora y fracción de hora
LANCE	Número de lance correlativo
Orden	Número de hembra en el lance
LT	Longitud Total (cm)
PT	Peso Total (g)
SEXO	1 = Macho; 2 = Hembra

PLANILLA FECUNDIDAD

LT	Longitud Total (cm)
PT	Peso Total (g)
PG	Peso Gónada (g)
PC	Peso Corporal (PT-PG) (g)
Fecundidad	Número de ovocitos hidratados en el ovario

X. CONCLUSIONES

- Durante el 2013 la anchoveta presentó un proceso de maduración gonadal anómalo, ya que no se manifestó el reposo relativo de otoño que caracteriza el patrón reproductivo de esta especie. Sin embargo, el periodo de máxima intensidad de desove se afianzó entre la tercera semana de julio y la primera semana de agosto y se mantuvo hasta fines de septiembre. Sobre esta base, los cruceros de huevo y de adultos se realizaron en los meses de agosto y septiembre, periodo donde la totalidad de las hembras analizadas se encontraron activas. De igual manera, la veda reproductiva de anchoveta comenzó la primera semana de agosto y se prolongó hasta la tercera semana de septiembre.
- La condición oceanográfica en la zona intertropical desde el mes de abril de 2012 hasta marzo 2014 fue ENOS neutral, siendo el periodo neutro más prolongado de los últimos 12 años. La zona de estudio, durante el primer bimestre del 2013, registró un rápido aumento de las temperaturas superficiales de hasta +1°C, continuando desde marzo con temperaturas bajo el promedio hasta el mes de agosto pero neutras. Desde septiembre en adelante hubo un aumento de las TSM hasta el mes de enero de 2014 pero con condiciones también neutras.
- Los procesos de surgencia costera habituales para la zona se presentaron en intensidad débil a moderada en la mitad norte y débil en la mitad sur de la zona.

- Las mayores concentraciones superficiales de clorofila se ubicaron en general entre Arica y Antofagasta, mientras que las menores se ubicaron en las áreas donde hay penetración de agua oceánica hacia la costa y al sur de Antofagasta. Los focos costeros más notables en concentración de clorofila son Arica, caleta Patillos, Mejillones y Antofagasta.
- Una mayor concentración de clorofila superficial (satelital) se ha dado, en general, en los periodos de transición o periodos neutros más largos. Sin embargo, el mes de agosto de 2013 presentó el promedio más bajo de los meses de agosto de toda la serie satelital.
- La abundancia de huevos fue la tercera más baja de la serie 1992-2013, pero una de las más representativas a la presencia de esta fase en las estaciones más costeras en toda la extensión latitudinal. La intensidad del desove estimada a partir de las estaciones positivas decreció en un 39% con respecto al invierno de 2012, mientras que la intensidad referida al total de estaciones se redujo en 58%. Las áreas de desove más intensas se detectaron en los alrededores de Arica e Iquique.
- El área prospectada fue de 36.696 mn², con un área de desove estimada de 10.819 mn², lo cual representa una cobertura de desove inferior al promedio de la serie 1992-2012.
- La producción diaria de huevos estimada con el modelo de Lo fue de 55,07 huevos/0,05 m²/día, con un coeficiente de variación (CV) de un 28%. En tanto, con el modelo multinomial se estimó en 58,27 huevos/0,05 m²/día y la precisión fue muy similar al modelo anterior.

- 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 0,24 con un CV del 7,7%.
- De los restantes parámetros requeridos para estimar la biomasa desovante de anchoveta, la fecundidad media poblacional se estimó en 15027 ovocitos; la proporción de hembras en peso en 0,53 y el peso promedio de hembras maduras en 24,5 g. Todos estos parámetros se estimaron con una alta precisión, que se refleja en CV inferiores al 3,5 %.
- La biomasa desovante de anchoveta para el 2013 estimada por el modelo tradicional de Lo fue de 520.336 t, mientras que a través del Modelo Multinomial se estimó en 550.629 t. Los CV de las estimaciones para ambos modelos estuvieron próximos al 53%. Comparativamente con los dos años anteriores, la biomasa estimada fue similar pero su precisión fue menor. Cabe destacar que las estimaciones de la biomasa desovante, empleando el método de producción de huevos, se caracterizan por presentar una alta incertidumbre que ha estado determinada básicamente por la precisión de la estimación de la producción diaria de huevos.
- El análisis integrado de los cruceros estacionales, indica que las mayores densidades medias correspondieron a los años 1997, 2000, 2002, 2004, 2005, 2011 y el 2012, estos dos últimos años con una alta proporción de estaciones con huevos, comparada con el promedio histórico. Mientras que el 2013 junto a los años 1996, 2001, 2007 y 2009 presentan las menores densidades medias producto ya sea de, una menor densidad de huevos en las estaciones positivas o una menor proporción de estaciones con presencia de huevos.

- La presencia de huevos de anchoveta se encuentra positivamente relacionada con la temperatura y también con la salinidad superficial del mar. Las temperaturas más favorables se encuentran entre los 15 ° y 17 °C y las salinidades entre 34,4 y 34,9, aún cuando en periodos cálidos (El Niño) o fríos (La Niña) estos umbrales se modifican, Por su parte, la densidad de huevos también se presenta positivamente relacionada con la temperatura y tiende a aparecer aleatoriamente relacionada con la salinidad superficial del mar;
- Espacialmente, el área al norte de los 23° S presenta las condiciones más favorables para el desove de anchoveta y se observa que éste es un proceso costero, pues las longitudes localizadas al este de los 71° W tienen un impacto positivo gradual en la densidad de huevos de esta especie. Esto último se confirma con la localización de los centros de gravedad (CG) de las distribuciones de los huevos, que muestran que las áreas de desove se han posicionado mayoritariamente en las primeras millas de la costa.
- Las estimaciones de probabilidad de presencia de huevos de anchoveta permiten identificar en la zona de estudio tres principales áreas de desove recurrentes, una correspondiente al área principal que va desde el Río Loa hasta el sur de Iquique, una en la zona costera de Arica y otra en el área costera de Antofagasta. De igual manera se identifican amplias zonas de desove ocasionales, que se ubican desde el límite norte de la zona prospectada hasta los 23,6° S, principalmente al norte de Pisagua, en Iquique, en una amplia zona al frente de Tocopilla y en Mejillones al sur.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, A. 2001. Cuadernos de Estadística. Tablas de Contingencia Bidimensionales. Edit La Muralla, Madrid, España. 212 pág.
- Aitchison, J., & J. A.C. Brown. 1957. The lognormal distribution. Cambridge University Press, Cambridge, MA. 387 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.
- Armstrong ,M.J., Shelton, P.A., Hampton, I., Jolly, G., Melo, Y.C. 1988. Egg production estimates of anchovy biomass in the southern Benguela system. *Rep. Clif. Coop. Oceanic Fish. Invest.* 29, 137-157.
- 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.
- Ayon, P. Y B. Buitron. 1997. Estimación de la biomasa desovante del stock nortecentro de la anchoveta por “el Método de Producción de Huevos”, durante el invierno 1996. En *Crucero de Evaluación de la Biomasa Desovante de la Anchoveta. BIC Humboldt 9608-09. IMARPE-PERU. CEE-VECEP ALA 92/43. Informe N° 123.* 13-19

- Bakun, A. 1973. Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America, 1946 – 1971. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 671, 103 pp.
- Bakun, A. 1975. Daily and weekly upwelling indices, West Coast of North America, 1967 – 1973. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 693, 113 pp.
- Bakun A. and R. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current System. CalCOFI. Rep., Vol XXIII, 99-112.
- Bakun, A. 1987. Monthly variability in the ocean habitat off Perú as deduced from maritime observations, 1953 to 1984. In: The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. D. Pauly & I. Tsukayama (Eds.) ICLARM Studies and Reviews 15: 46-74.
- Bakun, A. 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage, *Scientia marine*, 70S2, 105-122.
- Basilone, G., A. Bonanno, B. Patti, S. Mazzola, M. Barra, A. Cuttitta and R. McBride. 2013. Spawning site selection by European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in relation to oceanographic conditions in the Strait of Sicily. *Fish. Oceanogr.* 22:4, 309-323.
- Bellier, E., B. Planque and P. Petitgas. 2007. Historical fluctuations in spawning location of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina*

pilchardus) in the Bay of Biscay during 1967-73 and 2000-2004. Fish. Oceanogr. 16:1, 1-15.

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. Valdéz, 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

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 hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. J. Geophys. Res., 106, C6, 11451-11467.

- Blanco J. L., M. Carr, A. Thomas and P. Strub, 2002. Hydrographic conditions off northern Chile during the 1996-1998 La Niña and El Niño events. J. Geophys. Res., 107, C3.
- Blaxter, J. and J. Hunter, 1982. The biology of the clupeoid fishes. Adv. Mar. Biol. 20: 201 – 223.
- Böhm, M. G., C. Hernández, G. Pérez, E. Díaz, L. Cortéz, L. Ossa, F. Cerna, C. Valero, C. Machuca, L. Muñoz, H. Reyes, M. Troncoso, C. Gaspar, Z. Young y R. Aravena. 2013. Convenio “Asesoría Integral para la Toma de Información en Pesca y Acuicultura, 2012, Actividad 1: Seguimiento General de Pesquerías de Peces y Crustáceos: Pesquería Pelágica Zona Norte, 2012”. Informe Final Convenio SUBPESCA - IFOP. Inst. Fom. Pesq., Valparaíso, Chile. 267 p + Anexos.
- Böhm, M. G., C. Hernández, G. Pérez, E. Díaz, F. Cerna, C. Valero, C. Machuca, L. Muñoz, H. Reyes, R. Aravena, M. Troncoso, C. Gaspar y Z. Young. 2014. Convenio “Asesoría Integral para la Toma de Información en Pesca y Acuicultura, 2013, Actividad 1: Seguimiento General de Pesquerías de Peces y Crustáceos: Pesquería Pelágica Zona Norte, 2013”. Informe Final Convenio Subsecretaría de Economía y EMT - IFOP. Inst. Fom. Pesq., Valparaíso, Chile. 241 p + Anexos.
- Borcard, D., F. Gillet and P. Legendre. 2011. Numerical Ecology with R. Springer, New Yrk, USA, 306 pp.

- 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, V. Valenzuela, E. Pizarro, J. Castillo y V. Catasti. 2004. 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 FIP N°2004-04, Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 154 p + Tablas, figuras y 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.
- Candy, S. 2004. Modelling catch and effort data using generalised linear models, the Tweedie distribution, and random vessel effects: Longline fishery for *Dissostichus eleginoides* in CCAMLR Area 48.3. CCAMLR document WG-FSA SAM-03/12:36 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.
- Castro L., G. Salinas y E. Hernández. 2000. Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. *Mar Ecol. Prog. Ser.* Vol 197: 247-258.
- 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. 49p+anexos.
- Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Pizarro, J., Escribano, E., Oliva, M., Olivares, A., Guerra, C., Zuleta, A. 1997. Evaluación del stock desovante de anchoveta por el método de la producción de huevos en la I y II Regiones. Informe Final FIP 96-01. Informes Técnicos FIP – IT/96-01, 75 p.
- Claramunt, G., L. Cubillos, M. Braun, R. Serra, M. Canales, J. Sánchez, 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.

Claramunt, G., L.R. Castro, L.A. Cubillos, Hans-JurgenHirche, G. Perez and M. Braun. 2012. Inter-annual reproductive rait variation and spawning hábitat preferences of *Engraulis ringens* off northern Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía. Vol. 47, N°2: 227-243.

Cochran WG. 1977. Sampling Techniques. 3rd Ed. Wiley & Sons. London. 428 pp.

Cressie, N.A.C. 1993. Statisticsforspatial data. RevisedEdition. New York: Wiley Inter-Science, 900 pp.

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.

Ducet, N., P.Y. Le Traon, & G. Reverdin. 2000. Global high-resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERs-1 and -2, J. Geophys. Res., 105, 19,477–19,498.

Eastman, J. R., 2003. IDRISI Kilimanjaro. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University. Worcester, Massachussets. 01610. USA. 396 pp.

Escribano, R., Daneri, G., Farías, L., Gallardo, V.A., González, H.E., Gutierrez, D., Lange, C.B., Morales, C.E., Pizarro, O., Ulloa, O., Braun, M., 2004. Biological and chemical consequences of the 1997-1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. Deep Sea Research II 51(20-21), 2389-2411.

- Fisher, R. A. 1936. The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems. *Annals of Eugenics* 7 (2): 179–188.
- 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. *Cahorstom (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.
- Hansen, R., W. Madow, y W. Huwitz. 1954. Sample survey methods and theory. Vol. I and II. Methods and applications. J. Wiley and Sons. 564 p.
- Hastie, T. J. and Tibshirani, R.J. 1990. *Generalized Additive Models*, Chapman & Hall, London.
- Harley, S. J., R. A. Myers, and A. Dunn. 2001. Is catch-per-unit-effort proportional to abundance?. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* Vol. 58: 1760-1772.
- Helle, K. & M. Pennington. (2004). Survey design considerations for estimating the length composition of the commercial catch of some deep-water species in the northeast Atlantic. *Fisheries Research* 70: 55-60.

- Hormazábal, 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.
- Hormazábal, 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 Nº 2. 119-136.
- Hunter, J.R., N. Lo and R. Leong. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern Anchovy, Engraulismordax*. R. Lasker (Ed), NOAA-NMFS, Tech. Rep., 36: 67-77.
- Hunter, J. R., and B. J. Macewicz. 2003. Improving the accuracy and precision of reproductive information used in fisheries. In *Report of the working group on modern approaches to assess maturity and fecundity of warm- and*

cold-water fish and squids, 4–7 September, 2001 (O. S. Kjesbu, J. R. Hunter, and P. R. Witthames, eds), p. 57–68. Bergen, Norway.

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.

Isaaks, E. and R.M. Srivastava. 1989. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford: Oxford University Press, 561 pp.

Jeffrey, S. W., R. F. C. Mantoura & S. W. Wright. 1997. Phytoplankton pigments in oceanography: methods. Monographs on Oceanographic Methodology. SCOR and UNESCO.

Jorgensen, B., 1997. The Theory of Dispersion Models. Chapman and Hall, London, p. 237

Lohrenz, S. E., D. Wiesenburg, I. P. DEPalma, K. S. Jhonson & D. E. Gustafson, Jr. 1988. Interrelationships among primary production, chlorophyll, and environmental conditions in frontal regions of the western Mediterranean Sea. Deep-Sea. Res. 35(5):793-810.

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.

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. Coto and J.R.Hunter. 1996.Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. CALCOFI-REP, 1996, vol 37, pp. 140-151.

Mamayev, O. I. 1975. Water masses of the south East Pacific Ocean. En: R. Fraser, (ed.). Oceanography of the South Pacific 1972. Papers presented at the International Symposium on the Oceanography of the South Pacific, Wellington, New Zealand, 9–12 February 1972. Wellington, New Zealand National Commission for UNESCO, pp. 71–99.

Martínez, C., L. Caballero, M.G. Böhm, J. Oliva, R. Gili, V. Bocic, P. Barría 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, M.G. Böhm, J. Oliva, S. Peña, R. Gili, H. Hidalgo, V. Fernández, P. Barría 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, M.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, M.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 1994. Estado de situación y perspectivas del recurso. Convenio CORFO-IFOP. Chile. 135 p.

McConnaughey, R.A. y P.A. Conquest. 1993. Trawl survey estimation using a comparative approach based on lognormal theory. Fish. Bull. (U.S.) 91:107-118.

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

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

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.

Millero, F. & A. Poisson. 1981. International one atmosphere equation of state of seawater. Deep Sea Res., 28A, 625-629.

Montecino C., M. A. Paredes, P. Paploni & J. Rutlant. 2006. Revisiting chlorophyll data along the coast in north-central Chile, considering multistate environmental variability. Revista Chilena de Historia Natural 79: 213-223.

- Morales, C.E., S. Hormazábal y J.L., Blanco. 1999. Interannual variability in the mesoescala distribution of the depth of the upper boundary of the oxygen minimum layer off northern Chile (18-24S): Implications for the pelagic system and biogeochemical cycling. *Journal of Marine Research* 57, 909-932.
- Mori, J., B. Buitrón, A. Perea, C. Peña y C. Espinoza. 2011. Variabilidad interanual en la estrategia reproductiva de la anchoveta peruana en la región norte-centro del litoral del Perú. *Ciencias Marinas*, 37 (4B): 513-525.
- 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.
- 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, O. Rojas, J. Castillo y J. Blanco. 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 + figuras y tablas.

- Oliva, J., M. Braun, J. Córdova, 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. 134 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 anchoveta en la I y II Regiones, año 2000. Instituto de Fomento Pesquero. Preinforme final. FIP N° 2000-06. 116 p + anexos.
- Oliva J., C. Montenegro, M. Braun, O. Rojas, H. Reyes, V. Catasti, E. Díaz, P. Barría, R. Serra, V. Baros, A. Vargas, G. Claramunt, G. Herrera, P. Pizarro, J. Pizarro, Y. Muñoz, R. Escribano y M. Oliva. 2002. Evaluación del stock desovante de la anchoveta por el método de producción de huevos en la I y II Regiones, año 2001. Instituto de Fomento Pesquero. Informe Final. Proyecto FIP 2001-10. 86 p. + anexos.
- Oliva, J. H. Reyes, V. Baros, E. Díaz, C. Montenegro, V. Catasti, G. Claramunt, G. Herrera, J. Pizarro, P. Pizarro y S. Soto. 2003. Evaluación del stock desovante de 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.
- Ortiz, P. 1998. Fluctuaciones espacio temporales de las características físicas y químicas del agua de mar frente a Coquimbo. (30°S). Tesis para optar al título de oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso, 86 pp.

- Parker k. 1980. A direct method for estimating northern anchovy, *Engraulis mordax*, spawning biomass. Fish. Bull., u.s. 78: 541-544.
- Parsons, T. T., Y. Maita y C. M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergoamon Press 173 pp.
- Pebesma, E.J. and C.G. Wesseling. 1998. Gstat, a program for geostatistical modeling, prediction and simulation. Computers & Geoscience, 24:1, 17-31.
- Pennington. M. 1983. Efficient estimators of abundance for fish and plankton surveys. Biometrics 39:281-286.
- Pennington, M. & J.H.Volstad. 1994. Assessing the effect of intra-haul correlation and variable density on estimates pof population characteristics from marine survey. Biometrics 50: 725-732.
- Pennington, M., 1996. Estimating the mean and variance from highly skewed marine data. Fish. Bull. 94: 498-505.
- Pennington, M., L.Burmeister, and V.Hjellvik. 2002. Assessing the precision of frequency distributions estimated from trawl-survey samples. Fish. Bull. 100: 74-80.
- 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.

- Petitgas, P. 1991. Contributions géostatistiques a la biologie des pêches maritimes. Thèse de doctorat, Centre de Géostatistique, Fontainebleau, 211 pp.
- 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 R.P. Hewitt. 1983. The northern anchovy spawning biomass for the 1982-83 California fishing season. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 24: 16-28.
- 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.
- Pinheiro, J.C. and D.M. Bates. 2000. *Mixed-Effects Models in S and S-plus*. Springer, 528 pp.
- 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.

- Planque, B., E. Bellier and P. Lazure. 2007. Modelling potential spawning habitat of sardine (*Sardinapilchardus*) and anchovy (*Engraulisencrasicolus*) in the Bay of Biscay. *Fish. Oceanogr.* 16:1, 16-30.
- R Development Core Team (2004) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.: ISBN 3-900051-00-3, URL <http://www.r-project.org>.
- Rao, R.C. 1948. The utilization of multiple measurements in problems of biological classification. *Journal of the Royal Statistics Society, Series B* 10 (2): 159-203.
- Reyes, H. 2004. Variación espacio-temporal de las masas de agua Subtropical, Subantártica y Ecuatorial Subsuperficial en la zona norte de Chile (18°15'S-24°00'S) en el período 1980 – 2001. Tesis para optar al título de oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso, 114 pp.
- Reyes, H. & M. PIZARRO. 2014. Condiciones hidrográficas. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la XV, I y II Regiones, año 2013. Informe Final Proyecto FIP 2013-08. Inst., Fom., Pesq., Valparaíso, Chile
- 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.
- Rivoirard, J. Simmonds, J; Foote, K G. Fernandes, P. Bez, N. 2000. Geostatistics for estimating fish Abundance. Blackwell Science.

- Roa-Ureta, R. & E. Niklitschek. 2007. Biomass estimation from surveys with likelihood-based geostatistics. ICES J. Mar. Sci. 64: 1723-1734.
- Rojas, O. y J. Oliva. 1993. Evaluación del stock desovante de anchoveta de la zona norte por el método de producción de huevos. Programa evaluación directa de recursos pelágicos de la zona norte. IFOP (Chile), 37 pp. + anexos.
- 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. 1984a. Estimación de la biomasa de la población desovante de anchoveta peruana, *Engraulis ringens*, en 1981 por aplicación del " Método de Producción de Huevos ". Bol. Inst. Mar Perú, Callao. 8: 209-250.
- Santander, H., J. Alheit y P. Smith. 1984b. Estimación de la biomasa de la población desovante de anchoveta peruana *Engraulis ringens* en 1981 por aplicación del Método de producción de huevos. Bol. IMARPE 8(6): 213-248.
- Selman, K. and R. Wallace. 1989. Cellular aspects of oocyte growth in teleosts. Zoological Science. 6: 211-231.
- Serra J. 1976. Escalas de madurez sexual para sardina española (*Sardinops sagax musica*, Girard) y jurel (*Trachurus symmetricus murphyi*, Nichols). Investigación Pesquera. IFOP 24: 1-20.

- Shono, H. 2008. Application of the Tweedie distribution to zero-catch in CPUE análisis. *Fisheries Research* 93: 154-162.
- 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. and Hewitt, R.P. 1985. Sea survey design and analysis for an egg production method of anchovy biomass assessment. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 17-26.
- Somarakis, S., I. Palomera, A. García, L. Quintanilla, C. Koutsikopoulos, A. Uriarte, and L. Motos. 2004. Daily egg production of anchova in European waters. *ICES Journal of Marine Science.* 61: 944-958.
- Soto, S. 2001. Tasa de desarrollo de huevos de *Engraulis ringens* Jenyns en función de la temperatura. Tesis para optar al título de Biólogo Pesquero. Universidad Arturo Prat, Iquique.
- Stauffer, G.D., Picquelle, S.j. 1980. Estimates of the 1980 spawning biomass of the subpopulation of northern anchovy. *Natl. Mar. Fish. Serv., Southwest Fish. Cent., La Jolla, CA, Admin. Rep. LJ-80-09,* 41 p.
- 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.

- 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.
- Tascheri R., J.C. Saavedra-Nievas, R. Roa-Ureta, 2010. Statistical models to standardize catch rates in the multi-species trawl fishery for Patagonian grenadier (*Macruronus magellanicus*) off Southern Chile. *Fisheries Research*, Vol. 105.
- Thompson, S.K. 1992. "Sampling". John Wiley & Sons, Inc. 343 pp.
- Twatwa, N.M., van der Lingen, C.D., Drapeau, L., Moloney, C.L. and Field, J.G. 2005. Characterising the spawning habitats of anchovy *Engraulis encrasicolus* and sardine *Sardinops sagax* in the southern Benguela upwelling ecosystem. *Afr. J. Mar. Sci.* 27: 487-499.
- 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 International Equation of State of Seawater. UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci. N°38.

UNESCO, 1981c. 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. In: Kruse GH, N Bez, T Booth, M Dorn, S Hills, RN Lipcius, D Pelletier, C Roy, SJ Smith and D Witherell (eds). Spatial processes and management of marine populations, pp. 185-209. University of Alaska Sea Grant, Fairbanks.

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

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

Yáñez, E., A. González 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.

Yáñez, E., M. A. Barbieri, C. Silva, K. Nieto y F. Espíndola. 2001. Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. En: McKinnell, S. M., R. D. Brodeur, K. Hanawa, A. B. Hollowed, J. J. Polovina, & C. I. Zhang (eds.). Pacific climate variability and marine ecosystem impacts from the tropics to the Arctic. Progress in Oceanography, 49: 581-596

- Yáñez, E., C. Silva, A.. Ordenes, F. Gómez, A. Valdenegro, N. Silva, S. Hormazábal, A. Montecinos, L. Cubillos, F. Espíndola y O. Pizarro. 2005. Análisis integrado histórico ambiente-recursos, I y II regiones. Informe Final. FIP N° 2003-33. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 164 p+ Anexos.
- Young, Z., J.C. Saavedra, H. Miranda; L. Caballero, C. Martinez y M. González. 2003. Determinación de Tamaños de Muestra en la Pesquería Pelágica, Zona Norte. Proyecto: Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Norte, 2002. Documento Técnico, IFOP – SUBPESCA. 22 p + Anexo.
- Young, Z. 2006. Determinación de tamaño de muestra para estimar indicadores biológicos de la captura industrial de merluza común, para un estrato mensual y espacial de un grado de latitud. Documento Técnico. IFOP. 6 p + Anexo.
- .Zar, J.H. 1999. Biostatistical Analysis, 4th edn. London: Prentice-Hall, 663 pp.

FIGURAS

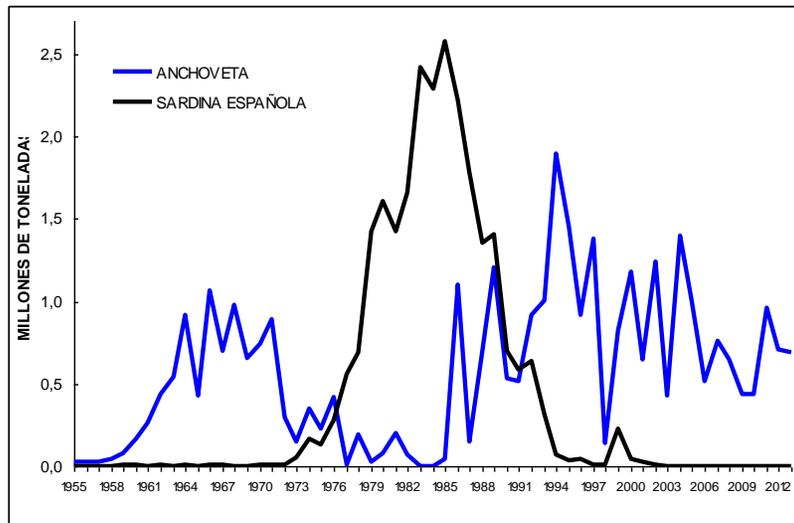


Figura 1. Serie histórica de las capturas de anchoveta y sardina española extraída por la flota cerquera en la Zona Arica – Antofagasta (Fuente: IFOP).

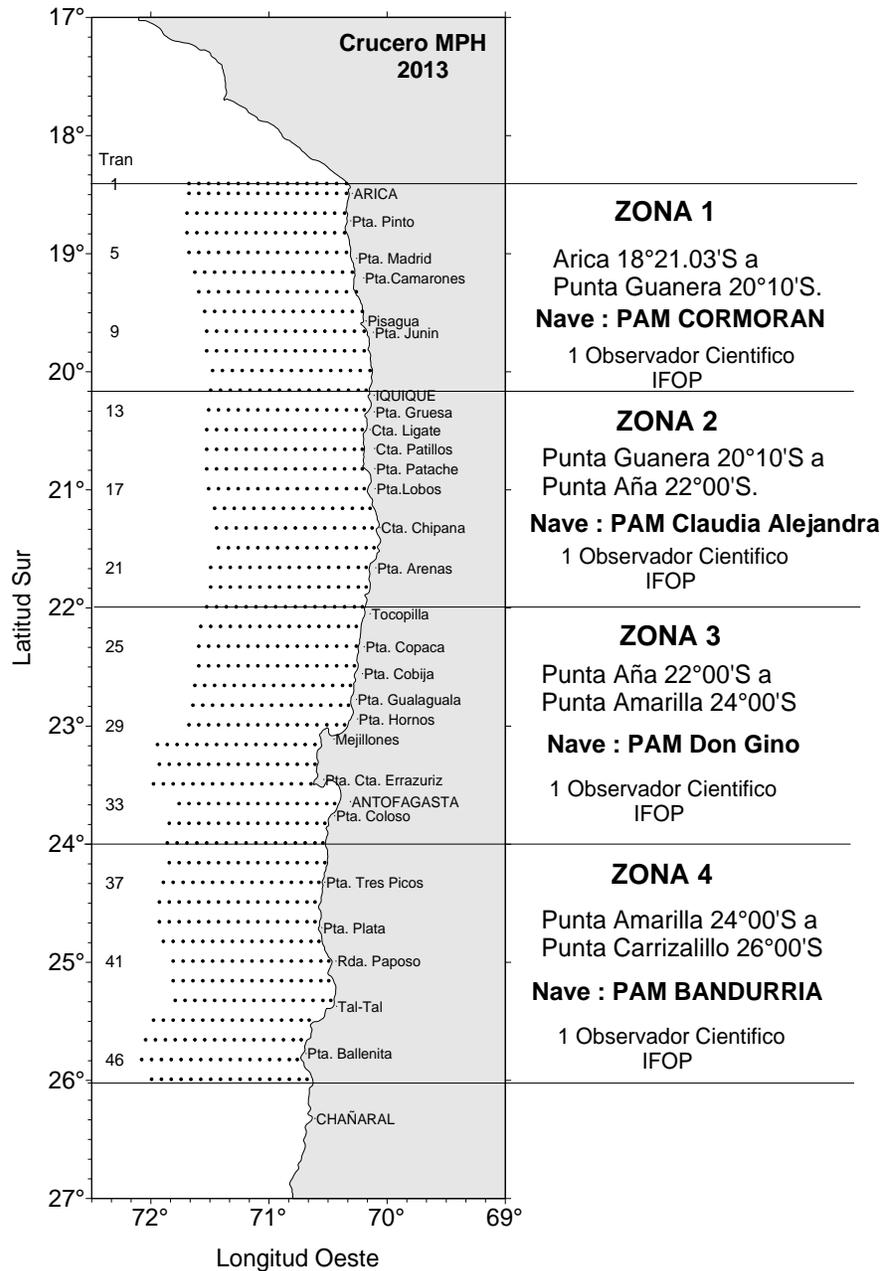


Figura 2. Grilla de 799 estaciones de huevos propuesto y rango latitudinal de operaci3n de los barcos cerqueros industriales que trabajaron en forma conjunta, en la recolecci3n de adultos de anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2013.

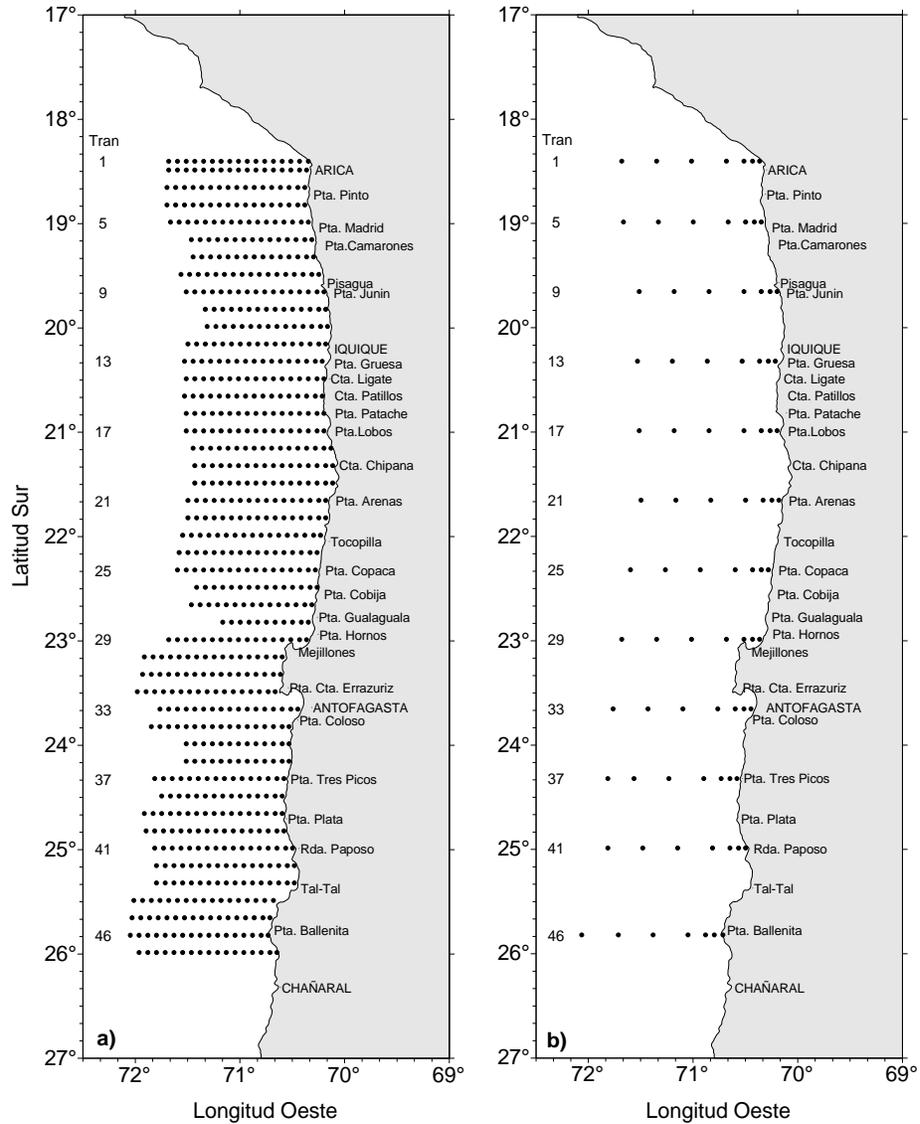


Figura 3. Ubicaci3n geogr3fica de a) estaciones oceanogr3ficas y b) estaciones con muestreo de clorofila y ox3geno (estaciones oceanogr3ficas profundas). Crucero MPH - Invierno 2013.

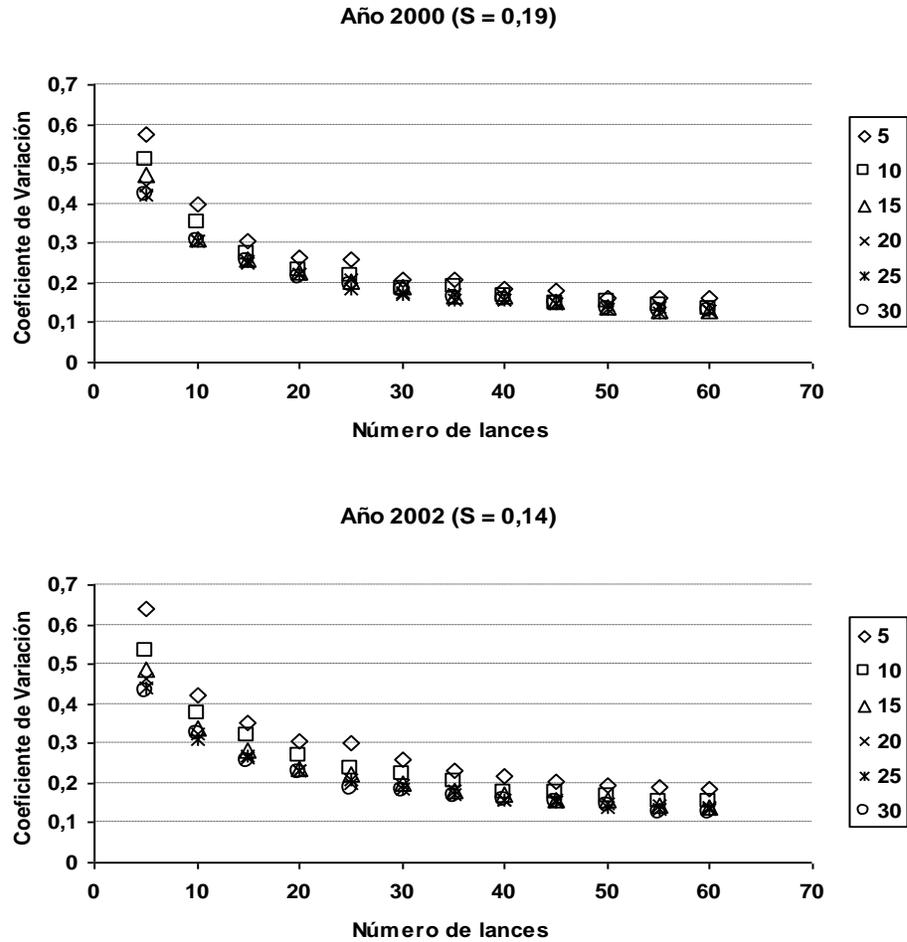


Figura 4. Coeficiente de Variación de fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta (FPO de día 1), para diferentes combinaciones de tamaños de muestra de lances y hembras muestreadas por lance. Año 2000 y 2002.

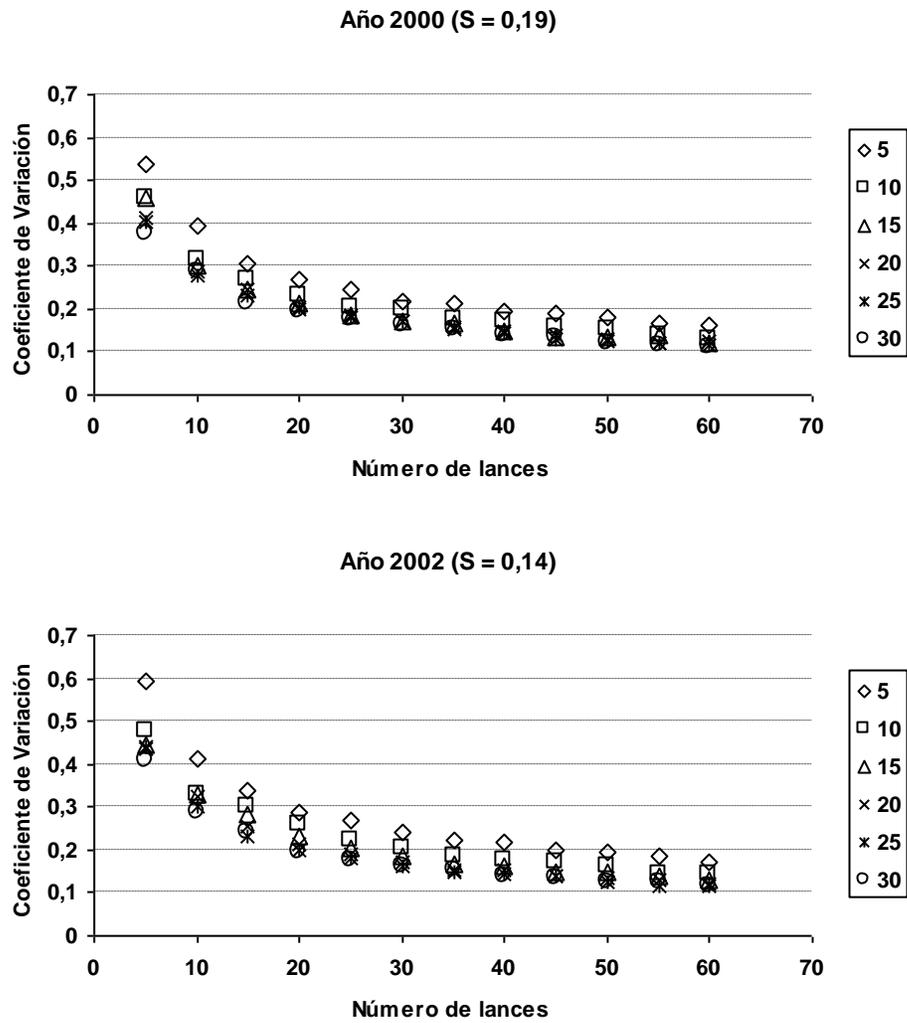


Figura 5. Coeficiente de Variaci3n de fracci3n diaria de hembras desovantes de anchoveta (FPO de d3a 2), para diferentes combinaciones de tamaños de muestra de lances y hembras muestreadas por lance. Año 2000 y 2002.

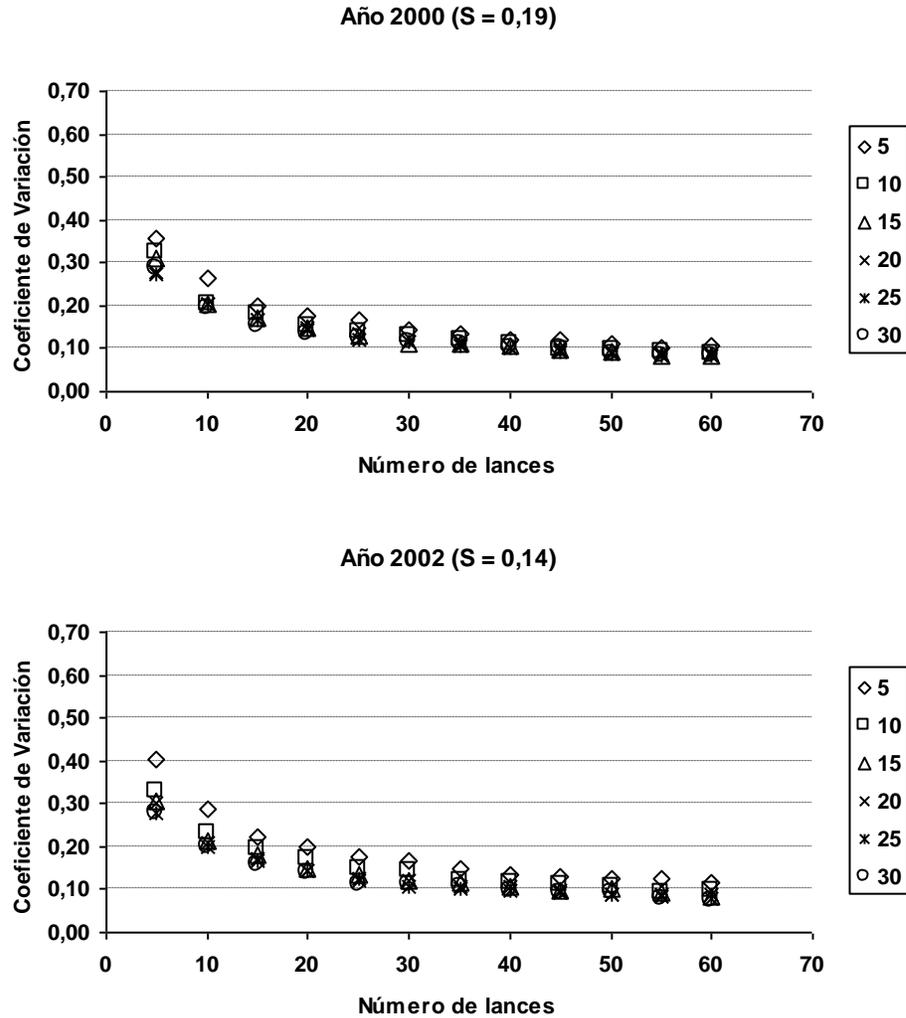


Figura 6. Coeficiente de Variación de fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta (FPO de día 1 y de día 2), para diferentes combinaciones de tamaños de muestra de lances y hembras muestreadas por lance. Año 2000 y 2002.

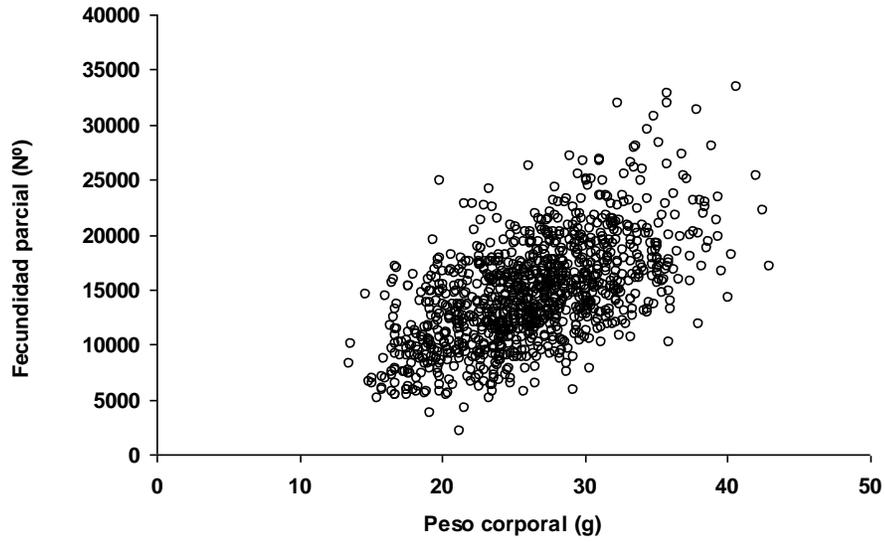


Figura 7. Relaci3n entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial (Nº) para anchoveta de la zona norte en base a 1035 hembras.

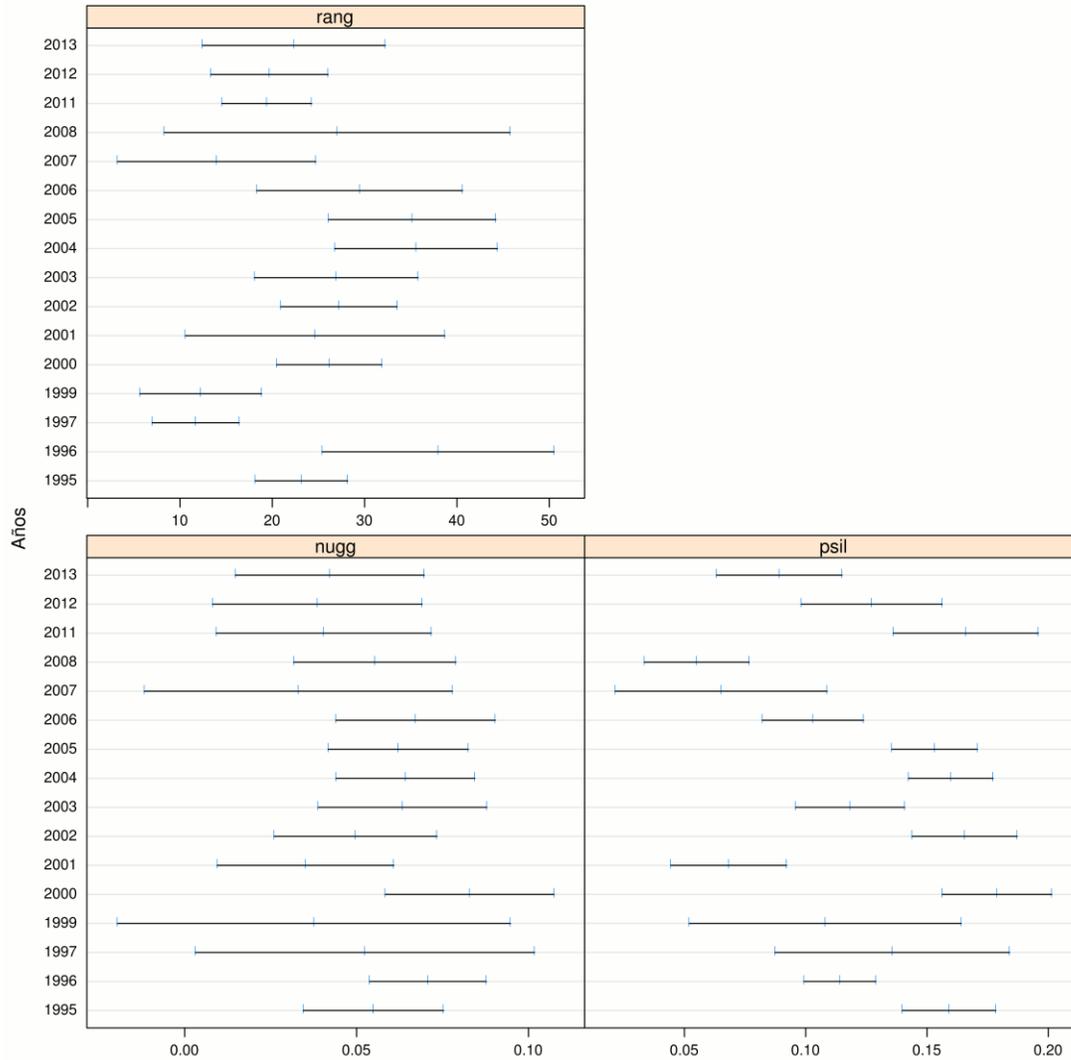


Figura 8. Gráfica de los intervalos de confianza interanuales para los parámetros rango, efecto pepita y umbral parcial del modelo exponencial para el ajuste del variograma.

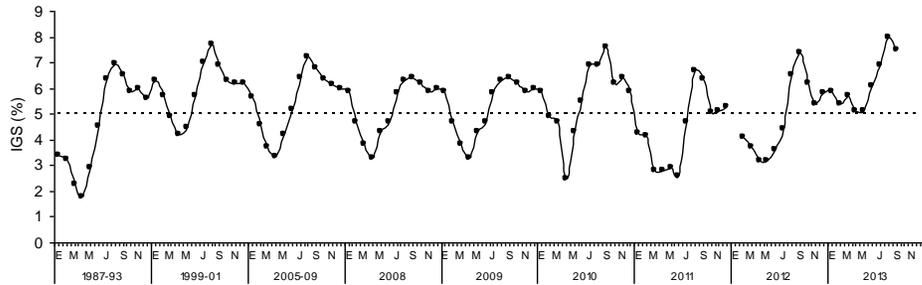


Figura 9. Variación mensual del índice gonadosomático de la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta. Series históricas 1987-1993; 1999-2001; 2005-2009 y años 2008 al 2013. La línea horizontal representa el valor referencial de actividad reproductiva.

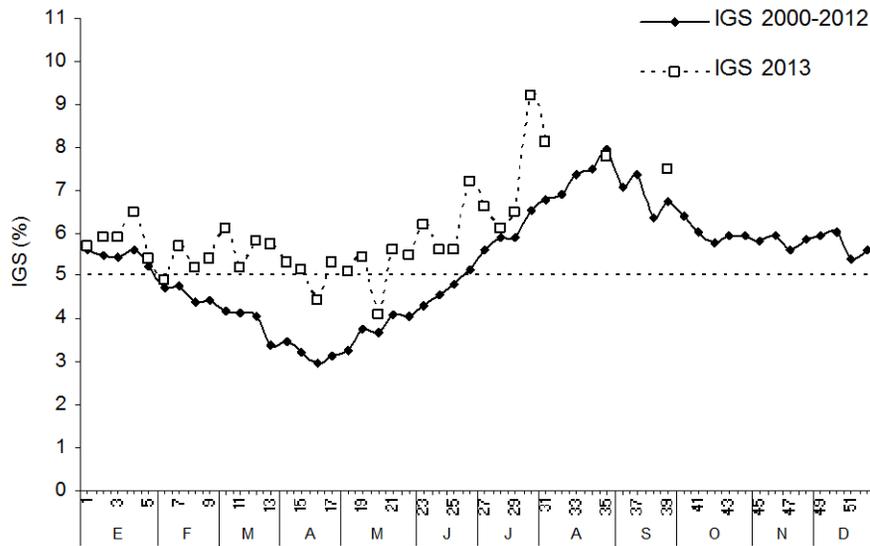


Figura 10. Variación semanal del IGS promedio histórico 2000-2012 y en el 2013. La línea indica el valor referencial de actividad reproductiva.

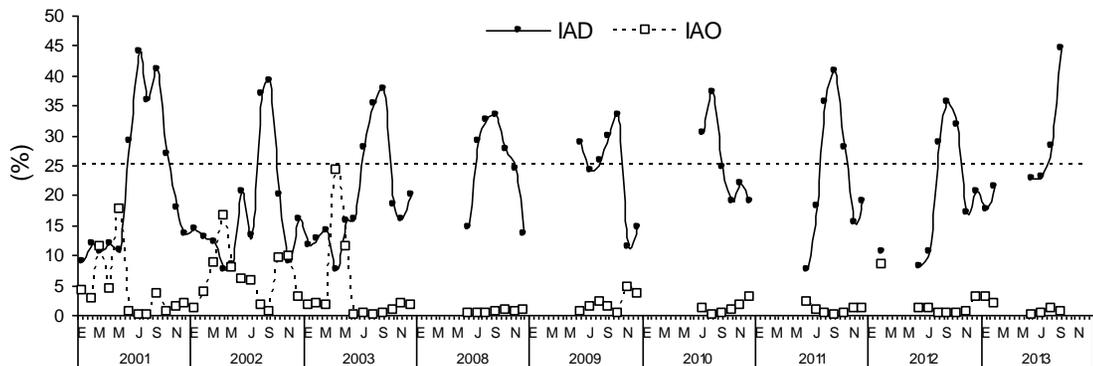


Figura 11. Variación mensual del índice de actividad de desove (IAD) y del índice de atresia ovárica (IAO). Ciclo anual 2001 a 2003, y entre junio de 2008 y septiembre de 2013. La línea horizontal representa el IAD referencial ($\geq 25\%$) que define el periodo de la máxima intensidad de desove (MID).

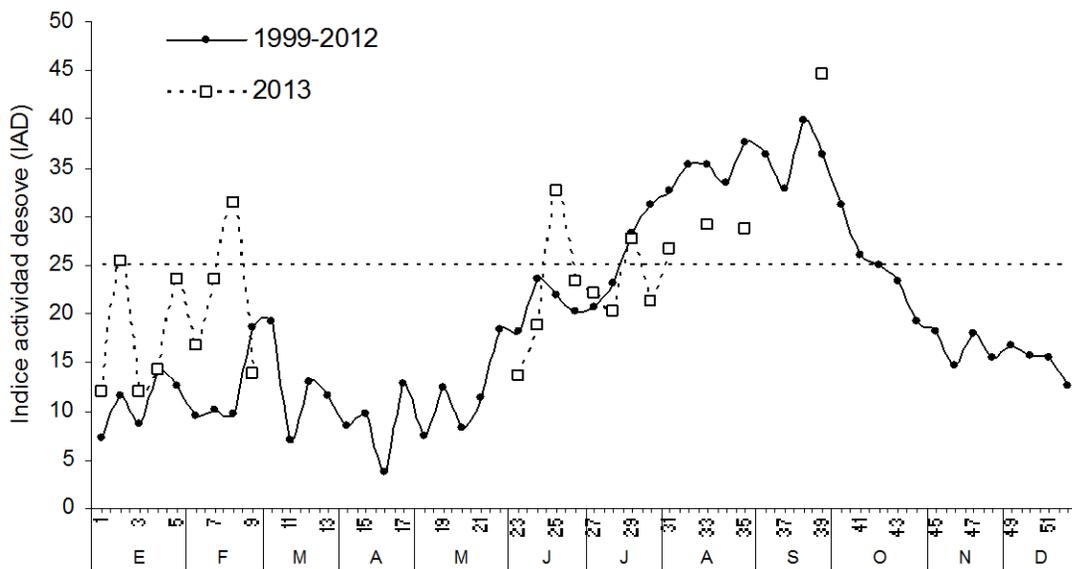


Figura 12. Variación semanal del IAD promedio histórico 1999-2012 y en el 2013. La línea horizontal representa el IAD referencial ($\geq 25\%$) que define el periodo de la máxima intensidad de desove (MID).

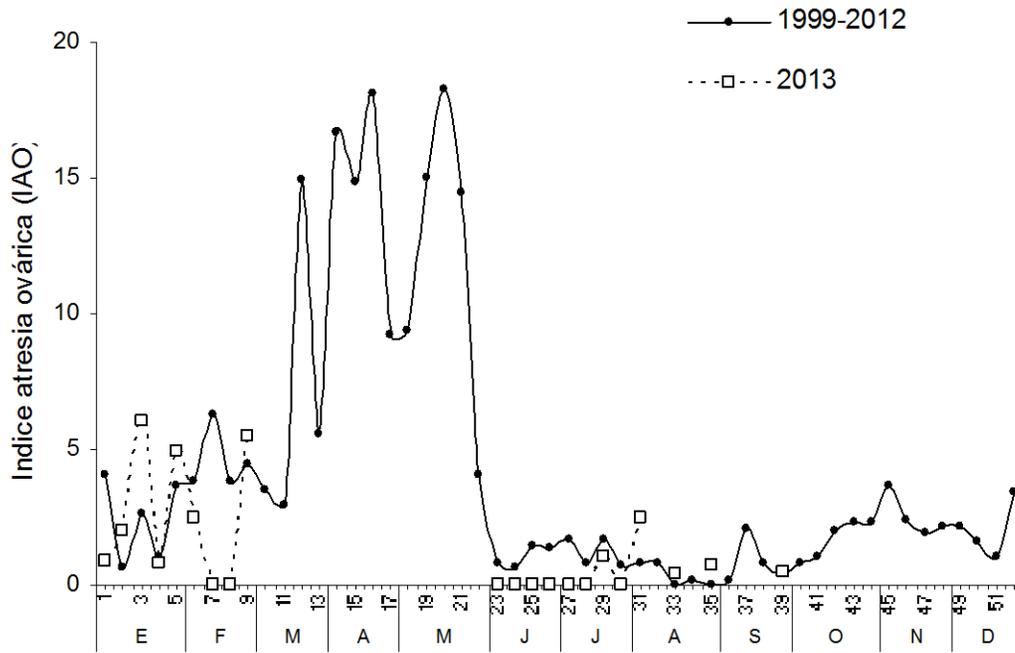


Figura 13. Variación semanal del IAO promedio histórico 1999-2012 y en el 2013.

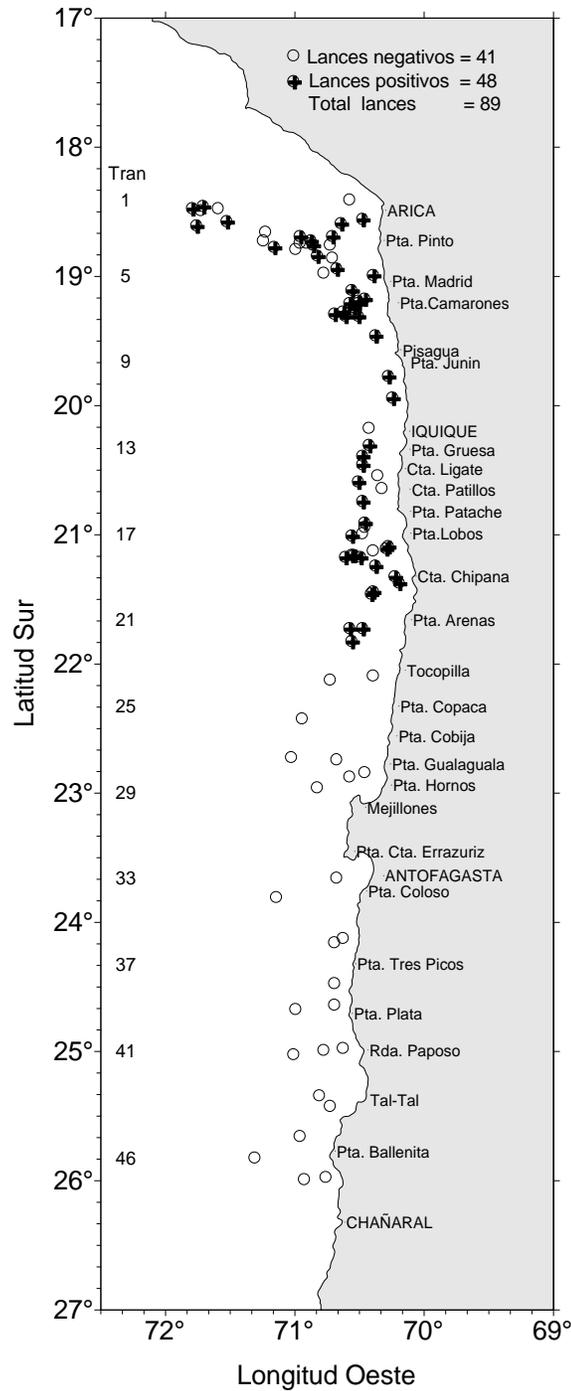


Figura 14. Distribuci3n espacial de los lances de pesca. Crucero MPH – Invierno 2013.

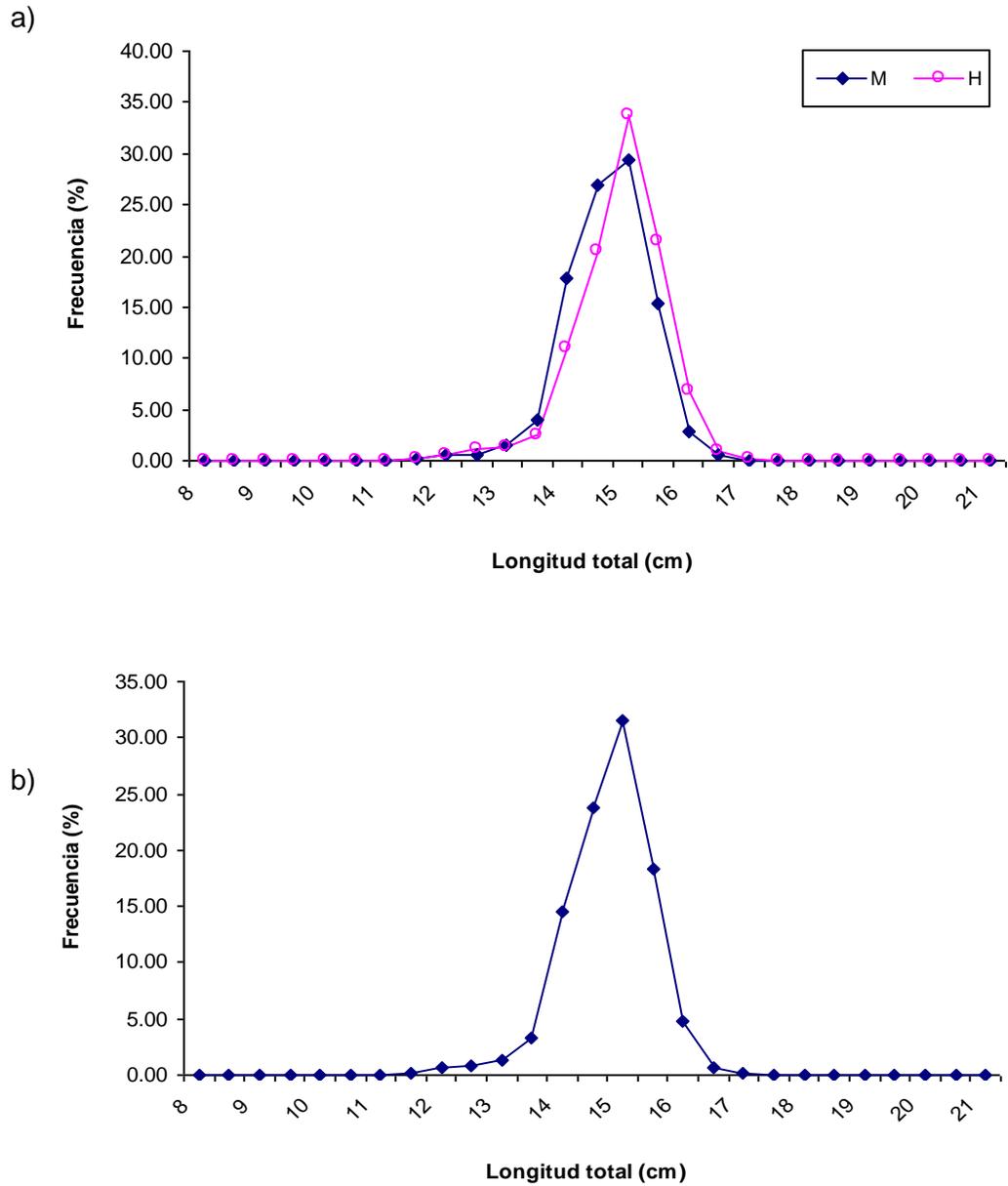


Figura 15. Distribución de tamaños de anchoveta capturadas entre las XV, I y II Regiones. a) Por sexo (M: machos, H: hembras), b) total. Crucero MPH 2013.

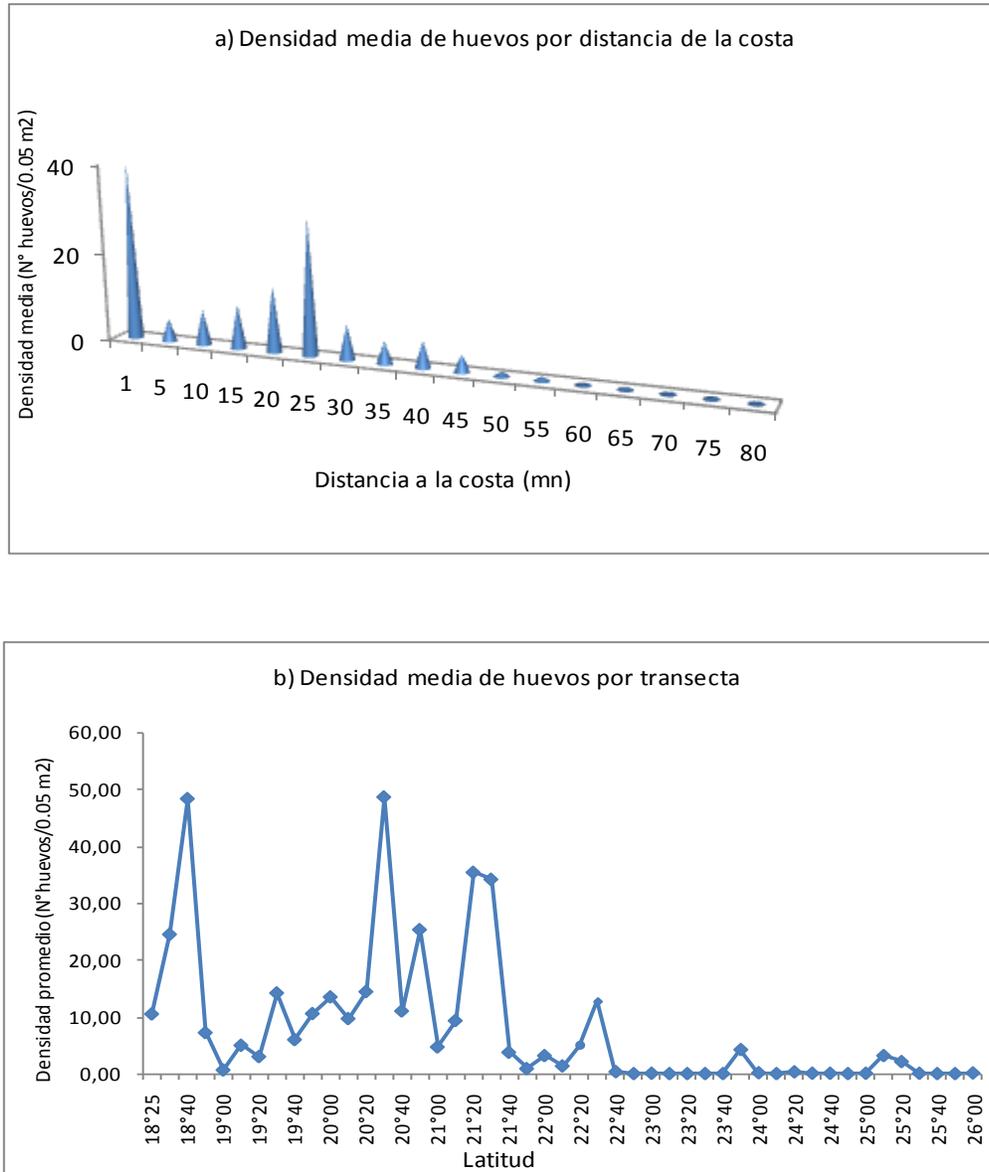


Figura 16. Distribución de la densidad promedio de huevos de anchoveta con respecto a) a la distancia de la costa y b) a la latitud. Crucero MPH – Invierno 2013.

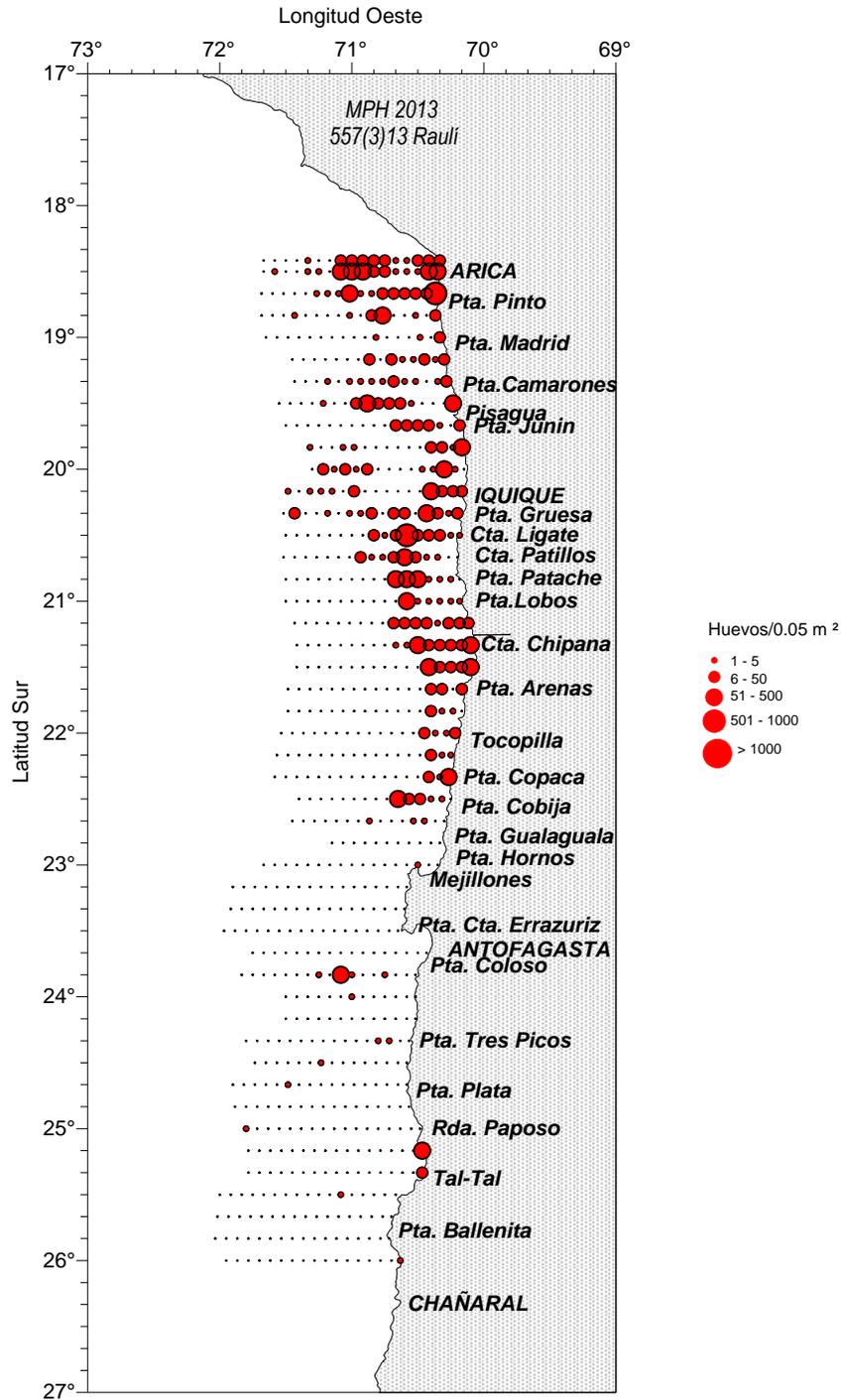


Figura 17. Distribución y abundancia de huevos de Anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2013.

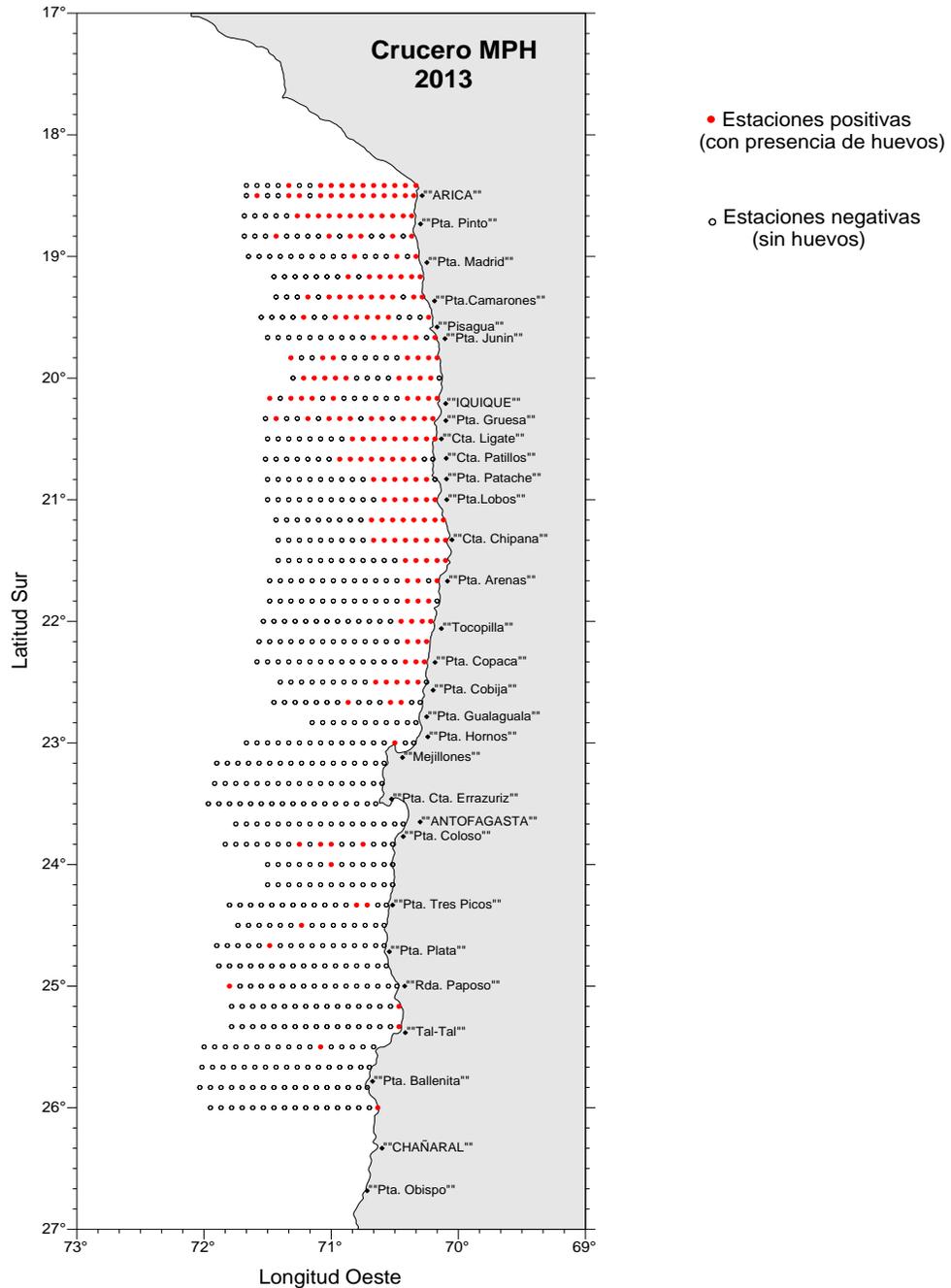


Figura 18. Distribución geográfica de las estaciones positivas y negativas a la presencia de huevos de anchoveta. Crucero MPH – Invierno 2013.

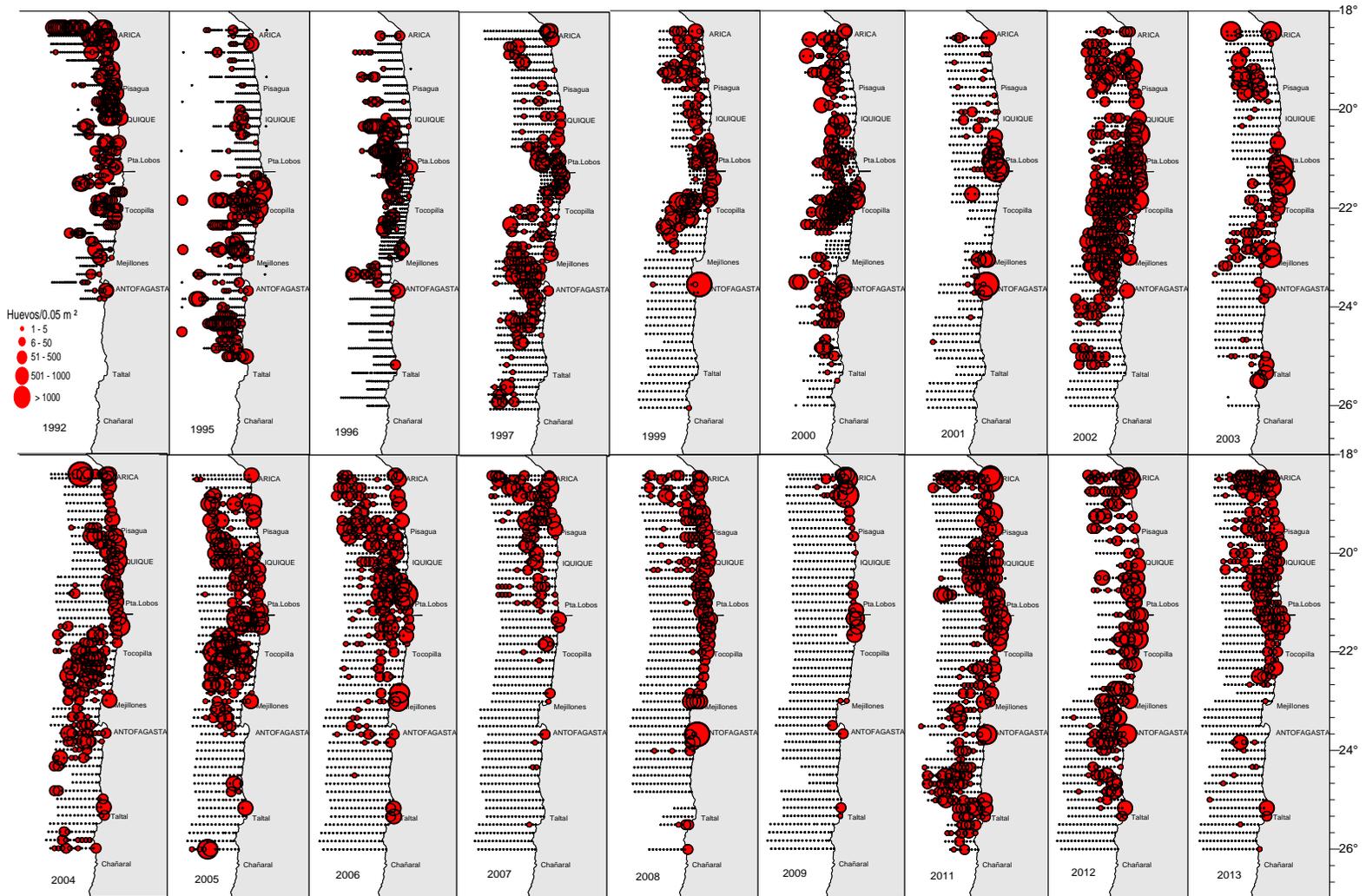


Figura 19. Distribuci3n espacial y abundancia de huevos de Anchoveta. Cruceros MPH Inviernos 1992 - 2013.

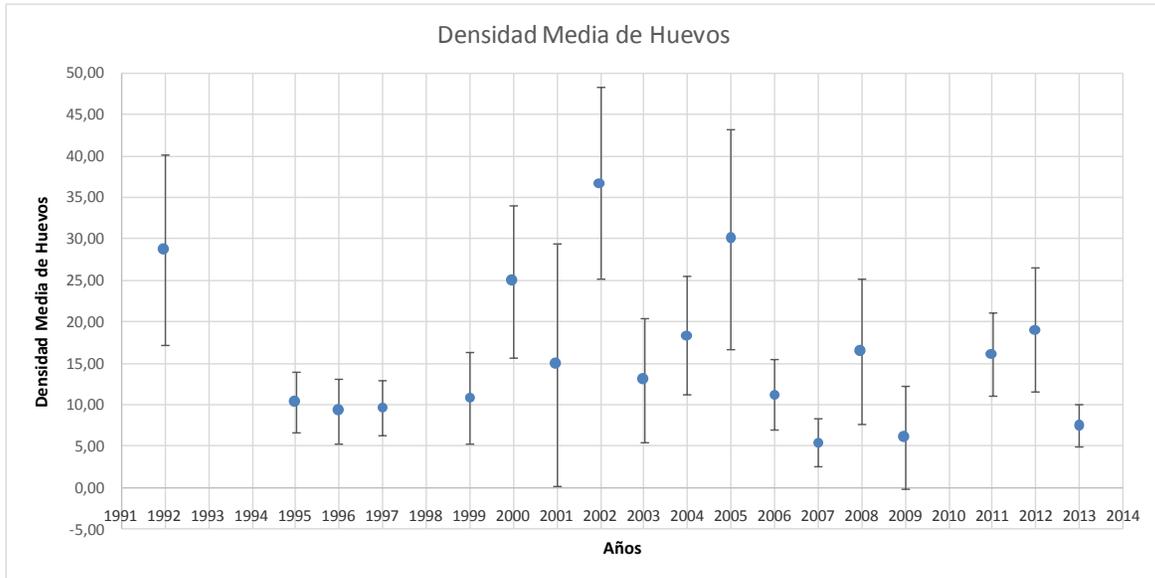


Figura 20. Densidad media de huevos de anchoveta (N°/0,05 m²) estimada a través del estimador de la media de una distribución delta, período 1992 – 2013.

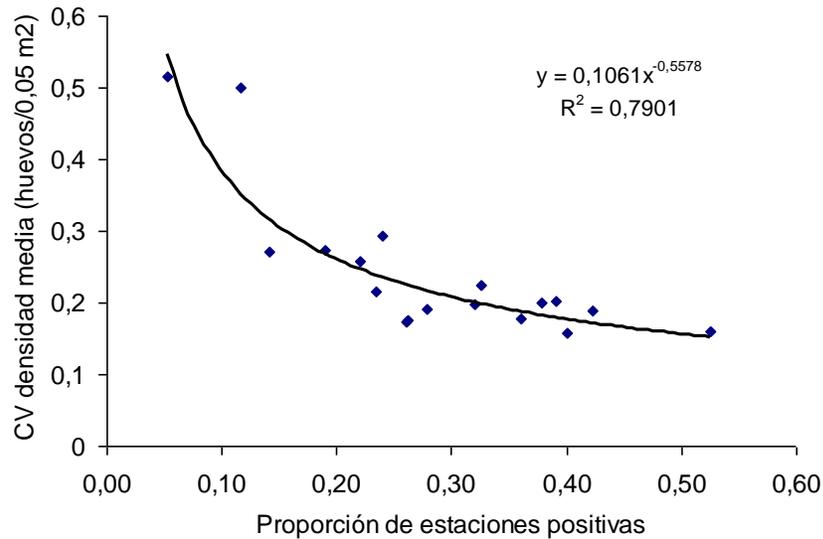


Figura 21. Relación entre la proporción de estaciones positivas y el coeficiente de variación de la densidad media de huevos anuales estimadas mediante el método delta. Período 1992.2013.

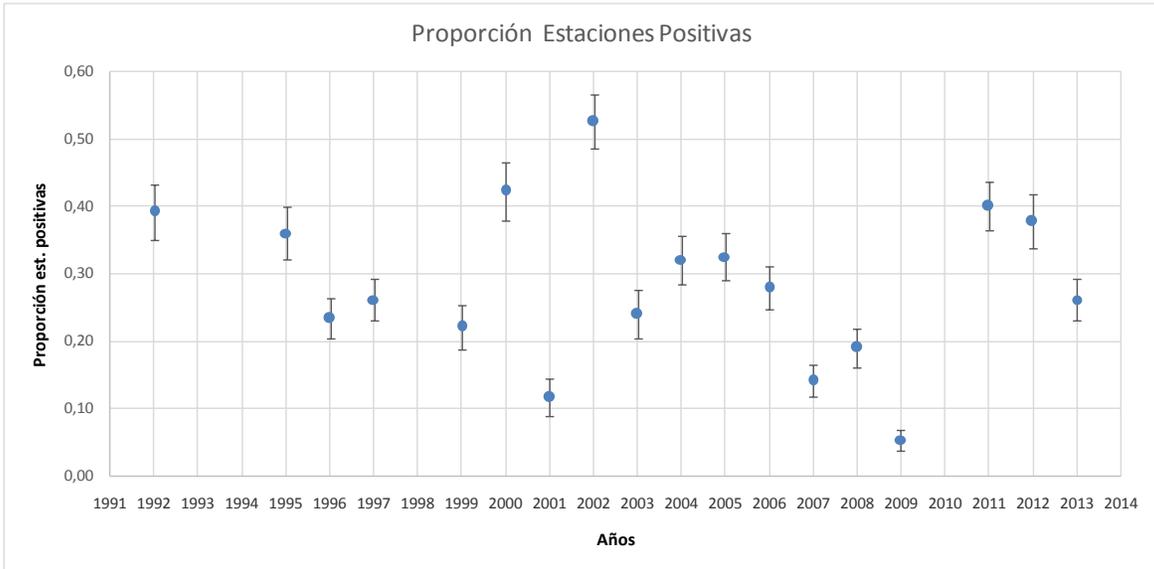


Figura 22. Proporci3n de estaciones positivas (con huevos), per3odo 1992 – 2013.

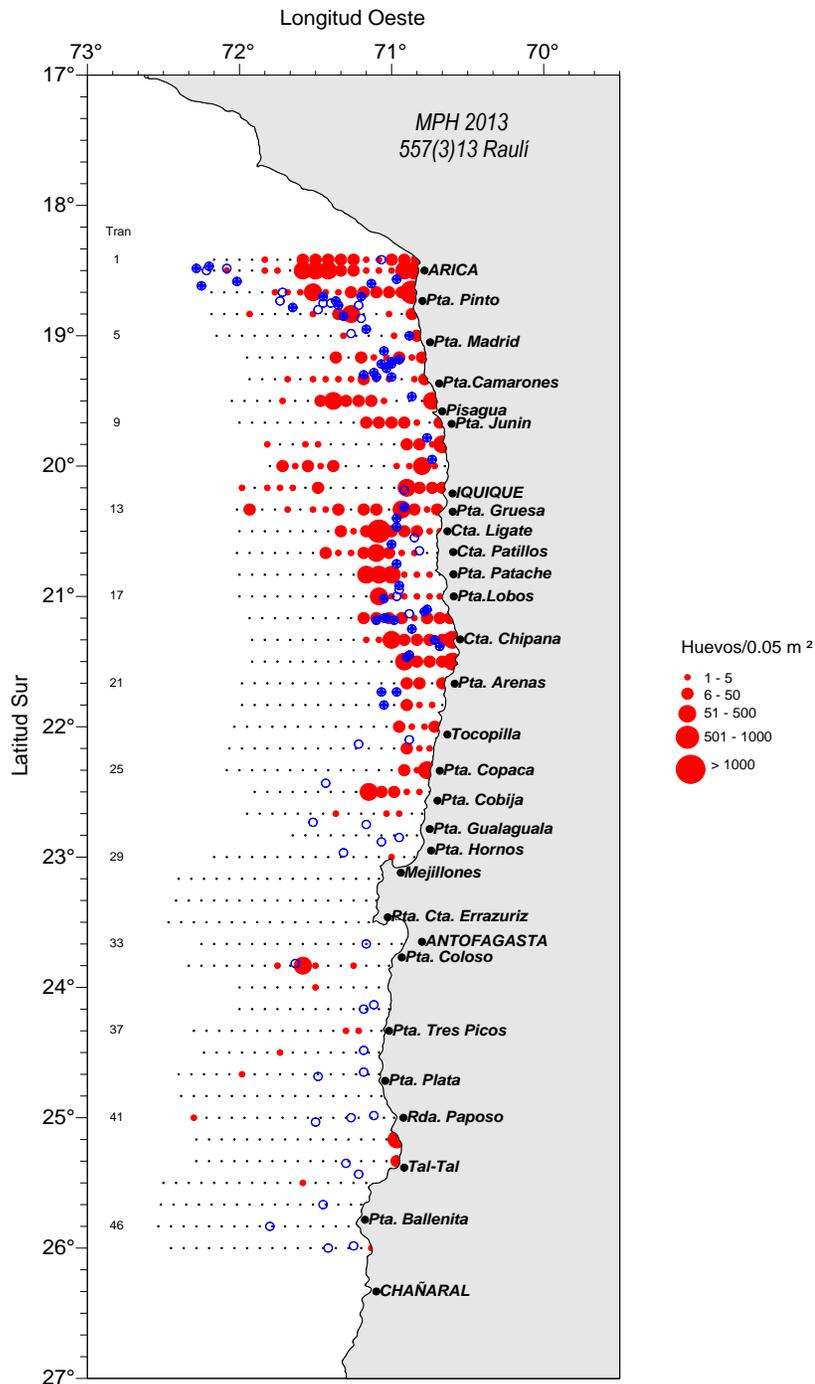


Figura 23. Distribución espacial de los lances de pesca v/s la densidad de huevos de anchoveta. Crucero MPH Invierno 2013.

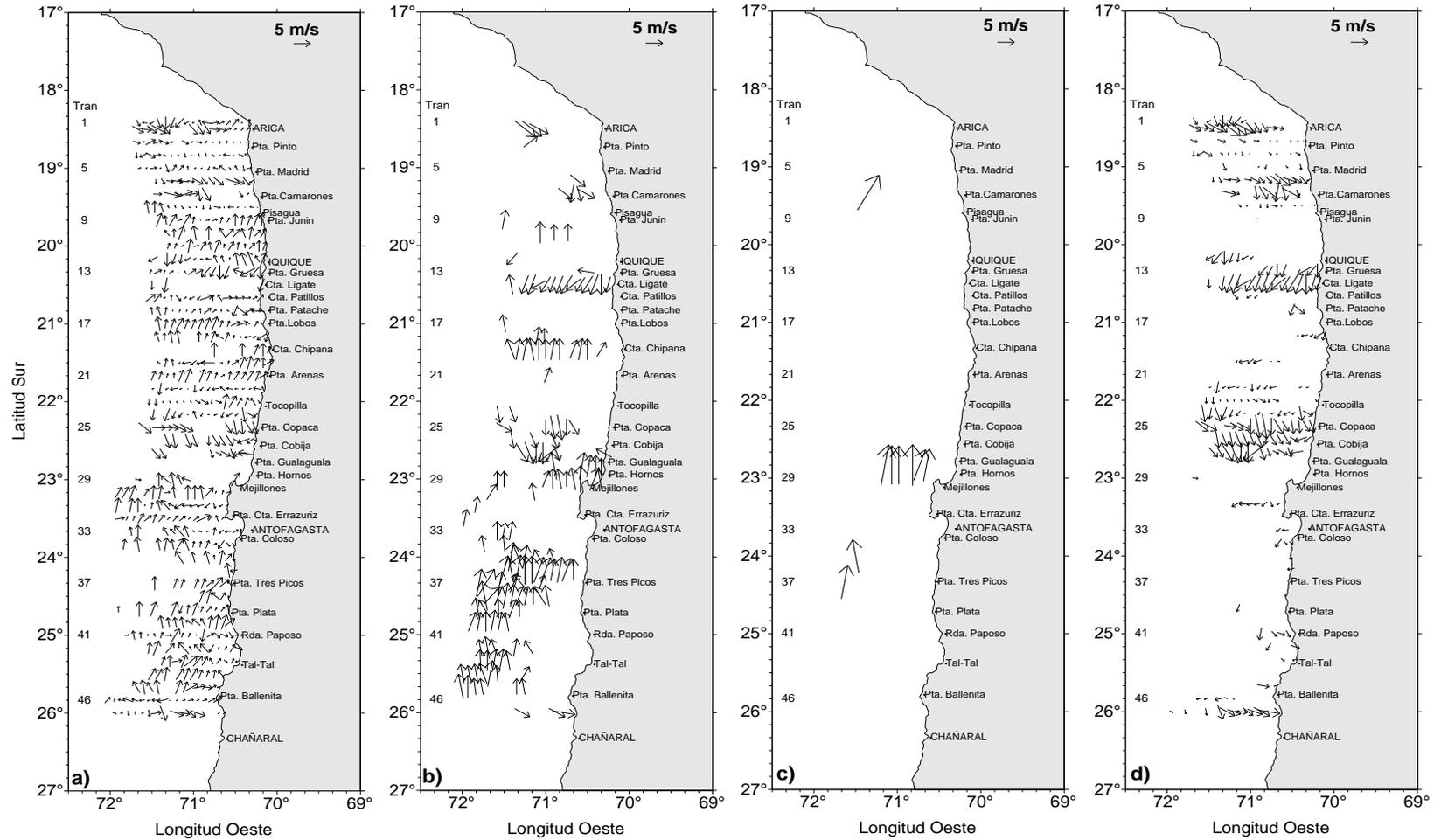


Figura 24. Cartas del viento horario de intensidad a) menor a 5 m/s, b) 5 a 10 m/s, c) mayor a 5 m/s, d) viento con componente norte. Crucero MPH - Invierno 2013.

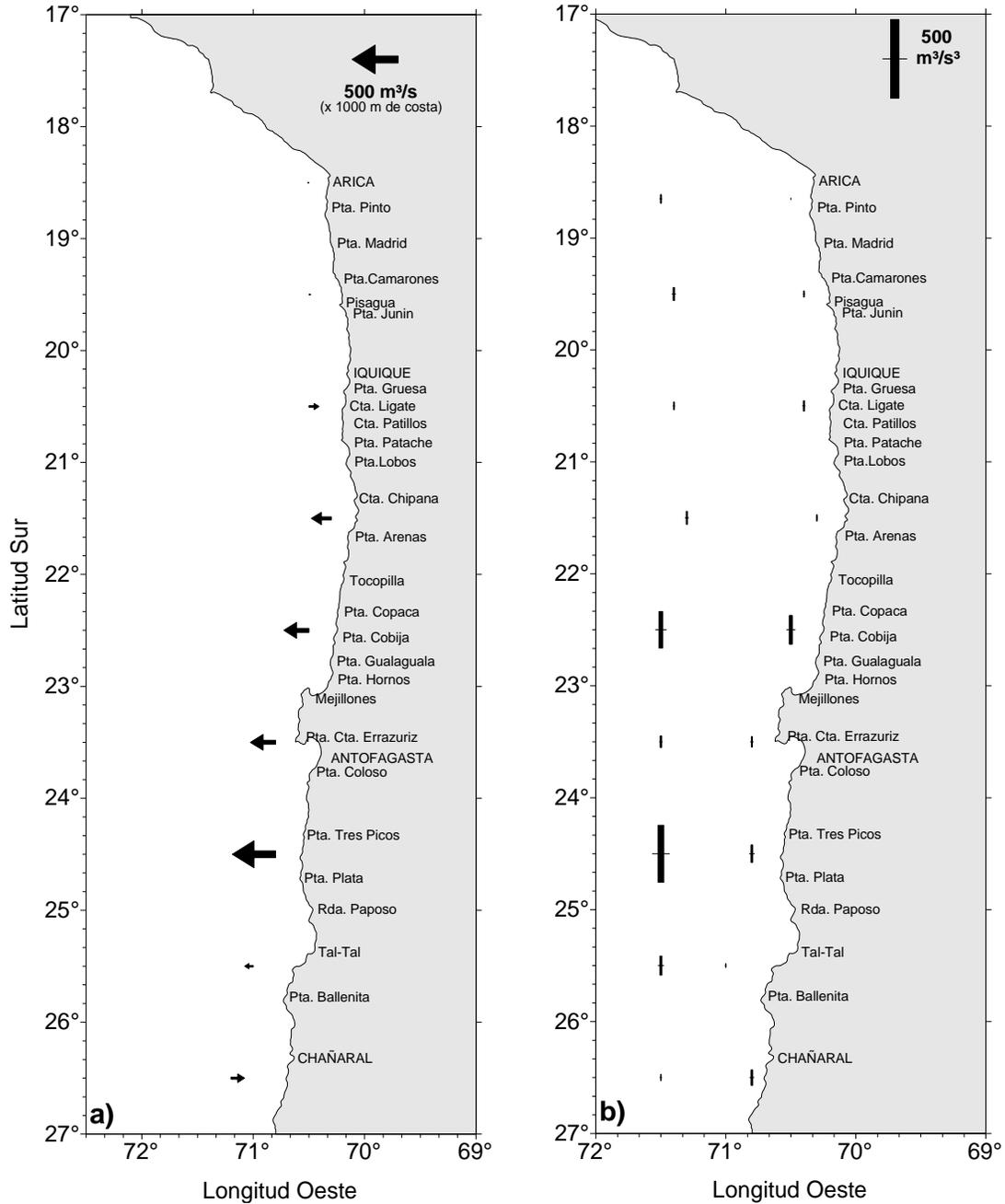


Figura 25. Cartas de a) promedios del índice de surgencia y b) promedios de turbulencia. Los promedios se obtuvieron de mediciones del viento de las estaciones dentro de 1° de latitud. Crucero MPH - Invierno 2013.

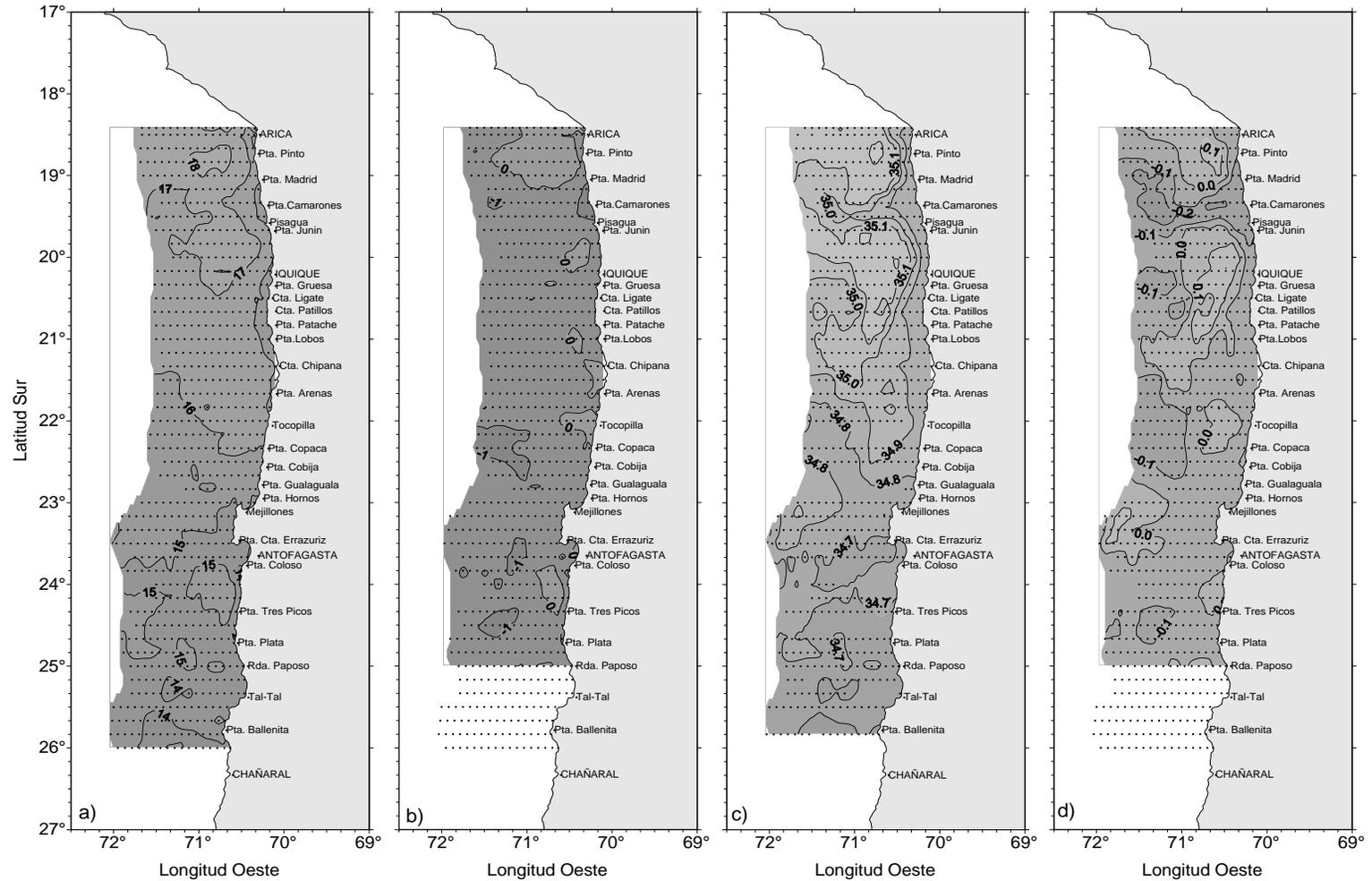


Figura 26. Distribuci3n superficial de a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad y d) anomalía de salinidad. Crucero MPH - Invierno 2013.

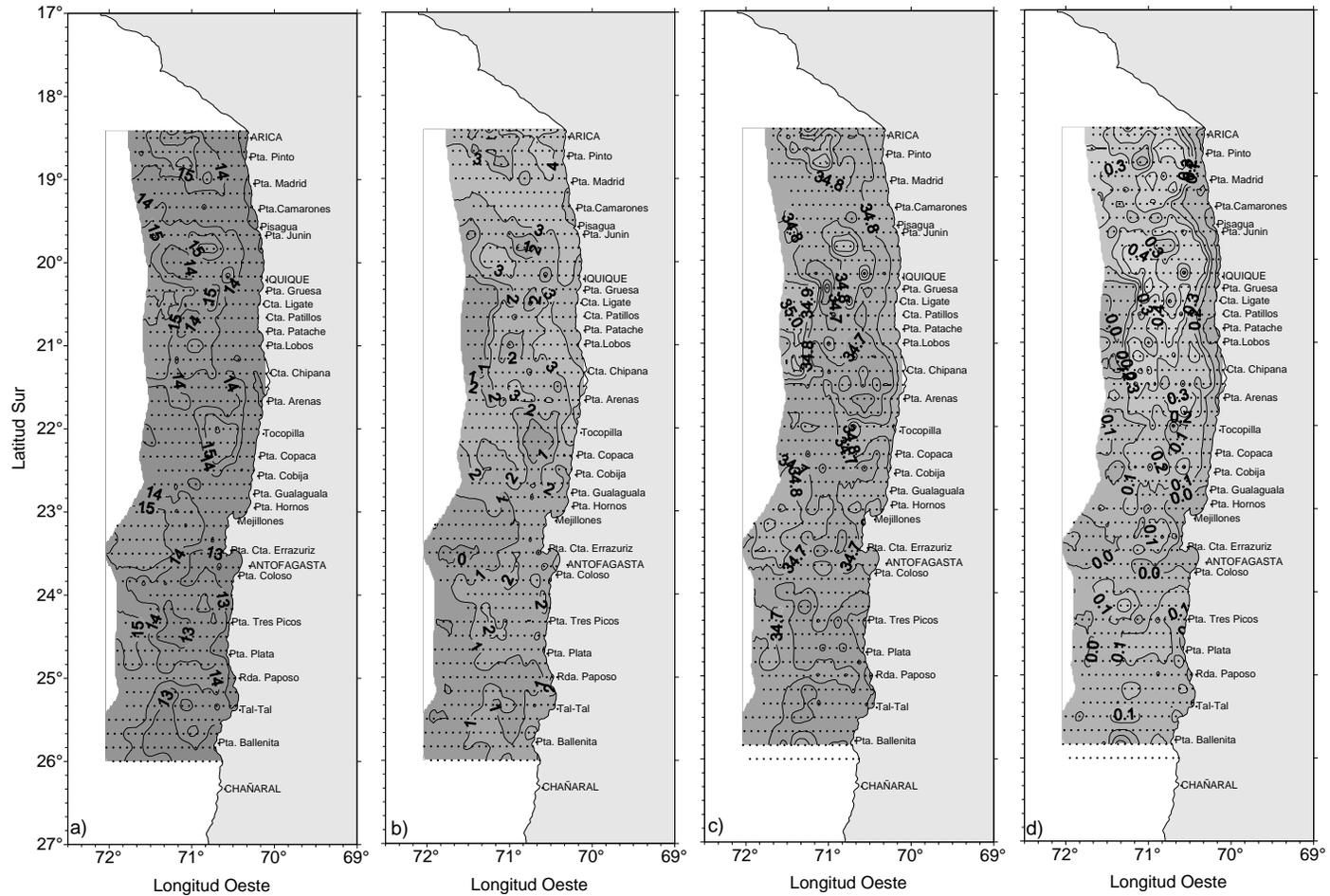


Figura 27. Distribuci3n de a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en el nivel de 50 m de profundidad, b) diferencia t3rmica ($^{\circ}\text{C}$) entre superficie y el nivel de 50 m, c) salinidad en el nivel de 50 m de profundidad y d) diferencia de salinidad entre superficie y el nivel de 50 m. Crucero MPH - Invierno 2013.

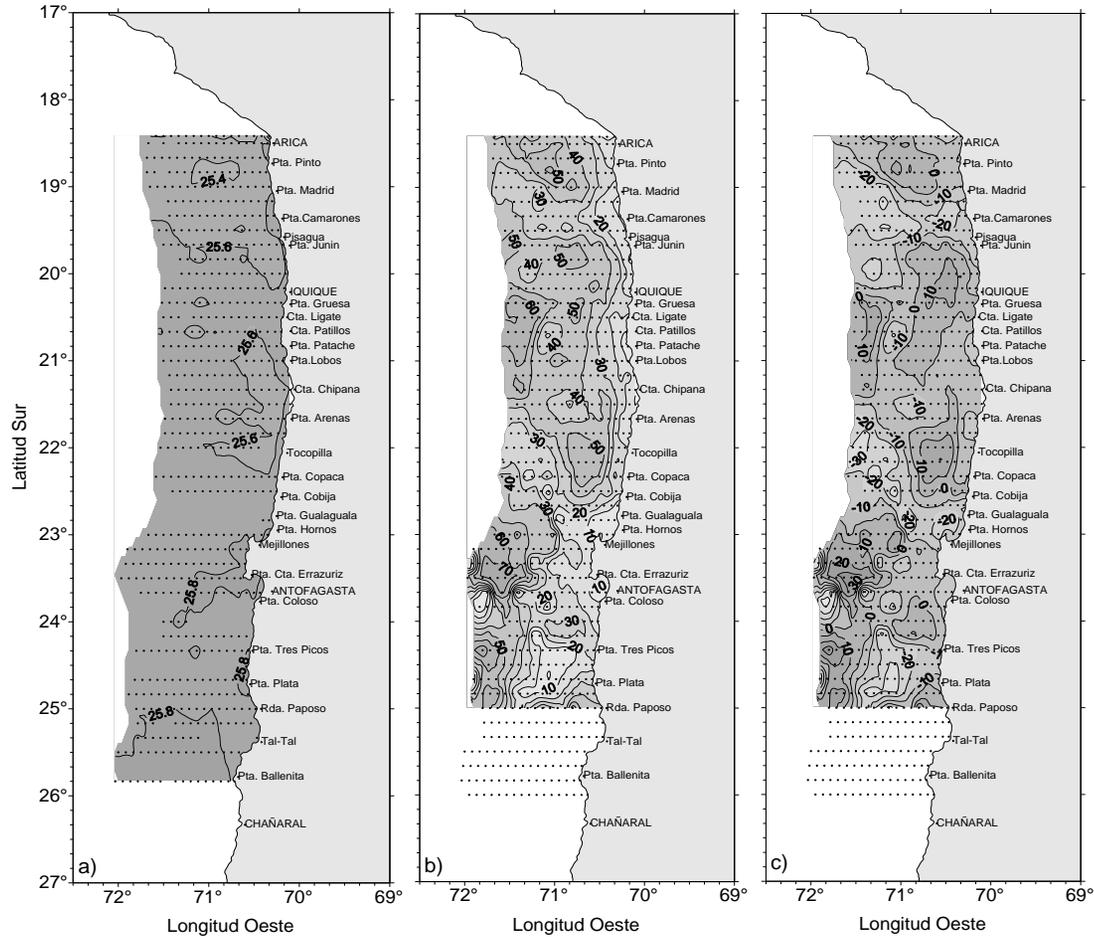


Figura 28. Distribuci3n de a) Densidad superficial ($\sigma\text{-t}$) kg/m^3 , b) profundidad de la isoterma de 15°C (m) y c) anomalía de profundidad de la isoterma 15°C (m). Crucero MPH - invierno 2013.

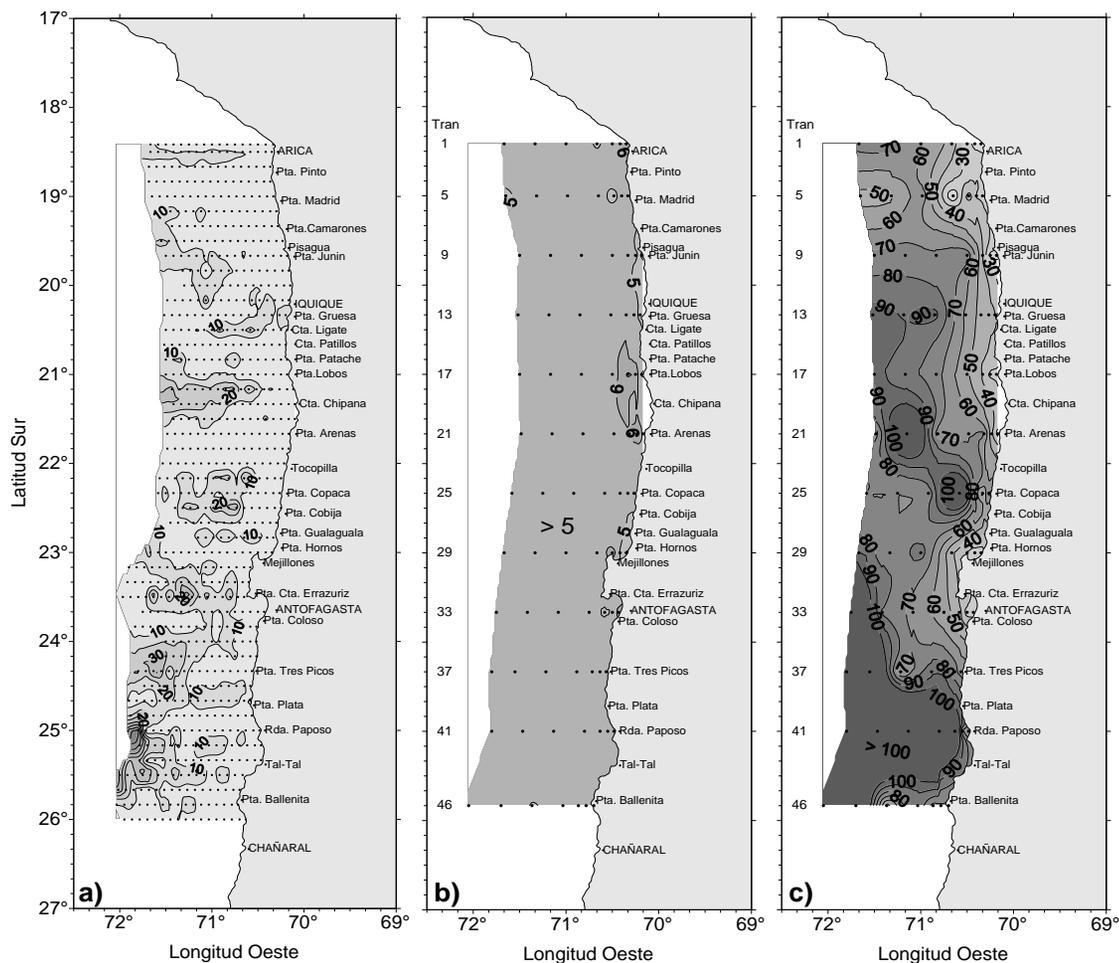


Figura 29. Distribuci3n de a) espesor de la capa de mezcla (m), b) concentraci3n de ox3geno disuelto superficial (mL/L) y c) profundidad de la concentraci3n de 1 mL/L de OD (m). Crucero MPH - Invierno 2013.

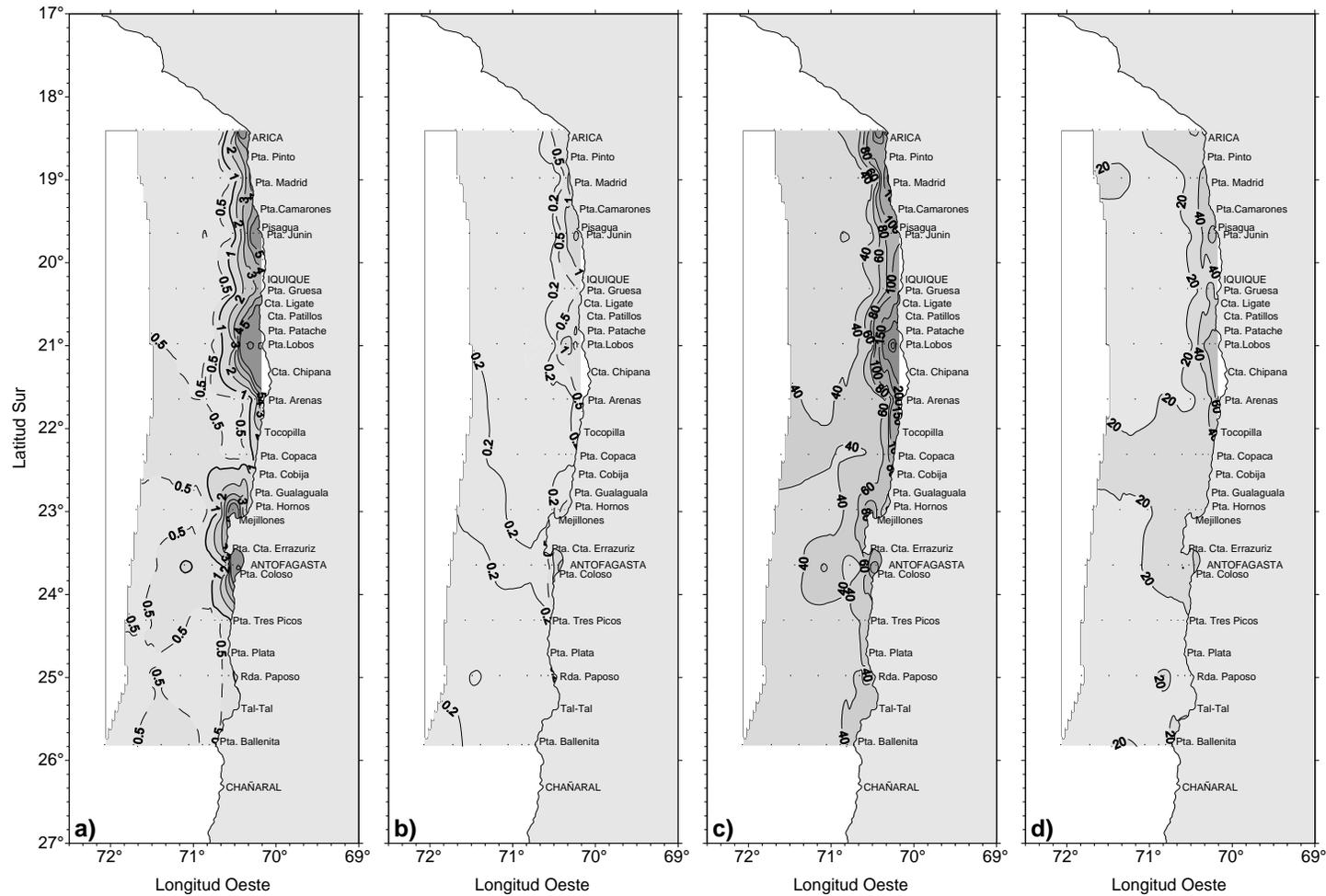


Figura 30. Distribuci3n de a) clorofila a superficial ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmento superficial ($\mu\text{g/L}$), c) clorofila integrada (mg/m^2) y d) feopigmentos integrados (mg/m^2) Crucero MPH - Invierno 2013.

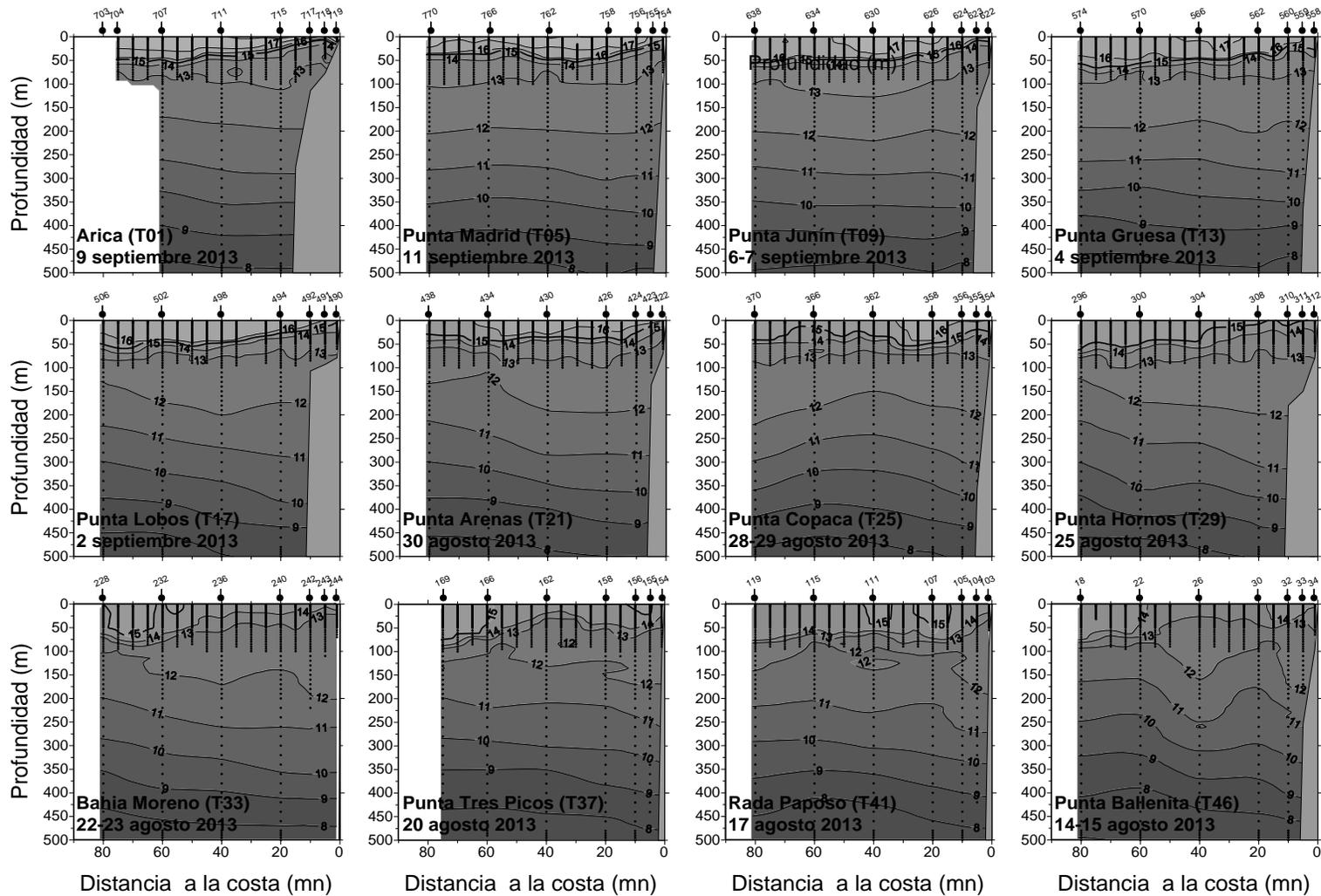


Figura 31. Distribuci3n vertical de temperatura (°C) en las transectas oceanogr3ficas. Crucero MPH - invierno 2013.

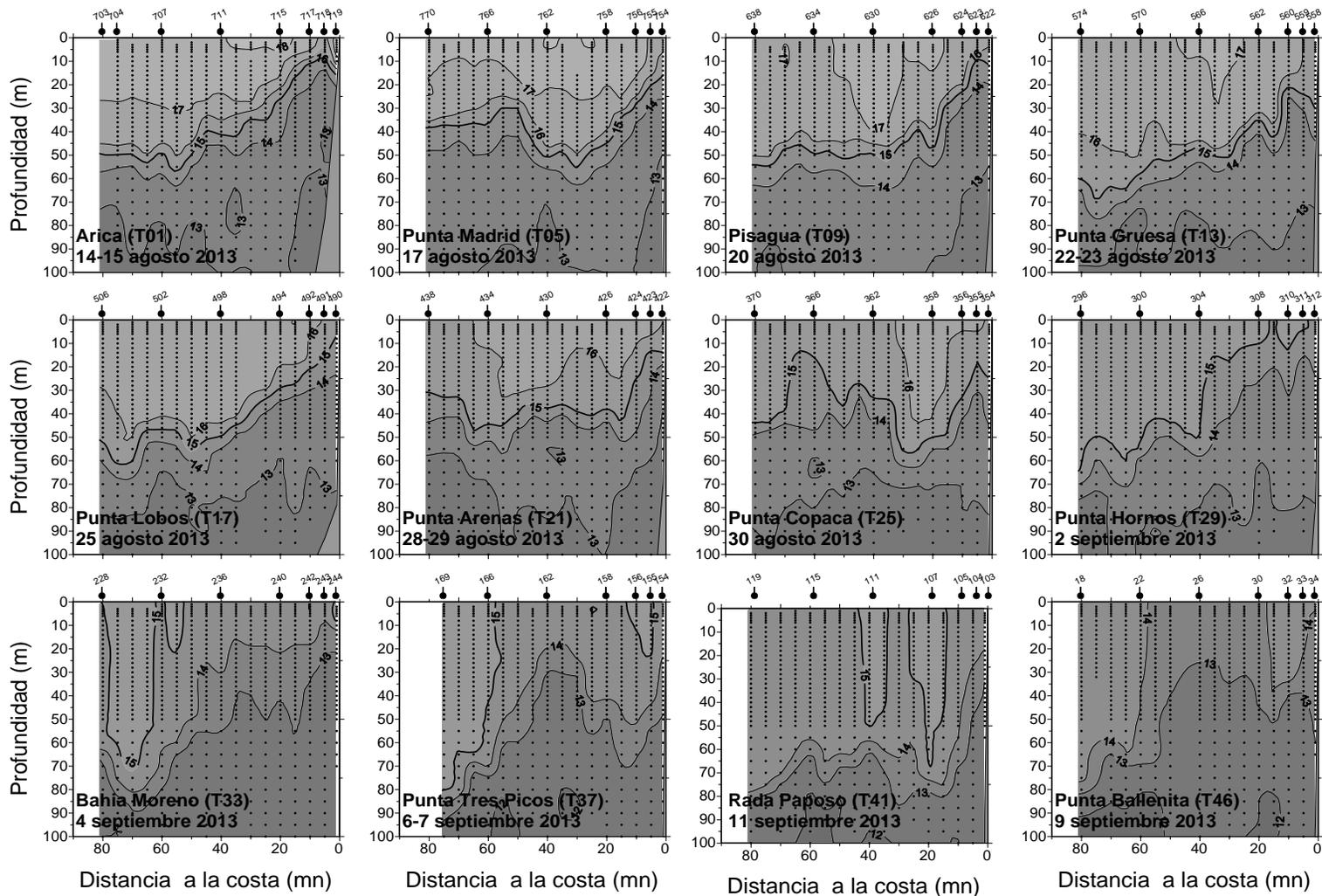


Figura 32. Distribuci3n vertical de temperatura (°C) de los primeros 100 m en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.

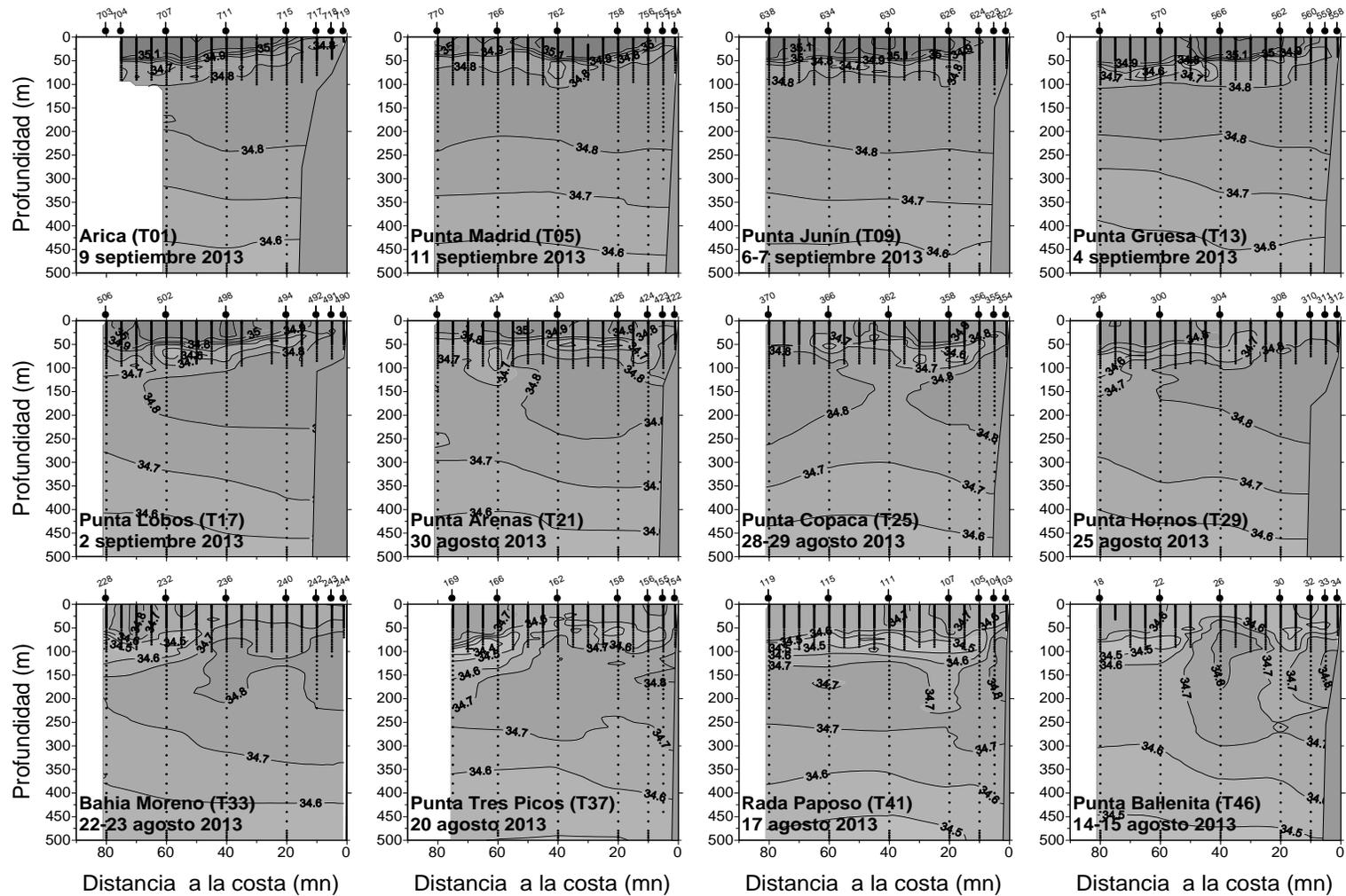


Figura 33. Distribuci3n vertical de salinidad en las transectas oceanogr3ficas. Crucero MPH - invierno 2013.

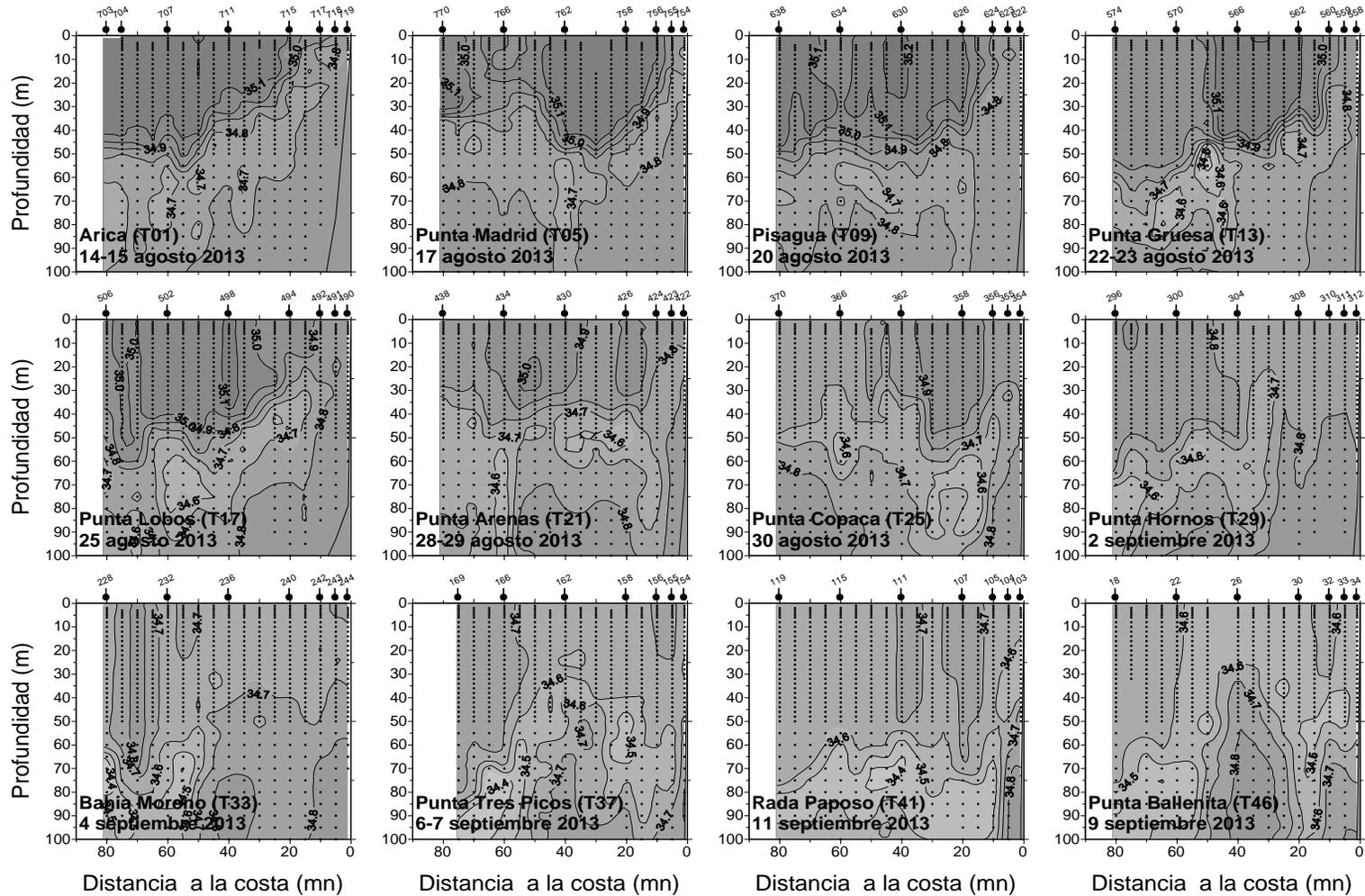


Figura 34. Distribuci3n vertical de salinidad de los primeros 100 m en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.

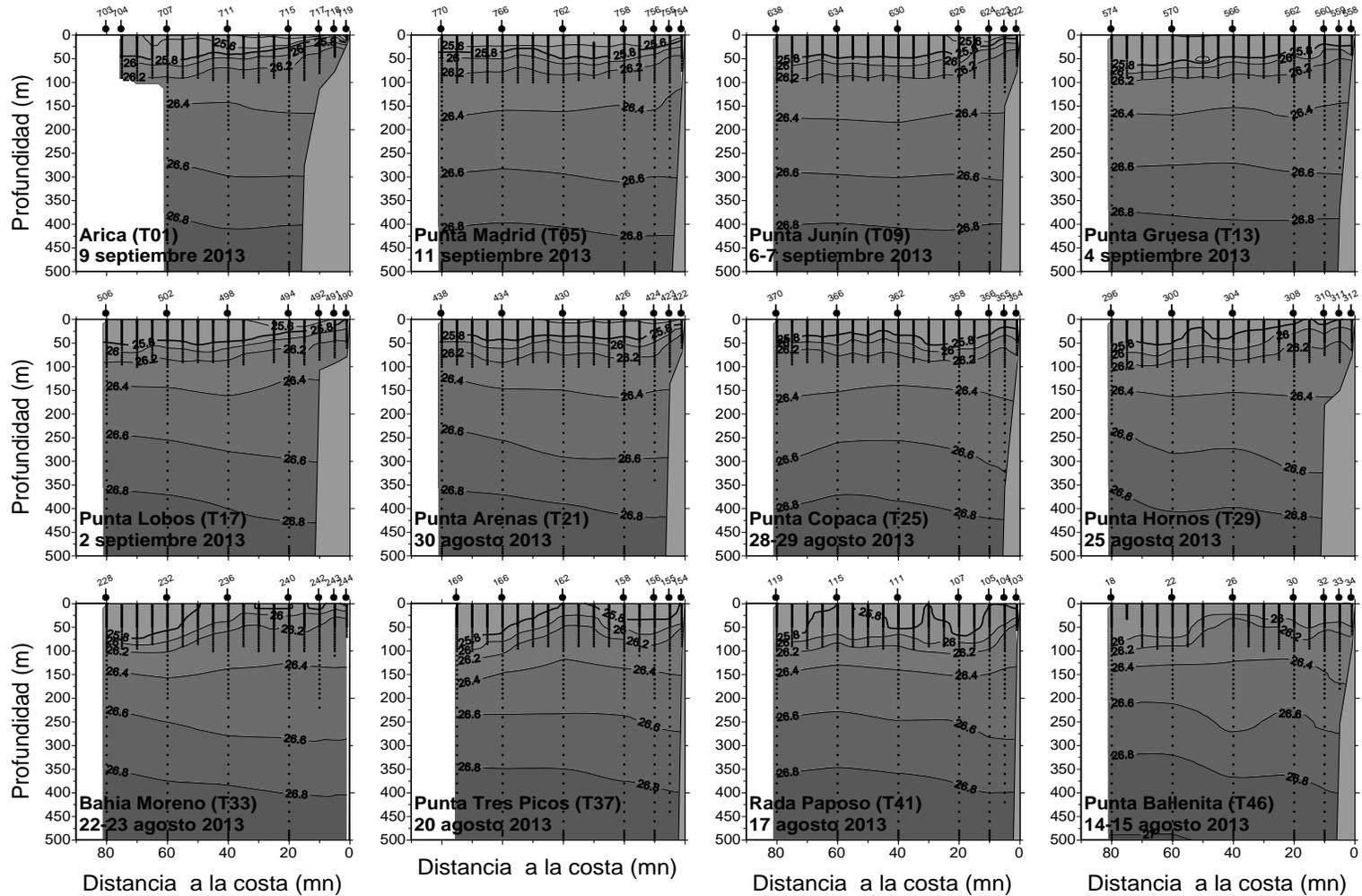


Figura 35. Distribuci3n vertical de densidad (sigma-t) en las transectas oceanogr3ficas. Crucero MPH - invierno 2013.

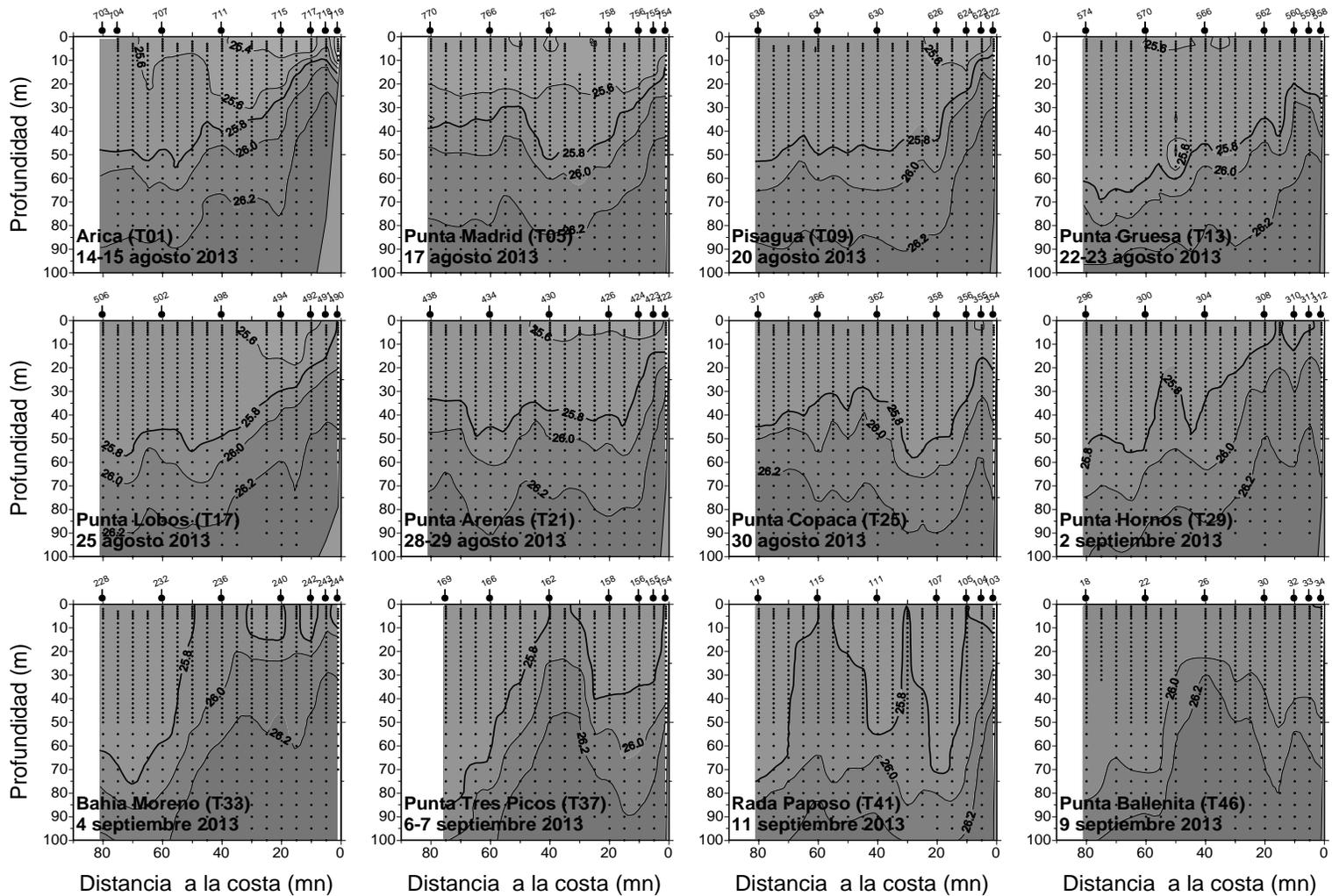


Figura 36. Distribuci3n vertical de densidad (sigma-t) de los primeros 100 m en las transectas oceanográficas. Crucero MPH - invierno 2013.

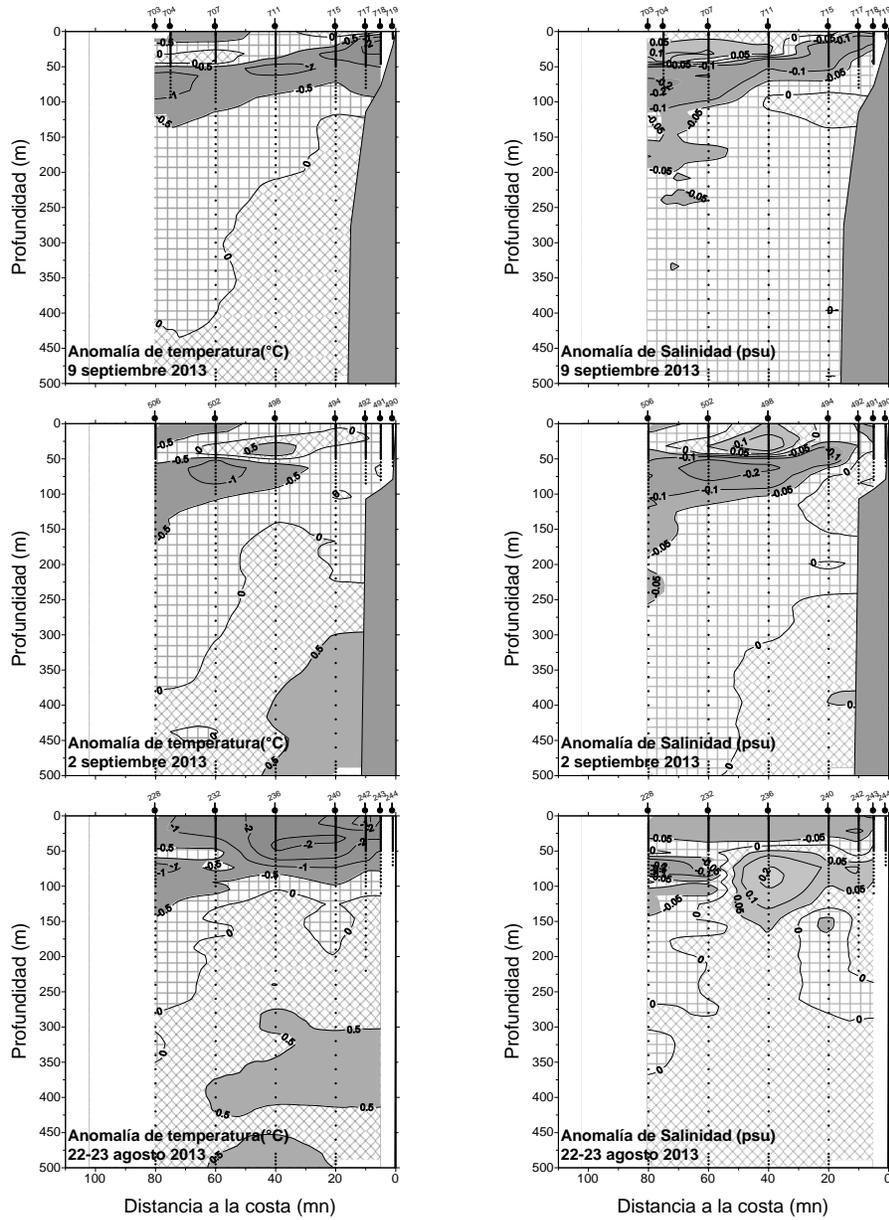


Figura 37. Anomalia vertical de temperatura (°C) y salinidad en las transectas: de Arica (18°25'S) (T1), punta Lobos (21°00'S) (T17) y Bahía Moreno (23°40'S) (T33). Crucero MPH - invierno 2013.

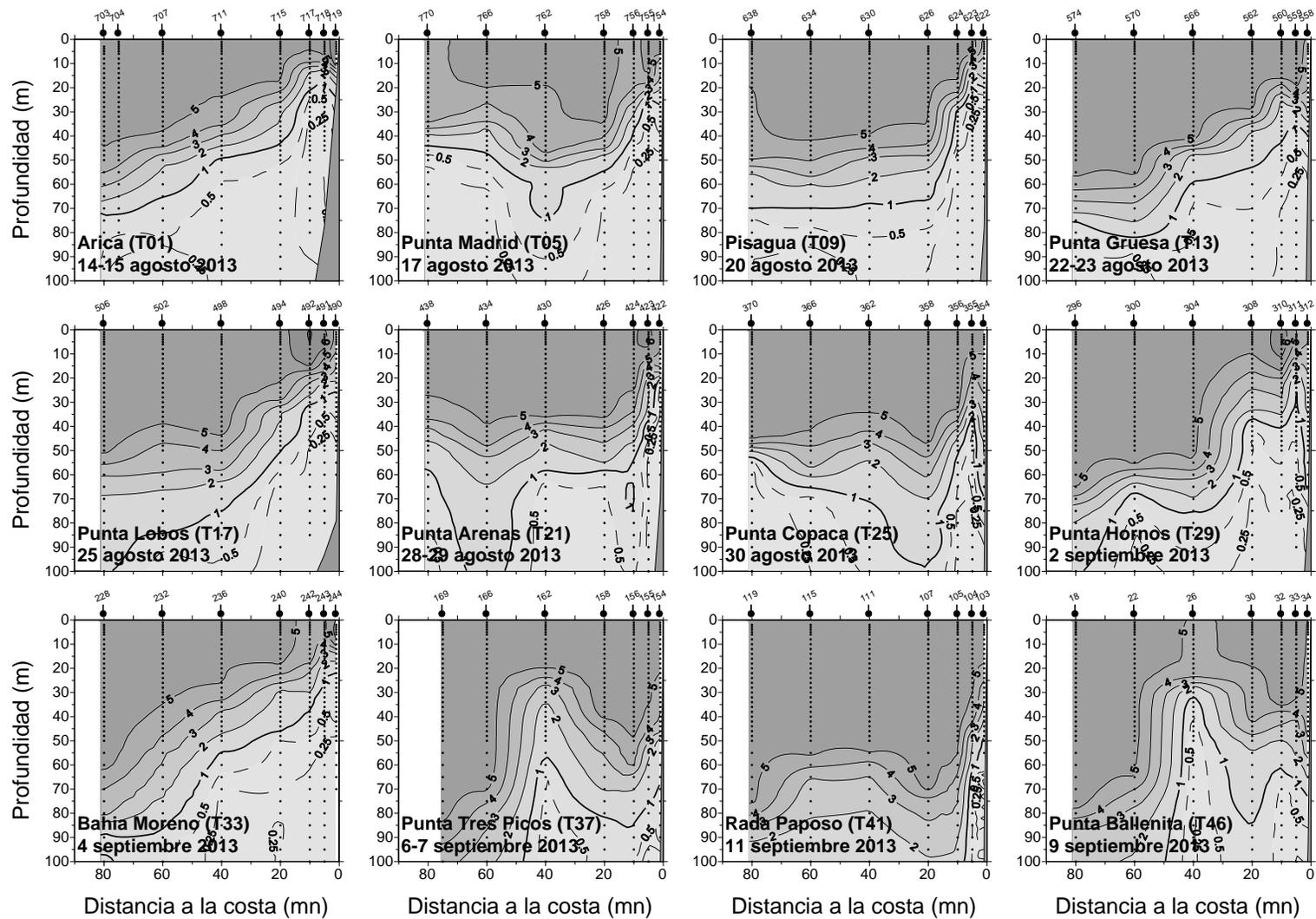


Figura 38. Distribuci3n vertical de ox3geno disuelto (mL/L), transectas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2013.

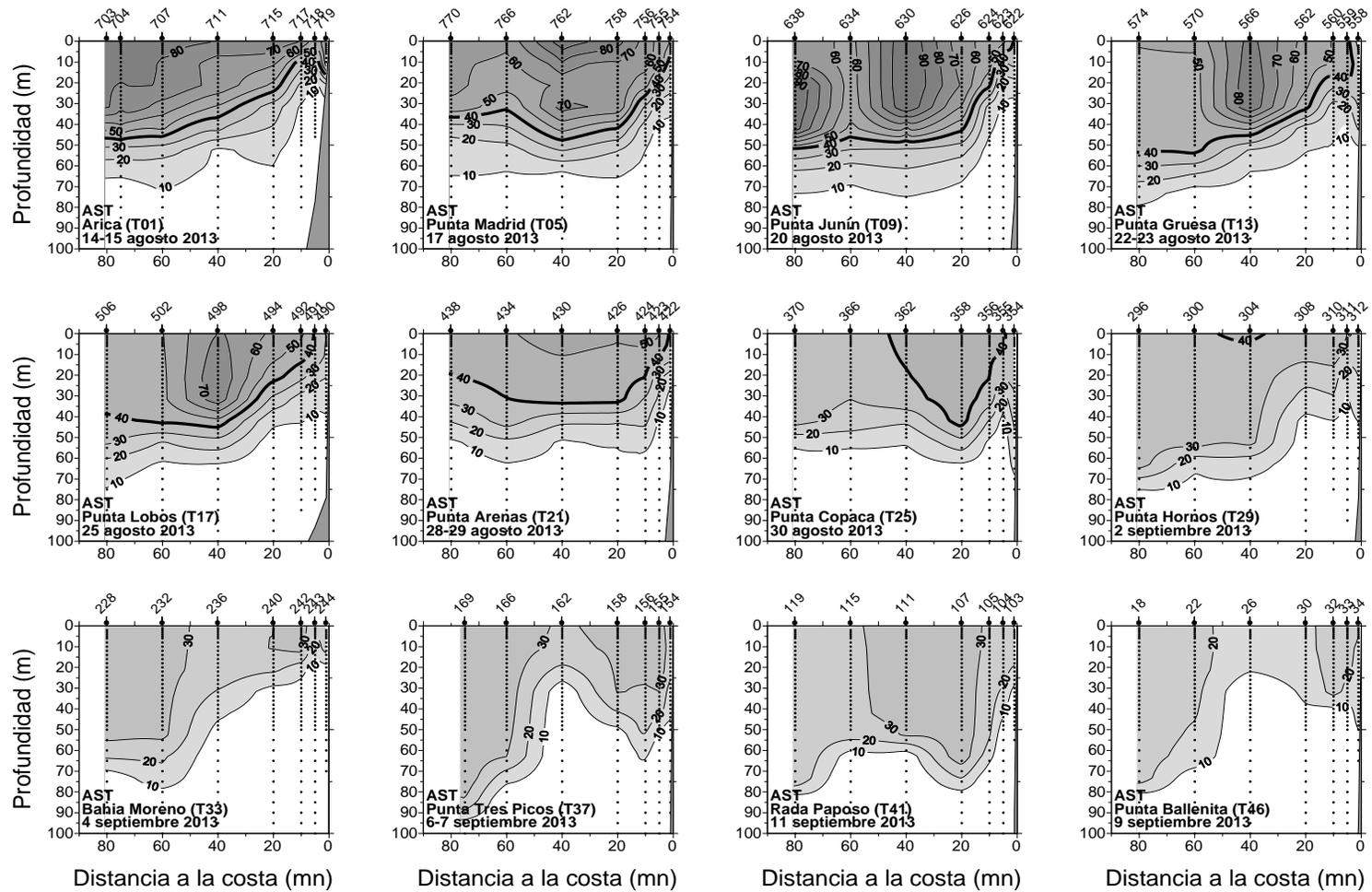


Figura 39. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subtropical (AST) en las transectas oceanogr3ficas. Crucero MPH - invierno 2013.

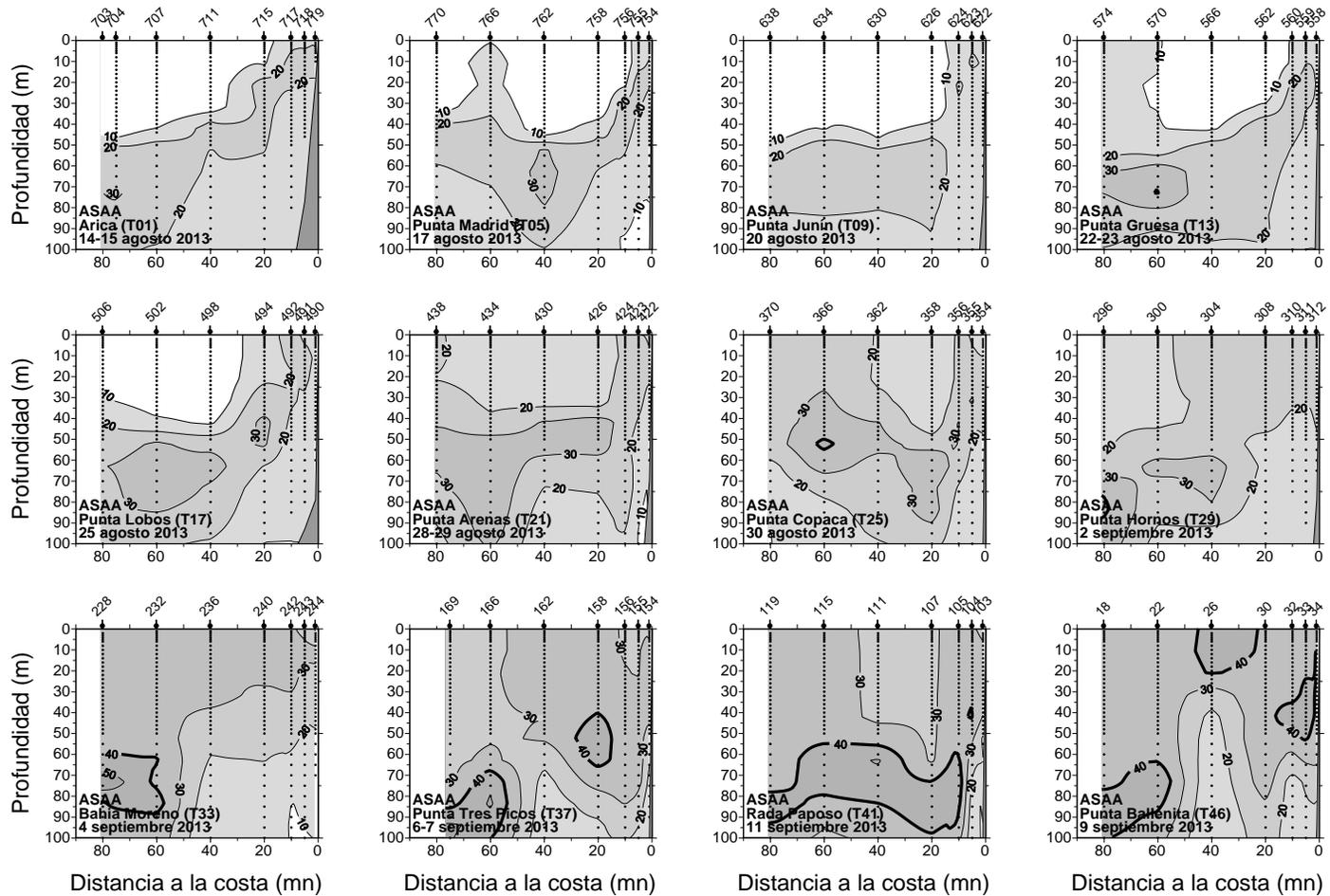


Figura 40. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subant3rtica (ASAA) en las transectas oceanogr3ficas. Crucero MPH - invierno 2013.

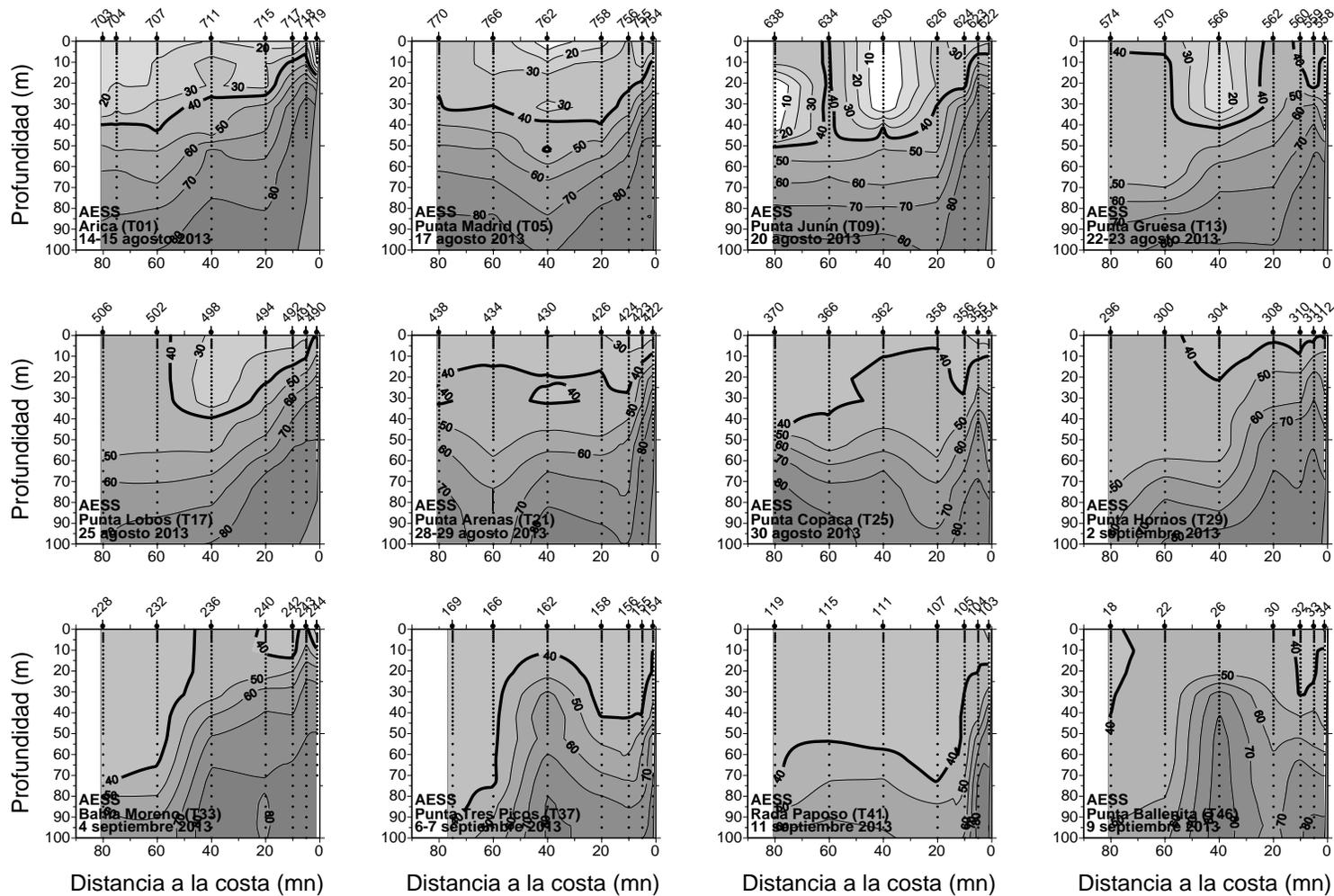


Figura 41. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas oceanogr3ficas. Crucero MPH - invierno 2013.

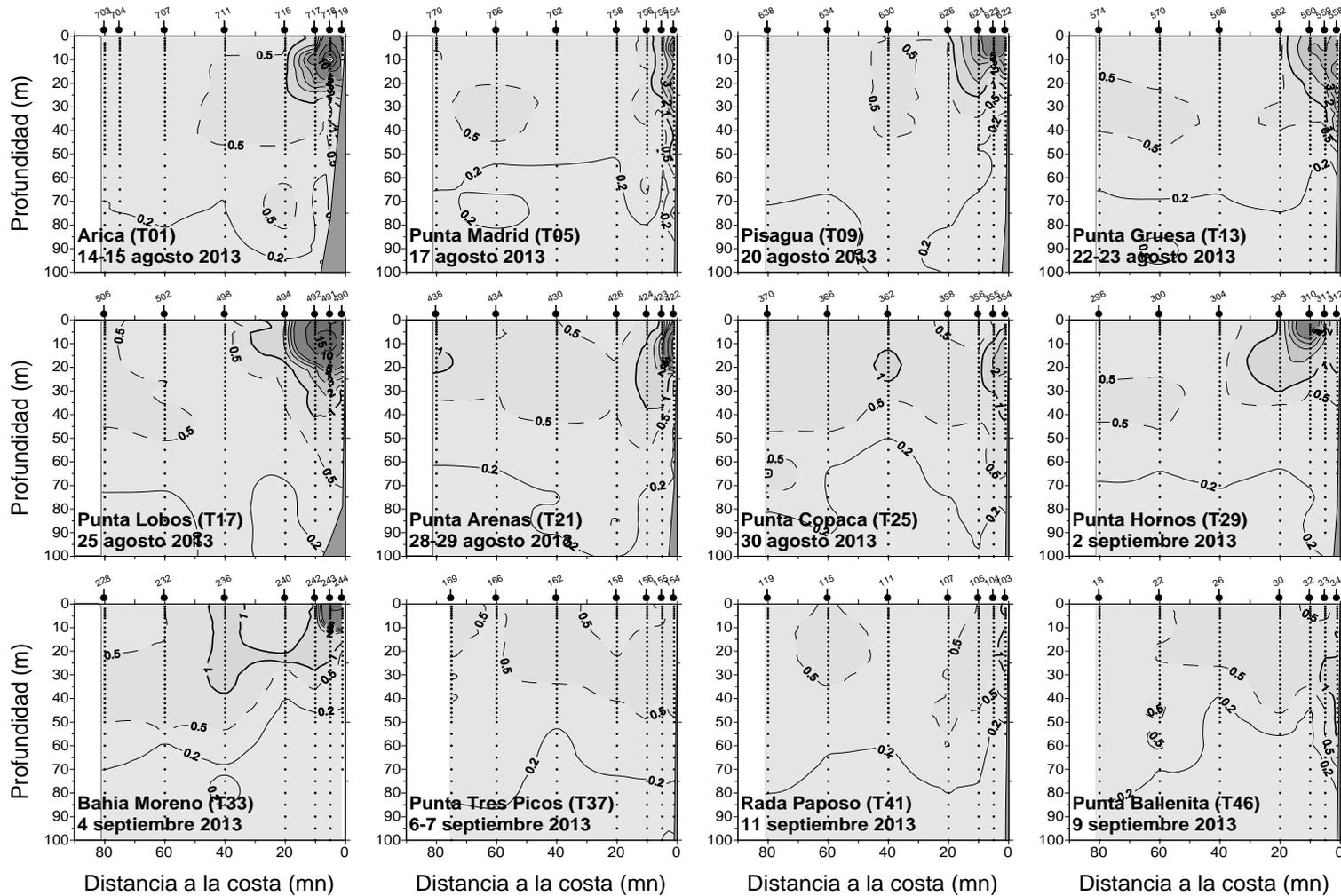


Figura 42. Distribuci3n vertical clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), transectas oceanogr3ficas. Crucero MPH - invierno 2013.

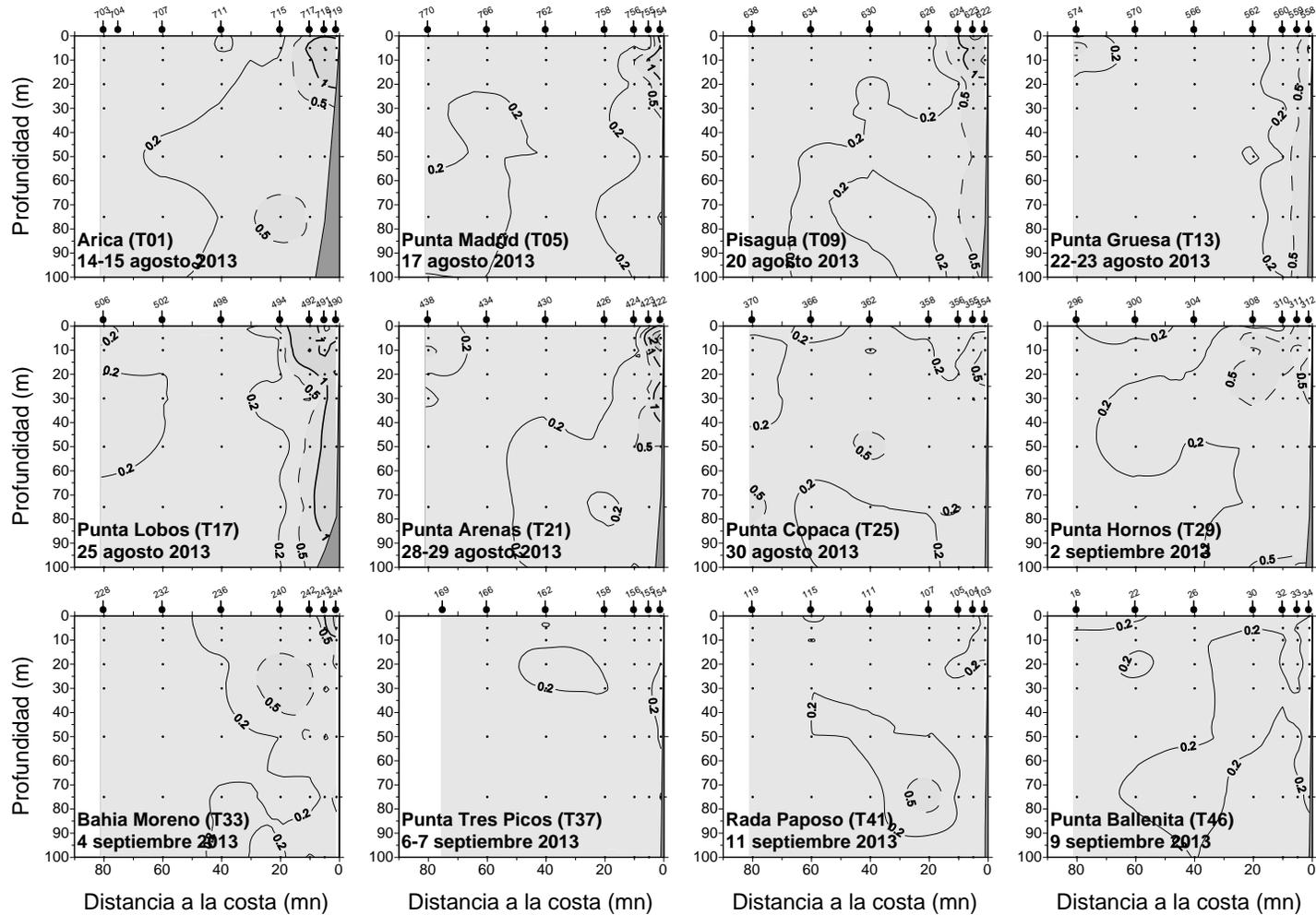


Figura 43. Distribuci3n vertical feopigmentos ($\mu\text{g/L}$), transectas oceanogr3ficas. Crucero MPH - invierno 2013.

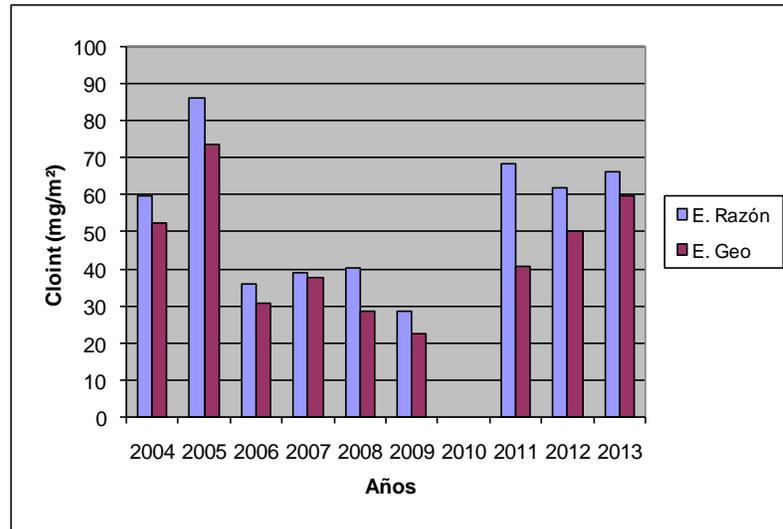


Figura 44 . Valores medios estimados de clorofila integrada (mg/m^2) para los cruces MPH entre 2004 y 2013, según estimadores de razón y geoestadístico.

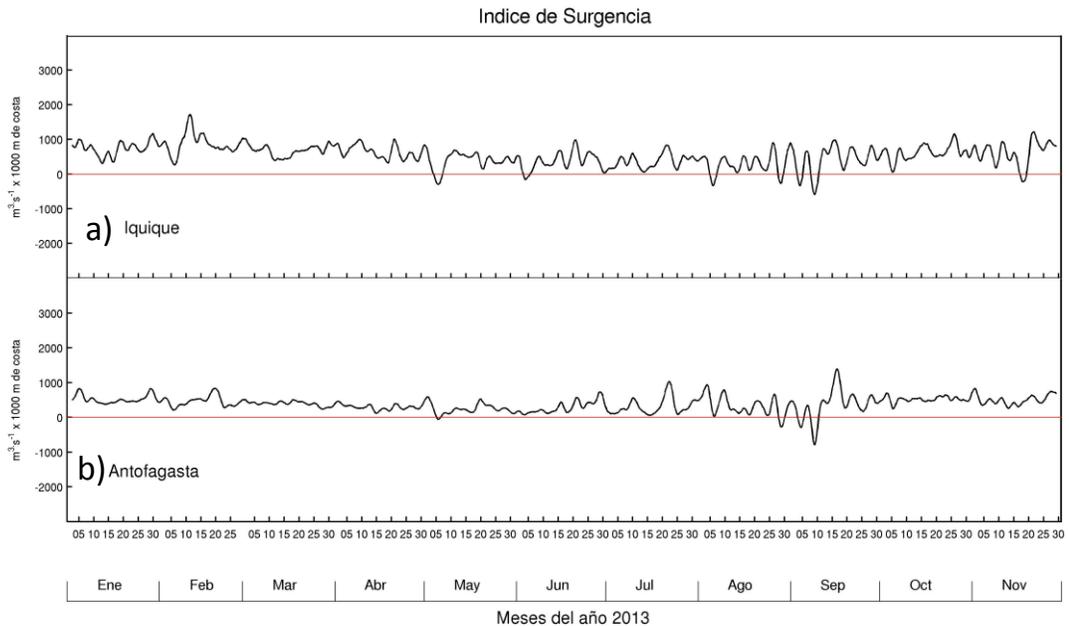


Figura 45. Índice de surgencia cada 3 horas calculado en base a los datos de viento de los aeropuertos a) Diego Aracena de Iquique y b) Cerro Moreno de Antofagasta entre enero y noviembre de 2013 (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile).

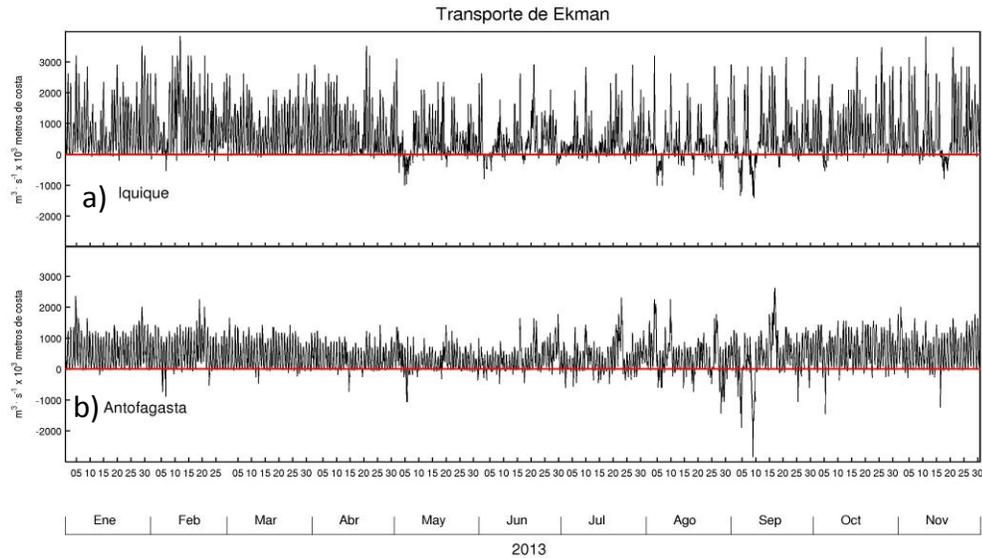


Figura 46. Índice de surgencia cada 3 horas calculado en base a los datos de viento de los aeropuertos a) Diego Aracena de Iquique y b) Cerro Moreno de Antofagasta entre enero y noviembre de 2013, filtrado con medias móviles de 15 pesos (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile).

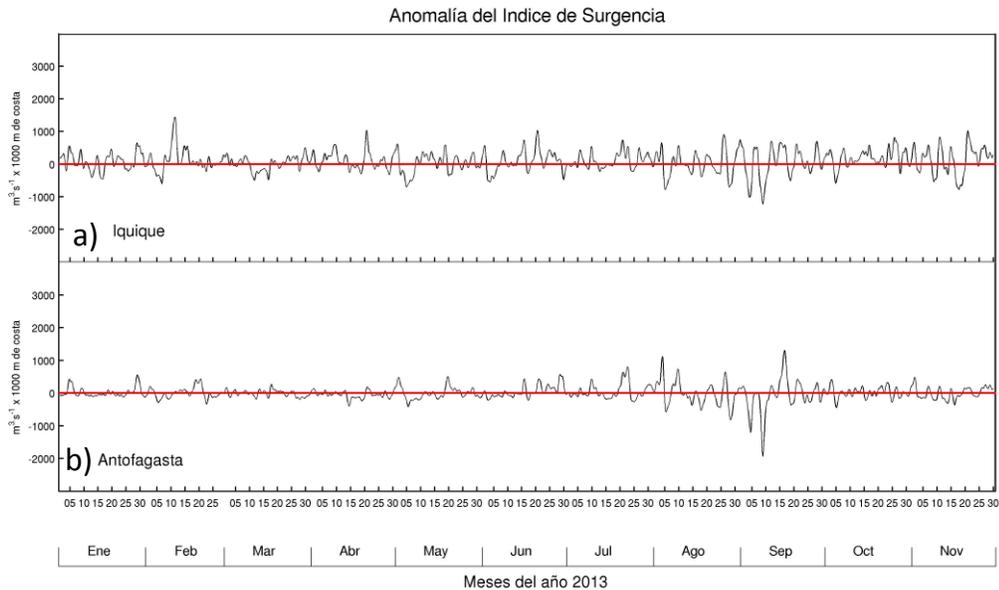


Figura 47. Anomalía del IS calculado en base a los datos de viento de los aeropuertos a) Diego Aracena de Iquique y b) Cerro Moreno de Antofagasta entre enero y noviembre de 2013, filtrado con medias móviles de 15 pesos (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile).

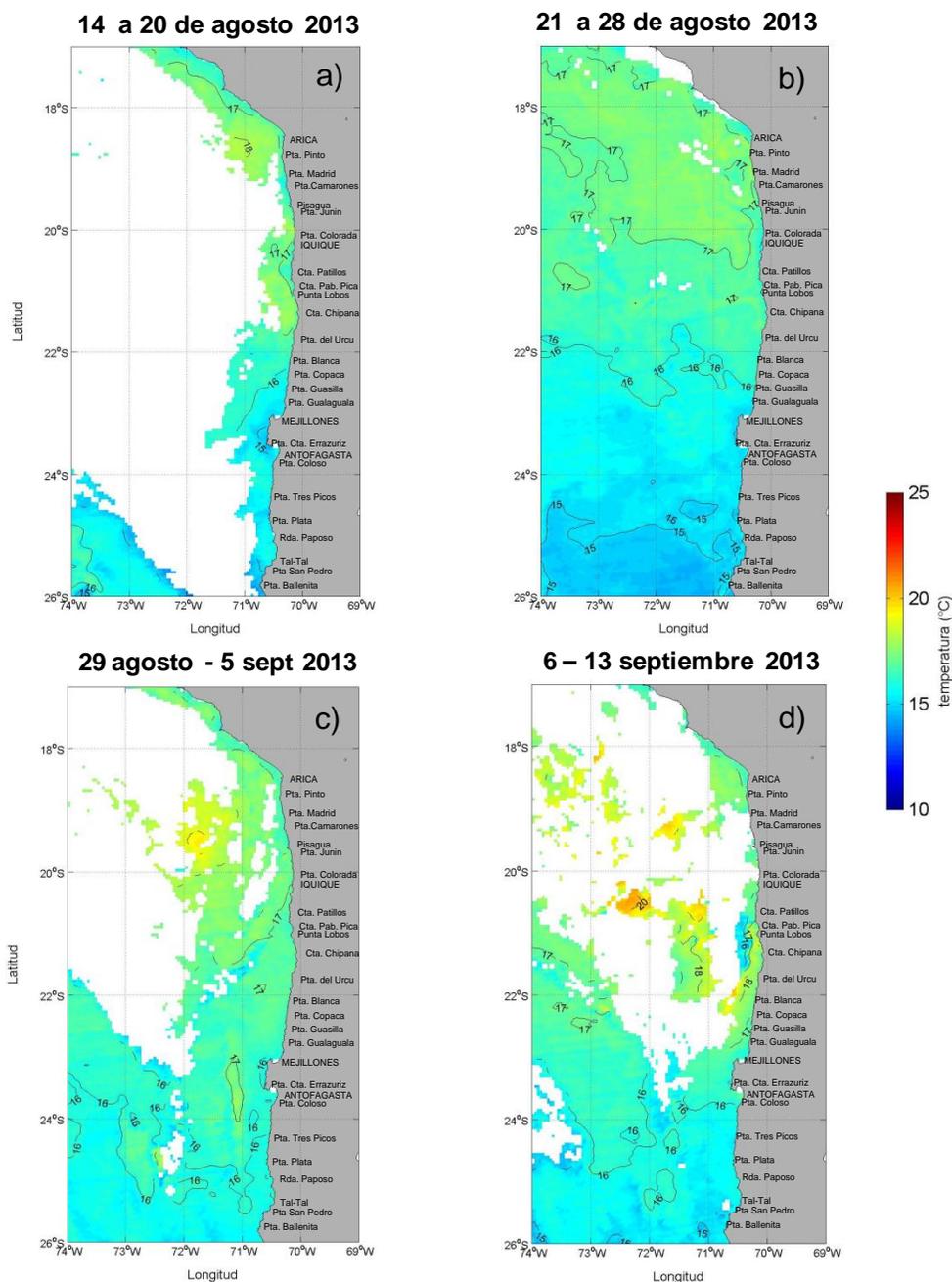


Figura 48. Temperatura superficial del mar (°C) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales entre los días a) 14 al 20 de agosto, b) 21 al 28 de agosto, c) 29 de agosto al 5 de septiembre y d) 6 al 13 de septiembre de 2013.

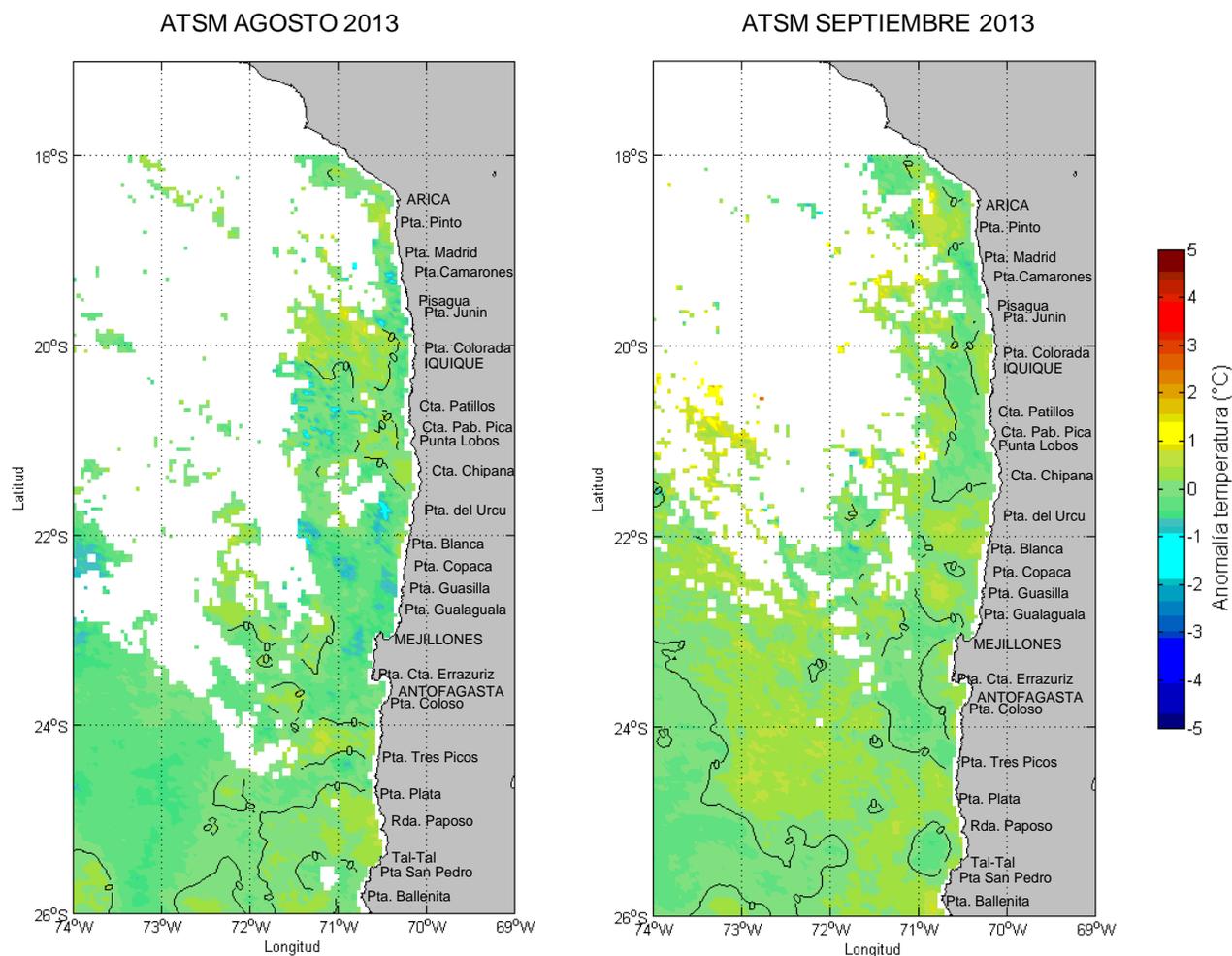


Figura 49. Anomalía de la temperatura superficial del mar (°C) de la imagen del satélite MODIS-A correspondiente al promedio del mes de agosto y septiembre de 2013.

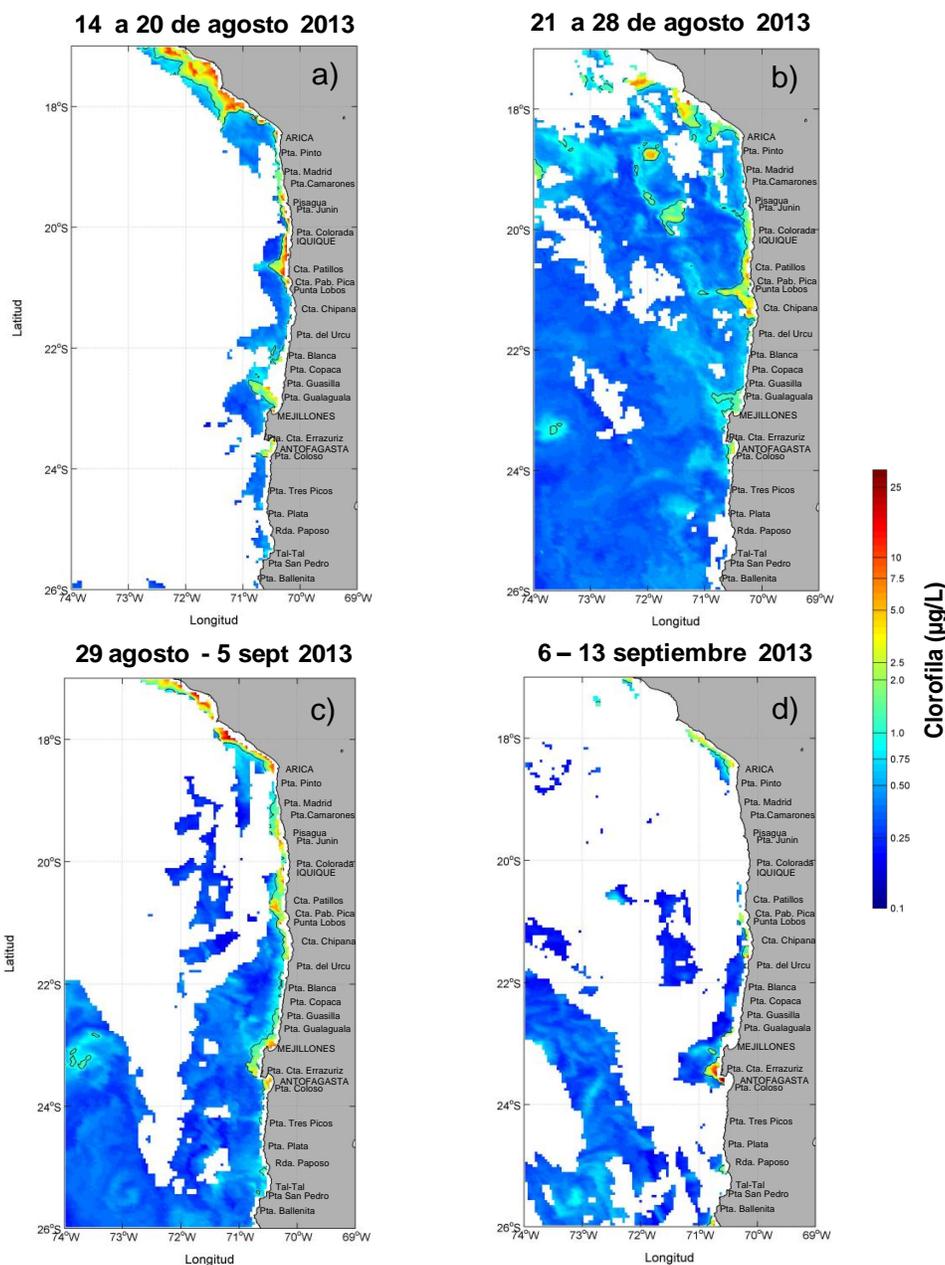


Figura 50. Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales entre los días a) 14 al 20 de agosto, b) 21 al 28 de agosto, c) 29 de agosto al 5 de septiembre y d) 6 al 13 de septiembre de 2013. La línea negra marca la isolínea de $1 \mu\text{g/L}$.

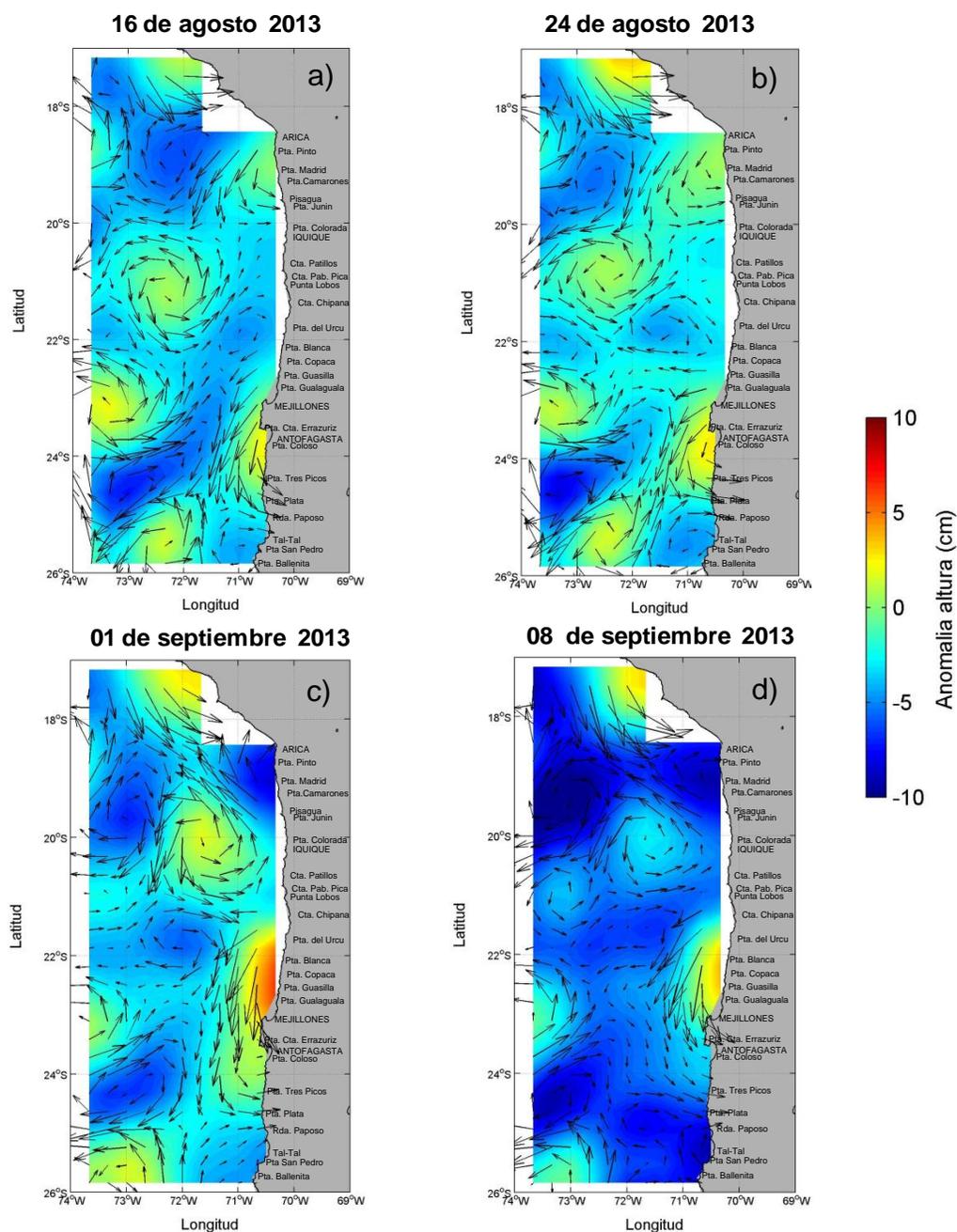


Figura 51. Anomalia del nivel del mar (cm) y velocidad geostr3fica (cm/s) provenientes de la combinaci3n de los sat3lites ERS, Topex y Jason, correspondientes a los d3as a) 16 de agosto, b) 24 de agosto, c) 1 de septiembre y d) 8 de septiembre de 2013.

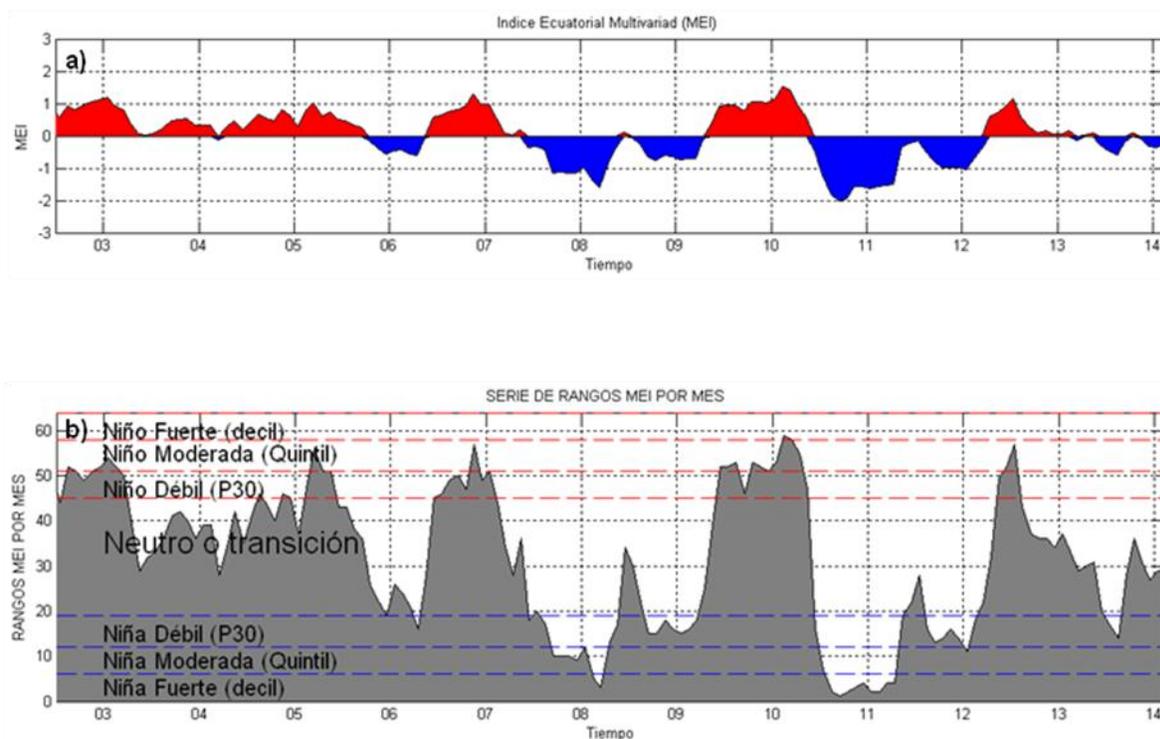


Figura 52. a) Serie de tiempo del Índice Ecuatorial Multivariado (MEI) y b) serie de rangos de intensidad de los periodos cálidos y fríos asociados al valor MEI para el periodo Julio 2002 – febrero 2014. Fuente: NOAA (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>).

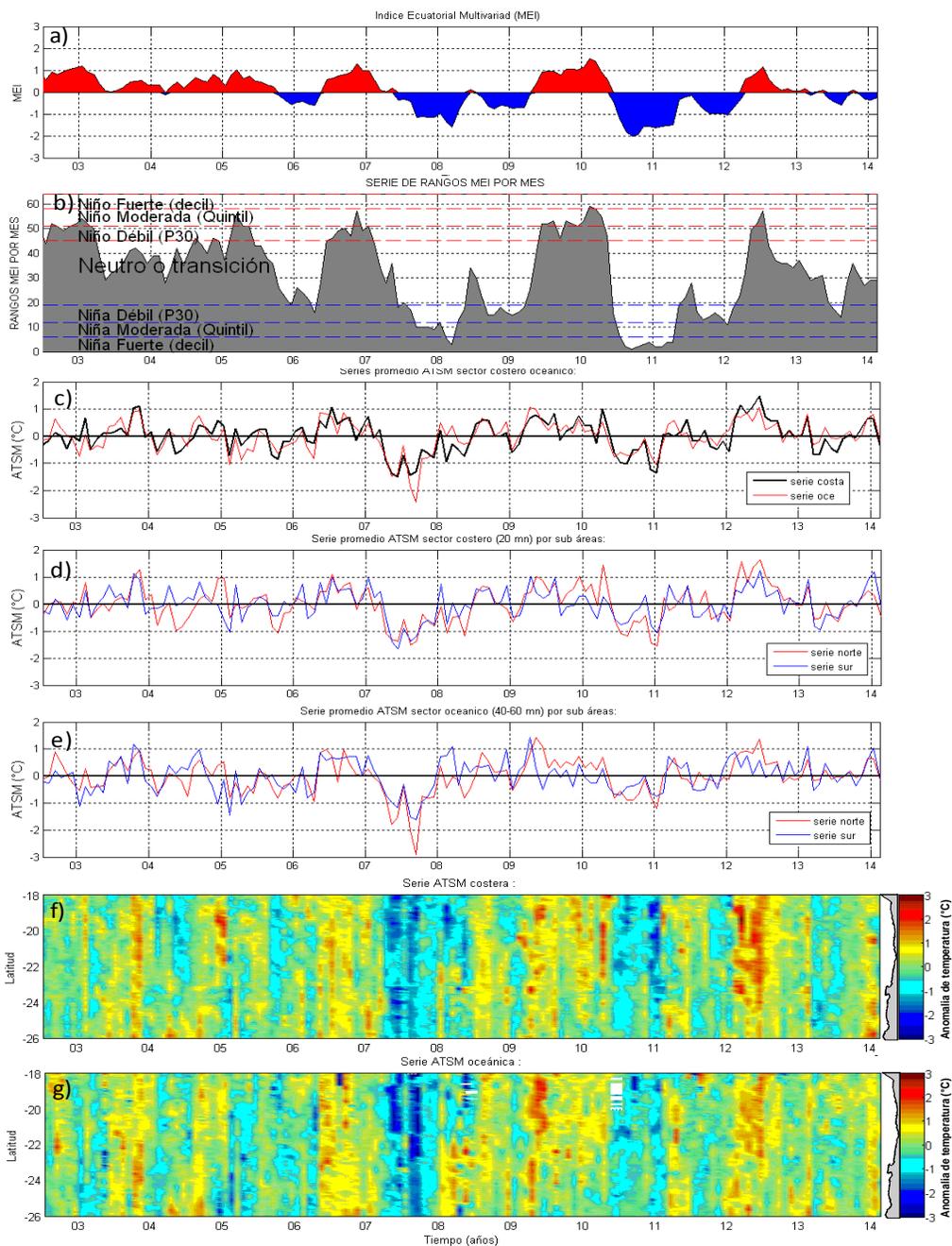


Figura 53. Series de tiempo para el período julio 2002 - febrero 2014 de a) MEI, b) rangos MEI y clasificación ENOS, c) promedio de ATSM (°C) entre las latitudes 18° a 26°S en el sector costero y oceánico. Promedio de ATSM (°C) al norte y sur de los 23°S sector d) costero y e) oceánico. Diagrama Hovmöller de ATSM f) costero y g) oceánico, para el área total, latitudes 18° a 26°S.

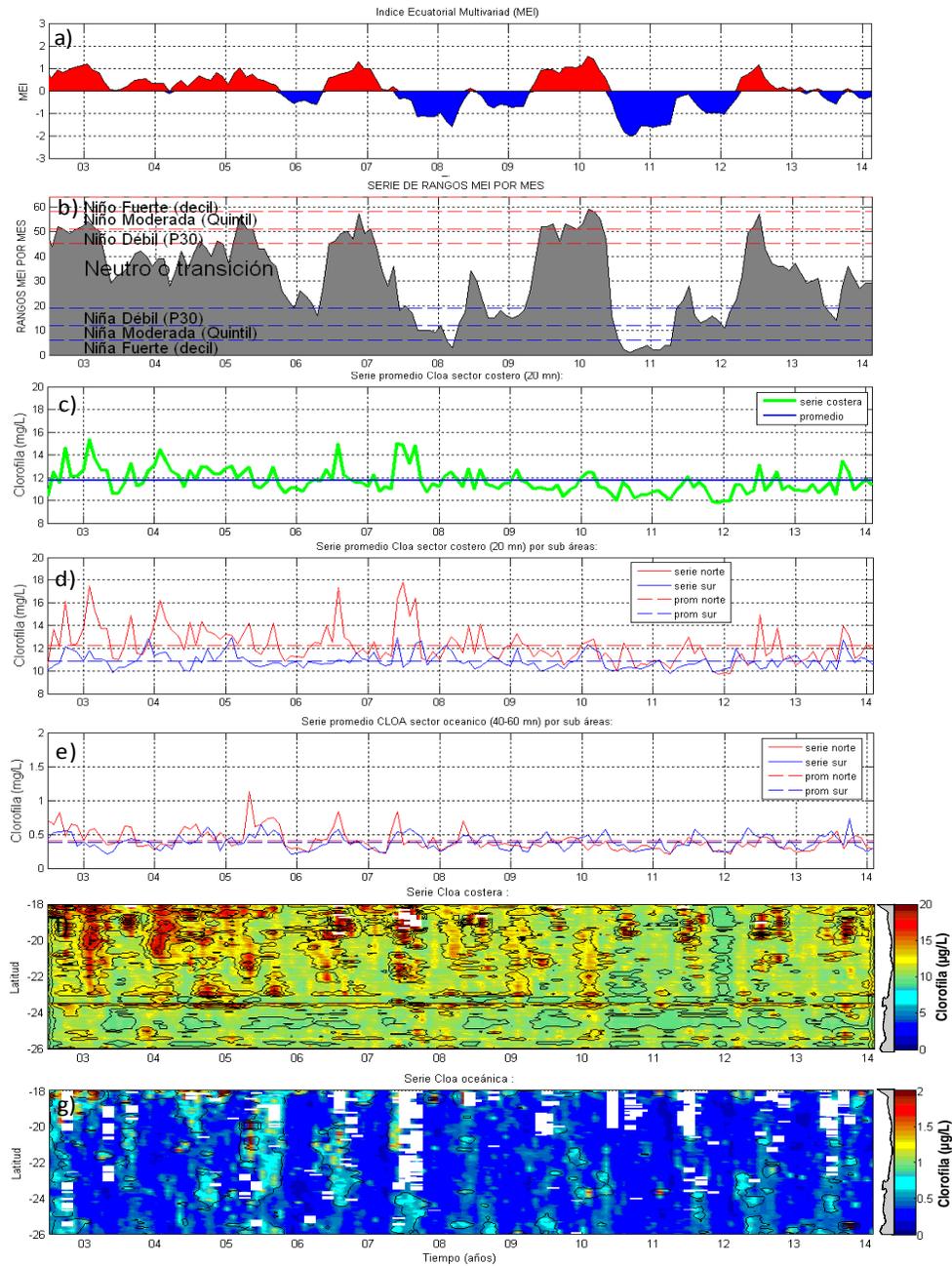


Figura 54. Series de tiempo para el período julio 2002 - febrero 2014 de a) rangos MEI y clasificación ENOS, b) MEI, y c) promedio de la concentración de clorofila satelital ($\mu\text{g/L}$) (cloas) entre las latitudes 18° a 26°S en el sector costero. Promedio de cloas ($\mu\text{g/L}$) al norte y sur de los 23°S en el sector d) costero y e) oceánico. Diagrama Hovmöller de cloas f) costero y g) oceánico, para el área total, latitudes 18° a 26°S .

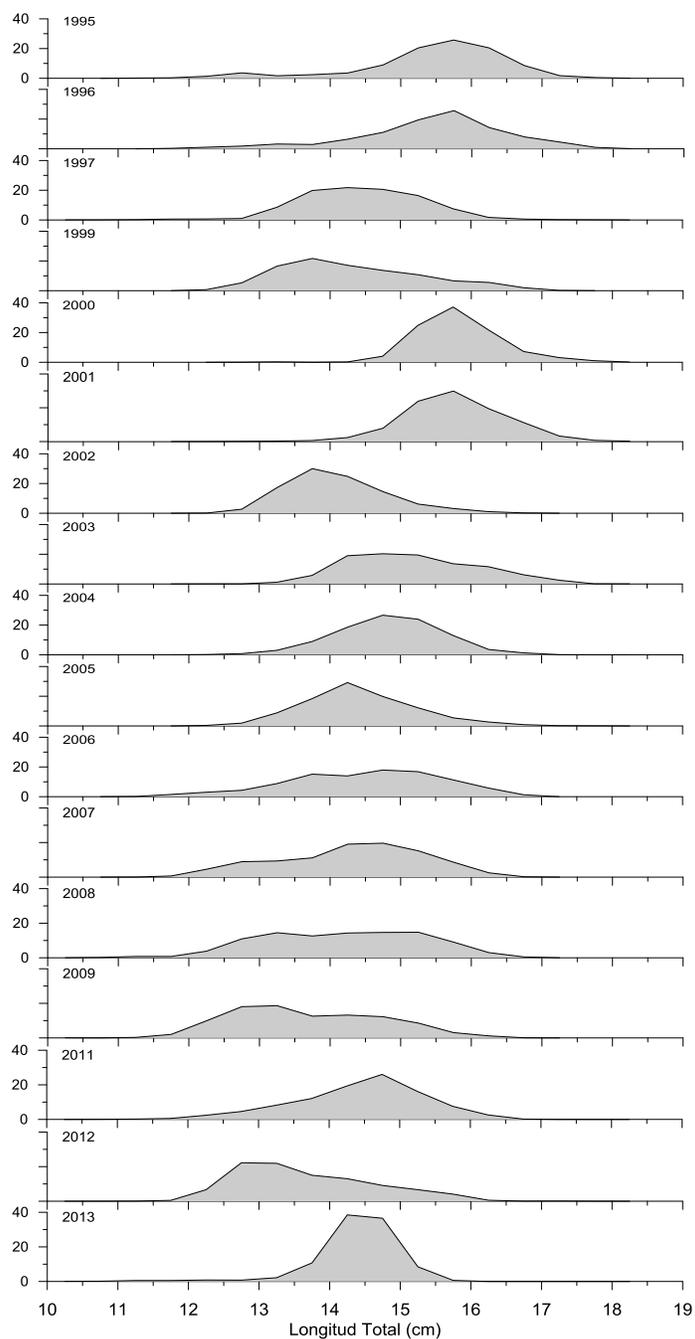


Figura 55. Distribución de tallas de las hembras muestreadas en cada año de aplicación del método de producción de huevos en la zona norte.

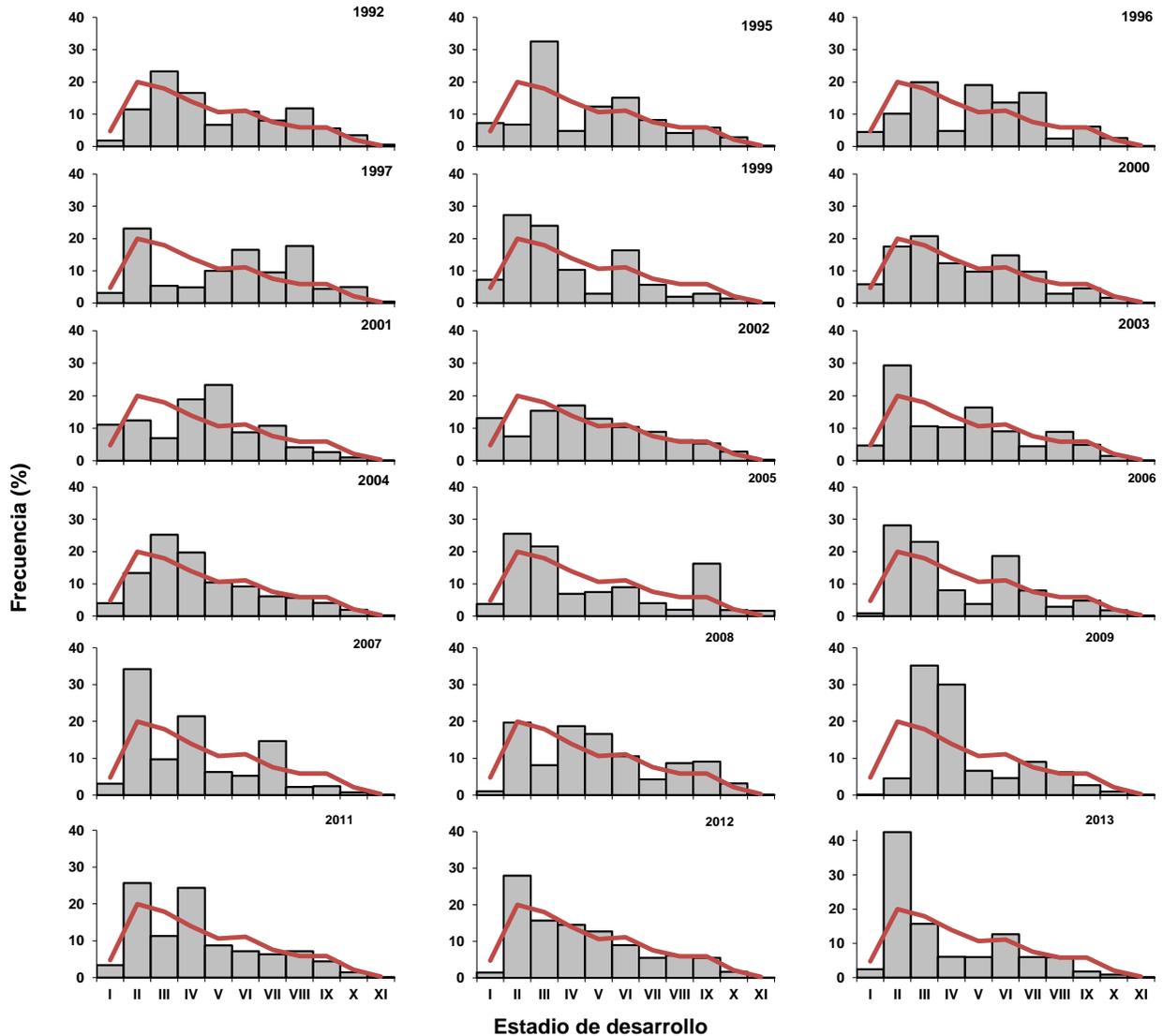


Figura 56. Frecuencia (Nº) de huevos de anchoveta por estado de desarrollo para cada año de crucero ictioplanctónico. Barras: Frecuencia (%) del año. Línea: Frecuencia (%) considerando todos los cruceros.

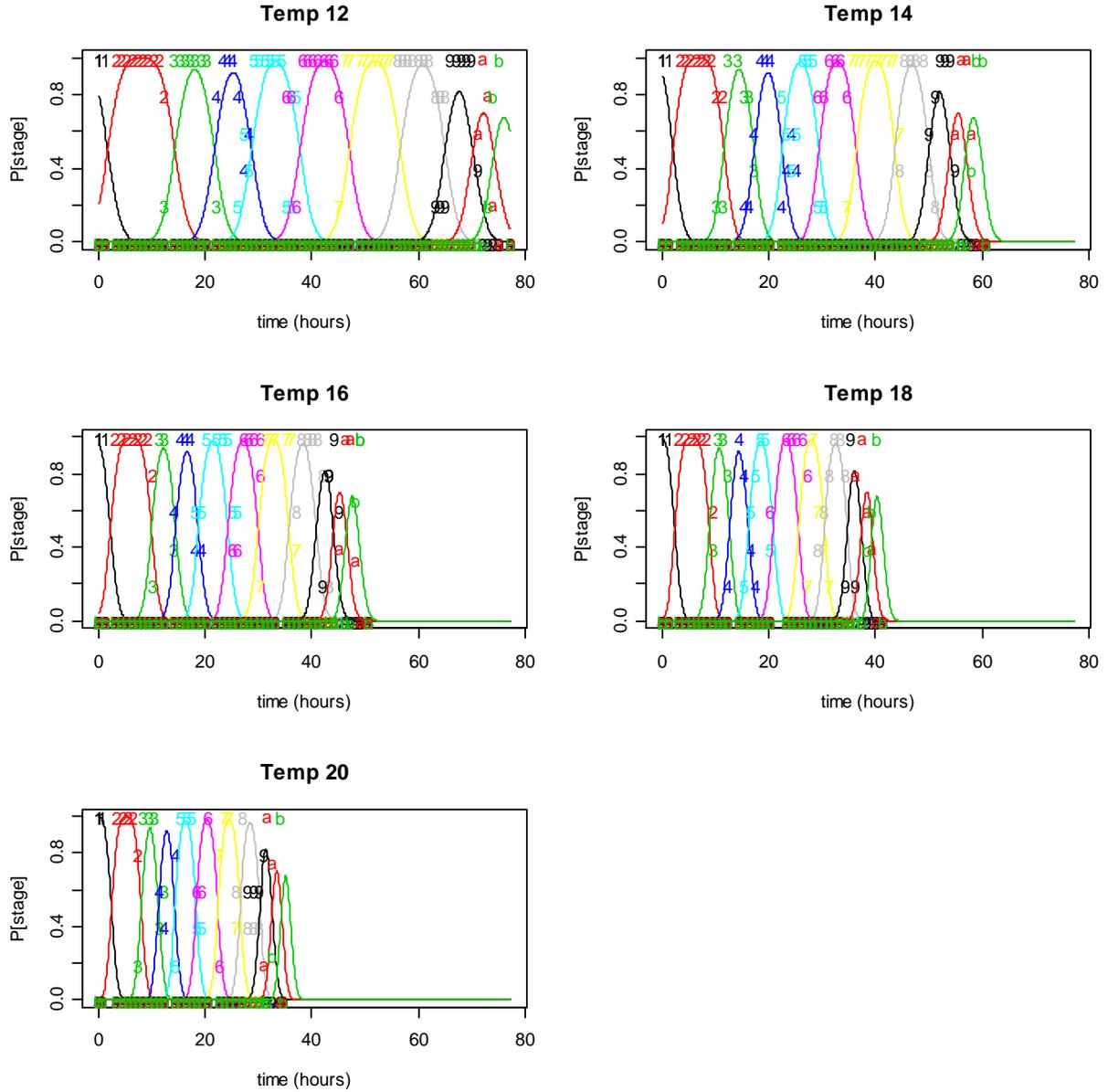


Figura 57. Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubación.

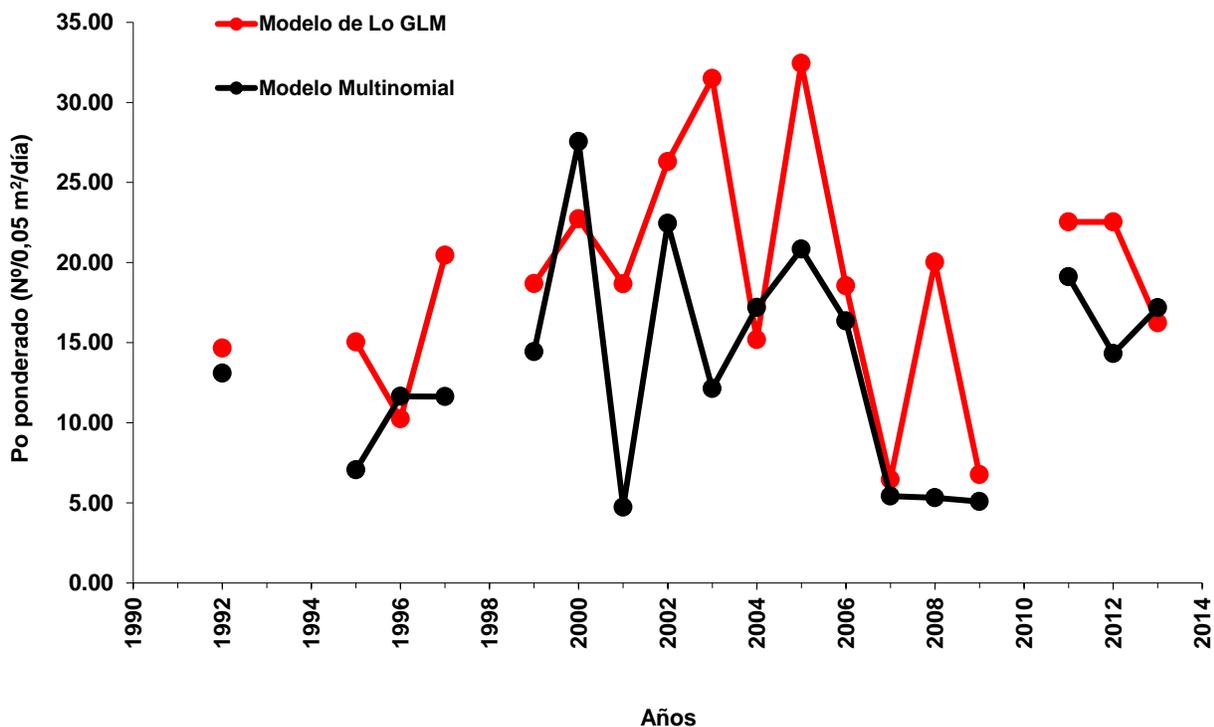


Figura 58. Estimaciones de Producción diaria de huevos ($N^{\circ}/0,05 \text{ m}^2/\text{día}$), ponderado por la proporción del área de desove respecto del área de crucero, para anchoveta de la zona norte en base a las dos metodologías aplicadas

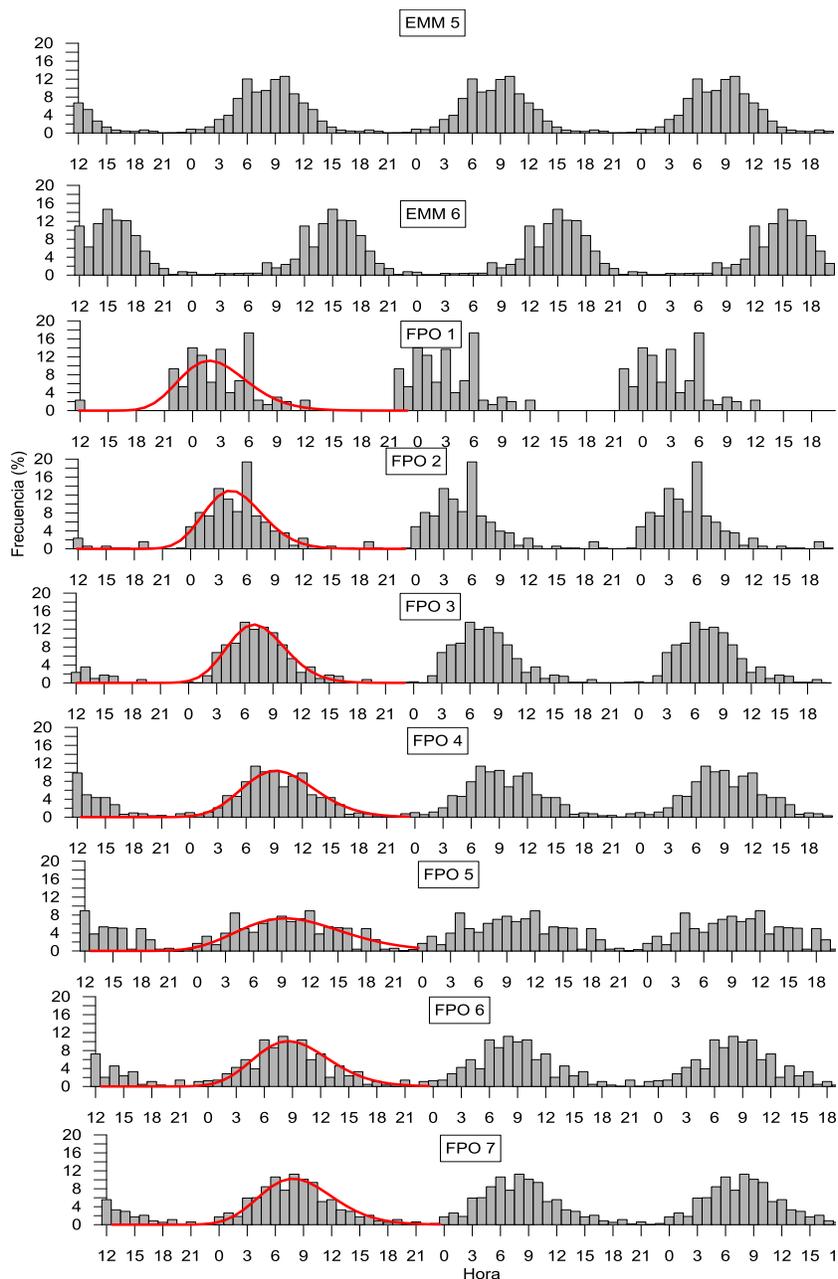


Figura 59. Distribución temporal de los estadios madurez microscópica y FPO de la zona norte de Chile. Líneas azules verticales representan la distribución horaria de los lances de pesca. Líneas segmentadas verticales las 24:00 h. Línea roja representa un ajuste de distribución Gamma (Con hora acumulada a partir de las 12:00). Información acumulada del 2004 al 2012.

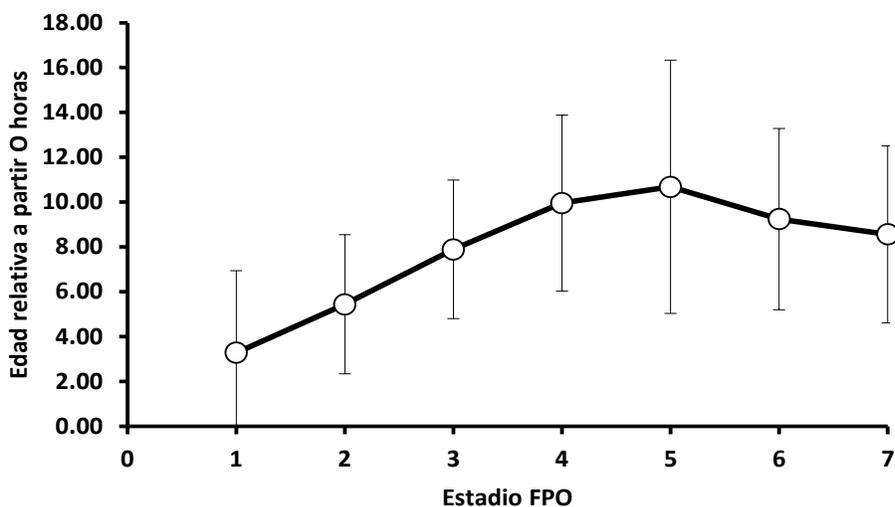


Figura 60. Edades medias de los estadios de FPO según ajuste por modelo de tipo Gamma en base a la hora acumulada a partir de las 00:00. Círculos: Edades medias. Líneas verticales: Desviación estándar.

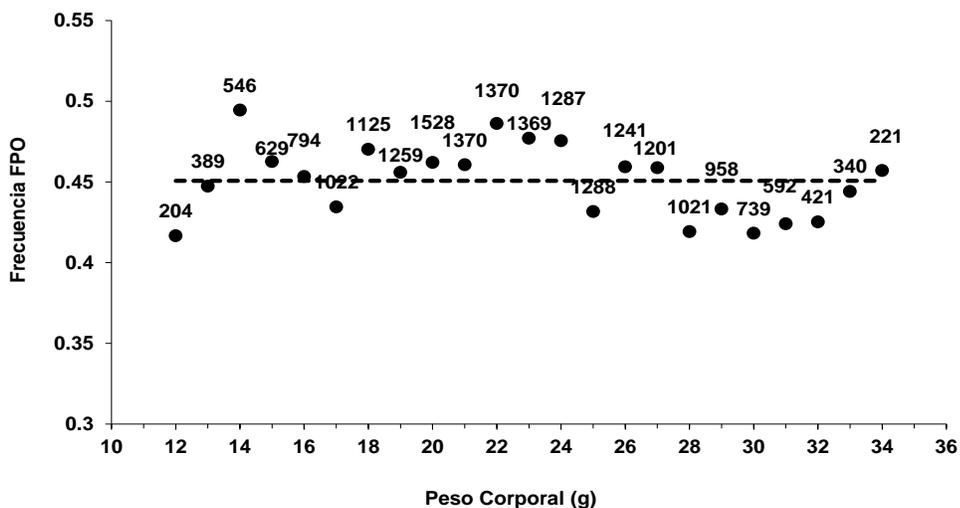


Figura 61. Proporción de FPO por estrato de peso corporal (Descontado el peso del ovario) de las hembras. Se indica el número de hembras en cada estrato. Línea segmentada es el promedio de la proporción de FPO de 0,45.

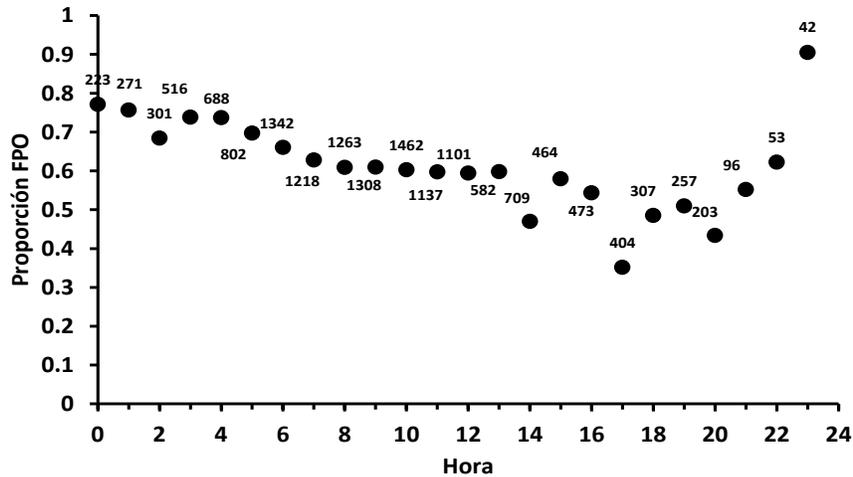


Figura 62. Proporción de FPO en función de la hora para la zona norte. Se indica el número de hembras en cada hora.

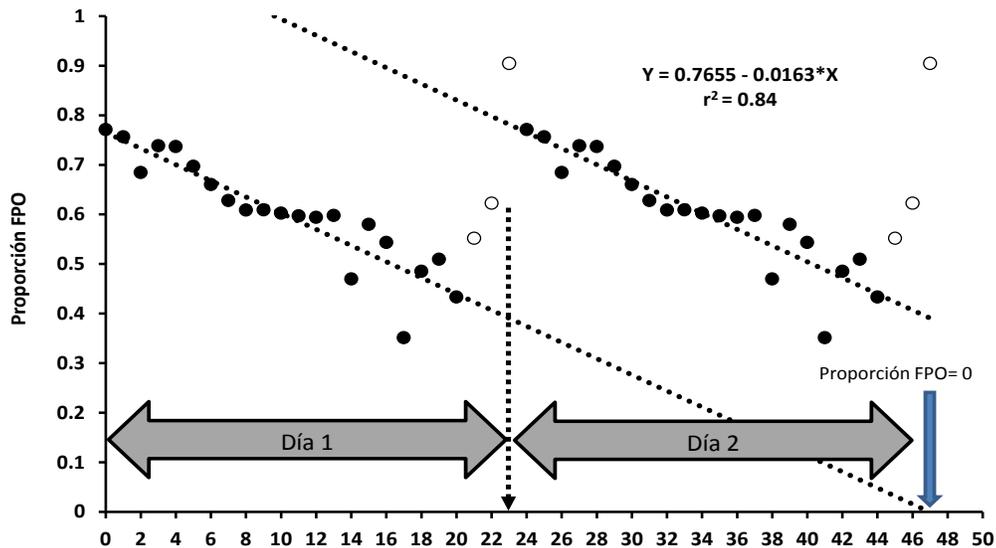


Figura 63. Conceptualización y proyección de la Proporción FPO en función de la hora del día (Mismos datos de figura 57. Se repite información de las 24 a 48 horas), para el estadio Vitelado. Círculos negros son los datos considerados en la proyección (Línea segmentada). Círculos blancos no son considerados en proyección por estar en la hora pico de desove (23:00 h). Flecha azul indica hora en que la proporción de FPO sería cero (Ausencia de FPO = Total reabsorción).

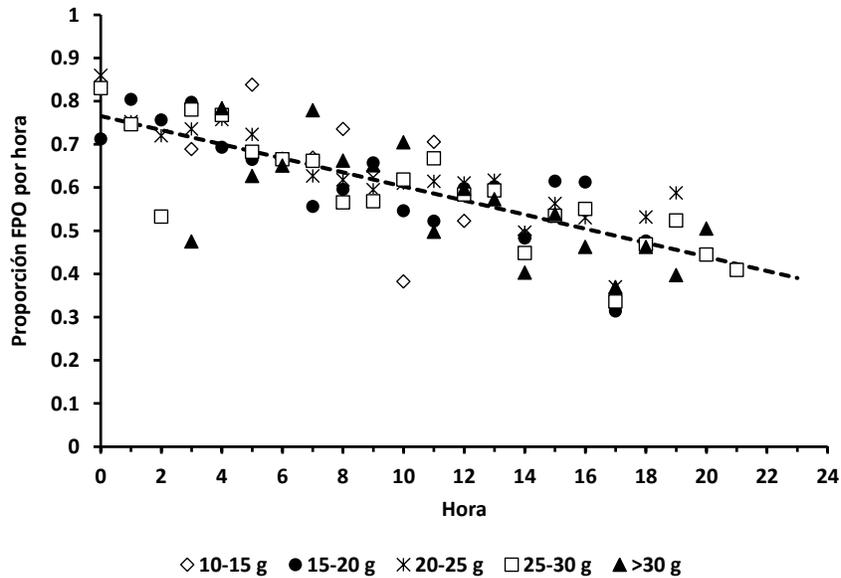


Figura 64. Proporción de FPO en función de la hora para la zona norte por estrato de peso corporal (Descontado el peso del ovario).

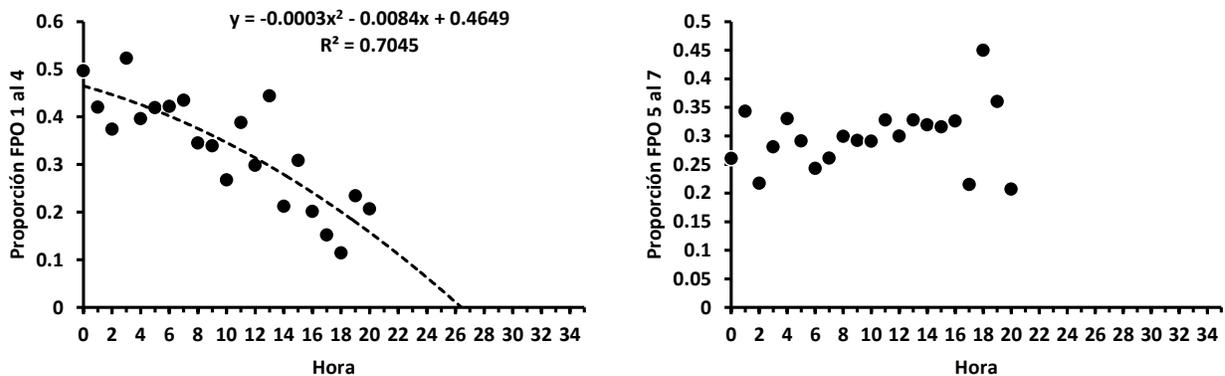


Figura 65. Proporción de FPO en estadios 1 al 4 (izquierda) y 5 al 7 (derecha) de acuerdo a la hora de captura. Base de datos histórica de 15222 hembras; 3141 con FPO 1 al 4 y 2578 con FPO 5 al 7.

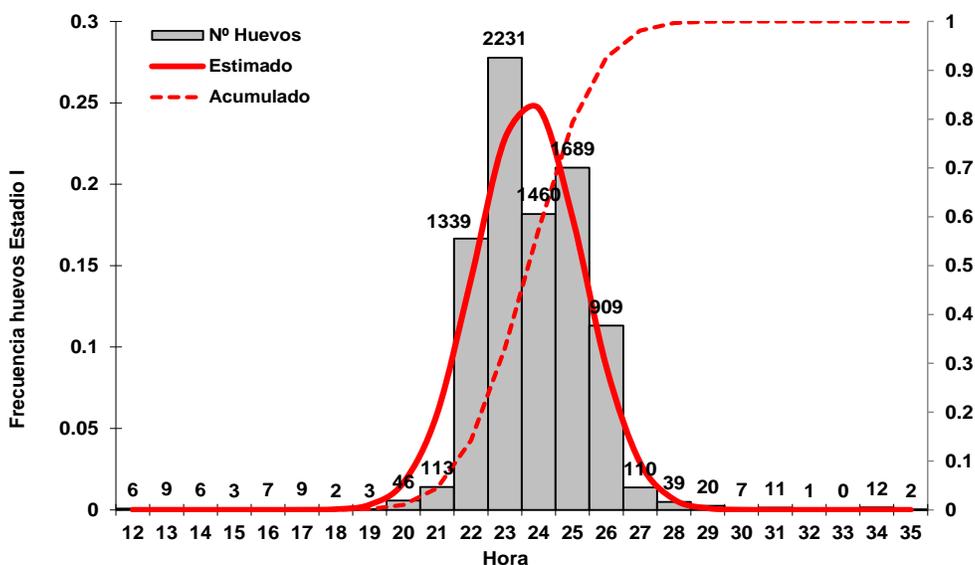


Figura 66. Proporción de huevos en estadio 1 colectados en el plancton. Base de datos de las aplicaciones del MPH desde 1992 al 2011. Media estimada según ajuste normal de 23,7 horas y desviación estándar de 1,59 horas (Línea roja). Sobre las barras se entrega el número de huevos colectados en cada hora.

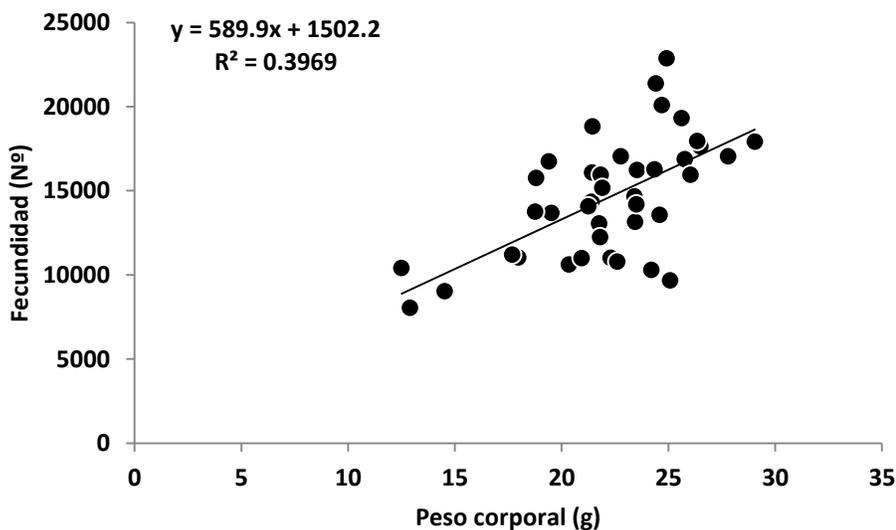


Figura 67. Fecundidad parcial en función del peso corporal para el año 2013.

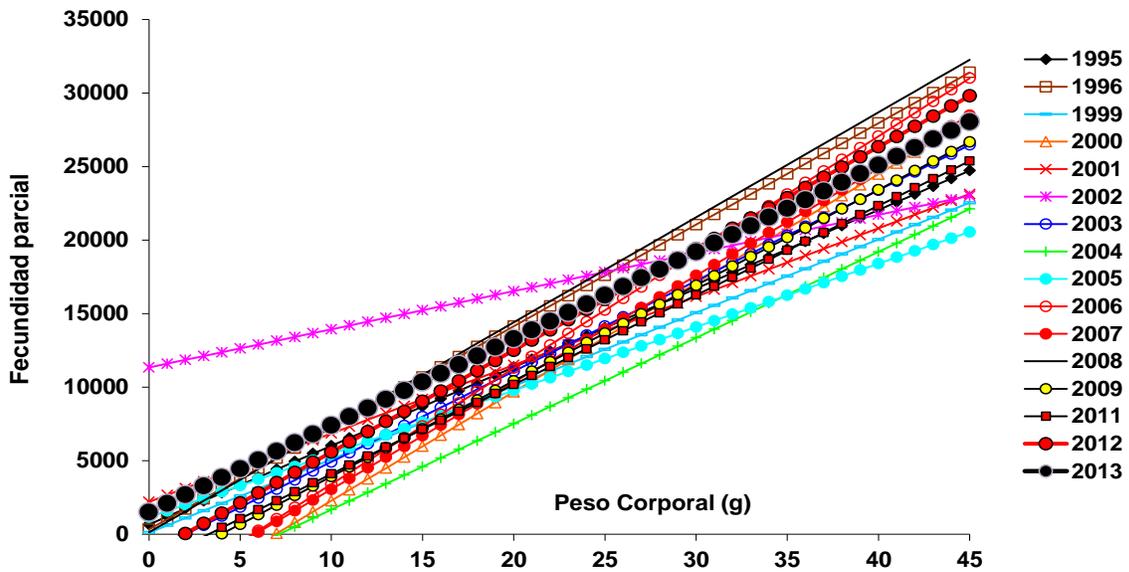


Figura 68. Regresiones de Fecundidad parcial en funci3n del Peso Corporal para distintos a3os de aplicaci3n del MPH en la zona norte.

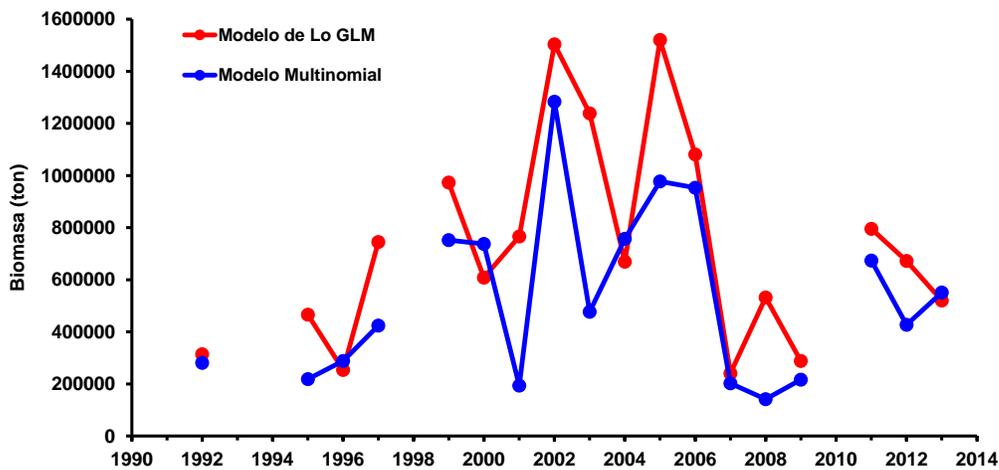


Figura 69. Biomاسas desovantes estimadas en cada a3o de aplicaci3n del M3todo de producci3n Diaria de Huevos.

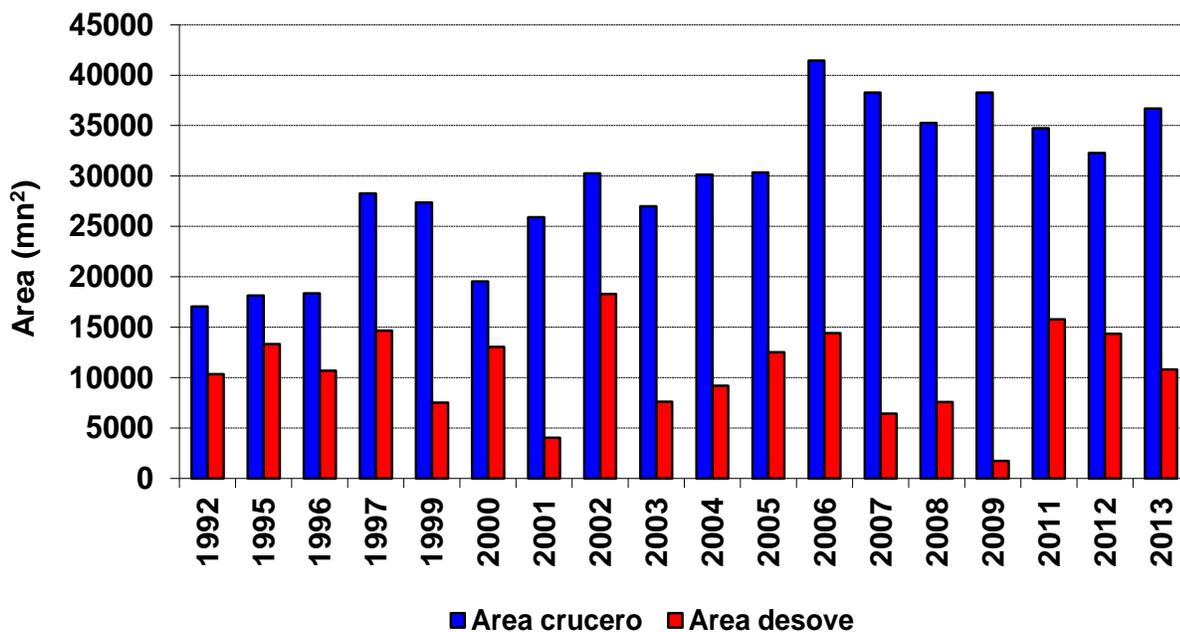


Figura 70. Áreas de crucero y de desove para cada año de aplicación del Método de producción Diaria de Huevos.

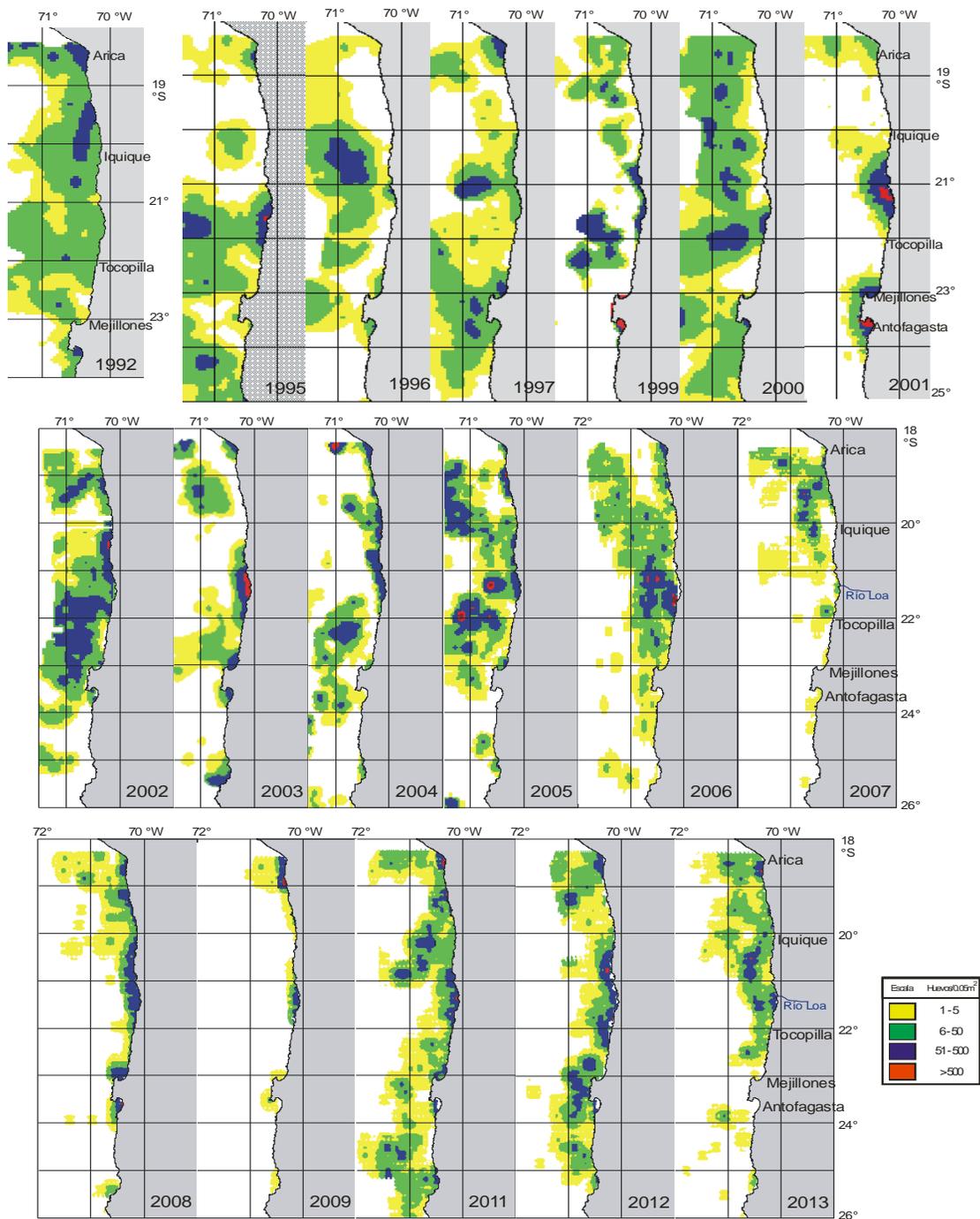


Figura 71. Distribución espacial y temporal de huevos de anchoveta. Período 1992-2013.

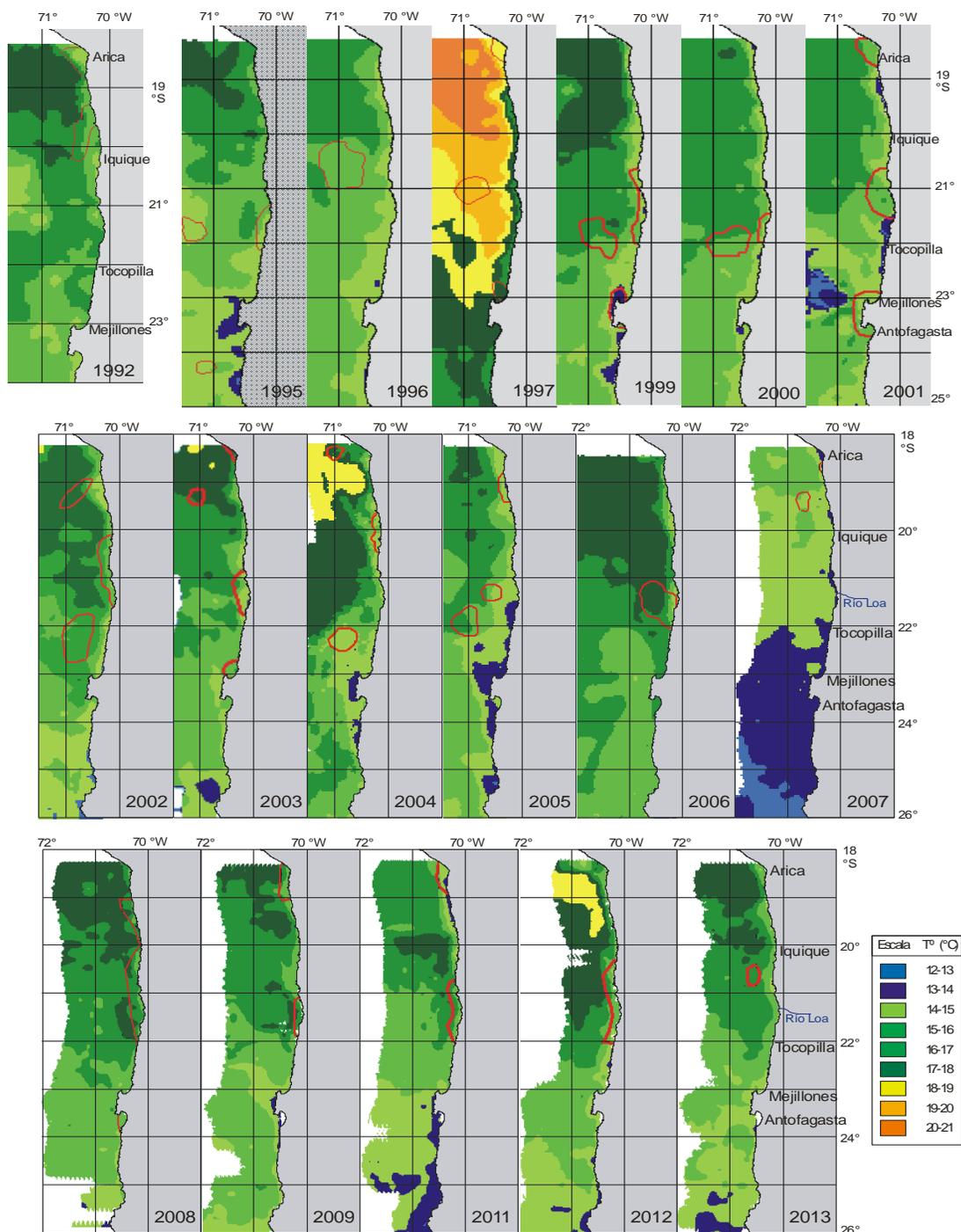


Figura 72. Distribución espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Período 1992-2013.

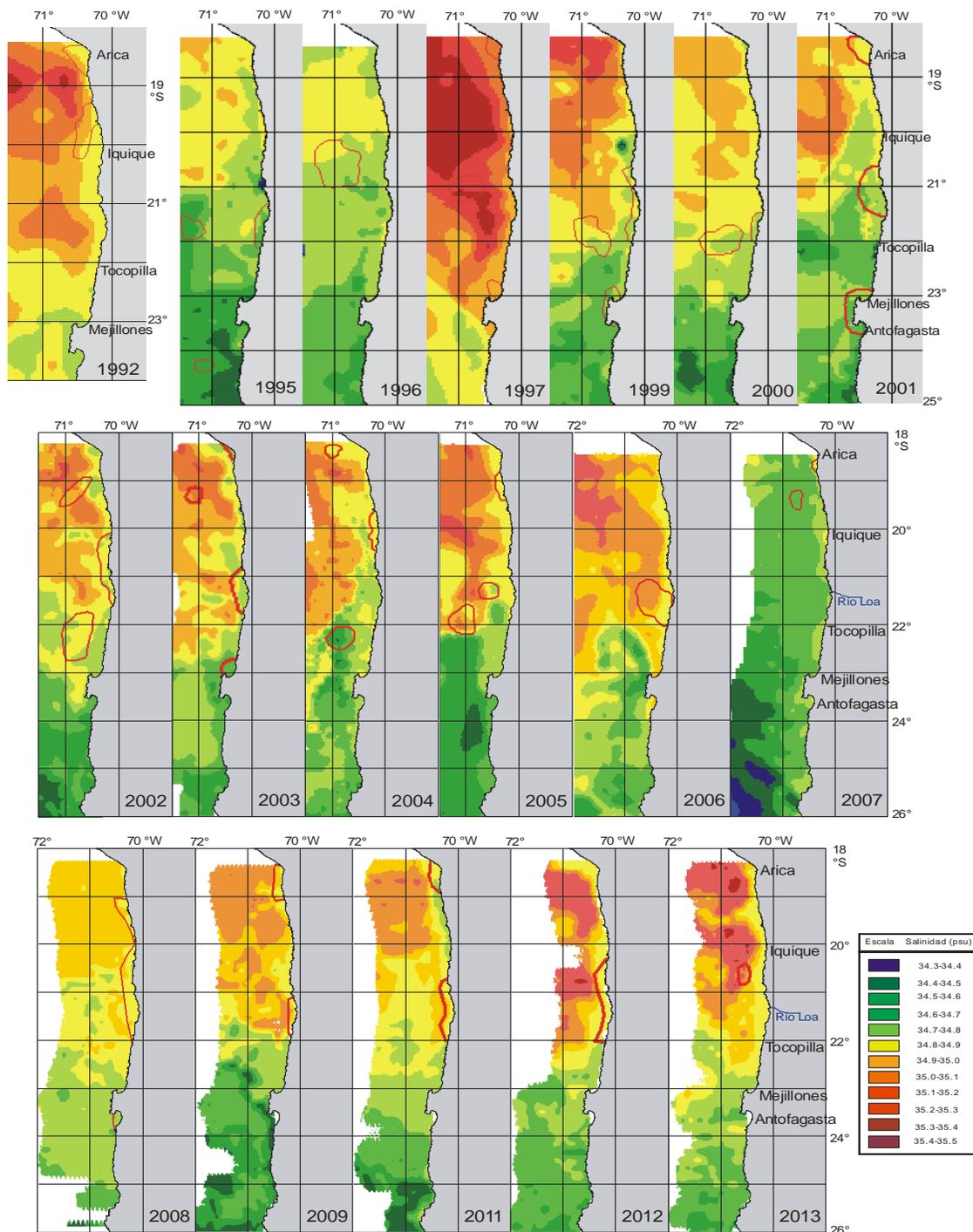


Figura 73. Distribución espacial y temporal de la salinidad superficial. Período 1992-2013.

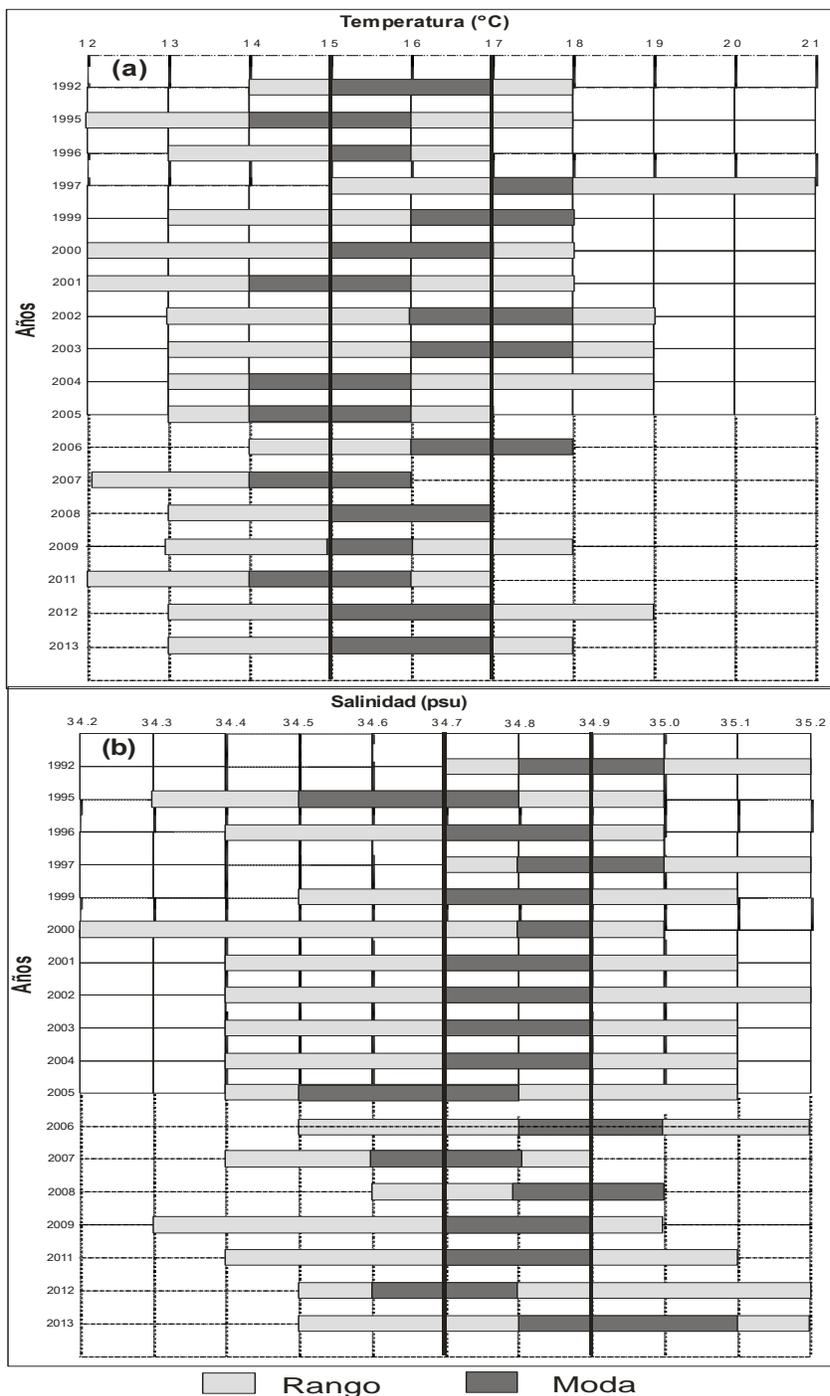


Figura 74. Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de: a) temperatura (°C) y b) salinidad. Período 1992-2013.

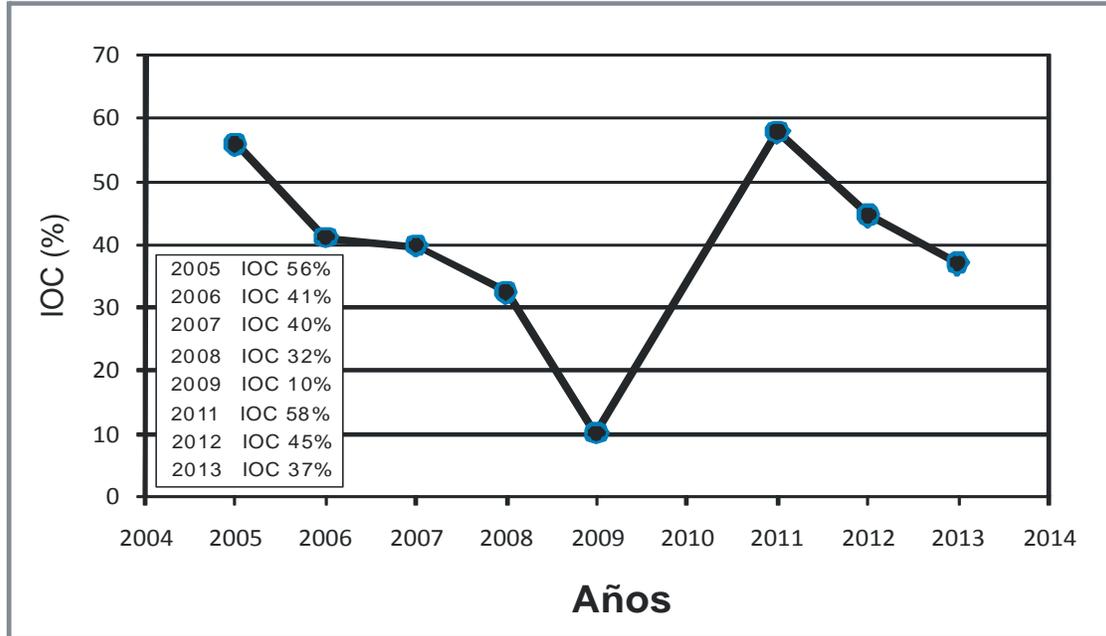


Figura 75. Índices de ocupación (IOC) de las distribuciones de huevos de anchoveta. Período 2005-2013.

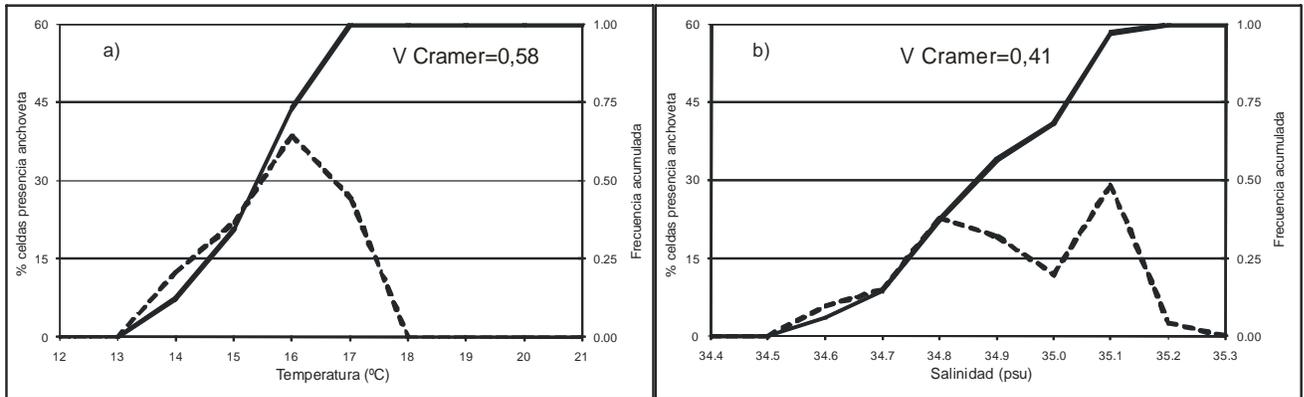


Figura 76. Frecuencia acumulada y rangos de preferencia de huevos de anchoveta en relación: a) temperatura y b) salinidad. Crucero 2013.

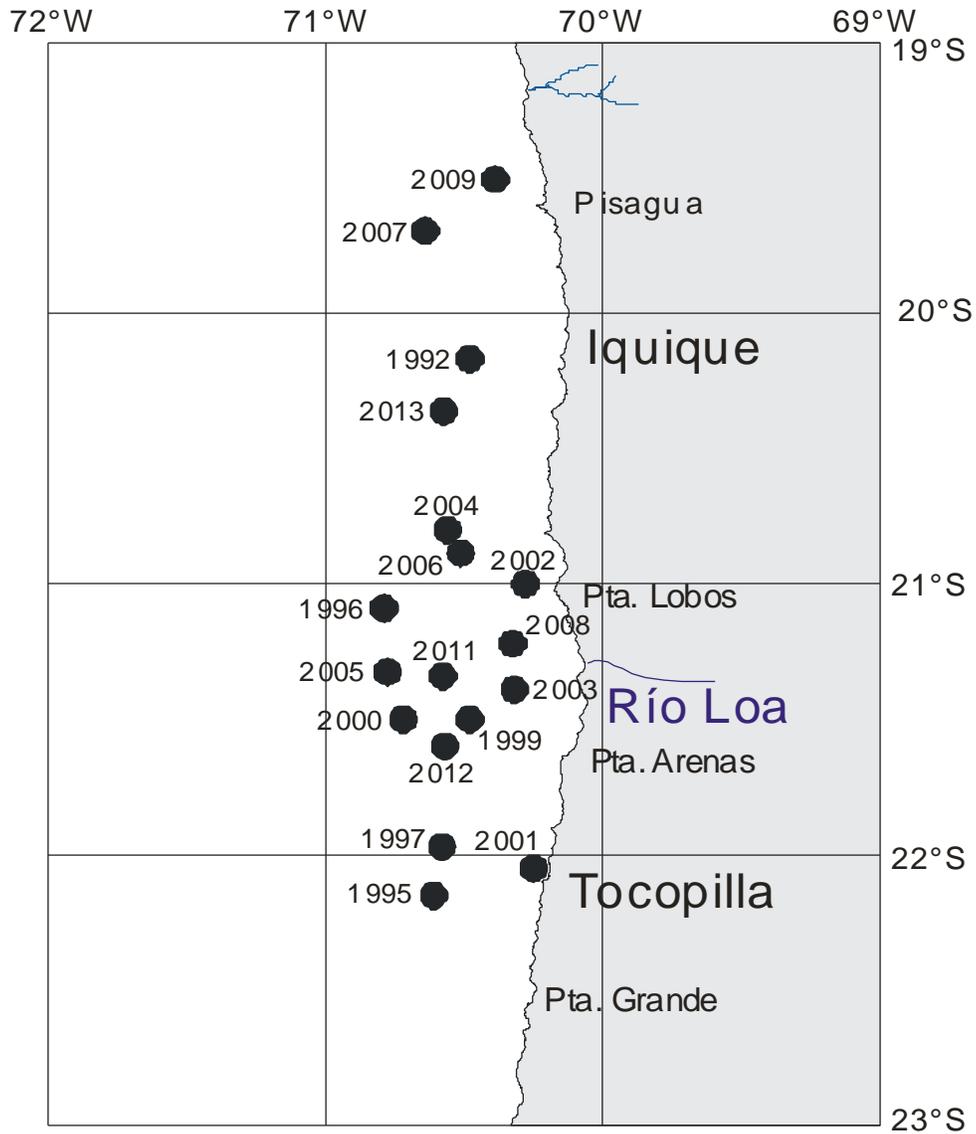


Figura 77. Distribución espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de huevos de anchoveta. Período 1992-2013.

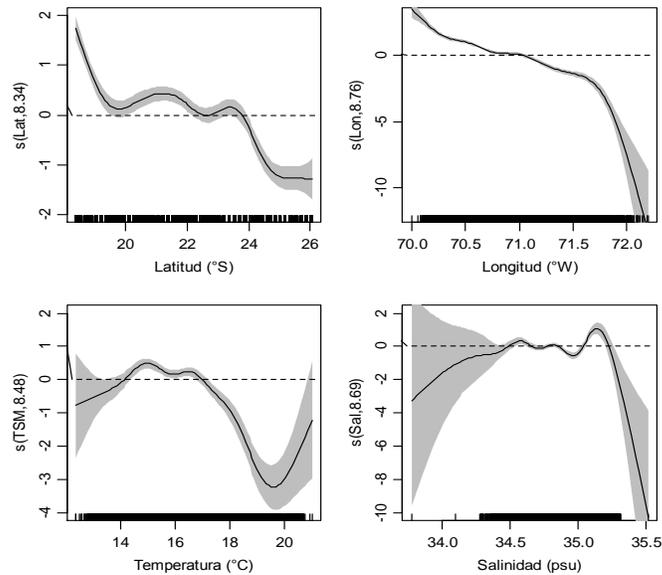


Figura 78. Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura y salinidad superficial sobre la variable densidad de huevos de anchoveta, ajustado un modelo poisson-compuesto (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta y líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza.

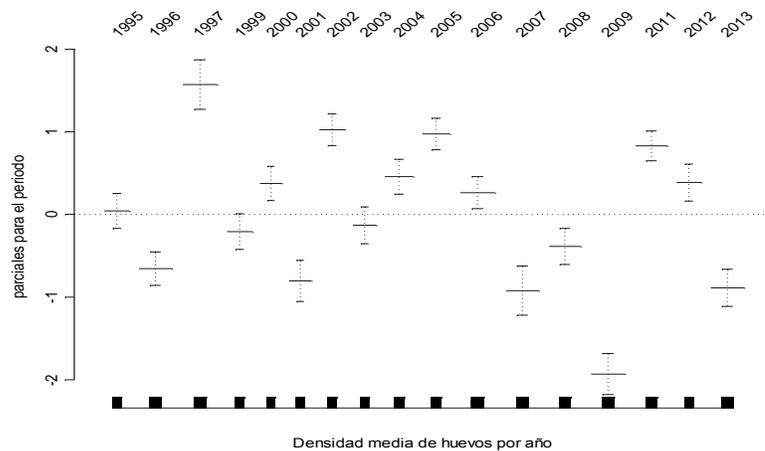


Figura 79. Tendencias de los índices por año obtenidos del ajuste del modelo GAM para la densidad de huevos de anchoveta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza.

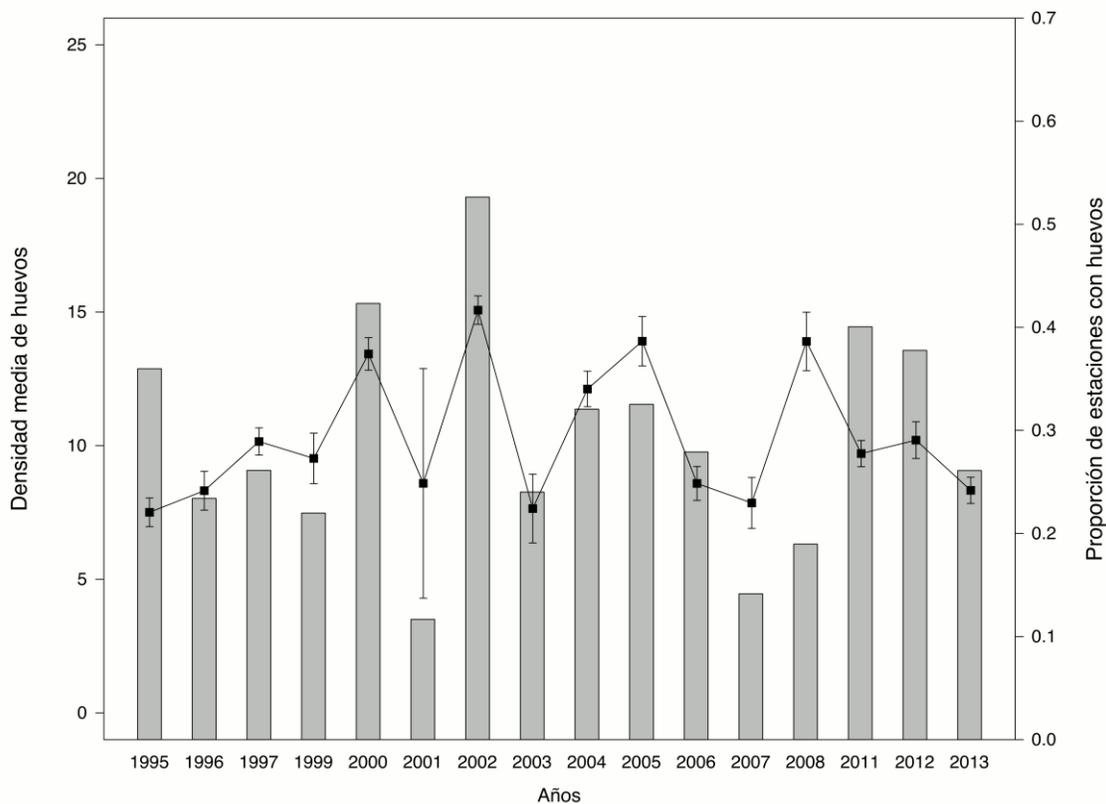


Figura 80. Variaciones anuales en la ocurrencia espacial y densidad de huevos de anchoveta (*Engraulis ringens*). Proporción de estaciones con huevos (barras) y densidad geométrica media anual de huevos (línea) con los intervalos de confianza del estimador al 95%.

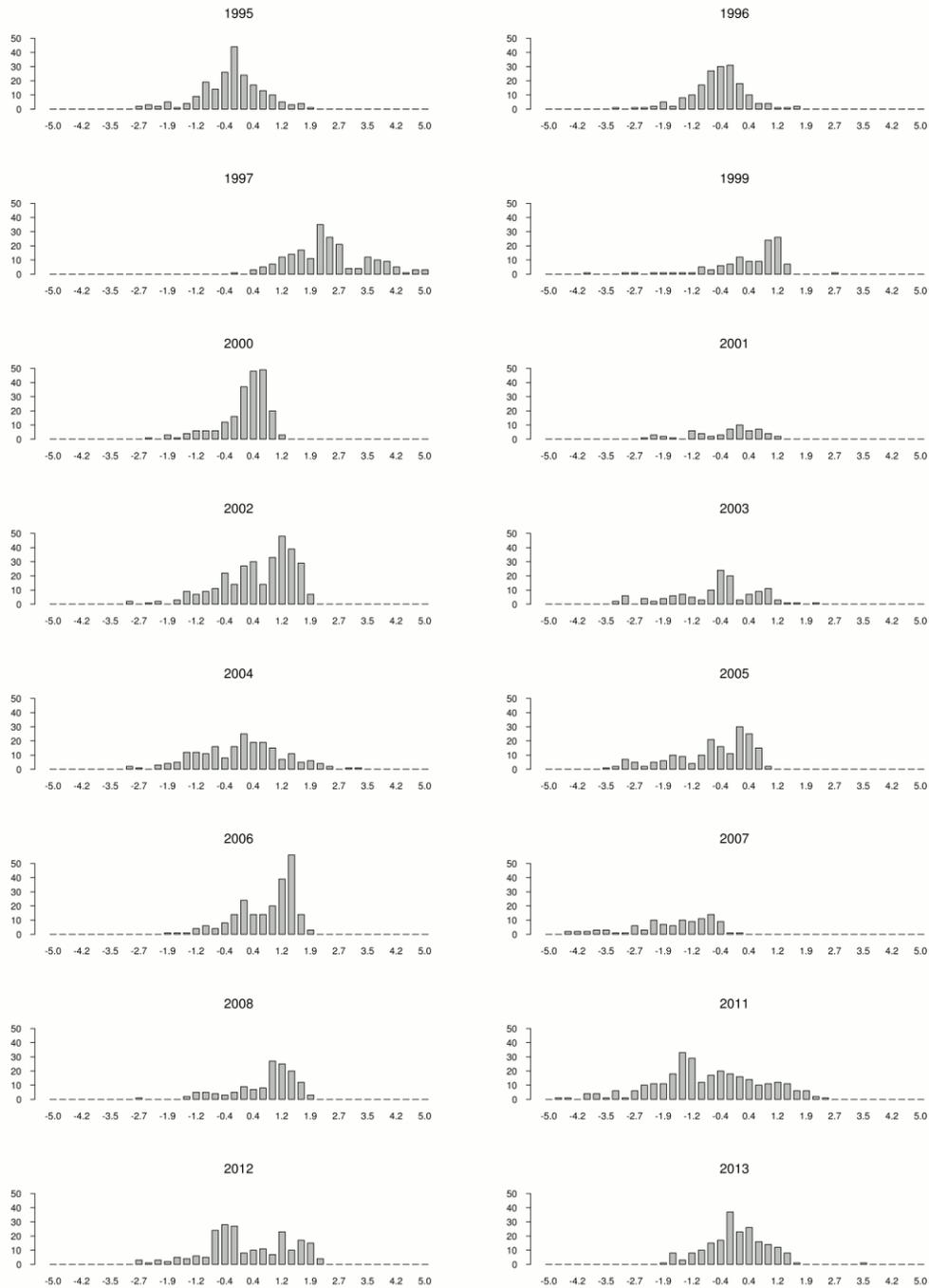


Figura 81. Histograma de frecuencia para los valores de la primera función discriminante para los diferentes años.

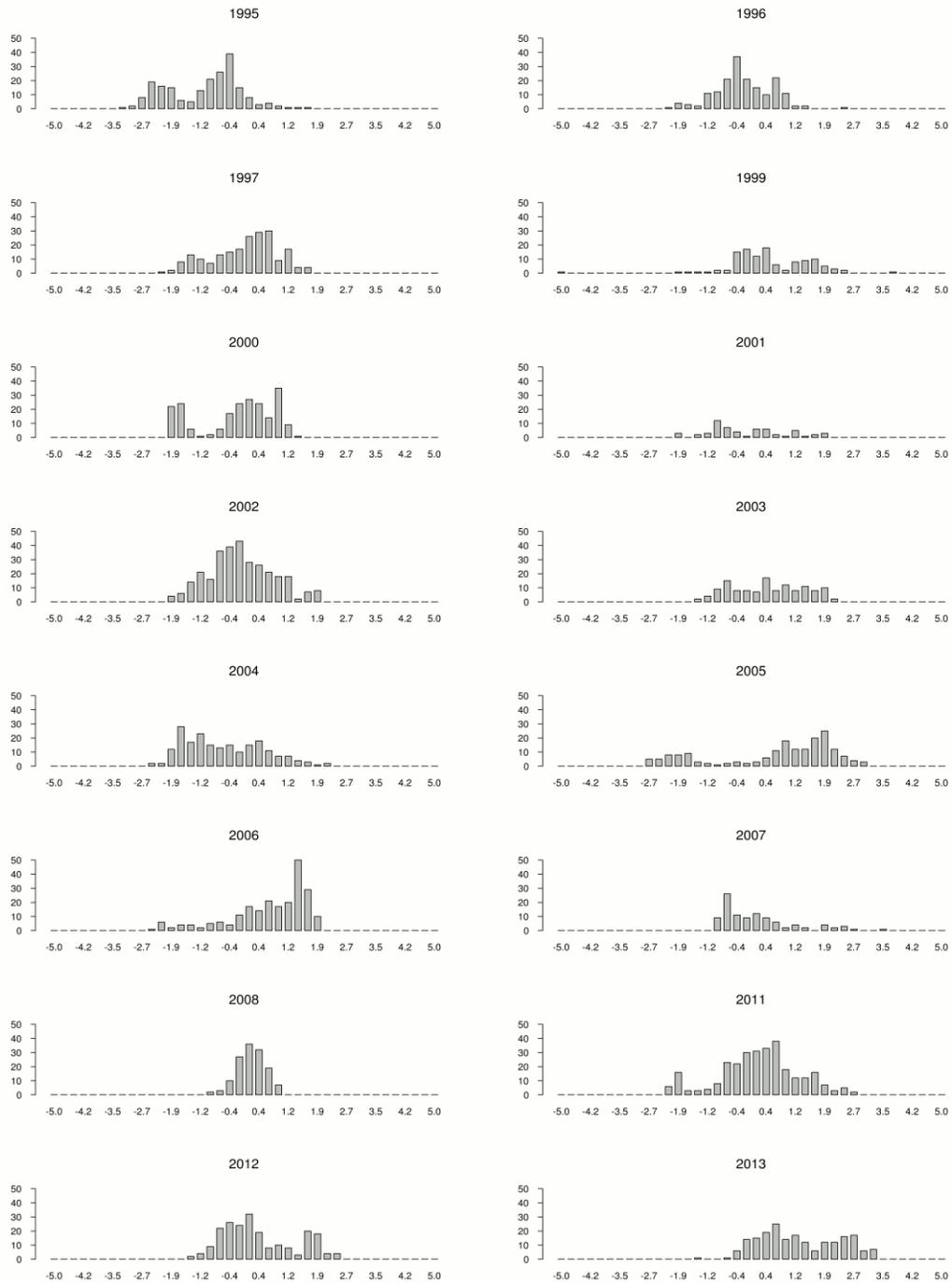


Figura 82. Histograma de frecuencia para los valores de la segunda funci3n discriminante para los diferentes a1os.

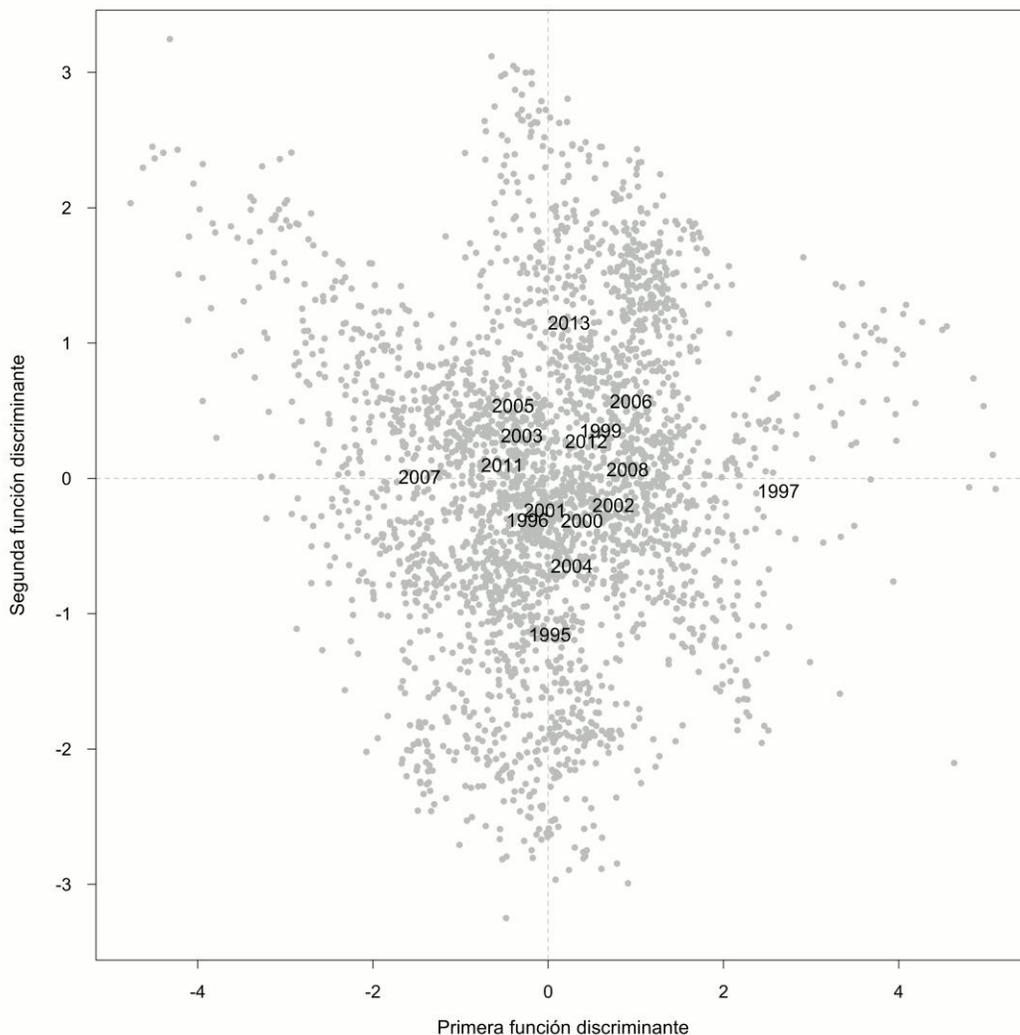


Figura 83. Gráfico de las dos principales funciones discriminantes que definen las condiciones ambientales donde los huevos de anchoveta fueron recolectados. Valores positivos del primer eje discriminante están fuertemente correlacionado con la temperatura y los valores positivos.

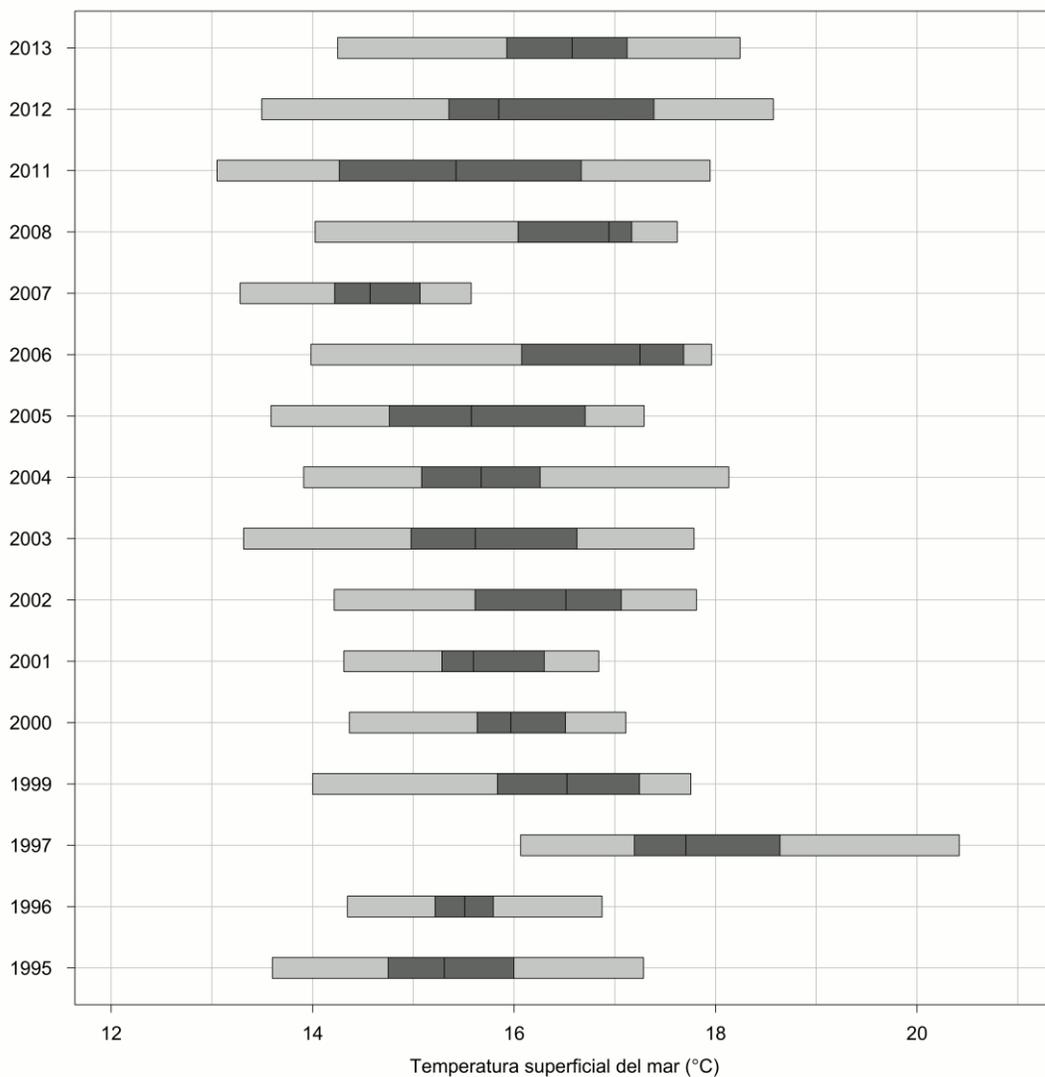


Figura 84. Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la temperatura superficial del mar para el período 1995-2013. La parte oscura de la caja representa el 25% y 75% de la distribución de probabilidad de la variable y la línea entre esos rango es el promedio.

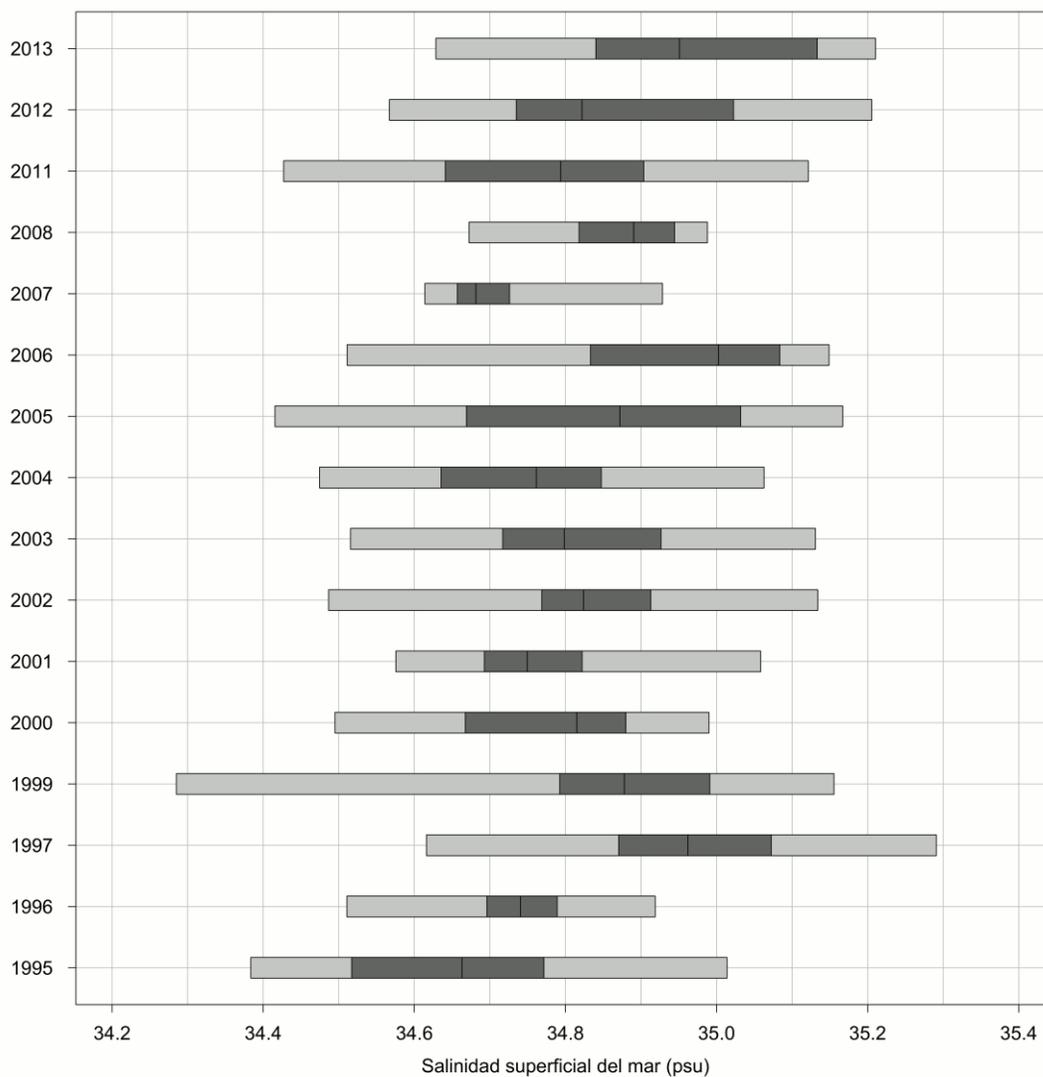


Figura 85. Rangos de distribución preferencial de huevos de anchoveta respecto de la salinidad superficial del mar para el período 1995-2013. La parte oscura de la caja representa el 25% y 75% de la distribución de probabilidad de la variable y la línea entre esos rango es el promedio.

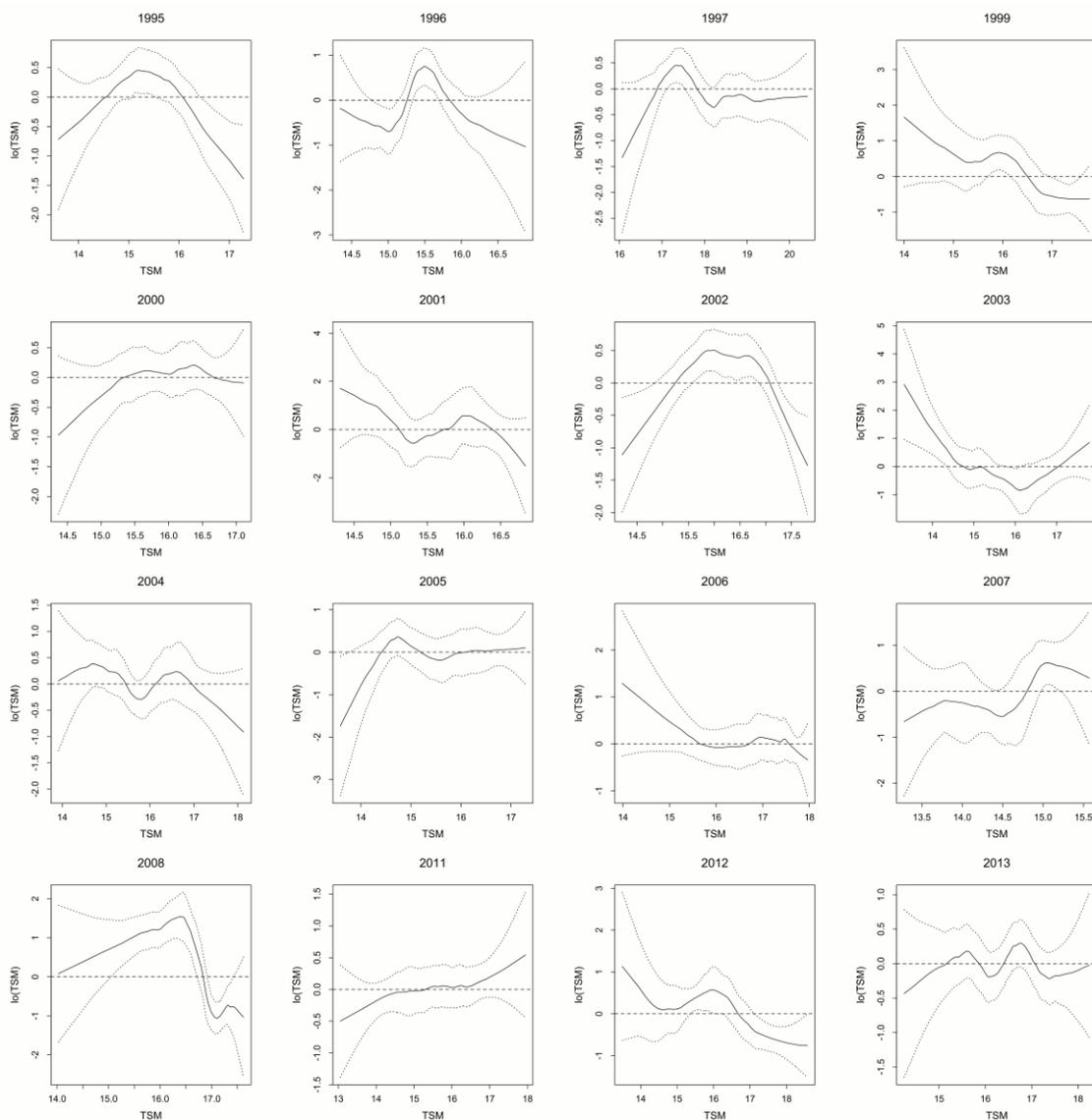


Figura 86. Coeficientes de los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) para anchoveta en función de la temperatura superficial del mar. La líneas punteadas alrededor de la línea negra (valor de los coeficientes del GAM) indica los intervalos de confianza al 95% y la línea punteada horizontal indica el nivel cero.

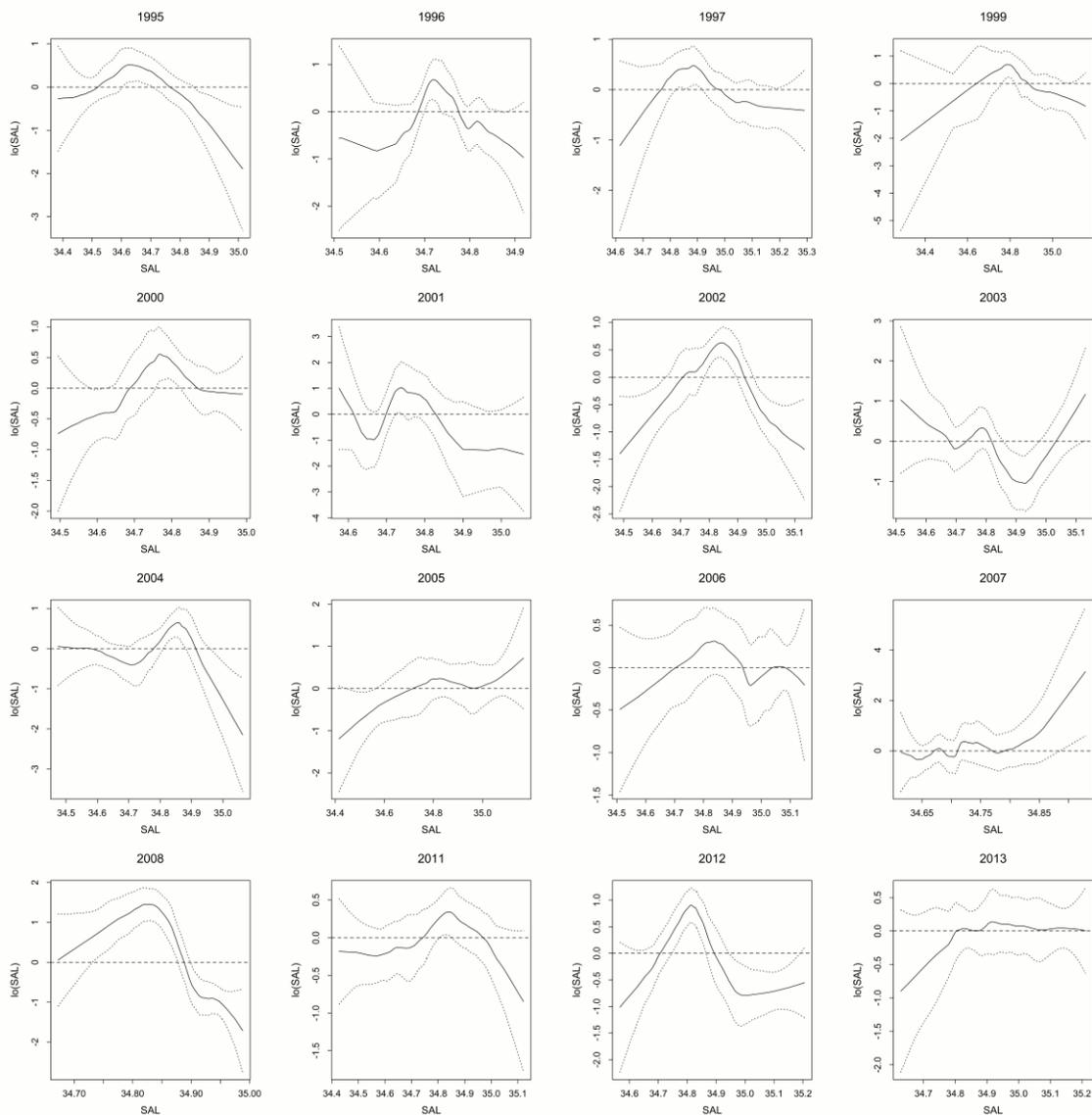


Figura 87. Coeficientes de los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) para anchoveta en función de la salinidad superficial del mar. La líneas punteadas alrededor de la línea negra (valor de los coeficientes del GAM) indica los intervalos de confianza al 95% y la línea punteada horizontal indica el nivel cero.

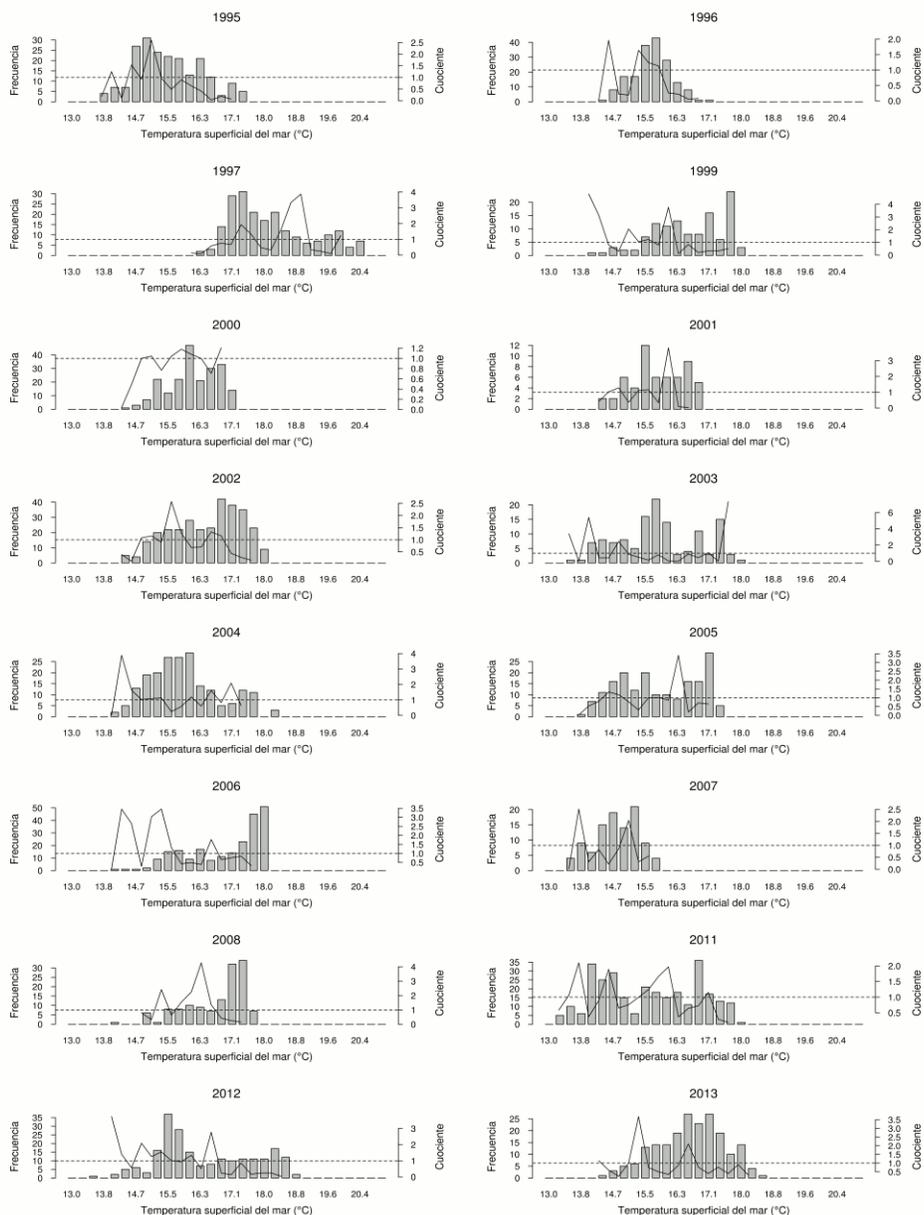


Figura 88. Resultados del análisis cuociente para la caracterización del hábitat del desove de anchoveta en relación de la temperatura superficial del mar. Histograma de frecuencia representa el número de observaciones dentro de cada categoría, la línea continua representa el valor cuociente de la concentración de huevos. La línea punteada horizontal representa la hipótesis nula de que la distribución de huevos es aleatoria con respecto a la de la variable ambiental.

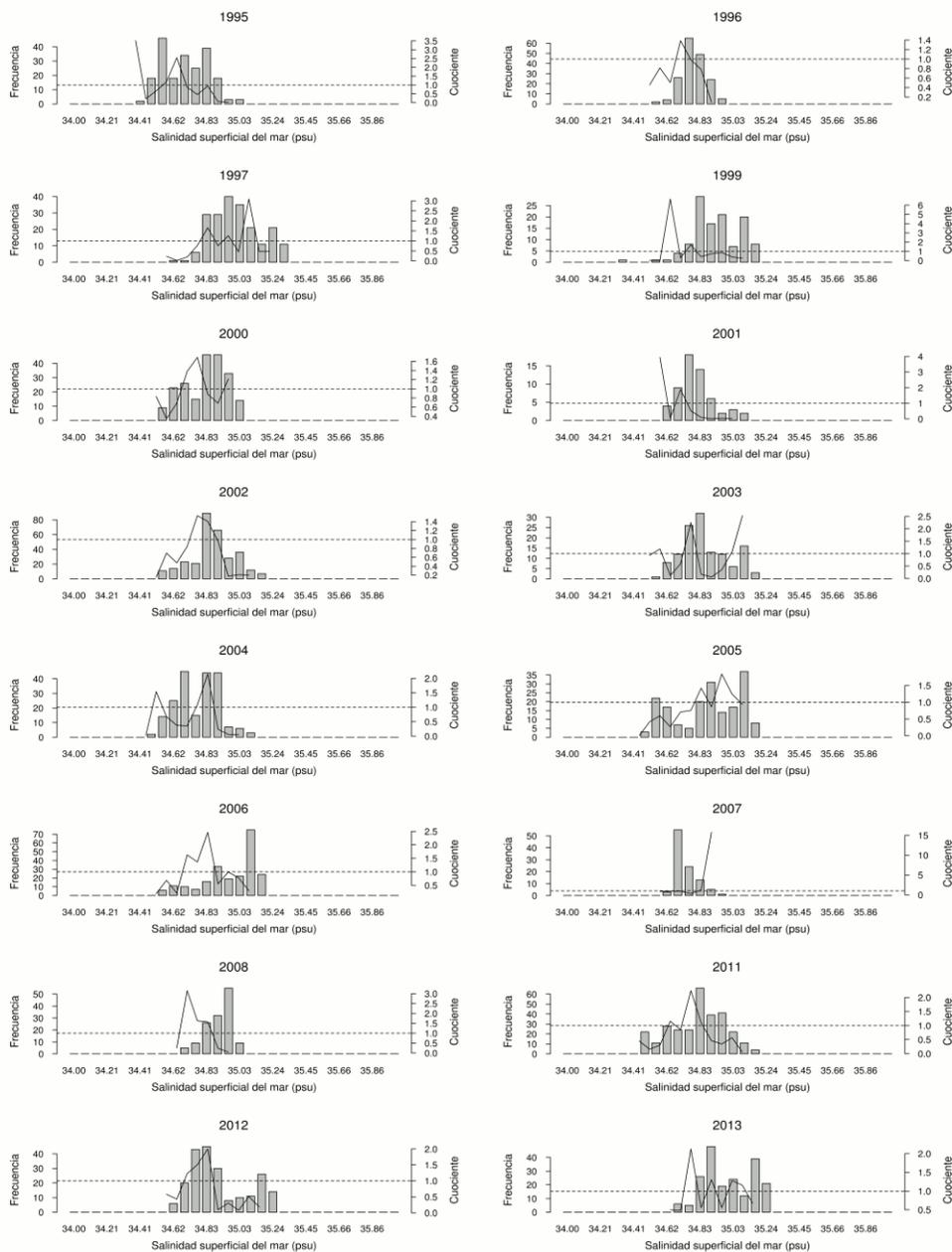


Figura 89. Resultados del análisis cuociente para la caracterizaci3n del h3bitat del desove de anchoveta en relaci3n de la salinidad superficial del mar. Histograma de frecuencia representa el n3mero de observaciones dentro de cada categor3a, la l3nea continua representa el valor cuociente de la concentraci3n de huevos. La l3nea punteada horizontal representa la hip3tesis nula de que la distribuci3n de huevos es aleatoria con respecto a la de la variable ambiental.

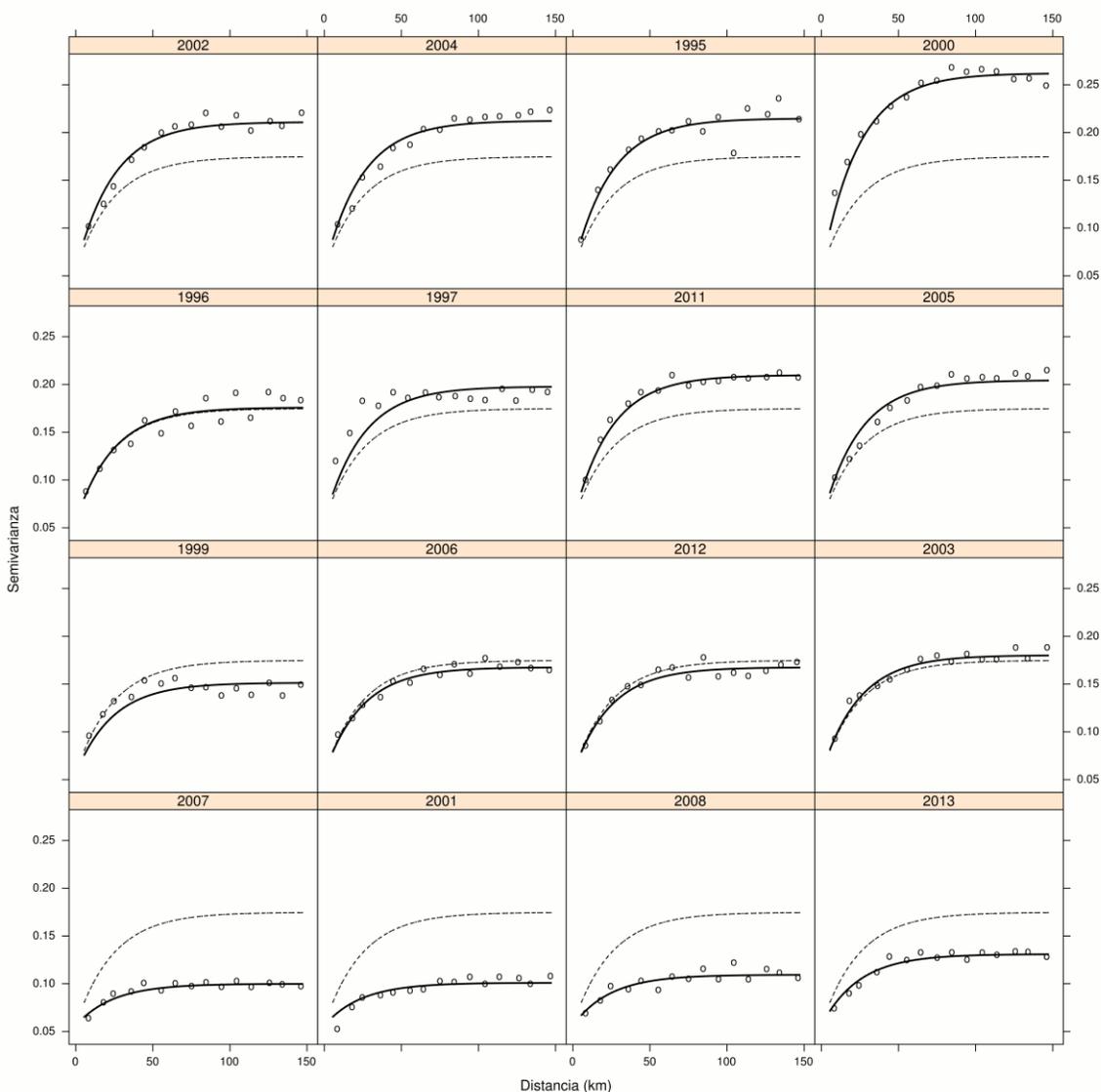


Figura 90. Variogramas teóricos ajustados al variograma experimental mediante los modelos no-lineales con efectos mixtos para la anchoveta durante el periodo de estudio. La línea punteada representa el variograma teórico con sólo efectos fijos, la línea continua representa el variograma teórico con efectos fijos y aleatorios y los puntos representan las estimaciones del variograma empírico.

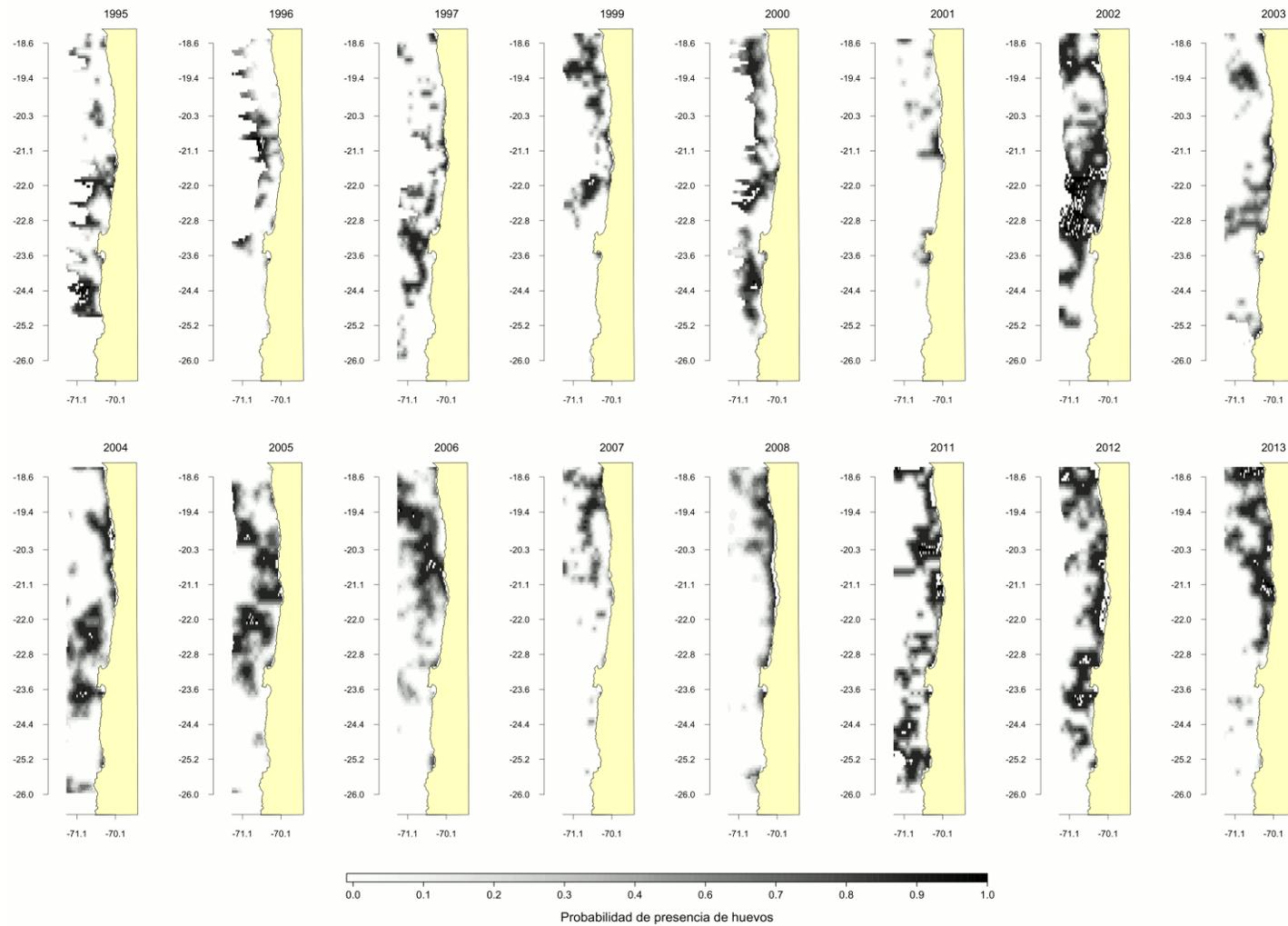


Figura 91. Distribuci3n espacial del h3bitat del desove realizado para anchoveta durante el periodo de estudio. Escala de colores es proporcional a la probabilidad de presencia de huevos.

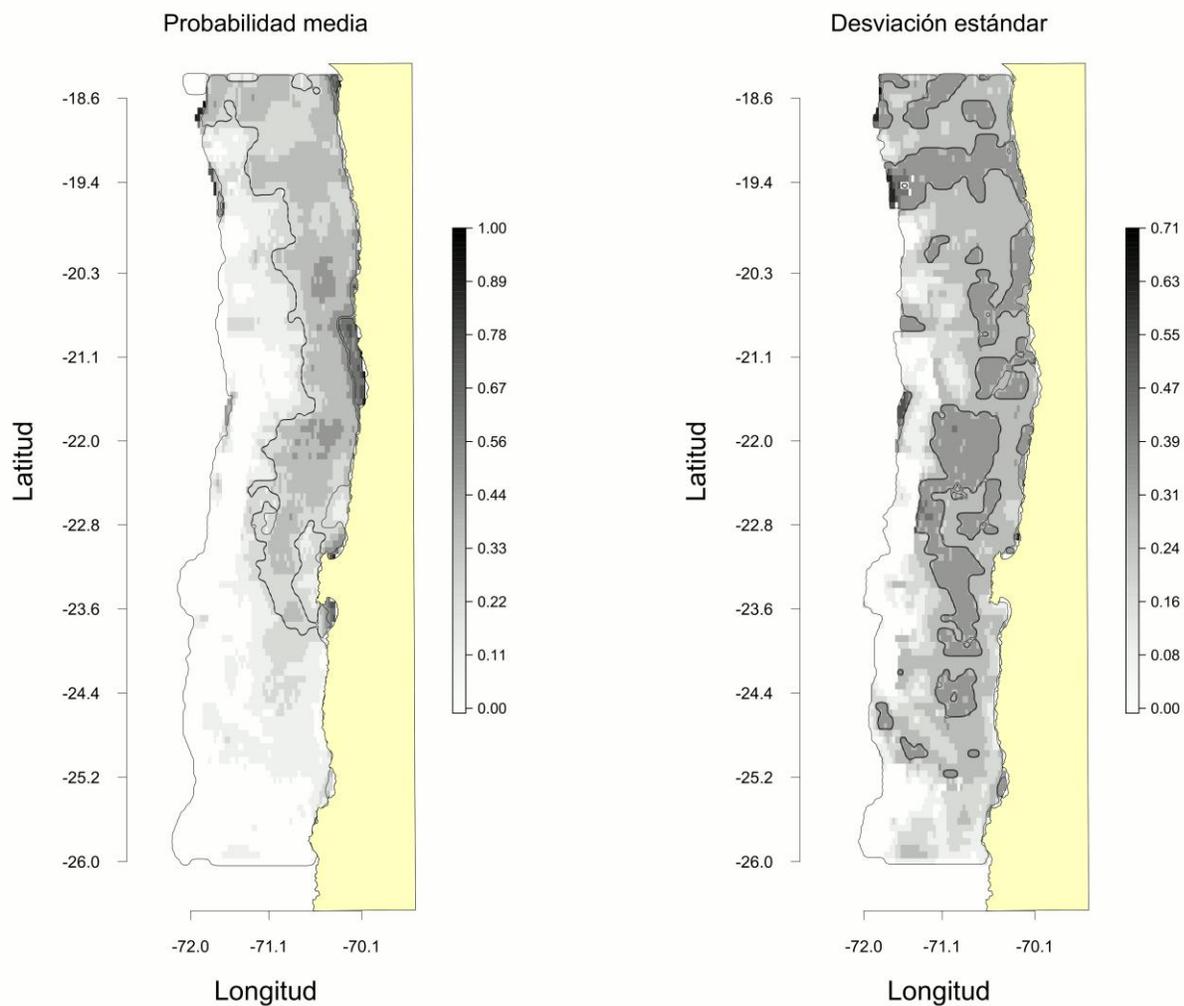


Figura 92. Mapa promedio y de variabilidad del desove realizado para anchoveta durante el periodo 1995-2013.

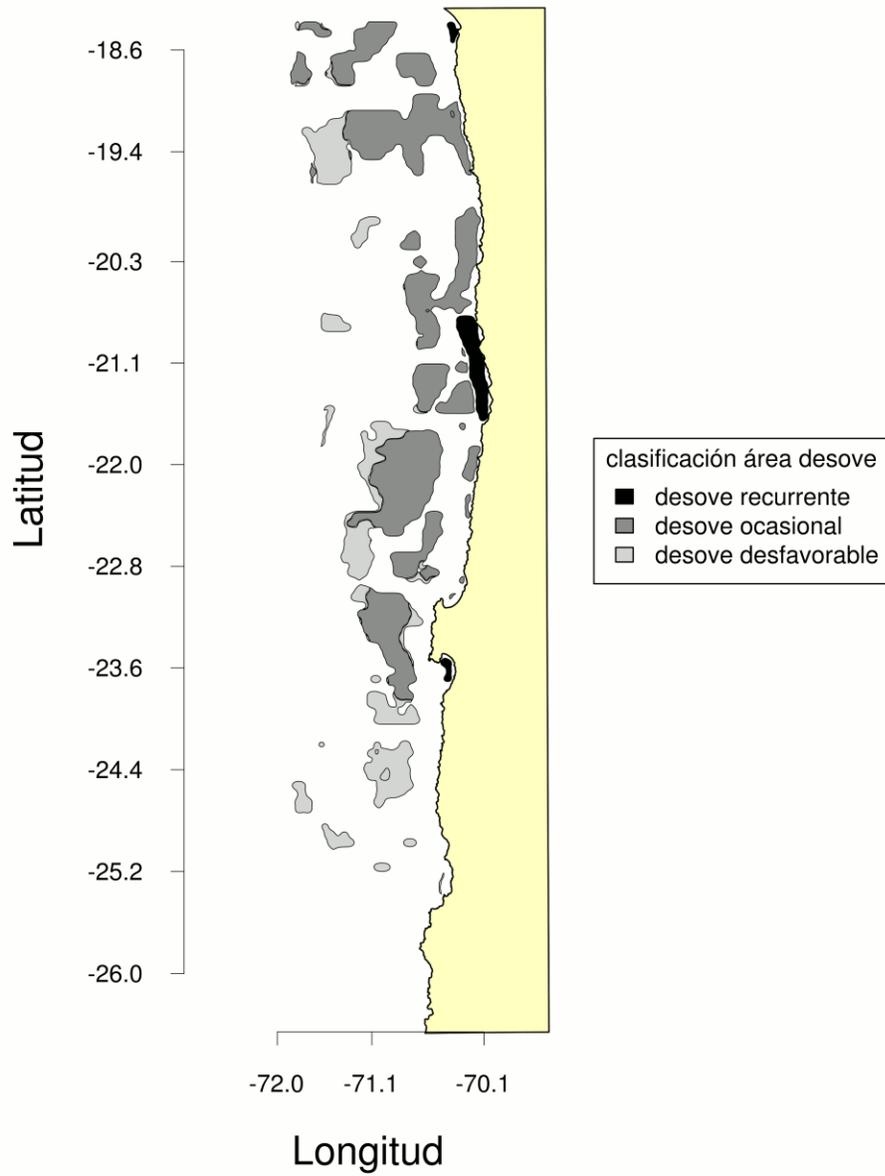


Figura 93. Zona espacial de: recurrente, ocasional y desfavorable 3reas de desove de anchoveta para la zona norte de Chile.

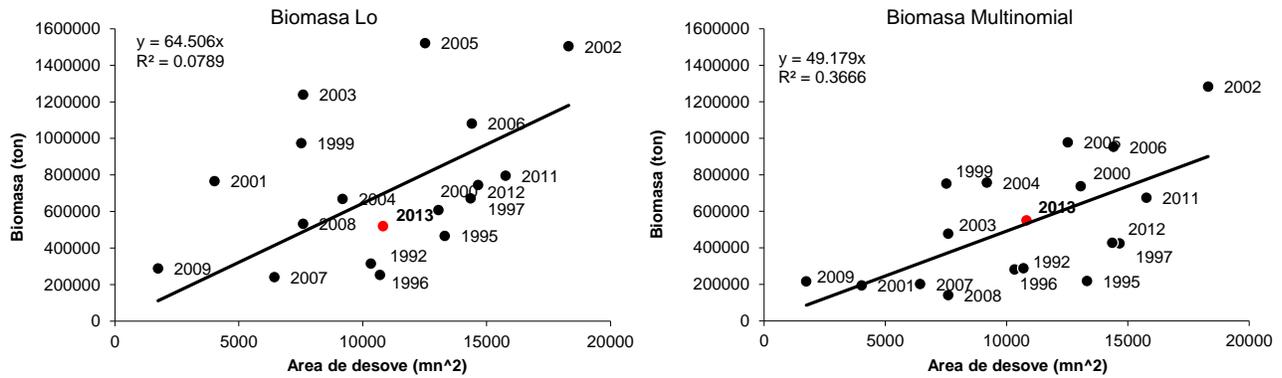


Figura 94. Relación entre área de desove (mn^2) y la Biomasa desovante (t) según modelo de Lo y Multinomial.

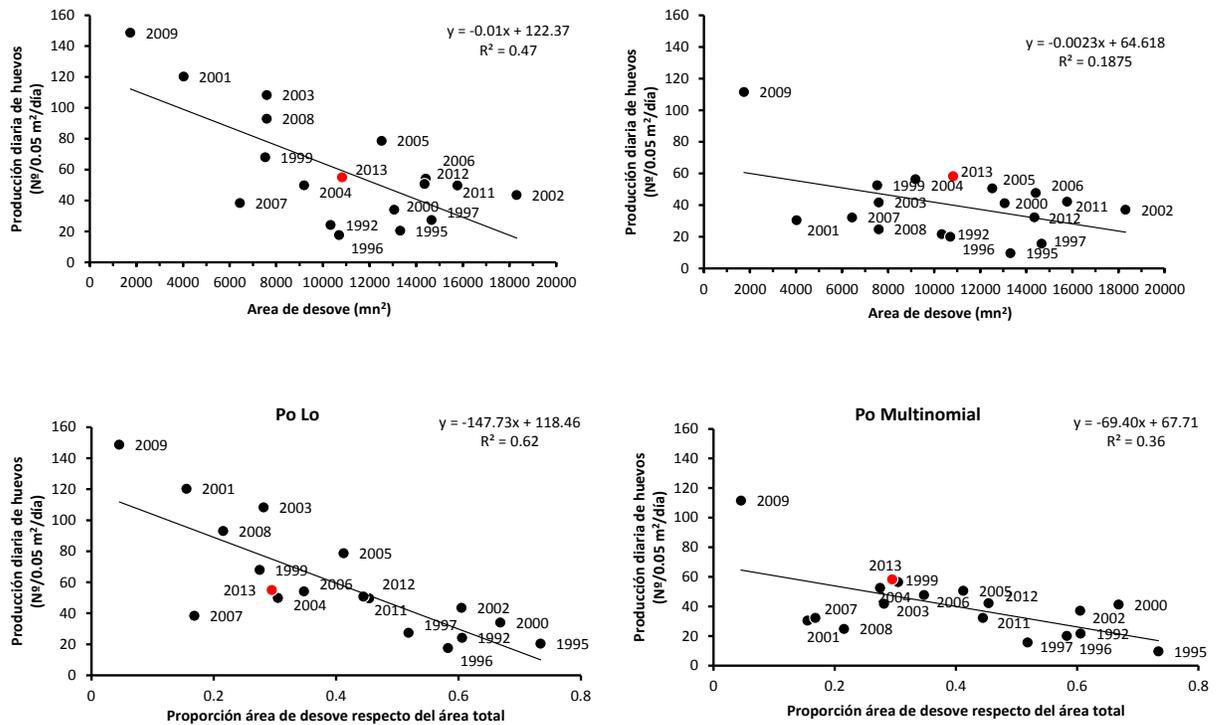


Figura 95. Relación entre el área de desove y la producción diaria de huevos ($\text{N}^\circ/0,05 \text{ m}^2/\text{día}$) (Arriba) y la proporción del área de desove respecto del área de crucero (Abajo) según la asignación de edad según el Modelo de Lo (izquierda) y Multinomial (Derecha). Círculo rojo es 2013.

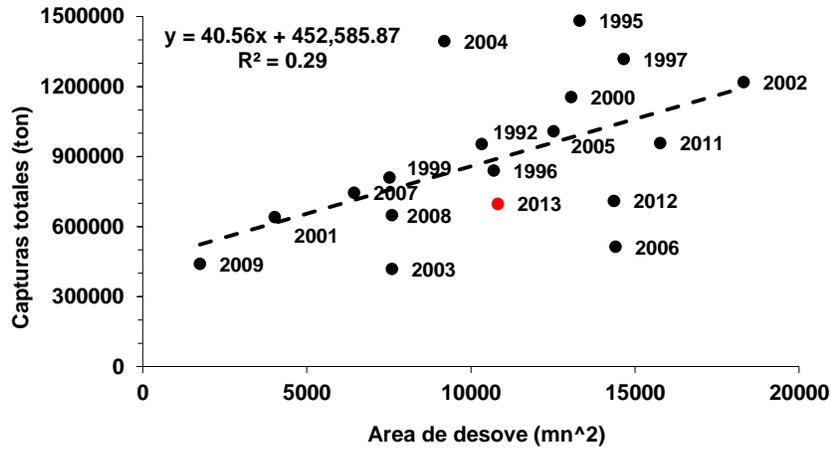


Figura 96. Relación entre el área de desove (mn²) y la captura total del año (t). Captura para el año 2013 es una cifra preliminar al 8 de diciembre.

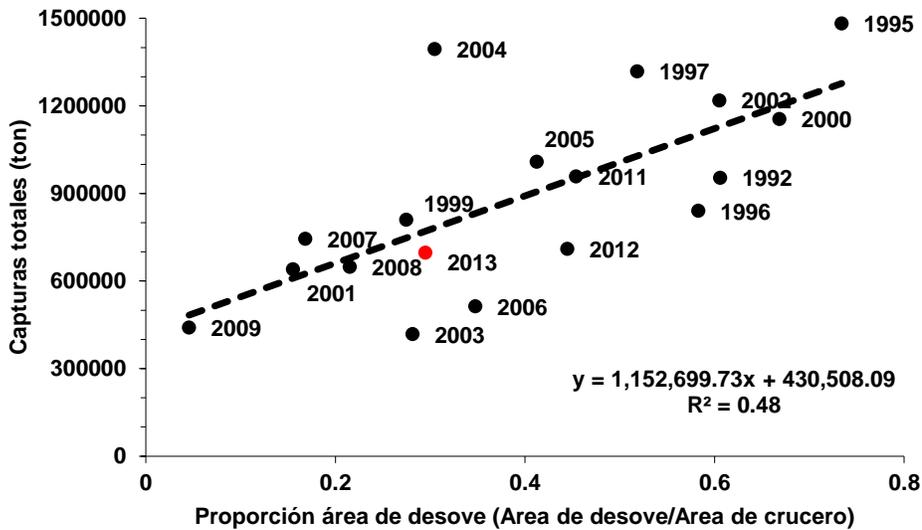


Figura 97. Relación entre la proporción del área de desove respecto del área de crucero y la captura total del año (t). Captura para el año 2013 es una cifra preliminar al 8 de diciembre.

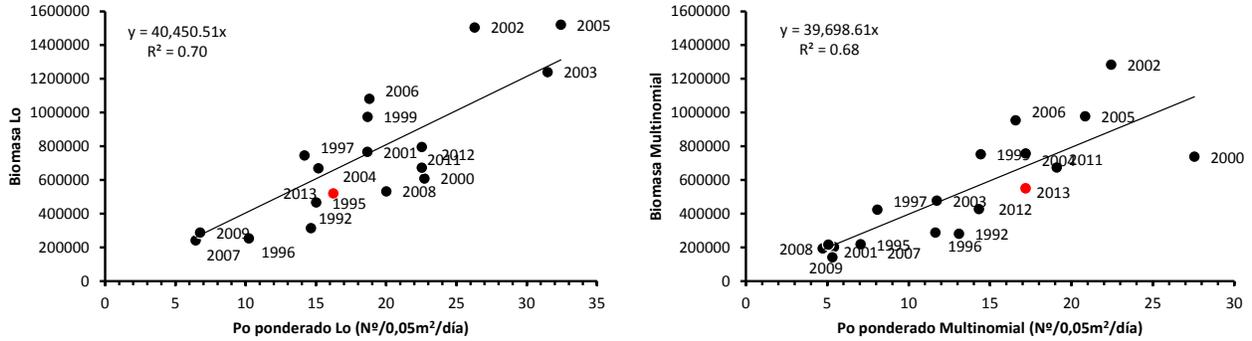


Figura 98. Relación entre el Po ponderado (Producto del Po del ajuste del modelo de decaimiento con la proporción del área de desove respecto del área de crucero) y la biomasa estimada según modelo de Lo y Multinomial.

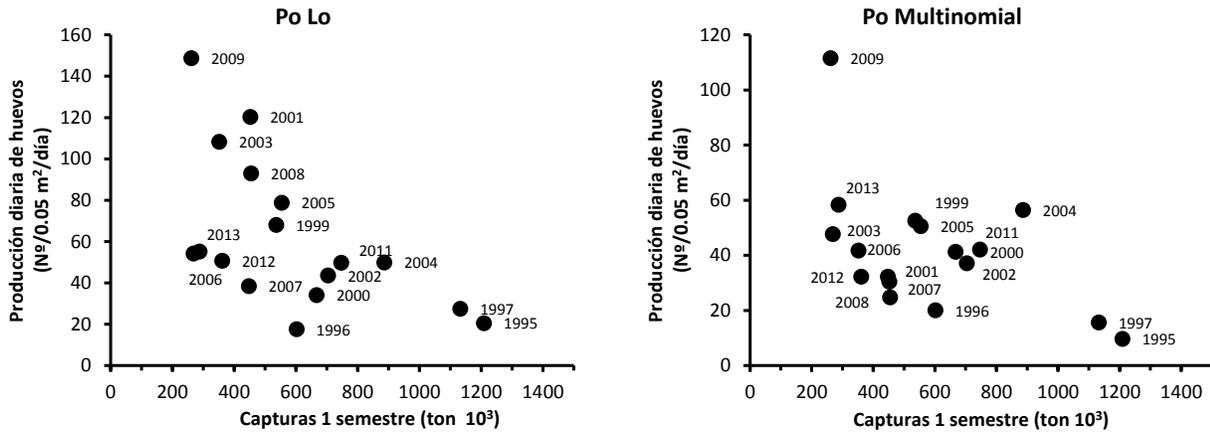


Figura 99. Producción diaria de huevos estimada en cada año durante el pico de desove (agosto-septiembre) en función de las capturas del primer semestre de cada año.

T A B L A S

Tabla 1.
Caracterización microscópica para determinar la fase de madurez gonadal en hembras de anchoveta (Sepúlveda *et al.*, 1999).

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

Tabla 2.
Clasificación histológica de los folículos postovulatorios (FPO) de anchoveta, según grado de degeneración (Claramunt *et al.*, 2007).

Estadio FPO	I	II	III	IV	V	VI	VII
Tamaño	Grande	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño	Muy pequeño	Remanente
Forma FPO y relación con lumen	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 reducción 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
Células	Células cilíndricas, poco hipertrofiadas forma una banda celular de límites claros	Idem	Idem	Pérdida de ordenamiento, límites visibles aislados	Desorden celular, pocas células reconocibles	Escasas células reconocibles	No se reconocen células individuales
Folicular							
Núcleo	Redondeado a elíptico	Pocos núcleos alargados picnóticos	Predominio de núcleos picnóticos	Idem	Idem	Escasos y picnóticos	Idem
Vacuolas	No se reconocen	Escasas y muy pequeñas	De menor o igual tamaño al núcleo, pocas numerosas	De igual o mayor tamaño al núcleo, numerosas	Grandes y dominan en las laminas celulares	Idem	No se reconocen
Teca	Fuertemente adherida y con células alargadas	Adheridas a la folicular, con alguna picnosis	Incidencia de células sanguíneas y capilares entre la teca y la folicular	Separada de la folicular por invasión de estroma ovárico a tramos	Completamente separada por invasión del estroma ovárico	Poco reconocible	No se reconoce

Tabla 3.
Par T-S tipo de las masas de agua para el periodo de invierno utilizados en el cálculo de porcentaje de participación de masa de agua (PPMA).

AGUA TIPO	SIGLA	T°C	SAL.
SUBTROPICAL	AST	20.00	35.20
SUBANTARTICA	ASAA	11.80	33.80
ECUATORIAL SUBSUPERFICIAL	AESS	13.00	35.00
INTERMEDIA ANTARTICA	AIAA	3.00	34.00
PROFUNDA DEL PACIFICO	APP	1.75	34.68

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

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

Tabla 5.
Características de los estadios morfo histológicos de los folículos postovulatorios (FPO)
de *Engraulis encrasicolus*
(ICES, 2005; Alday *et al.*, 2006).

Estadios de FPO		I	II	III	IV	V	VI	VII
Tamaño		Grande	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño	Muy pequeño	Restos de FPO
Aspecto		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
Granulosa	Células	Ordenada, columnar ligeramente hipertrofiada	Marcado alineamiento característico	Alineamiento característico muy visible	Desorganización notable	Desorden completo	Ausencia de paredes celulares	Ausencia de células
	Núcleo	Muy grande	Prominente con pocos picnóticos	Muchos picnóticos	Picnóticos	Picnóticos	Escasos picnóticos	Muy escasos picnóticos
	Vacuolas	Ausencia	Pocos	Afectan <50% de las células	Afectan >50% de las células	Masivo	Pocos	Ausencia
Teca		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 clara la incorporación al estroma	No visible
Lumen		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 6.
Variación semanal de los indicadores reproductivos (IGS, IAD e IAO) de la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta, enero-septiembre, 2013.

Semana (N°)	Fecha 2013	Macroscópico		Microscópico		
		N	IGS (%)	IAD (%)	IAO (%)	N
1	31/12 - 06/01	149	5.7			
2	07/01 - 13/01	306	5.9			
3	14/01 - 20/01	245	5.9			
4	21/01 - 27/01	244	6.5			
5	28/01 - 03/02	195	5.4			
6	04/02 - 10/02	69	4.9			
7	11/02 - 17/02	104	5.7			
8	18/02 - 24/02	155	5.2			
9	25/02 - 03/03	195	5.4			
10	04/03 - 10/03	129	6.1			
11	11/03 - 17/03	108	5.2			
12	18/03 - 24/03	102	5.8			
13	25/03 - 31/03	89	5.7			
14	01/04 - 07/04	150	5.3			
15	08/04 - 14/04	121	5.2			
16	15/04 - 21/04	163	4.5			
17	22/04 - 28/04	136	5.3			
18	29/04 - 05/05	68	5.1			
19	06/05 - 12/05	156	5.5			
20	13/05 - 19/05	150	4.1			
21	20/05 - 26/05	48	5.6			
22	27/05 - 02/06	138	5.5			
23	03/06 - 09/06	75	6.2	13.7	0.0	102
24	10/06 - 16/06	136	5.6	18.7	0.0	150
25	17/06 - 23/06	120	5.6	32.7	0.0	150
26	24/06 - 30/06	107	7.2	23.4	0.0	107
27	01/07 - 07/07	143	6.6	22.2	0.0	158
28	08/07 - 14/07	232	6.1	20.3	0.0	158
29	15/07 - 21/07	204	6.5	27.7	1.0	195
30	22/07 - 28/07	135	9.2	21.2	0.0	198
31	29/07 - 04/08	380	8.1	26.7	2.5	202
32	05/08 - 11/08					
33	12/08 - 18/08			29.1	0.4	254
34	19/08 - 25/08					
35	26/08 - 01/09	342	7.8	28.7	0.7	289
36	02/09 - 08/09					
37	09/09 - 15/09					
38	16/09 - 22/09					
39	23/09 - 29/09	318	7.5	44.7	0.5	197

Tabla 7.
Posición geográfica de los lances efectuados durante el crucero MPH, módulo adultos, en la XV, I y II Región, agosto - septiembre 2013.

N°	BARCO	LANCE N°	FECHA	HORA COLECCIÓN	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA ESTIMADA (t)	OBSERVACIONES
1	COSTA GRANDE 1	1	01-08-2013	7:57	18°47'	71°09'	110	positivo
2	COSTA GRANDE 1	2	01-08-2013	11:30	18°44'	71°14'	S/P	
3	COSTA GRANDE 1	3	01-08-2013	15:35	18°40'	71°13'	S/P	
4	COSTA GRANDE 1	1	03-08-2013	7:41	18°42'	70°57'	200	positivo
5	COSTA GRANDE 1	2	03-08-2013	10:15	18°45'	70°57'	S/P	
6	EPERVA 65	1	01-08-2013	9:25	18°52'	70°42'	S/P	
7	EPERVA 65	2	02-08-2013	7:30	18°28'	71°42'	20	positivo
8	EPERVA 65	3	02-08-2013	12:53	18°37'	71°45'	60	positivo
9	EPERVA 65	1	04-08-1943	4:03	18°42'	70°42'	280	positivo
10	EPERVA 65	2	04-08-1943	8:30	18°46'	70°43'	S/P	
11	EPERVA 65	3	04-08-1943	9:02	18°46'	70°51'	40	positivo
12	TORNADO	1	01-08-2013	18:30	18°35'	71°31'	50	positivo
13	TORNADO	2	02-08-2013	0:00	18°29'	71°35'	S/P	
14	TORNADO	3	02-08-2013	7:53	18°30'	71°43'	S/P	
15	TORNADO	4	02-08-2013	9:46	18°29'	71°47'	50	positivo
16	TORNADO	1	03-08-2013	6:30	18°44'	70°52'	90	positivo
17	TORNADO	2	03-08-2013	8:58	18°45'	70°54'	S/P	
18	TORNADO	1	04-08-2013	7:50	18°51'	70°49'	60	positivo
19	CORMORAN	1	12-08-2013	11:31	18°34'	70°28'	0.4	positivo
20	CORMORAN	1	13-08-2013	8:12	19°28'	70°22'	0.4	positivo
21	CORMORAN	2	13-08-2013	12:51	19°47'	70°16'	0.4	positivo
22	CORMORAN	3	13-08-2013	17:30	19°57'	70°14'	0.4	positivo
23	CORMORAN	1	14-08-2013	15:50	19°07'	70°33'	0.4	positivo
24	CORMORAN	2	16-08-2013	2:08	18°59'	70°46'	S/P	
25	CORMORAN	3	16-08-2013	6:07	18°48'	70°59'	S/P	
26	DON GINO	1	13-08-2013	15:20	22°51'	70°27'	S/P	
27	DON GINO	2	13-08-2013	18:00	22°53'	70°34'	S/P	
28	DON GINO	3	14-08-2013	8:36	22°45'	70°40'	S/P	
29	DON GINO	4	14-08-2013	13:25	23°40'	70°40'	S/P	
30	DON GINO	5	14-08-2013	18:50	23°49'	71°08'	S/P	
31	DON GINO	6	15-08-2013	6:20	22°58'	70°49'	S/P	
32	DON GINO	1	15-08-2013	21:30	22°44'	71°01'	S/P	
33	DON GINO	2	16-08-2013	3:10	22°26'	70°56'	S/P	
34	DON GINO	3	16-08-2013	7:10	22°08'	70°43'	S/P	
35	DON GINO	4	16-08-2013	14:00	22°06'	70°23'	S/P	
36	CLAUDIA ALEJANDRA	1	13-08-2013	11:47	21°28'	70°24'	0.4	positivo
37	CLAUDIA ALEJANDRA	2	14-08-2013	7:04	21°08'	70°23'	S/P	
38	CLAUDIA ALEJANDRA	3	15-08-2013	9:02	21°20'	70°13'	0.3	positivo
39	CLAUDIA ALEJANDRA	4	16-08-2013	2:47	20°57'	70°27'	S/P	
40	CLAUDIA ALEJANDRA	5	16-08-2013	17:51	21°15'	70°22'	0.4	positivo
41	CLAUDIA ALEJANDRA	6	17-08-2013	8:10	20°11'	70°25'	S/P	

Tabla 7.
Continuación.

N°	BARCO	LANCE N°	FECHA	HORA COLECCIÓN	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA ESTIMADA (t)	OBSERVACIONES
42	BANDURRIA	1	14-08-2013	8:22	24°10'	LONGITUD	S/P	
43	BANDURRIA	2	14-08-2013	13:27	24°41'	LONGITUD	S/P	
44	BANDURRIA	3	14-08-2013	17:52	24°59'	LONGITUD	S/P	
45	BANDURRIA	4	15-08-2013	8:37	25°26'	LONGITUD	S/P	
46	BANDURRIA	5	15-08-2013	14:02	25°50'	LONGITUD	S/P	
47	BANDURRIA	6	15-08-2013	19:30	25°59'	LONGITUD	S/P	
48	BANDURRIA	7	16-08-2013	9:10	26°00'	LONGITUD	S/P	
49	BANDURRIA	8	16-08-2013	13:12	25°40'	LONGITUD	S/P	
50	BANDURRIA	9	16-08-2013	17:11	25°21'	LONGITUD	S/P	
51	BANDURRIA	10	16-08-2013	20:50	25°00'	LONGITUD	S/P	
52	BANDURRIA	11	17-08-2013	0:38	25°02'	LONGITUD	S/P	
53	BANDURRIA	12	17-08-2013	12:15	24°39'	LONGITUD	S/P	
54	BANDURRIA	13	17-08-2013	15:42	24°29'	LONGITUD	S/P	
55	BANDURRIA	14	17-08-2013	21:08	24°08'	LONGITUD	S/P	
56	CLAUDIA ALEJANDRA	1	27-08-2013	7:00	21°23'	LONGITUD	0.4	positivo
57	CLAUDIA ALEJANDRA	2	27-08-2013	16:12	21°07'	LONGITUD	0.4	positivo
58	CLAUDIA ALEJANDRA	3	28-08-2013	6:26	20°39'	LONGITUD	S/P	
59	CLAUDIA ALEJANDRA	4	28-08-2013	9:51	20°33'	LONGITUD	S/P	
60	ANGAMOS 9	1	28-08-2013	5:37	19°11'	LONGITUD	0.4	positivo
61	ANGAMOS 9	2	28-08-2013	8:58	19°00'	LONGITUD	0.4	positivo
62	LIVILCAR	1	27-08-2013	14:05	21°06'	LONGITUD	0.01	positivo
63	PARINA I	1	28-08-2013	9:50	18°57'	LONGITUD	0.03	positivo
64	PARINA I	2	28-08-2013	14:20	18°36'	LONGITUD	0.03	positivo
65	TRUENO I	1	23-09-2013	6:15	19°12'	LONGITUD	40	positivo
66	TRUENO I	2	23-09-2013	10:17	19°13'	LONGITUD	40	positivo
67	TRUENO I	1	24-09-2013	7:46	19°18'	LONGITUD	320	positivo
68	TRUENO I	2	24-09-2013	11:59	19°19'	LONGITUD	30	positivo
69	TRUENO I	1	25-09-2013	5:38	20°36'	LONGITUD	180	positivo
70	TRUENO I	2	25-09-2013	12:10	20°24'	LONGITUD	30	positivo
71	TRUENO I	1	26-09-2013	6:25	21°10'	LONGITUD	280	positivo
72	TRUENO I	1	27-09-2013	6:45	21°27'	LONGITUD	90	positivo
73	TRUENO I	1	28-09-2013	11:23	18°25'	LONGITUD	S/P	
74	TRUENO I	2	29-09-2013	6:55	20°28'	LONGITUD	50	positivo
75	ATACAMA IV	1	23-09-2013	10:46	19°15'	LONGITUD	0.4	positivo
76	ATACAMA IV	2	23-09-2013	17:50	19°19'	LONGITUD	30	positivo
77	ATACAMA IV	1	25-09-2013	11:45	20°45'	LONGITUD	30	positivo
78	ATACAMA IV	2	25-09-2013	16:00	20°55'	LONGITUD	50	positivo
79	ATACAMA IV	3	25-09-2013	19:30	21°00'	LONGITUD	S/P	
80	ATACAMA IV	4	26-09-2013	6:45	21°11'	LONGITUD	260	positivo
81	EPERVA 64	1	23-09-2013	11:21	19°13'	LONGITUD	90	positivo
82	EPERVA 64	1	24-09-2013	10:21	19°17'	LONGITUD	60	positivo
83	EPERVA 64	1	26-09-2013	6:05	21°10'	LONGITUD	200	positivo
84	EPERVA 64	1	27-09-2013	10:57	21°44'	LONGITUD	40	positivo
85	RELAMPAGO	1	24-09-2013	7:10	20°19'	LONGITUD	60	positivo
86	RELAMPAGO	1	26-09-2013	5:45	21°01'	LONGITUD	100	positivo
87	RELAMPAGO	2	26-09-2013	8:50	21°11'	LONGITUD	100	positivo
88	RELAMPAGO	1	27-09-2013	6:10	21°50'	LONGITUD	100	positivo
89	RELAMPAGO	2	27-09-2013	10:20	21°44'	LONGITUD	20	positivo

Tabla 8.
Resultados de los cruceros de huevo para las distintas aplicaciones del MPH.

Año	Estac. N°	Estac. (+) N°	Total Huevos N°	Densidad H/0.05 m ²	Densidad (+) H/0.05 m ²	Area crucero mn ²	Area desove mn ²	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
2011	730	292	13915	19	48	34736	15771	15.40
2012	564	241	10779	19	45	32291	14356	15.74
2013	770	201	6267	8	31	36696	10819	15.67

Tabla 9.
Resultados de los estimadores de Razón y Geoestadístico para la clorofila integrada de la serie cruceros entre 2004 y 2013.

Año	n	Estimador Razón			Estimador Geoestadístico		
		Estimación	Error Est.	Coef. Var.	Estimación	Error Est.	Coef. Var.
2004	71	59.8	7.60	12.7 %	52.3	8.62	16.5 %
2005	74	86.1	11.48	13.3 %	73.8	11.65	15.8 %
2006	42	35.8	5.21	14.6 %	30.9	6.33	20.4 %
2007	81	39.1	3.73	9.5 %	37.6	5.42	14.4 %
2008	70	40.1	5.68	14.2 %	28.4	3.95	13.9 %
2009	82	28.7	3.21	11.2 %	22.4	3.34	14.9 %
2010							
2011	81	68.6	9.78	14.3 %	40.7	6.06	14.9 %
2012	59	62.1	7.81	12.6 %	50.1	7.29	14.5 %
2013	84	66.1	7.52	11.4 %	59.7	8.70	14.6 %

Tabla 10.

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

Lance	Hora	n	ESTADIOS DE MADUREZ OVÁRICA								ESTADIOS FOLÍCULOS POSTOVULATORIOS							PT	FECUNDIDAD	Prop. Hembras
			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	8.0	34	0	0	0	30	4	0	0	0				6		1	8	23.7	14673	0.60
2	7.7	35	0	0	0	24	11	0	0	0				1	1		5	23.9	14751	0.63
3	7.5	35	0	0	0	33	2	0	0	0		2	2	2			6	23.8	14732	0.54
4	12.9	35	0	0	0	31	0	4	0	0				2			11	25.9	15715	0.48
5	4.1	35	0	0	0	21	13	0	1	0	2	7	3	1			5	25.3	15548	0.50
6	9.0	34	0	0	0	24	10	0	0	0				10	8	2	1	26.0	16107	0.58
7	9.8	35	0	0	0	32	3	0	0	0		1	4	3		1	8	23.4	14517	0.59
8	6.5	35	0	0	0	32	3	0	0	0			5	1	1		6	24.3	14898	0.57
9	11.5	35	0	0	0	31	4	0	0	0			1				1	23.8	14765	0.38
10	8.2	35	0	0	0	35	0	0	0	0						1	17	23.6	14560	0.54
11	17.5	33	0	0	0	32	1	0	0	0		2		4			3	26.8	16272	0.63
12	15.8	35	0	0	0	32	1	2	0	0		1	2	1	3		8	24.8	15383	0.70
13	17.9	31	0	0	0	21	0	10	0	0			1	3	1	4	4	17.9	11372	0.71
14	12.9	35	0	0	0	23	11	1	0	0			1	7	1	1	3	26.2	15983	0.78
15	9.0	35	0	0	0	18	17	0	0	0				2			8	22.5	13924	0.76
16	7.0	35	0	0	0	31	4	0	0	0							3	24.8	15073	0.47
17	16.2	35	0	0	0	18	0	17	0	0				1	1		3	25.0	14836	0.51
18	9.0	35	0	0	0	32	3	0	0	0		1	1		1	2	4	23.0	14229	0.60
19	14.1	35	3	4	0	13	2	13	0	0			1				6	20.0	12523	0.36
20	9.8	35	0	0	0	20	15	0	0	0				5	5	4	1	25.5	15464	0.39
21	6.3	35	0	0	0	21	14	0	0	0				1				25.2	15299	0.42
22	10.3	35	0	0	0	18	17	0	0	0		1		1	1		3	25.0	15297	0.52
23	7.8	34	0	0	0	15	19	0	0	0				6	6		2	25.5	15488	0.48
24	5.6	35	0	0	0	32	3	0	0	0	1	5	9	4			4	26.3	16217	0.43
25	12.2	35	0	0	0	27	8	0	0	0	1	14	4			1	4	25.5	15728	0.53
26	11.8	39	0	0	1	24	13	0	0	1				7	8	1	4	26.1	16042	0.44
27	16.0	33	0	0	0	21	1	11	0	0					2	4	6	26.5	16004	0.38
28	6.8	30	0	0	0	14	16	0	0	0		2	2	1			6	26.5	15980	0.55
29	11.4	35	0	0	0	19	16	0	0	0				2	3			24.4	14875	0.46
30	10.4	35	0	0	0	6	29	0	0	0			1	2	2			25.0	14960	0.46
31	6.1	33	0	0	0	24	9	0	0	0	4	2	4	4			7	24.4	15067	0.53
32	11.0	35	0	0	0	24	11	0	0	0			2	6	5		5	24.5	15043	0.43
33	7.2	34	0	0	0	23	11	0	0	0			3	4	2		6	24.1	14923	0.47
34	5.8	34	0	0	0	30	2	2	0	0	4	1	4	2			10	24.0	14892	0.38
35	8.8	35	0	0	0	28	7	0	0	0			2	7	10		2	24.0	14899	0.58
36	6.2	33	0	0	0	20	12	0	0	1			2	6	3	1	8	23.9	14854	0.53
37	10.3	35	0	0	0	14	21	0	0	0	1		1	5	2		1	24.1	14839	0.61

Tabla 11.

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).

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

Tabla 12.

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)

DevianceResiduals:

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 13.

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 Po (Nº huevos/m²/día). Age corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos (Z, en horas). Std. Error en el caso de Po corresponde al coeficiente de variación de Po 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		
2011	(Intercept)	6.900672	0.186255	37.05	<2e-16	677	4310.7	6.735278	0.17785	37.871	<2e-16	653	4149
	Age	-0.0320	0.005836	-5.478	4.30E-08			-0.030481	0.005822	-5.236	1.64E-07		
2012	(Intercept)	6.921421	0.222119	31.16	<2e-16	467	3256	6.467997	0.209199	30.918	<2e-16	435	2883
	Age	-0.0265	0.007667	-3.46	5.39E-04			-0.017917	0.007967	-2.249	2.45E-02		
2013	(Intercept)	7.004254	0.279927	25.022	<2e-16	214	1338.6	7.06084	0.28826	24.495	<2e-16	214	1319
	Age	-0.0612	0.009889	-6.188	6.09E-10			-0.06252	0.01069	-5.848	4.99E-09		

Tabla 14.
Número de lances y total de hembras muestreadas en los distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.

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
2011	41	1388
2012	45	1546
2013	37	1277

Tabla 15.
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 2012. EMM 5: Estadio de núcleo migrante. EMM 6: Hembras hidratadas.

Hora	ESTADIO FOLICULO POSTOVULATORIO							ESTADIO MADUREZ	
	1	2	3	4	5	6	7	EMM 5	EMM 6
0	14.00	4.94	0.25	1.01	1.69	1.26	1.74	0.84	0.65
1	12.33	8.10	0.00	0.57	3.28	1.42	2.61	1	0
2	6.33	7.31	1.60	1.14	1.39	2.83	1.83	1	0.05
3	13.67	13.44	6.76	2.08	3.97	4.25	5.92	3	0.38
4	4.00	11.07	8.48	4.80	8.44	5.97	6.01	3.92	0.33
5	6.67	8.30	8.85	4.61	4.97	3.93	8.45	7.68	0.38
6	17.33	19.37	13.51	7.89	4.17	10.38	10.63	12.04	0.43
7	2.33	7.31	11.92	11.36	6.16	8.65	7.67	9.12	0
8	1	5.93	12.41	10.10	7.05	11.16	11.24	9.45	3
9	3.00	3.95	11.18	10.42	7.75	9.91	10.10	11.93	1.63
10	2	3.56	8.48	6.76	6.55	10.38	9.41	12.63	2.38
11	0	1	5.41	9.15	7.15	5.97	5.14	8.73	3.58
12	2.33	2	2.33	9.85	8.94	7.23	5.57	6.70	10.94
13	0	1	3.56	4.99	3.77	2.04	3.31	5.23	6
14	0	0	0.98	4.36	5.36	4.56	2.96	2.66	11
15	0	1	1.72	4.36	5.16	2.36	1.74	1.33	14.68
16	0	0	1.47	2.78	5.06	3.30	2.09	0.65	12.24
17	0	0	0	0.63	0.40	0.47	0.87	0.44	12
18	0	0	0.12	0.95	4.97	1.10	0.52	0.35	9
19	0	2	1	1	2.48	0	1	0.68	5.36
20	0	0	0	0	0	0	0	0	3
21	0.00	0	0	0	1	1	1	0.00	1.46
22	9	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0
23	5.33	0.20	0.12	1	0.30	1.10	0.26	0.09	0.76
Total general	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 16.

Parámetros del ajuste de un modelo de distribución tipo Gamma 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. EMM 5: Estadio de núcleo migrante. EMM 6: Hembras hidratadas.

		1	2	3	4	5	6	7	Total
Gamma	a	17.42	31.57	41.53	31.20	16.13	27.65	27.12	
	b	0.88	0.55	0.48	0.70	1.41	0.77	0.76	
	Media est	15.28	17.44	19.89	21.95	22.68	21.24	20.56	
	Desv Est	3.66	3.10	3.09	3.93	5.65	4.04	3.95	
	SCE	257.30	113.23	18.86	27.13	55.57	39.32	20.57	531.98

Tabla 17.

Estimaciones de fracción desovante diaria según la clasificación en 7 estadios de FPO. Fracción desovante FPO 0 corresponde a la utilización de los estadios de núcleo migrante e hidratadas. Fracción desovante FPO 1 corresponde a la utilización de FPO de estadios I al IV.

		Media	Varianza	CV
2007	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.28	3.70E-04	0.07
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.25	4.12E-04	0.08
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.26	1.90E-04	0.05
2008	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.24	4.88E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.23	7.08E-04	0.11
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.24	2.30E-04	0.06
2009	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.34	9.05E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.28	9.26E-04	0.11
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.31	3.10E-04	0.06
2011	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.26	5.73E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.28	6.69E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.27	2.76E-04	0.06
2012	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.29	5.85E-04	0.08
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.22	3.86E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.26	1.85E-04	0.05
2013	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.29	1.07E-03	0.11
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.19	6.25E-04	0.13
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.24	3.51E-04	0.08

Tabla 18.
Número total de hembras por estadio de madurez y proporción con o sin FPO, zona Norte.

EMM	n total	Proporción	
		Sin FPO	Con FPO
2	4	100	0
3	172	30.2	69.8
4	15222	38.9	61.1
5	4285	94.1	5.9
6	1846	98.4	1.6
7	53	0	100
8	40	37.5	62.5
Total	21622		

Tabla 19.
Parámetros de las regresiones entre fecundidad parcial y peso corporal para cada año de aplicación del MPH en la zona norte de Chile.

	Intercepto (a)	Pendiente (b)			r2	n	Syx	PC Min	PC Max	PC Promedio	Fec relativa	Ho: A=0
		Sa	Sb									
1995	671.77	1916.66	534.57	65.12	0.30	156	3291.11	18.53	42.01	29.2	557.7	Acepta
1996	337.46	1514.08	690.51	55.68	0.59	107	3004.22	13.66	40.7	26.7	704.5	Acepta
1997	6950.80	1923.85	262.61	78.30	0.05	210	3582.39	15.9	34.9	24.4	552.2	Rechaza
1999	105.44	816.02	498.60	34.12	0.54	187	2917.74	14.9	39.3	23.1	503.8	Acepta
2000	-5127.08	3285.50	740.45	116.16	0.28	109	4210.35	19.7	42.5	28.1	555.1	Acepta
2001	2205.21	2097.95	465.10	69.02	0.26	133	3749.33	21.7	43	30.0	539.7	Acepta
2002	11341.20	2719.11	259.56	121.04	0.06	69	2599.68	14.7	29.7	22.3	775.1	Rechaza
2003	-1237.67	1388.04	615.84	57.52	0.54	99	2249.76	13.48	33.54	23.8	562.8	Acepta
2004	-4164.12	2944.92	584.18	120.27	0.20	96	2476.32	19.52	29.71	24.4	412.3	Acepta
2005	1152.76	2582.87	431.29	86.79	0.24	79	2820.01	21.56	37.41	29.5	471.3	Acepta
2006	-4476.16	2326.28	788.63	87.82	0.54	72	3696.22	15.3	36.4	26.0	609.8	Acepta
2007	-4212.84	1688.05	726.94	74.06	0.57	76	2099.26	15.13	32.36	22.6	536.1	Acepta
2008	134.31	1628.23	713.99	90.54	0.34	121	2506.50	13.91	26.04	17.8	721.4	Acepta
2009	-2569.08	3057.79	649.82	135.80	0.38	39	1824.31	17.37	26.91	22.4	533.8	Acepta
2011	-1981.65	3728.66	607.99	190.78	0.22	37	2001.07	13.98	22.86	19.6	499.8	Acepta
2012	-1336.55	2417.45	692.09	111.25	0.49	42	2122.43	16.77	28.12	21.5	628.4	Acepta
2013	1502.20	2598.88	589.90	116.45	0.40	41	2809.34	12.5	29.05	22.0	660.6	Acepta

Tabla 20.
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 ⁻¹	CV (%)		CV (%)
1992	20.7	1.32	14917	1.62	721	0.160	6.22	0.48	2.95
1995	29.2	2.53	15405	2.77	528	0.180	4.65	0.42	5.83
1996	30.0	2.52	19658	2.87	654	0.170	12.79	0.45	8.01
1997	21.7	1.73	12102	1.95	559	0.130	3.07	0.51	2.76
1999	22.7	1.42	10600	2.75	467	0.170	3.81	0.46	5.19
2000	30.9	1.02	16279	2.86	528	0.189	7.50	0.50	4.39
2001	32.4	1.17	15911	2.27	492	0.188	27.02	0.47	5.36
2002	21.3	0.96	16761	1.59	787	0.137	6.87	0.51	3.09
2003	25.2	1.16	13327	2.07	530	0.182	10.47	0.49	3.47
2004	23.6	1.72	8777	3.22	371	0.176	7.16	0.52	3.53
2005	23.0	1.26	10560	2.25	460	0.190	6.70	0.44	4.80
2006	22.5	3.06	12088	5.21	537	0.203	5.17	0.45	4.93
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	8410.9	4.19	468	0.309	5.70	0.43	4.98
2011	23.45	2.396	11458	4.81	489	0.273	6.09	0.51	5.76
2012	20.12	2.613	11794	3.66	586	0.258	5.26	0.49	4.17
2013	24.47	1.112	15027	3.18	614	0.242	7.73	0.528	3.38

Tabla 21.

Estimaciones de la producción diaria de huevos (huevos/0,05 m²/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).

		Modelo de Lo GLM			Modelo Multinomial		
		Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV
1992	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	14.65	21.144	31.4	13.09	17.099	31.6
	Área desove (mn ²)	10332			10332		
	Área Total (mn ²)	17055			17055		
	BIOMASA (ton)	314232	1.03E+10	32.3	280714	8.32E+09	32.5
1995	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	15.03	20.666	30.2	7.05	3.903	28.0
	Área desove (mn ²)	13315			13315		
	Área Total (mn ²)	18137			18137		
	BIOMASA (ton)	465696	2.17E+10	31.6	218468	4.16E+09	29.5
1996	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	10.24	15.391	38.3	11.65	19.726	38.1
	Área desove (mn ²)	10698			10698		
	Área Total (mn ²)	18353			18353		
	BIOMASA (ton)	253356	1.05E+10	40.5	288152	1.35E+10	40.3
1997	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	20.46	43.397	32.2	11.63	11.539	29.2
	Área desove (mn ²)	14660			14660		
	Área Total (mn ²)	19627			19627		
	BIOMASA (ton)	744838	6.62E+10	34.5	423654	1.81E+10	31.7
1999	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	18.68	144.297	64.3	14.43	82.382	62.9
	Área desove (mn ²)	7525			7525		
	Área Total (mn ²)	27374			27374		
	BIOMASA (ton)	973292	3.94E+11	64.5	751810	2.25E+11	63.1
2000	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	22.73	40.155	27.9	27.55	58.729	27.8
	Área desove (mn ²)	13059			13059		
	Área Total (mn ²)	19539			19539		
	BIOMASA (ton)	608087	3.11E+10	29.0	737217	4.54E+10	28.9
2001	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	18.67	682.528	139.9	4.73	42.928	138.6
	Área desove (mn ²)	4026			4026		
	Área Total (mn ²)	25921			25921		
	BIOMASA (ton)	765885	1.20E+12	142.7	193857	7.52E+10	141.5
2002 (*)	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	26.30	36.269	22.9	22.44	25.137	22.3
	Área desove (mn ²)	18309			18309		
	Área Total (mn ²)	30264			30264		
	BIOMASA (ton)	1503911	1.30E+11	24.0	1283127	9.05E+10	23.4
2003	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	31.50	272.686	52.4	12.13	46.367	56.1
	Área desove (mn ²)	7852			7852		
	Área Total (mn ²)	26986			26986		
	BIOMASA (ton)	1238731	4.41E+11	53.6	477004	7.46E+10	57.3
2004 (*)	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	15.18	40.323	41.8	17.19	47.035	39.9
	Área desove (mn ²)	9193			9193		
	Área Total (mn ²)	30152			30152		
	BIOMASA (ton)	668979	8.08E+10	42.5	757385	9.46E+10	40.6
2005 (*)	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	32.43	114.620	33.0	20.84	51.045	34.3
	Área desove (mn ²)	12521			12521		
	Área Total (mn ²)	30368			30368		
	BIOMASA (ton)	1520754	2.64E+11	33.8	977285	1.17E+11	35.0
2006	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	18.54	55.595	40.2	16.35	41.706	39.5
	Área desove (mn ²)	14117			14117		
	Área Total (mn ²)	41182			41182		
	BIOMASA (ton)	1081156	1.96E+11	40.9	953115	1.47E+11	40.2
2007	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	6.45	25.182	0.8	5.41	16.654	75.4
	Área desove (mn ²)	6439			6439		
	Área Total (mn ²)	38269			38269		
	BIOMASA (ton)	240727	3.54E+10	78.2	202088	2.34E+10	75.7
2008	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	20.02	140.661	59.0	5.31	13.335	69.0
	Área desove (mn ²)	7594			7594		
	Área Total (mn ²)	35264			35264		
	BIOMASA (ton)	532132	1.02E+11	60.0	141270	9.60E+09	69.4
2009	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	6.77	291.607	252.4	5.07	230.343	299.1
	Área desove (mn ²)	1743			1743		
	Área Total (mn ²)	38289			38289		
	BIOMASA (ton)	287916	5.28E+11	252.4	215886	4.17E+11	299.2
2011	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	22.54	38.880	27.7	19.11	25.467	26.4
	Área desove (mn ²)	15771					
	Área Total (mn ²)	34736					
	BIOMASA (ton)	795056	5.15E+10	28.5	673857	3.39E+10	27.3
2012	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	22.54	56.476	33.3	14.32	20.232	31.4
	Área desove (mn ²)	14356					
	Área Total (mn ²)	32291					
	BIOMASA (ton)	672077	5.19E+10	33.9	427071	1.87E+10	32.0
2013	P0 (Nº/0.05 m ² /día) ponderado	16.23	70.376	51.7	17.18	83.571	53.2
	Área desove (mn ²)	14356					
	Área Total (mn ²)	32291					
	BIOMASA (ton)	520336	7.42E+10	52.4	550629	8.80E+10	53.9

Tabla 22.

Análisis de devianza para los efectos de las covariables en el ajuste del modelo GAM para la densidad de huevos de anchoveta. Desde los años 1995 a 1997, 1999 al 2009, 2011 al 2013.

	edf	Deviance			AIC	p-value
		Residual	Delta	% Expl.		
Modelo Poisson-Compuesto						
Intercepto	1	169.460	-	-	42.159	-
s(Latitud (°S))	9,8	158.742	10.718	23%	41.768	< 0.01
s(Longitud (°W))	9,7	149.905	19.555	42%	41.415	< 0.01
s(Temperatura (°C))	9,3	167.212	2.248	5%	42.092	< 0.01
s(Salinidad (psu))	9,5	159.938	9.522	20%	41.814	< 0.01
Año	17,0	164.948	4.512	10%	42.022	< 0.01
s(Lat) + s(Lon) + s(TSM) + s(Sal) + Año	51,3	135.938	33.522	19,8%	40.904	< 0.01
Total deviance explained: 19,8%						

Tabla 23.

Razón entre la devianza explicada por el único predictor ambiental y la del modelo nulo para los diferentes años del periodo de estudio.

Años	Temperatura	Salinidad
1995	0.077	0.068
1996	0.118	0.084
1997	0.054	0.041
1999	0.122	0.092
2000	0.018	0.046
2001	0.108	0.207
2002	0.085	0.127
2003	0.110	0.105
2004	0.039	0.088
2005	0.038	0.040
2006	0.019	0.017
2007	0.079	0.104
2008	0.321	0.357
2011	0.012	0.026
2012	0.085	0.154
2013	0.035	0.016

Tabla 24.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para las curvas derivadas de la densidad de huevos de anchoveta y las variables ambientales.

Años	Temperatura		Salinidad	
	Estadístico	Probabilidad	Estadístico	Probabilidad
1995	0.333	0.0071	0.266	0.236
1996	0.266	0.2365	0.166	0.798
1997	0.433	0.0072	0.300	0.134
1999	0.500	0.0011	0.266	0.236
2000	0.333	0.0713	0.266	0.236
2001	0.333	0.0713	0.200	0.586
2002	0.433	0.0072	0.300	0.134
2003	0.433	0.0072	0.333	0.071
2004	0.433	0.0072	0.233	0.387
2005	0.433	0.0072	0.333	0.071
2006	0.433	0.0072	0.300	0.134
2007	0.266	0.2365	0.200	0.586
2008	0.333	0.0713	0.166	0.798
2011	0.566	0.0001	0.333	0.071
2012	0.600	0.0000	0.266	0.236
2013	0.500	0.0011	0.300	0.134

Tabla 25.

Resumen del modelo no-lineal con efectos mixtos para el ajuste del variograma considerando todos los parámetros (nugg, psil y rang) como efectos combinados.

AIC	BIC	LogLik
-1584.579	-1549.774	802.2897

Randomeffects			
	Std.Dev	Corr	
nugg	0.0103124		psil
psil	0.0370197	0.837	
rang	6.9264524	0.806	0.354
Residuals	0.0064804		

Fixedeffects					
	Value	Std.Error	df	t-value	p-value
nugg	0.05043	0.00409	222	12.329	0
psil	0.12483	0.00977	222	12.768	0
rang	23.0102	1.99118	222	11.556	0

Correlation		
	nugg	psil
psil	0.277	
rang	0.742	0.195

StandardizedWithin-GroupResiduals				
min	q1	med	q3	max
-5.37616	-0.61629	0.02246	0.59554	3.25002

Tabla 26.

Resumen del modelo no-lineal con efectos mixtos para el ajuste del variograma considerando el efecto pepita (nugg) y el rango (rang) como efectos fijos y el umbral parcial (psil) como efecto aleatorio.

AIC		BIC		LogLik	
-1514.131		-1496.728		762.0655	
Randomeffects					
		psil		Residual	
StdDev		0.045106		0.008325	
Fixedeffects					
	Value	Std.Error	df	t-value	p-value
nugg	0.05638	0.00362	222	15.560	0
psil	0.11837	0.01187	222	9.9727	0
rang	24.1874	1.05746	222	22.873	0
Correlation					
		nugg		psil	
psil			-0.285		
rang			0.767		-0.190
StandardizedWithin-GroupResiduals					
min	q1	med	q3	max	
-4.23006	-0.52203	-0.04247	0.58204	4.11567	

Tabla 27.

Parámetros del modelo exponencial del variograma para anchoveta durante el periodo de estudio, los efectos aleatorios son mostrados en negrita e itálica.

Años	efecto pepita	umbral parcial	rango
1995	0.05638	<i>0.15835</i>	24.1874
1996	0.05638	<i>0.11951</i>	24.1874
1997	0.05638	<i>0.14139</i>	24.1874
1999	0.05638	<i>0.09503</i>	24.1874
2000	0.05638	<i>0.20563</i>	24.1874
2001	0.05638	<i>0.04468</i>	24.1874
2002	0.05638	<i>0.15461</i>	24.1874
2003	0.05638	<i>0.12383</i>	24.1874
2004	0.05638	<i>0.15599</i>	24.1874
2005	0.05638	<i>0.14800</i>	24.1874
2006	0.05638	<i>0.11124</i>	24.1874
2007	0.05638	<i>0.04359</i>	24.1874
2008	0.05638	<i>0.05304</i>	24.1874
2011	0.05638	<i>0.15336</i>	24.1874
2012	0.05638	<i>0.11118</i>	24.1874
2013	0.05638	<i>0.07458</i>	24.1874

A N E X O S

ANEXO 1

Instructivo de muestreo: Utilizado 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 RECOLECCIÓN DE DATOS

Por cada lance de pesca los Observadores Científicos (**OC**) deberán registrar toda la información requerida en los formularios oficiales de Bitácora de Pesca Embarcaciones Cerqueras (FD-3/IT-2/PD-4), Muestreo longitud de peces (FD-6/IT-1/PE-7-2) y Muestreo Proporción de Especies (FD-7/IT-1/PE-7-2).

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 propósitos:

- a. Proporción 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 información:

-  Nombre del Barco
-  Fecha del Lance
-  Número del Lance
-  Hora del Lance

Nota: Se debe guardar el total de hembras solicitadas; en caso contrario dicho lance no podrá ser incluido en el análisis

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 diseñadas para dicho fin con su respectiva etiqueta. Una vez separadas las dos mallas (machos y hembras), se deberán depositar en los bidones que contienen formalina diluida al 10 %.

Registrar el número 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, capítulo VIII, punto 2.2 Muestreo de Longitud. La fauna acompañante debe recibir el mismo tratamiento debiendo registrar la información 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 recolección 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 ningún 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 deberá hacer un pequeño corte (no más de 1 cm) en la zona abdominal, procurando no dañar la gónada. Por cada lance se deben almacenar estos ejemplares en un bidón de 20 litros con formalina al 10% tamponada con carbonato de calcio. Asegurar que la formalina cubra totalmente los ejemplares muestreados.

El bidón debe ser rotulado con una etiqueta de papel escrita con plumón indeleble de tal manera que sea fácil su identificación, debiendo contener a lo menos la siguiente información:

- **Nombre de la Embarcación**
- **Fecha de recalada**
- **Número 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 recalca 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 radio operador de la empresa pesquera, los **OC** deben informar a IFOP para que los retiren, para evitar el extravío de las muestras e información.

Se deben 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 Solís	Coordinador General	carlos.gaspar@ifop.cl	(57) 413579	(57) 411944
Iquique	Eduardo Díaz Ramos	Encargado laboratorio Histología	eduardo.diaz@ifop.cl	(57) 413579 (57) 422216	(57) 411944
Arica	Luis García Madariaga	Observador científico	arica@ifop.cl	(58) 232401	(58) 258051
Mejillones	Juan Almazábal García	Observador científico		(55) 621635	(55) 621635

Material de trabajo asignado a cada observador cient3fico

- 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 PLUM3N
- 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)

ANEXO 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 9001/2008 (**SGC ISO 9001**), los que han sido 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 el Departamento de Informática (DI) ha incorporado tecnologías de punta para el ingreso, transmisión, gestión y administración electrónica de información (Sistema Multiplataforma, netbooks, PC, servidores, ingresadores, sistemas de gestión y validadores electrónicos de información).

SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD ISO 9001/2008.

El sistema de gestión de calidad ISO 9001/2008 es un conjunto de procedimientos documentados institucionales, 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**).

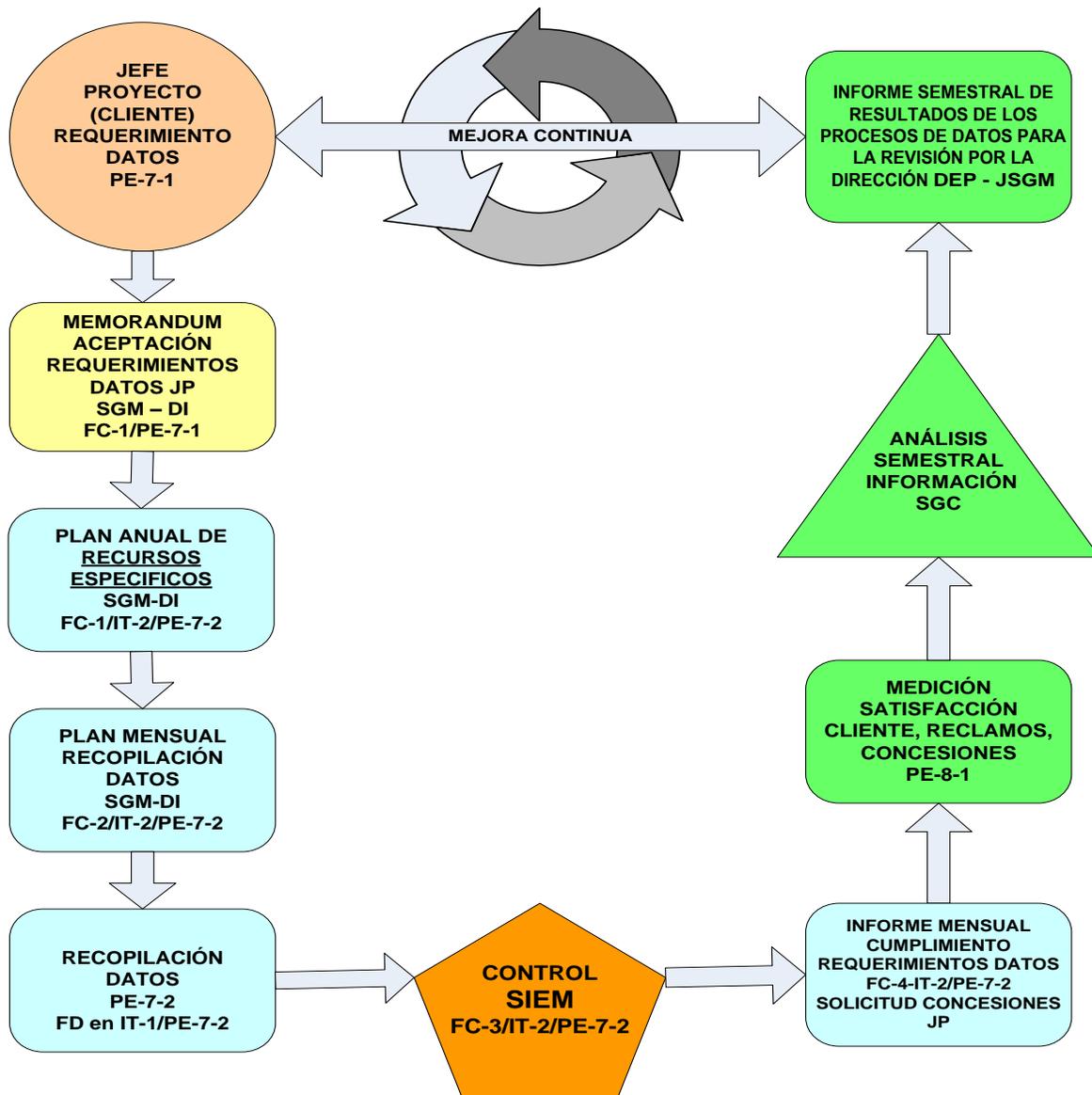


Figura 1. Secuencia de los procedimientos planificación y control de la generación de datos de acuerdo con el Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001/2008.

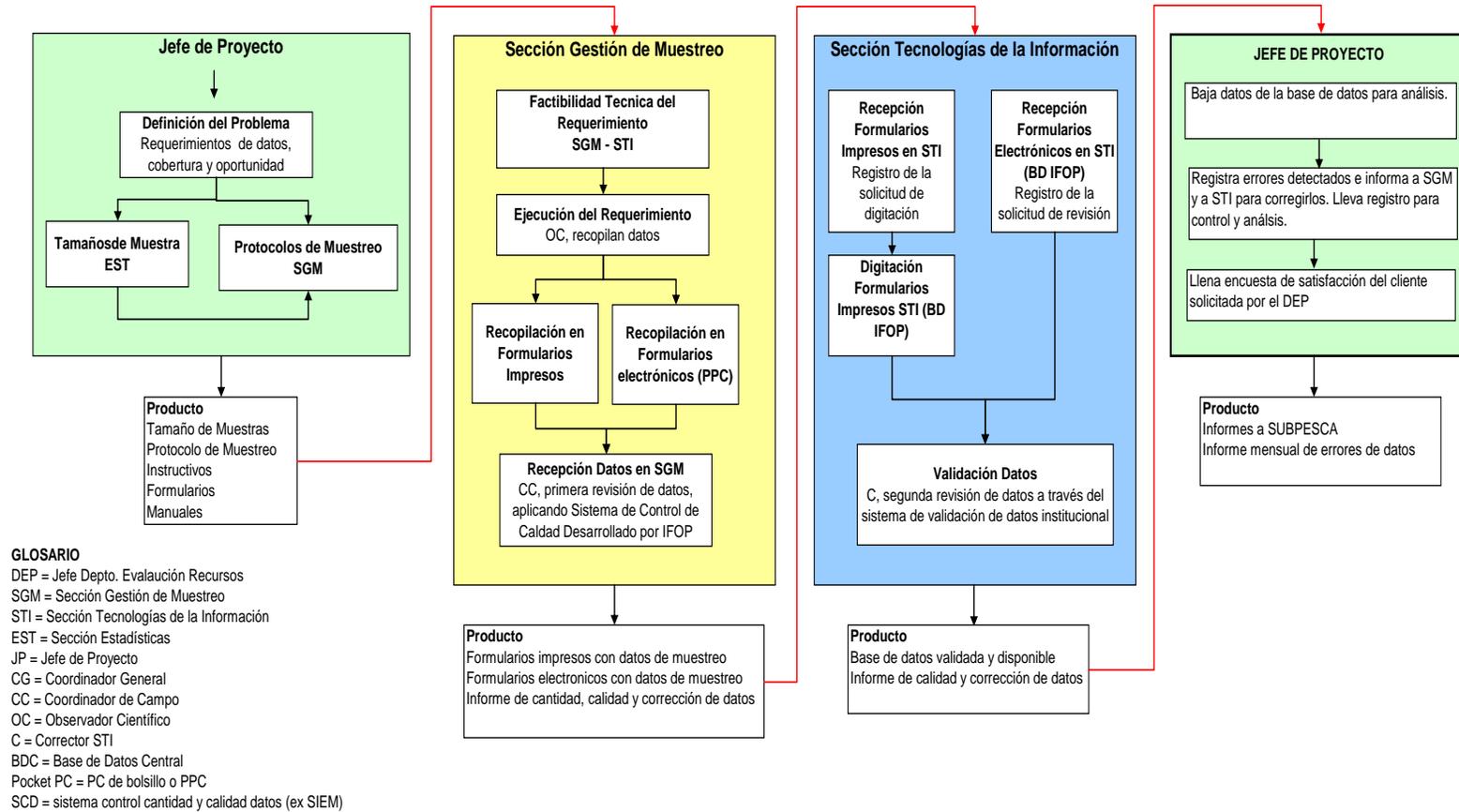


Figura 2. Diagrama funcional de los procedimientos de generación de datos y control de calidad.

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, quienes 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.

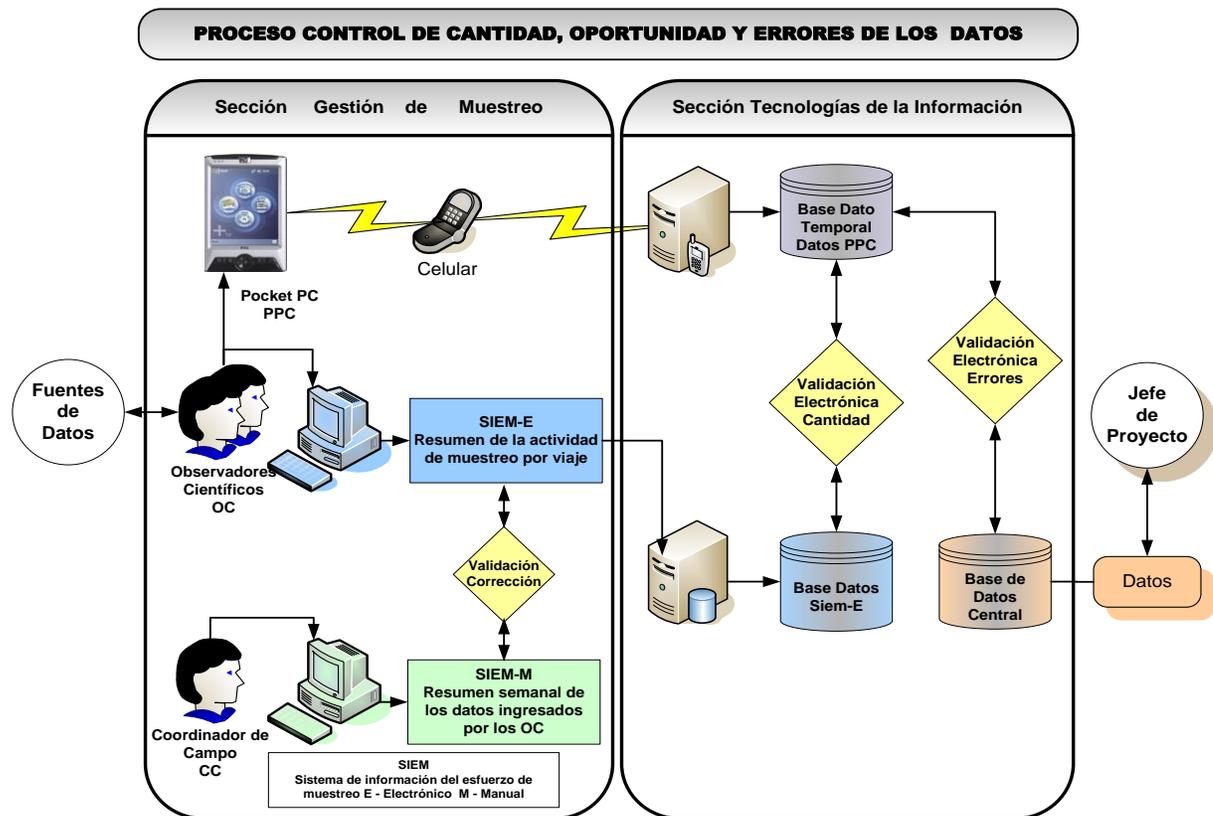


Figura 3. Diagrama de flujo de los procesos de control de cantidad, oportunidad y errores de datos.

ANEXO 3

Taller 1. Coordinación de Actividades
(23 julio, 2013).

Taller 2. Presentación de Resultados
(01 abril, 2014).

(Se adjunta CD con Presentaciones del Taller)

Taller 1: Coordinación de Actividades
(23 de julio de 2013)

TALLER CORDINACIÓN DE ACTIVIDADES

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO (IFOP)
 FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA (FIP)
 SUBSECRETARÍA DE PESCA (SUBPESCA)



TALLER DE COORDINACIÓN
 PROYECTO FIP 2013-06

Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2013

Martes 23 de julio, 2013
 Sala de reuniones segundo piso, IFOP.

N°	Nombre	Mail	Institución	Firma
16	MAWÍ ZAVANDO	ma.wz@subpesca.cl	FIP	
17	Zaida Young	zaida.young@ifop.cl	IFOP	
18	Sygio Piro	Sygio.piro@ifop.cl	FIP	
19	JORGE OLIVERA L.	jalira.3@gmail.com	INPESE	
20	Alegría Odeves	aldeves@subpesca.cl	SUBPESCA	
21	Jorge Castillo	jorge.castillo@ifop.cl	IFOP	
22	Herman Reyes	herman.reyes@ifop.cl	IFOP	
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				

www.ifop.cl

Taller 2: Presentación de Resultados
(01 de abril, 2014)

TALLER PRESENTACI3N DE RESULTADOS

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO (IFOP)
FONDO DE INVESTIGACI3N PESQUERA (FIP)

Taller: Presentaci3n de resultados



“Evaluaci3n del stock desovante de anchoveta
en la XV, I y II Regiones, a3o 2013”

FIP: 2013-06

Valparaíso,
martes 1 de abril de 2014

Lugar:
Asociaci3n Chilena de
Seguridad
Edwards # 150, esquina Avda. Brasil, Valparaíso

Agenda

09:30 a 09:40

Bienvvenida y Presentaci3n del Proyecto

Sr. Hernán Reyes R. (IFOP)

09:40 a 10:40

Modelamiento estadístico y distribuci3n espacial de huevos
de anchoveta asociada a variables oceanográficas (Objetivo 8).

Sr. Juan Carlos Saavedra N. (IFOP).

10:40 a 11:10

Monitoreo reproductivo que fundament3 el inicio del crucero.

Sr. Eduardo DÍaz R. (IFOP).

11:10 a 11:20 Café ☕

11:20 a 12:00

Abundancia y Distribuci3n de huevos de anchoveta (Objetivo 1).

Sra. Vivian Valenzuela C. (IFOP).

12:00 a 12:30

Condiciones Oceanográficas asociadas al crucero de huevos
(Objetivo 2).

Sra. Milena Pizarro R. (IFOP).

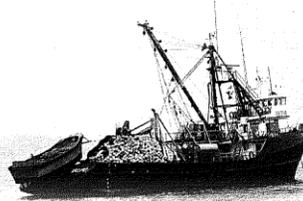
12:30 a 13:30

Estimaci3n de parámetros de Adultos (Proporci3n sexual en peso,
producci3n diaria de huevos, fecundidad parcial, proporci3n
de estadios de madurez y biomasa del stock desovante de
anchoveta) (Objetivos 3, 4, 5, 6 y 7).

Sr. Gabriel Claramunt Q. (UNAP-Iquique).



Taller:
Presentación
de resultados



“Evaluación del stock desovante de
anchoveta en la XV, I y II
Regiones, año 2013”
FIP: 2013-06

Asistencia

Valparaíso, martes 1 de abril de 2014

N°	Nombre	Mail	Institución	Firma
1	MUSIVA Pizarro		IFOP	[Firma]
2	Angelica Larra		IFOP	[Firma]
3	Jorge Anwar	Jorge.ANWAR@IFOP.CL	IFOP	[Firma]
4	Guillermo Garrido		IFOP	[Firma]
5	Gabriel Claramunt		UNAP	[Firma]
6	HERNAN MILAS U	HERNAN.MILAS@ifop.cl	IFOP	[Firma]
7	EDUARDO DIAZ	EDUARDO.DIAZ@ifop.cl	IFOP	[Firma]
8	Hernán Reyes	hernan.reyes@ifop.cl	IFOP	[Firma]
9	José Carlos Saavedra	juan.carlos.saavedra@ifop.cl	IFOP	[Firma]
10	Michael Depremontt	mdpremontt@selpe.cl	FIP	[Firma]
11				
12				
13				
14				
15				



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N INVESTIGACI3N PESQUERA



Presentación del proyecto
FIP N° 2013-06

Taller:

Presentación de resultados



www.ifop.cl



*“Evaluación del stock desovante de anchoveta
en la XV, I y II Regiones, año 2013”*

FIP: 2013-06

Valparaíso,
martes 1 de abril de 2014

INSTITUCIONES PARTICIPANTES MPH 2013

Instituto de Fomento Pesquero

**Universidad Arturo Prat – Iquique
(Subcontrato)**

Objetivo general

Cuantificar mediante la aplicación del método de producción de huevos (MPH) la biomasa desovante de anchoveta, comprendida en la zona costera desde el límite norte de Chile hasta los $26^{\circ}03'$ 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.

Etapas del proyecto MPH 2013:

- Taller de coordinación : 23 de julio 2013
- Crucero de muestreo (Huevos y adultos): 14 agosto a 9 septiembre
- Informe de avance : 22 de octubre 2013
- ☐ Taller de presentación de resultados: 1 de abril 2014
- ❖ Pre Informe final : 14 de abril 2014
- ❖ Informe Final : 14 de junio 2014

CRUCERO

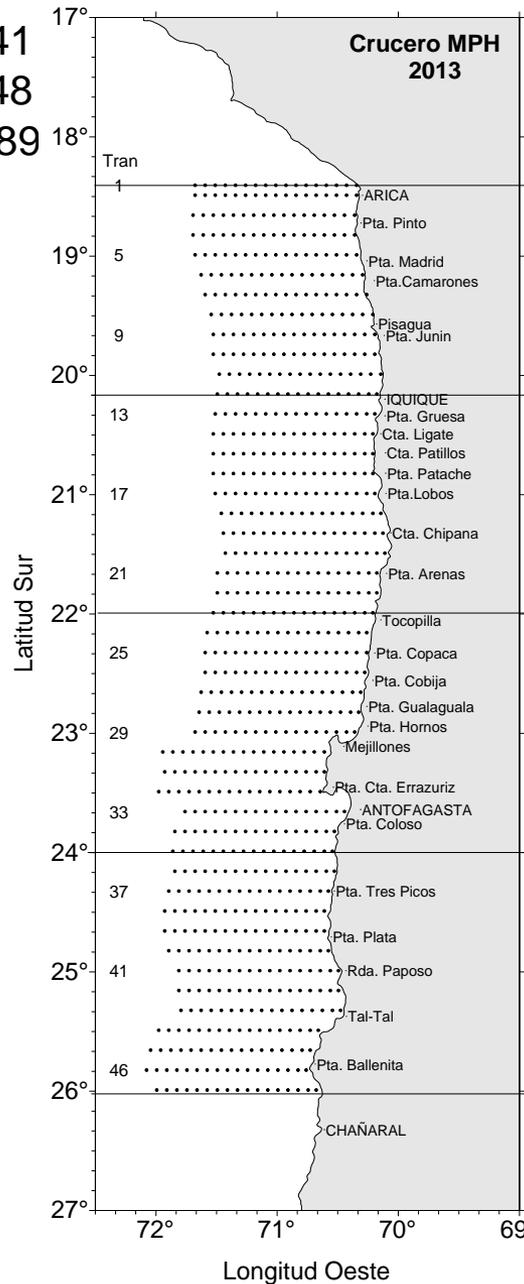
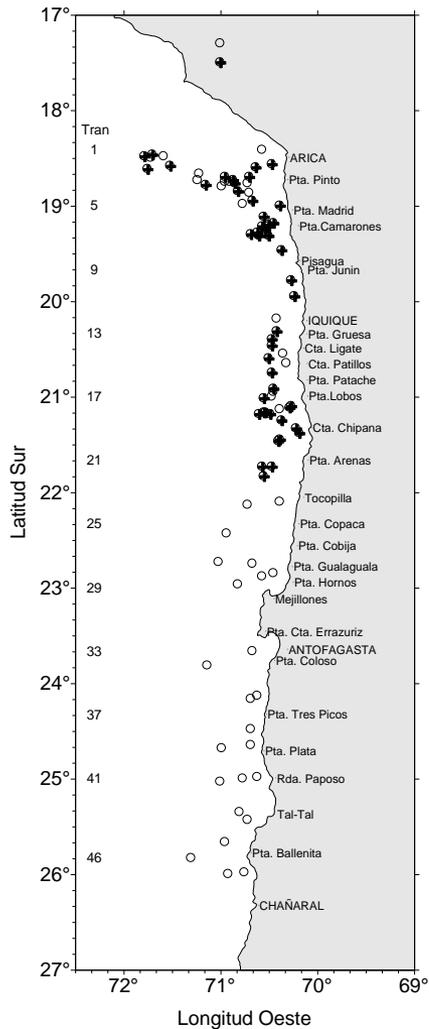
Crucero de muestreo (Huevos y adultos):
14 agosto a 9 septiembre



Modulo Huevos : PAM RAULI (CORPESCA)

Modulo Adultos : - 4 buques PAM (3 Corpesca – 1 Camanchaca)

Cruceros: Lances negativos = 41
Fase adultos Lances positivos = 48
 Total lances = 89



Crucero MPH 2013

ZONA 1

Arica 18°21.03'S a Punta Guanera 20°10'S.
Nave : PAM CORMORAN
 1 Observador Cientifico IFOP

ZONA 2

Punta Guanera 20°10'S a Punta Aña 22°00'S.
Nave : PAM Claudia Alejandra
 1 Observador Cientifico IFOP

ZONA 3

Punta Aña 22°00'S a Punta Amarilla 24°00'S
Nave : PAM Don Gino
 1 Observador Cientifico IFOP

ZONA 4

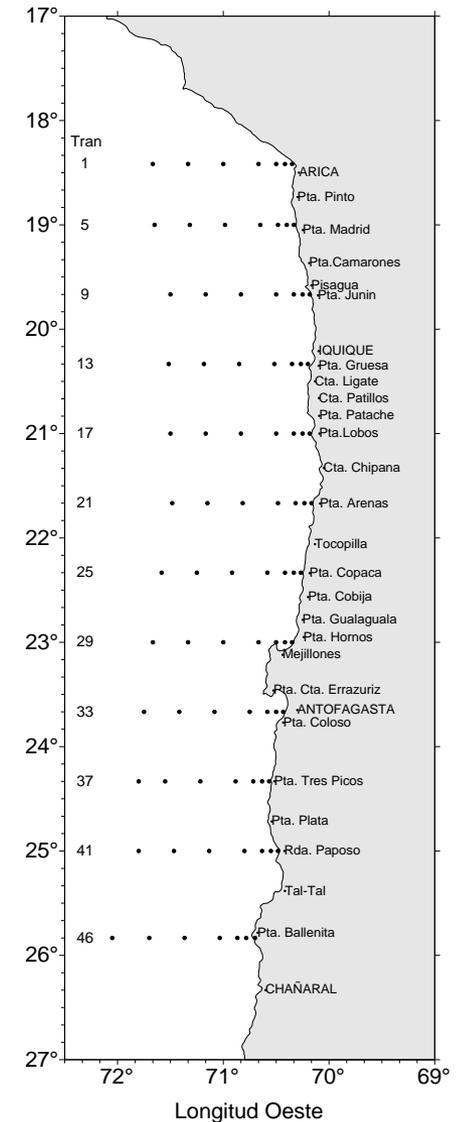
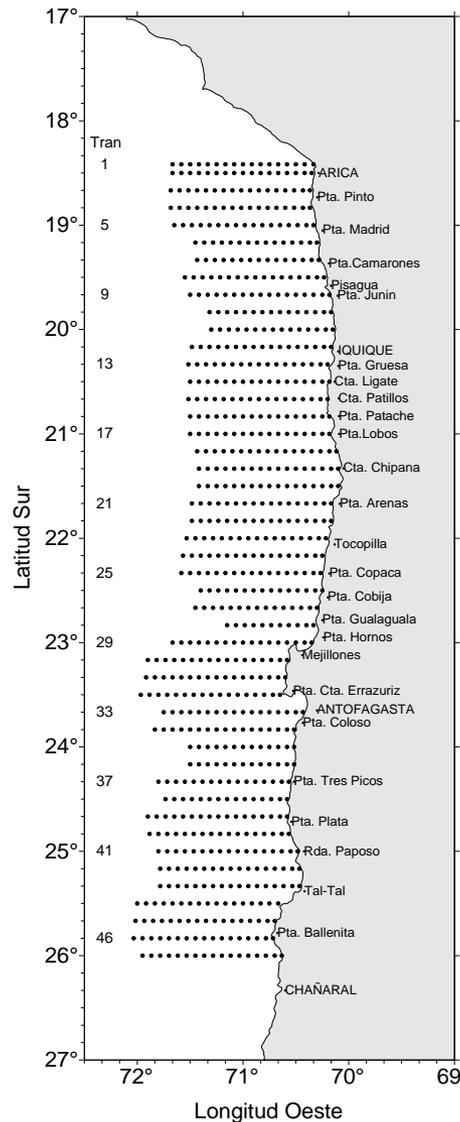
Punta Amarilla 24°00'S a Punta Carrizalillo 26°00'S
Nave : PAM BANDURRIA
 1 Observador Cientifico IFOP

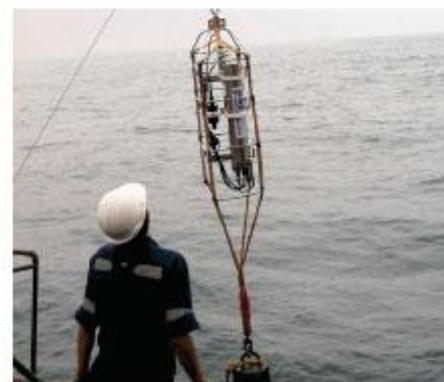
Cruceros: Fase huevos

- Estaciones huevos

-770 estaciones
(799 programadas) (96.3%)

-84 Est. Oceanográficas
(84 programadas)(100%)



09:30 a 09:40**Bienvenida y Presentación del Proyecto***Sr. Hernán Reyes R. (IFOP)***09:40 a 10:40****Modelamiento estadístico y distribución espacial de huevos de anchoveta asociada a variables oceanográficas (Objetivo 8).***Sr. Juan Carlos Saavedra N. (IFOP).***10:40 a 11:10****Monitoreo reproductivo que fundamentó el inicio del crucero.***Sr. Eduardo Díaz R. (IFOP).***11:10 a 11:20** Café ☕**11:20 a 12:00****Abundancia y Distribución de huevos de anchoveta (Objetivo 1).***Sra. Vivian Valenzuela C. (IFOP).***12:00 a 12:30****Condiciones Oceanográficas asociadas al crucero de huevos (Objetivo 2).***Sra. Milena Pizarro R. (IFOP).***12:30 a 13:30****Estimación de parámetros de Adultos (Proporción sexual en peso, producción diaria de huevos, fecundidad parcial, proporción de estadios de madurez y biomasa del stock desovante de anchoveta) (Objetivos 3, 4, 5, 6 y 7).***Sr. Gabriel Claramunt Q. (UNAP-Iquique).*

Bienvenidos

Modelamiento estadístico
FIP N° 2013-06

PROYECTO FIP N° 2013-06

Modelamiento estadístico y distribución espacial de huevos de anchoveta asociada a variables oceanográficas

Victor Catasti

Juan Carlos Saavedra-Nievas

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.

ANALISIS INTEGRADO DE LA INFORMACION

18 Cruceros – 1992 a 2013

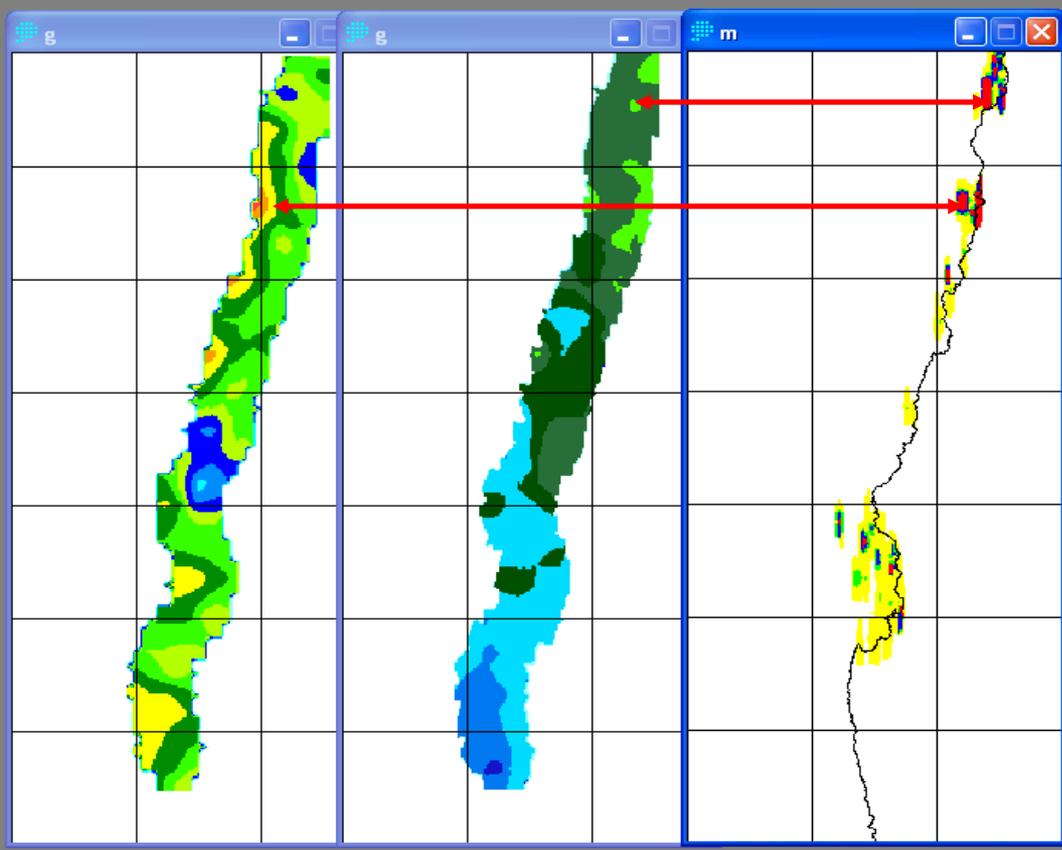


**Sistemas de Información
Geográficos (SIG)**

- Método
- Resultados

Modelamiento GAM

- Método
- Resultados



Resolución espacial
 Latitudinal 1,0 mn
 Longitudinal 0,5 mn

Composer

- ✓ adultr
- ✓ g
- ✓ m

Add Layer
 Remove Layer
 Layer Properties
 Map Properties
 Feature Properties
 Save Print

Índice de Ocupación

$$IOC_i = \frac{NC_i}{NT}$$

NC_i = número de pixeles por categorías
 NT_i = número total de pixeles

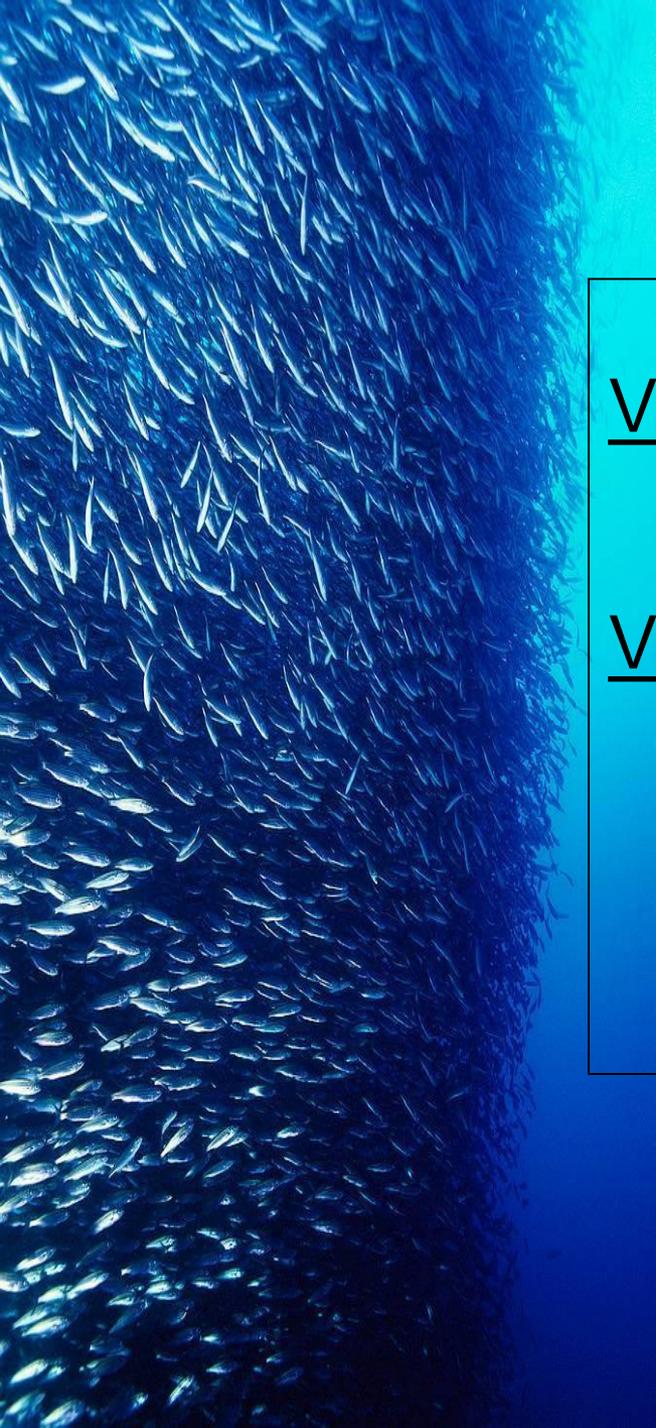
Índice de Cramer

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^r \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \rightarrow \chi^2_{(c-1)(r-1)}$$

O_{ij} Número de pixeles observados de la categoría (i, j)
 E_{ij} Número de pixeles esperados de la categoría (i, j).

Centro Gravedad

$$CGn = \frac{\sum_{i=1}^m (Lat(Long_{in}) * Den_{in})}{\sum_{i=1}^m (Den_{in})}$$

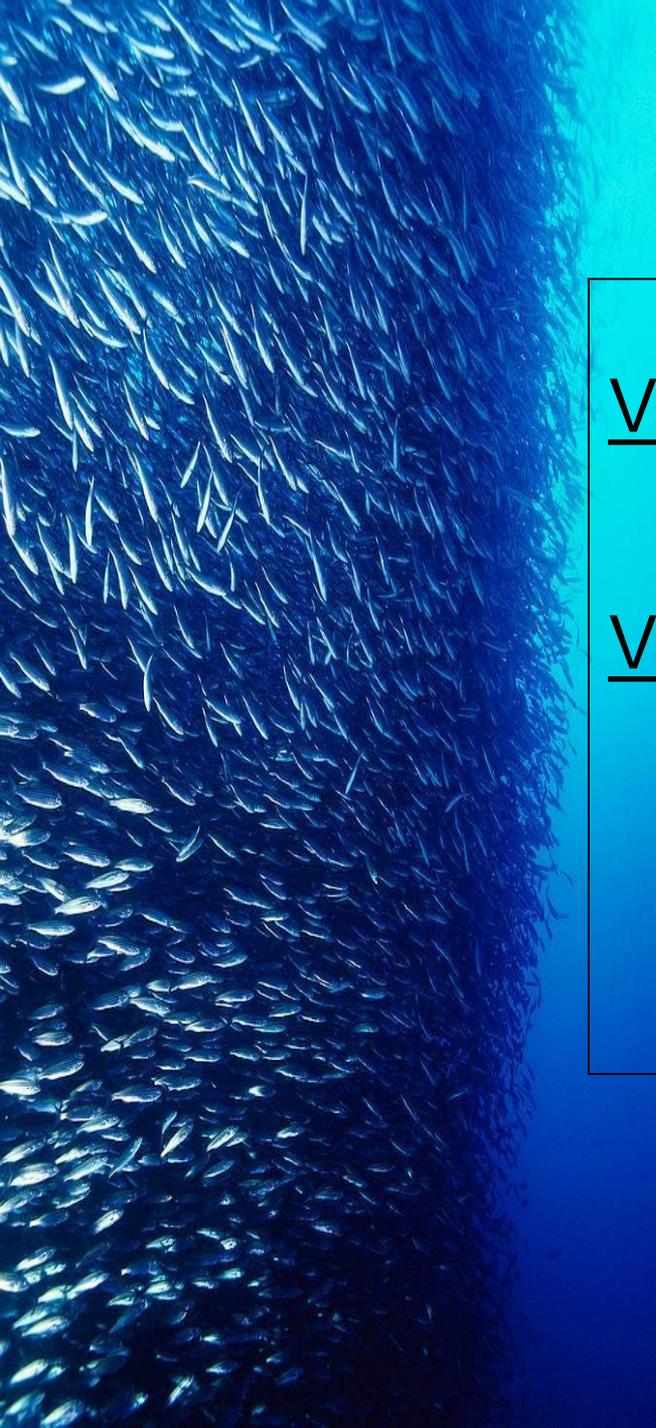


Variable de interés

- Ictioplancton de anchoveta

Variables explicativas

- Temperatura (°C)
- Salinidad (psu)



Variable de interés

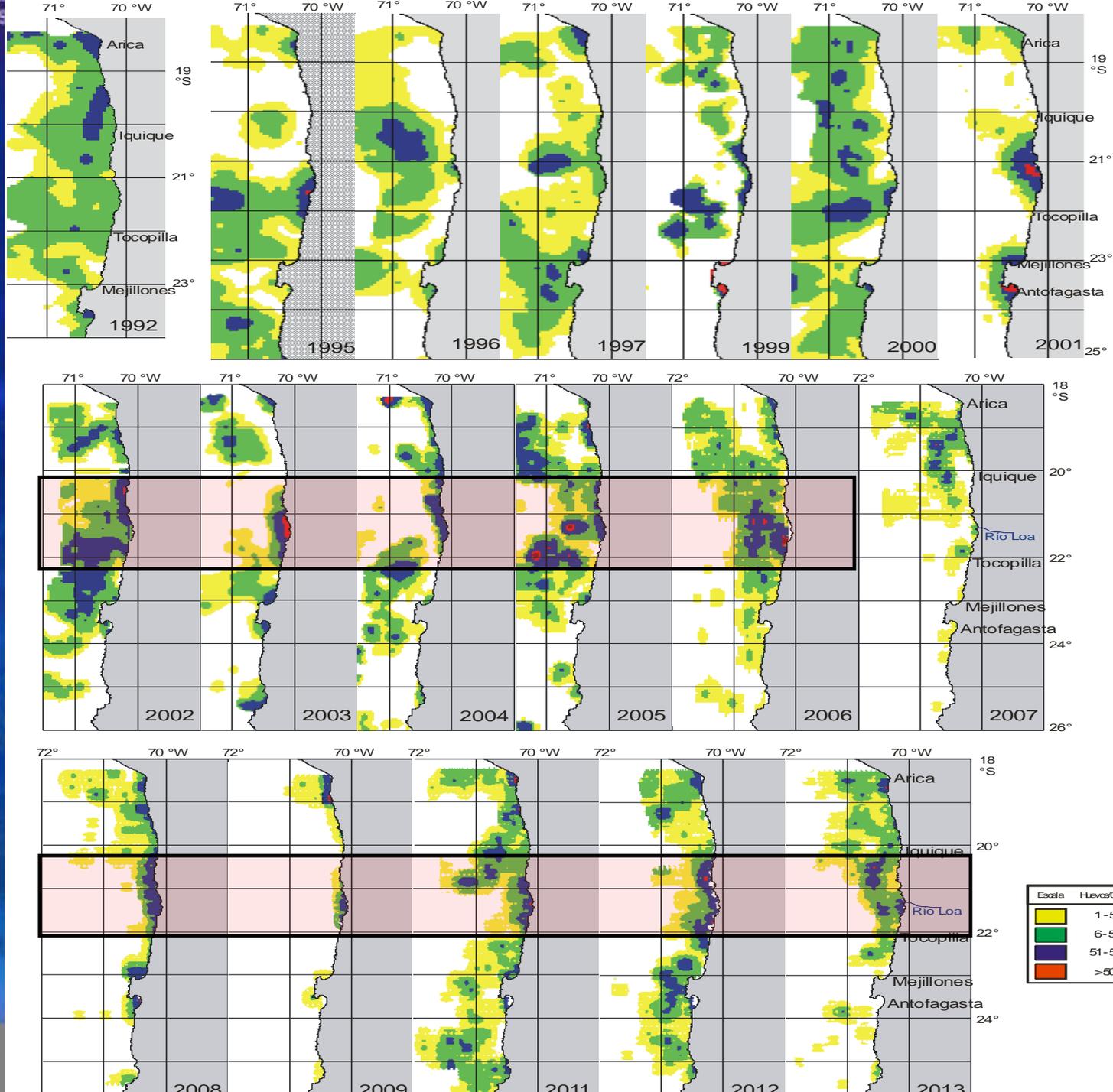
- Ictioplancton de anchoveta

Variables explicativas

- Temperatura (°C)
- Salinidad (psu)
- Posición (Latitud, Longitud)

CRUCEROS 1992-2013

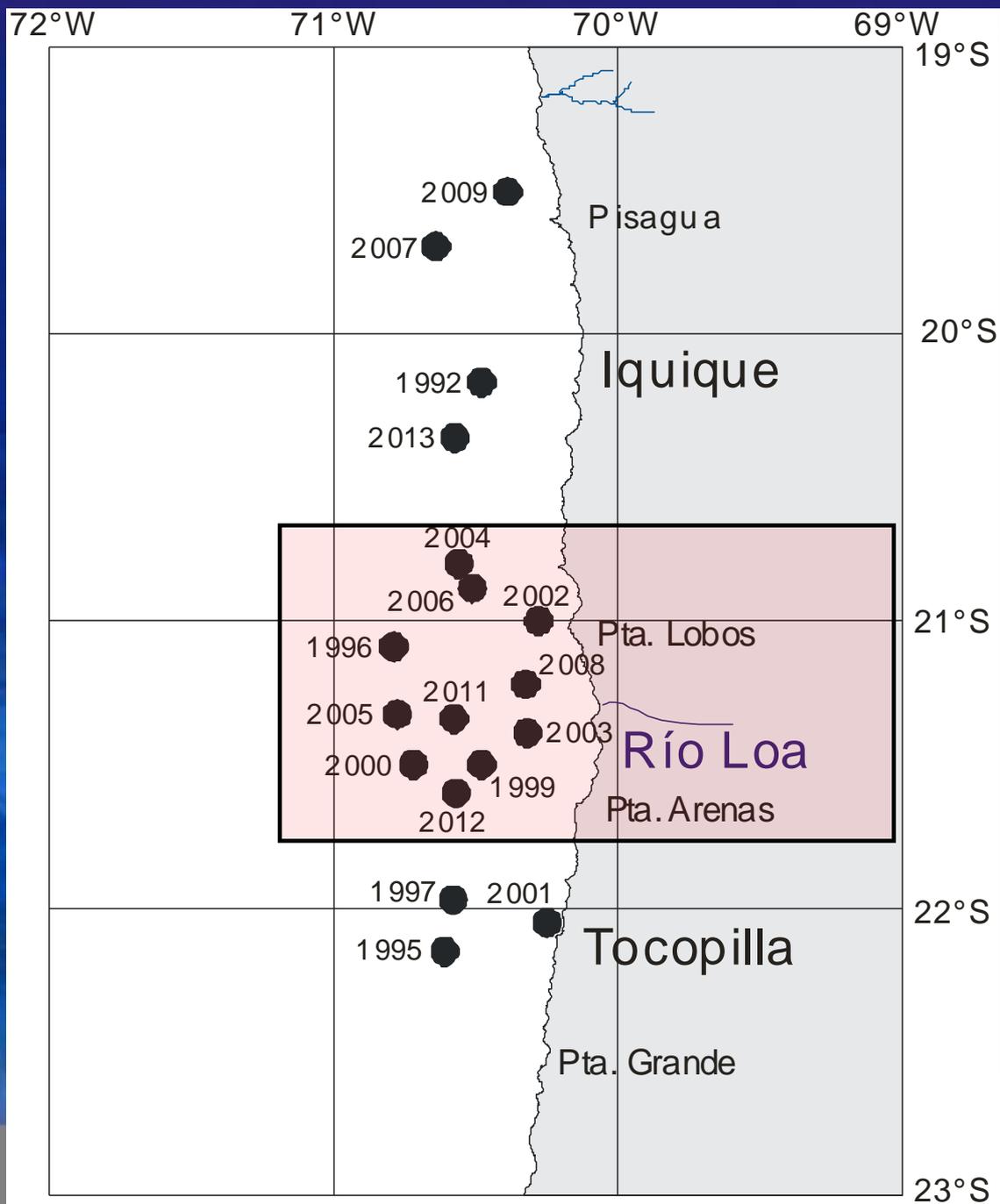
Principal zona de desove, concordante con Pizarro *et al.*, (1998), que plantean que la desembocadura del río Loa es un sector de alta producción biológica y mencionan que frente a ésta desemb. se han encontrado históricamente concentraciones importantes de huevos y larvas de la especie.



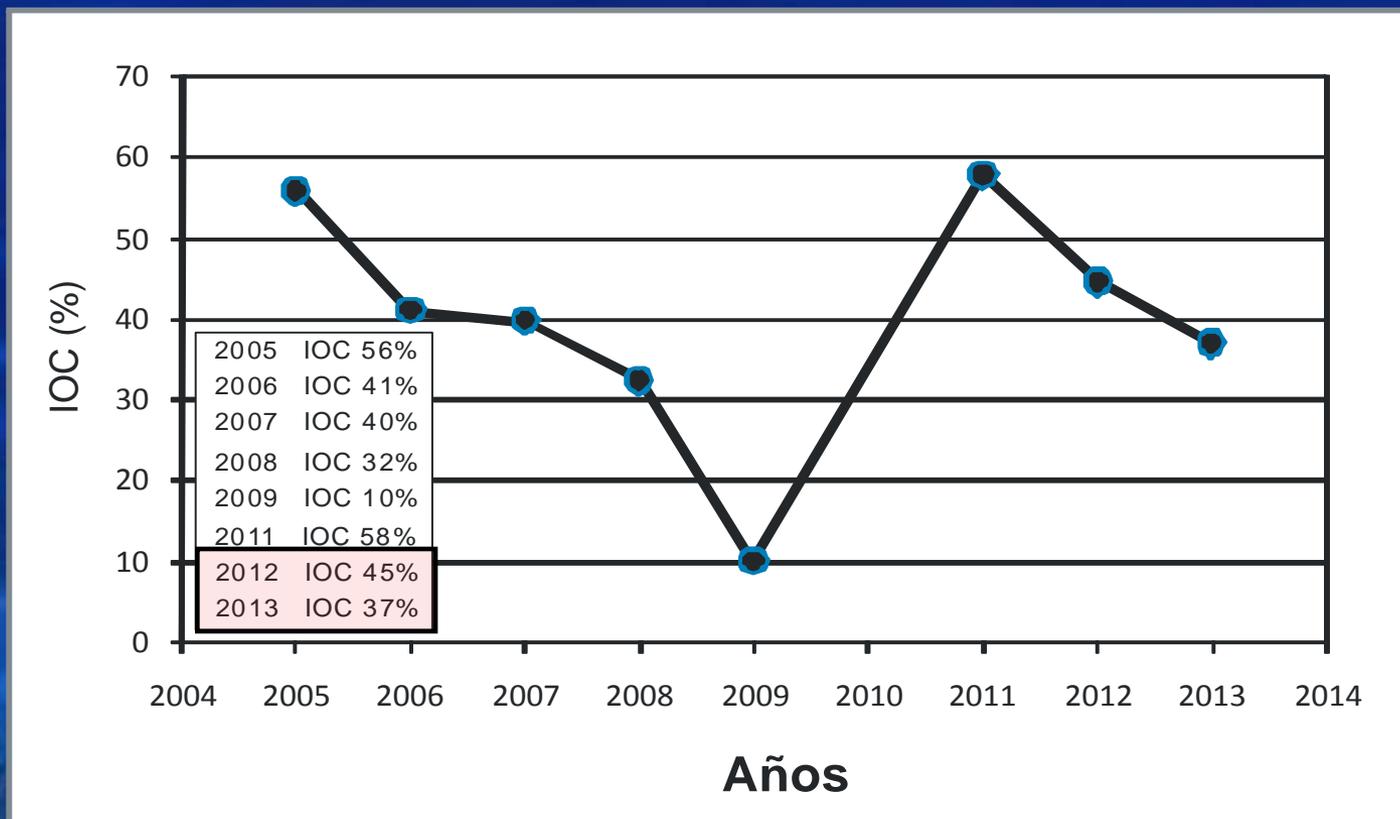
Centros de Gravedad

Los CG se ubicaron preferentemente en sectores costeros en las primeras 10 mn de la costa.

Preferentemente en los alrededores de Pta. Lobos.

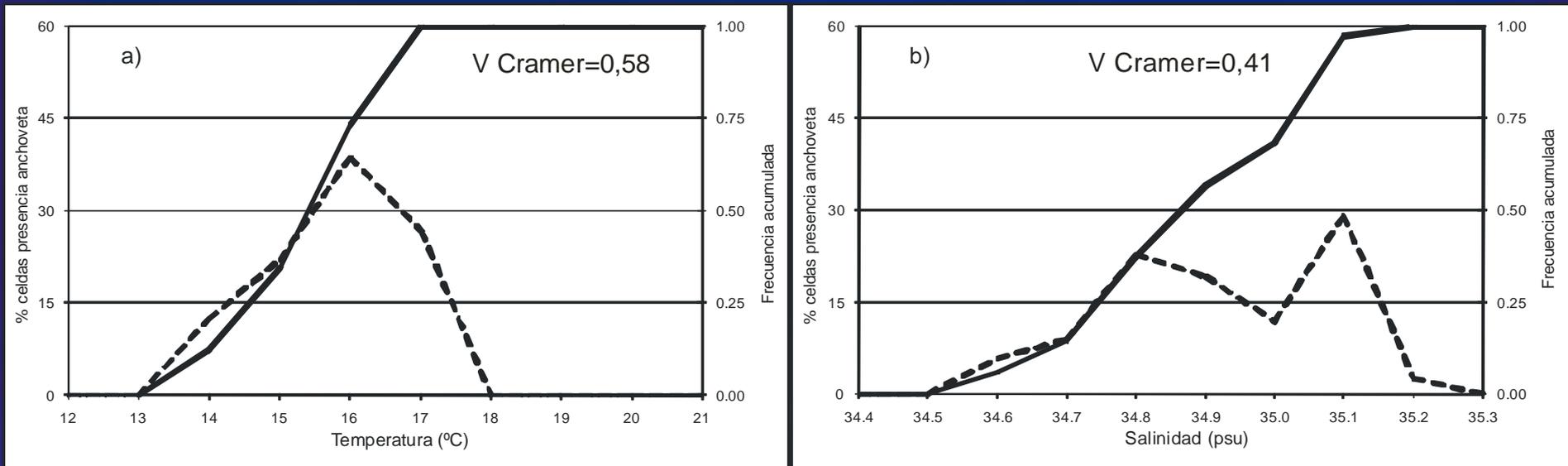


Índices de Ocupación



En los años 2011-2012 el índice de ocupación reveló un gran aumento y alcanzó un 58% del área prospectada, valor que indicó un gran incremento de la cobertura espacial respecto de años anteriores, siendo el mayor del período analizado. El año 2013 la distribución espacial disminuyó y alcanzó un IOC de 37%.

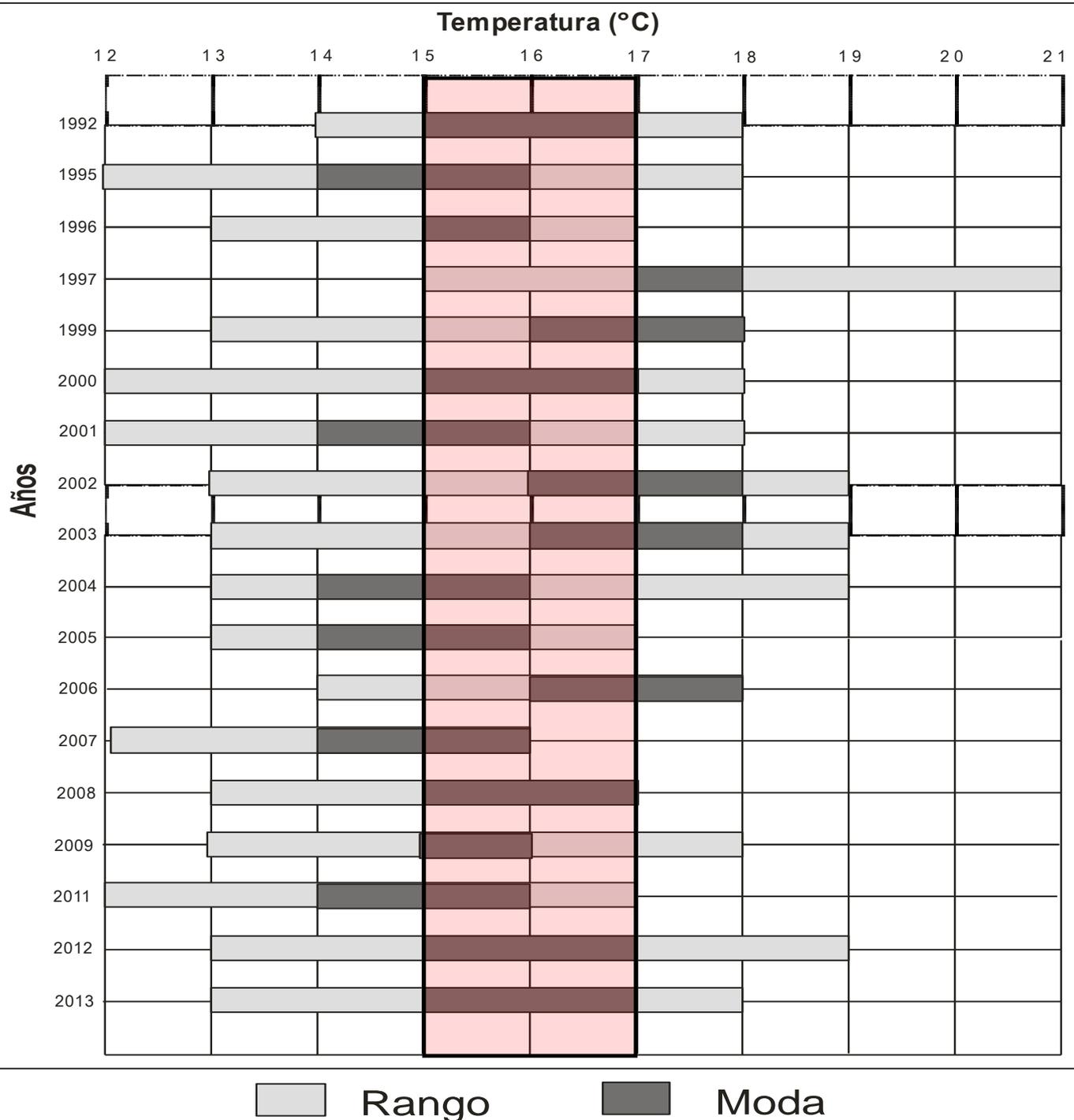
Índices de Cramer



Para el crucero 2013, el índice de Cramer reveló asociación entre el ictioplancton y las variables ambientales evaluadas, rechazando la hipótesis de nula asociación.

Los resultados indican la temperatura, con un índice de Cramer de 0,58, presenta el mayor grado de asociación, en contraste a la salinidad con un IC 0,41.

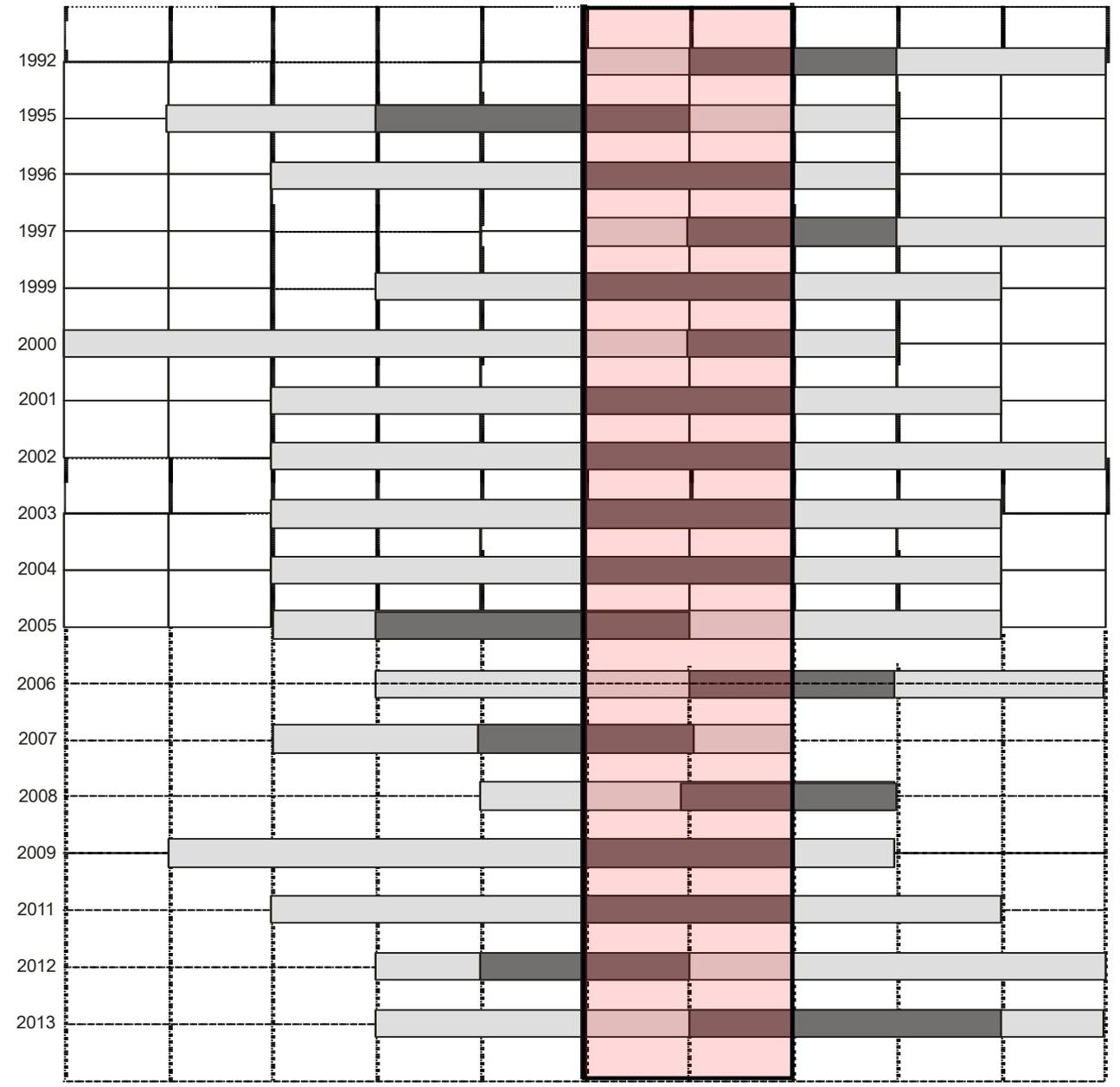
HISTOGRAMA TEMPERATURA



Salinidad (psu)

34.2 34.3 34.4 34.5 34.6 34.7 34.8 34.9 35.0 35.1 35.2

Años



Rango
 Moda

HISTOGRAMA SALINIDAD

Modelamiento Estadístico

- Los datos se caracterizan por presentar una proporción importante de estaciones sin presencia de huevos y una distribución de huevos sesgada (estaciones con presencia).
- Puede ser modelada considerando dos alternativas, una distribución delta o la distribución poisson-compuesta.
- Se considero el uso de los modelos GAM, atendiendo a la naturaleza no lineal de los predictores de localización y oceanográficos considerados.

Modelamiento Estadístico

- La variable a modelar fue la densidad de huevos de anchoveta medida en número x $0,05 \text{ m}^{-2}$.
- Fue modelada a través de un GAM, como función de variables de localización (latitud, longitud) y oceanográficas (salinidad y temperatura); además, se incorporó un predictor lineal correspondiente al año.
- Las covariables (localización y oceanográficas) fueron introducidas en el modelo a través de funciones no-paramétricas suaves, de la forma de los suavizadores splines cúbicos .

Modelamiento Estadístico

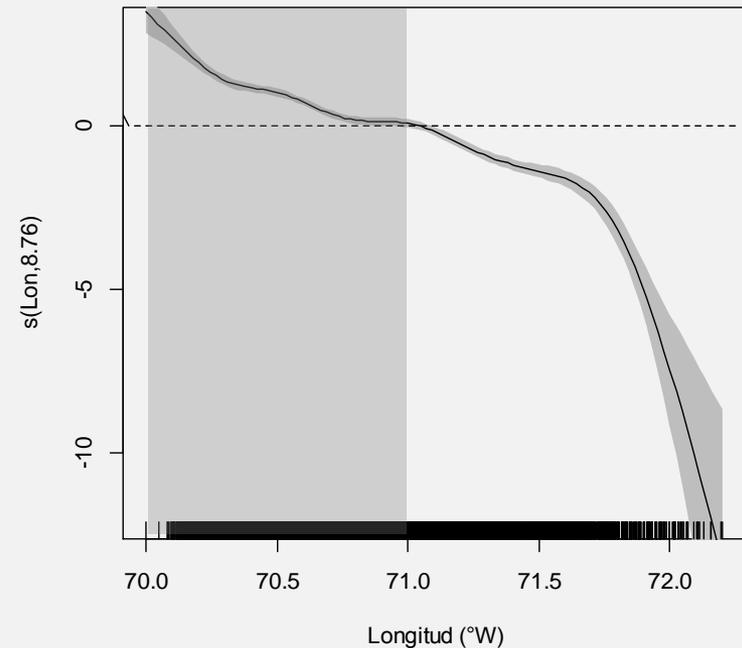
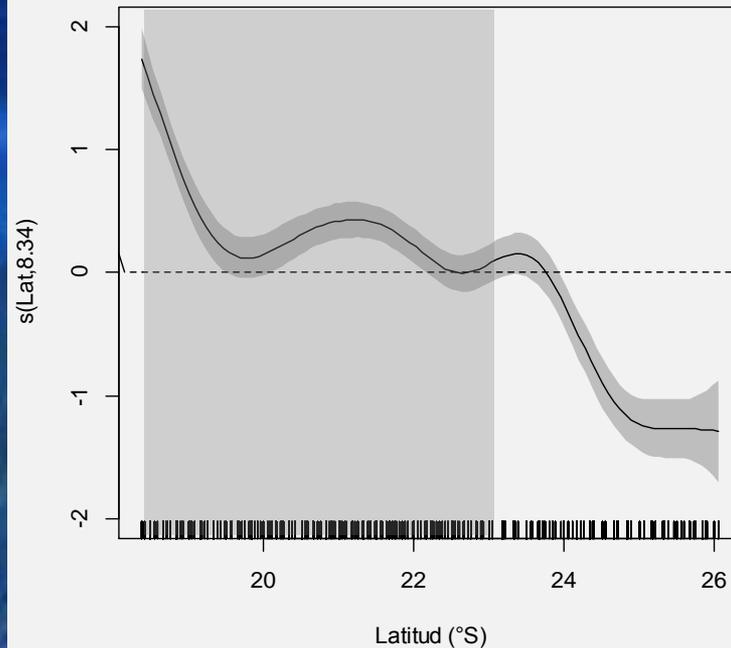
- El ajuste fue significativo, con pseudo-R² de 0,2.
- Comportamiento no-lineal (valores p significativos).
- Las variables de posición seguido de la salinidad, explican el 85 % del total de devianza explicada por el modelo.

	edf	Deviance			AIC	p-value
		Residual	Delta	% Expl.		
Modelo Poisson-Compuesto						
Intercepto	1	169.460	-	-	42.159	-
s(Latitud (°S))	9,8	158.742	10.718	23%	41.768	< 0.01
s(Longitud (°W))	9,7	149.905	19.555	42%	41.415	< 0.01
s(Temperatura (°C))	9,3	167.212	2.248	5%	42.092	< 0.01
s(Salinidad (psu))	9,5	159.938	9.522	20%	41.814	< 0.01
Año	17,0	164.948	4.512	10%	42.022	< 0.01
s(Lat) + s(Lon) + s(TSM) + s(Sal) + Año	51,3	135.938	33.522	19,8%	40.904	< 0.01

Total deviance explained: 19,8%

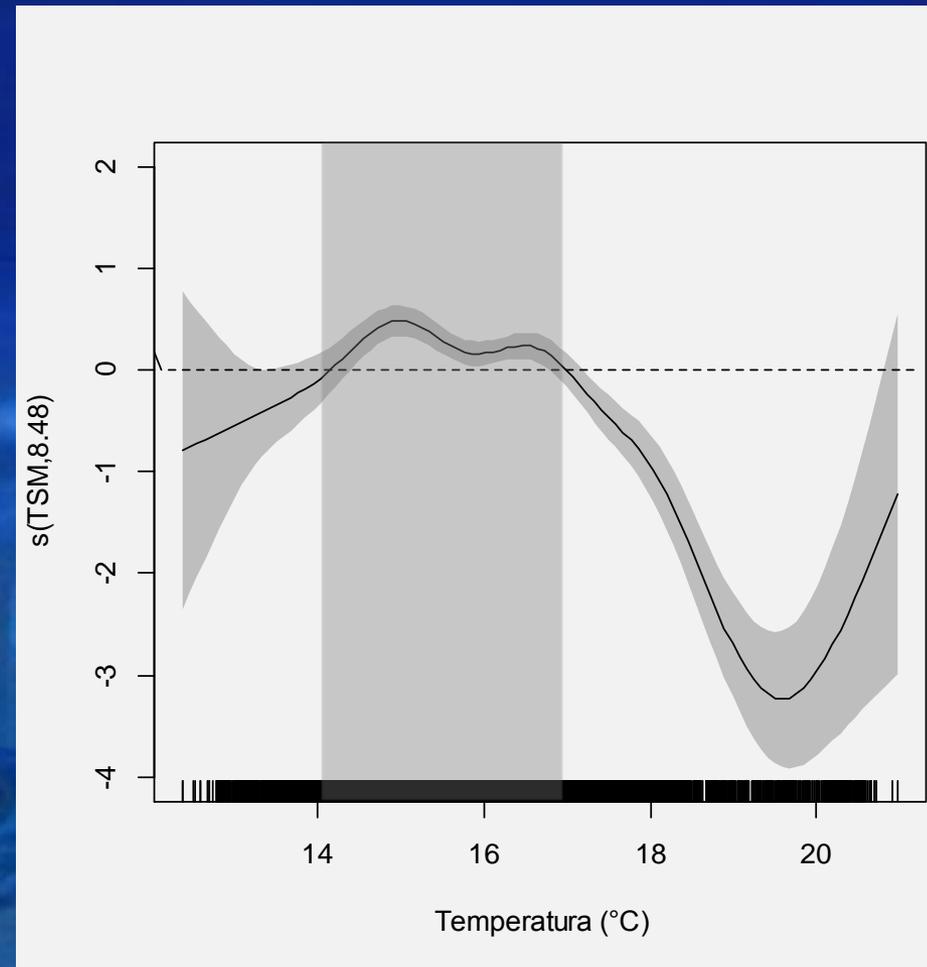
Latitud - Longitud

La función suavizada para la latitud y longitud muestra que al norte de los 23° S y a longitudes al este de los 71° W (estaciones cercanas a la costa), efecto positivo sobre la densidad de huevos (proceso de desove vinculado al norte y a una zona costera).



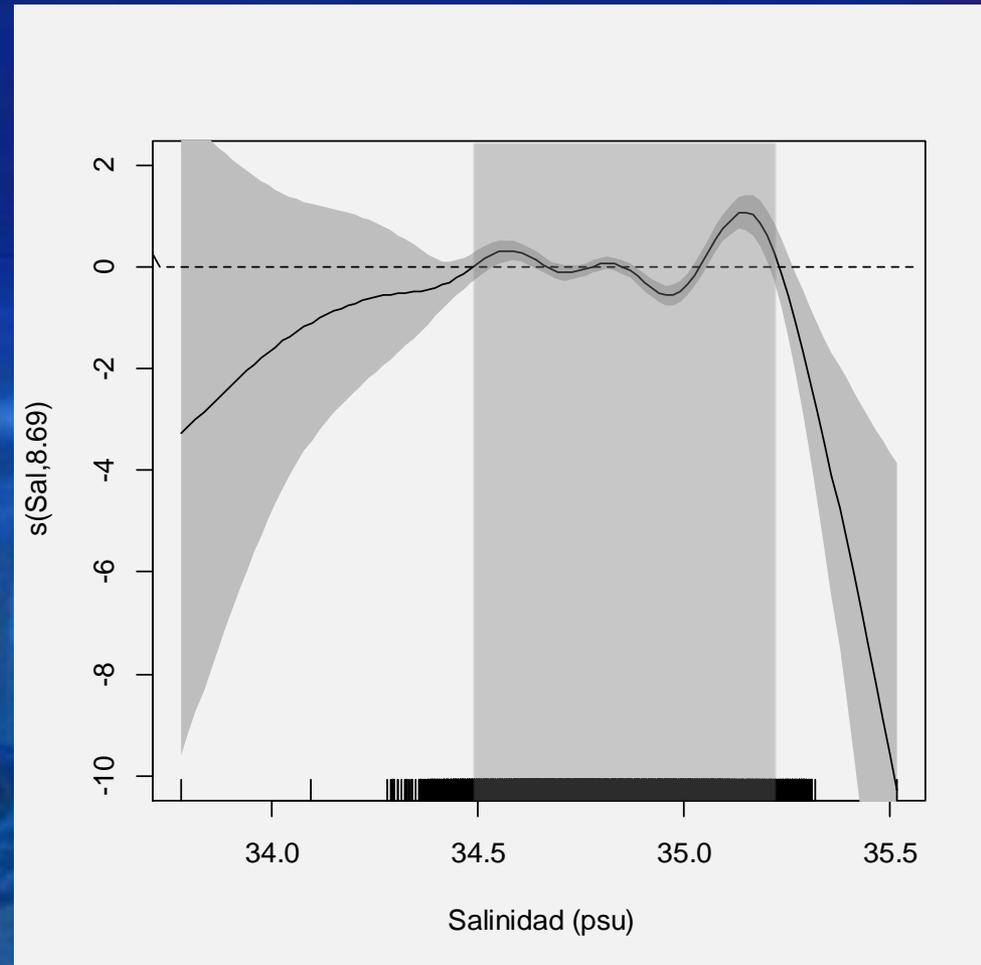
Temperatura superficial

- Temperaturas entre los 14° y 17° C tienen un efecto positivo sobre la densidad de huevos (por sobre éste valor el efecto es negativo).
- Cabe destacar fuera del intervalo (14° - 18° C), una alta incertidumbre en la estimación (amplias bandas de confianza del suavizador).



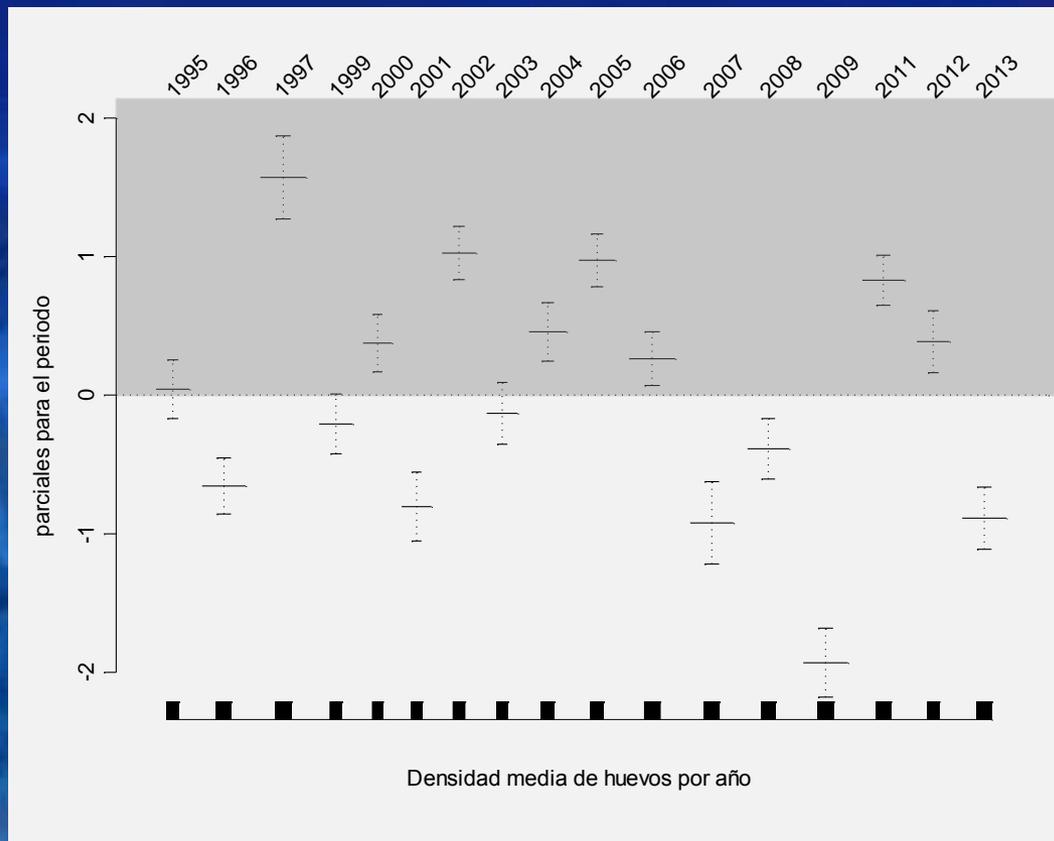
Salinidad superficial

- La salinidad muestra una alta incertidumbre a salinidades inferiores a las 34,4 psu y superiores a los 35,3 psu, a consecuencia de la baja ocurrencia de estos valores.
- Mientras que en éste intervalo no presenta un claro efecto sobre la densidad de huevos.



Factor Anual

- Los años 1997, 2000, 2002, 2004, 2005, 2011 y el 2012 se tuvo un efecto positivo en la densidad de huevos (coincidente con una mayor probabilidad de encontrar huevos en la estaciones monitoreadas).
- El año 2013 (1996, 2001, 2007, 2008 y el 2009), se presentó un efecto negativo en la densidad, producto de una menor densidad de huevos en las estaciones positivas (1996, 2007 y 2013) y una menor probabilidad de éxito de encontrar estaciones con huevos (2001, 2008 y 2009).



Discusión

- Del análisis integrado, el Índice de Cramer señala que la temperatura y la salinidad presentaron altas correlaciones con el ictioplancton de la especie. La temperatura con un 0,58 y la salinidad con un 0,41.
- 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, con una moda principal en la isoterma de 16° C (38% de las celdas) y la salinidad reportó una moda principal en las isohalinas de 34,8 - 34,9 psu (42% de pixeles).

Discusión

- Por otro lado, los CG se ubicaron preferentemente en sectores costeros en las primeras 10 mn de la costa, en el caso del CG del año 2013 el análisis indicó una migración hacia el norte localizándose al SW de Iquique.
- Es importante destacar que los años 1997 y 2001 (influenciada por “El Niño”), los CG se desplazaron hacia el sur, contrario a los años 2009 y 2007 (años que exhibieron condiciones frías), los CG registraron un importante desplazamiento hacia el norte.

Discusión

- Respecto a los rangos de distribución preferencial los huevos de anchoveta se distribuyeron en el rango 13 - 18° C, con una preferencia por el rango 15 - 17° C.
- En el caso de las salinidades, los huevos se localizan en un amplio rango entre 34,3 y 34,9 psu con una preferencia 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° y longitudes localizadas al este de los 70° 22' W presenta condiciones más favorables para la presencia y la densidad de huevos.

Discusión

- El análisis integrado de los cruceros estacionales, indica que las mayores densidades medias correspondieron a los años 1997, 2000, 2002, 2004, 2005, 2011 y el 2012, estos dos últimos años con una alta proporción de estaciones con huevos, comparada con el promedio histórico.
- El 2013 junto a los años 1996, 2001, 2007 y 2009 presentan las menores densidades medias producto ya sea de, una menor densidad de huevos en las estaciones positivas o una menor proporción de estaciones con presencia de huevos.

Gracias por su atención



Monitorio desove anchoveta
FIP N° 2013-06



Monitoreo reproductivo de anchoveta de la zona norte, año 2013

Eduardo Díaz Ramos

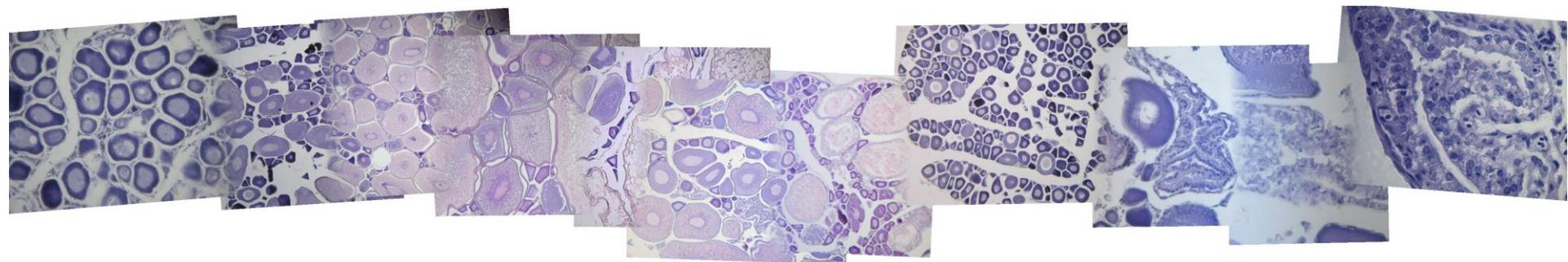
Taller Presentación de Resultados
“Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2013”
Abril 2014

Objetivo



- ❑ Programa de Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Zona Norte, año 2013.

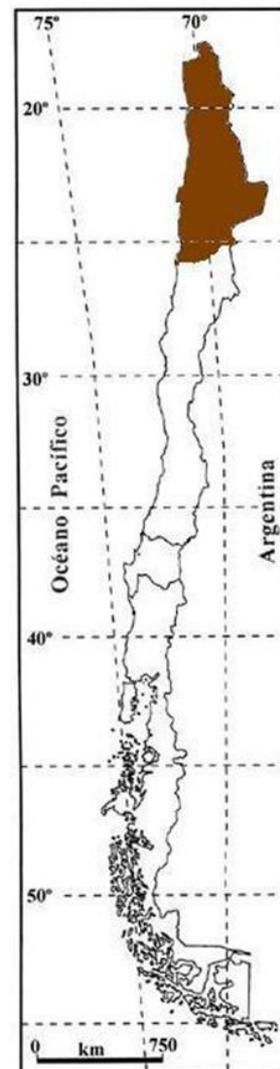
Determinar la actividad reproductiva de la anchoveta, identificando el periodo de la máxima intensidad de desove (MID).



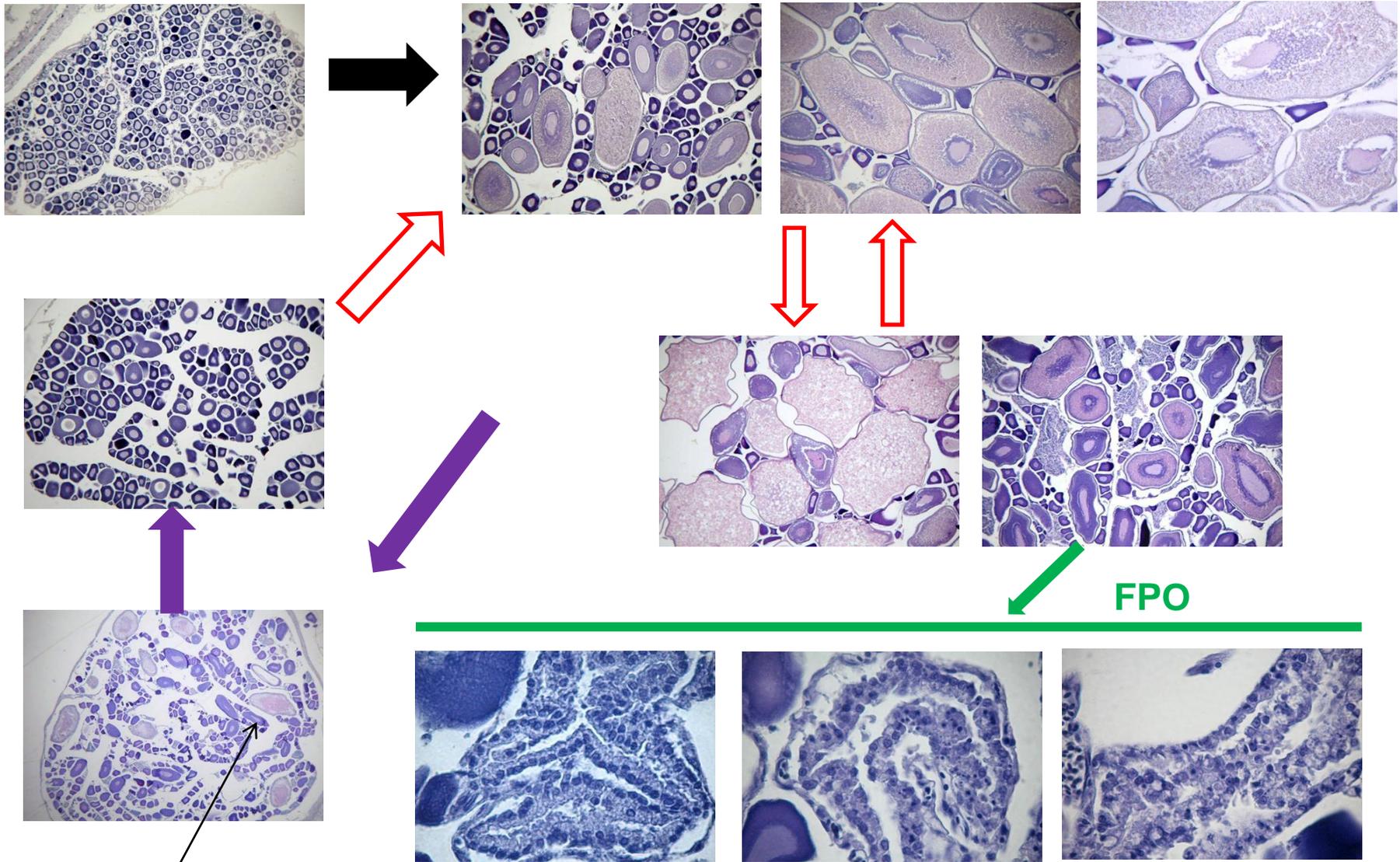
Metodología

Zona de estudio	Límite norte de Chile – Límite sur de la Zona Antofagasta
Fuente biológica	Muestreo abordo – Descarga artesanal e industrial

- ❑ Se procesaron para análisis macroscópico: 9.257 hembras, 4.134 ovarios procesados histológicamente.
- ❑ Frecuencia de análisis semanal (monitoreo intensivo). Procedencia muestras depende área operación e intencionalidad de la flota.



Análisis histológico



Atresia

Indicadores reproductivos

- Índice gonadosomático (IGS): variabilidad semanal en ciclo anual.

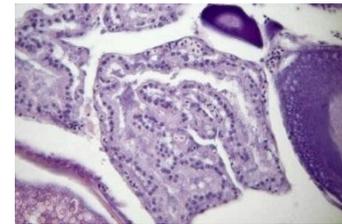
$$\hat{IGS}_i = \frac{Wg_i}{W_i} 100 \quad \hat{IGS} = \sum_{i=1}^n \hat{IGS}_i / n \quad \hat{V}(IGS) = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (IGS_i - \hat{IGS})^2}{n-1}$$

- Indicadores histológicos: periodo de incremento del IGS (junio – febrero).

- Incidencia de hembras activas (fases ováricas agrupadas).

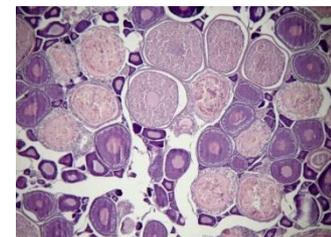
- Índice de actividad de desove (IAD): $IAD = \frac{n_{h0} + n_{h-1}}{n_m} 100$

(Fracción de hembras maduras que desovarán o desovaron en la noche de la captura más las que desovaron la noche anterior a la captura)

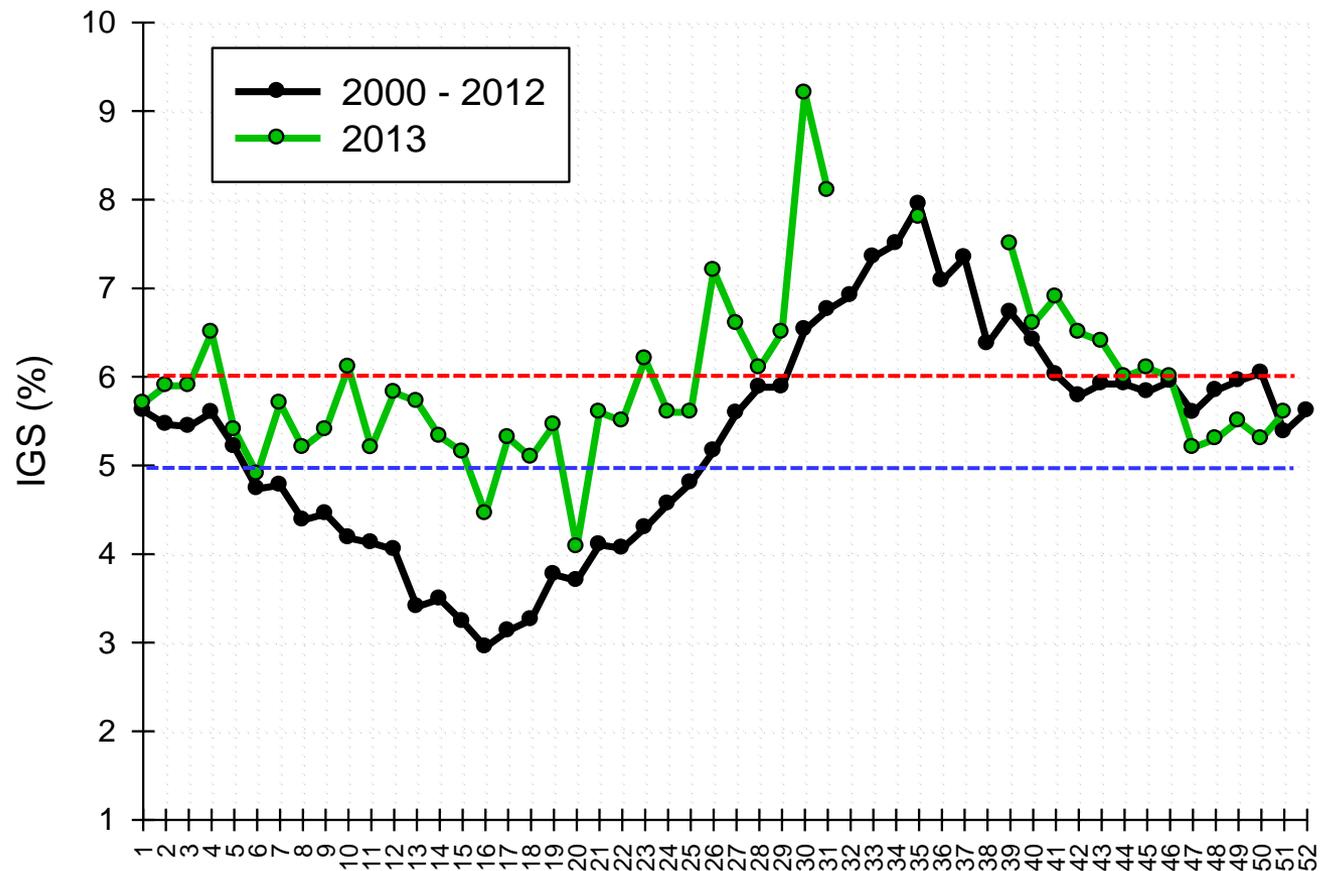


- Índice de atresia ovocitaria (IAO): $IAO = \frac{n_{hao}}{n_m} 100$

(Ovario con atresia masiva, $\geq 50\%$ ovocitos atrésicos: Hunter y Macewicz, 2003)



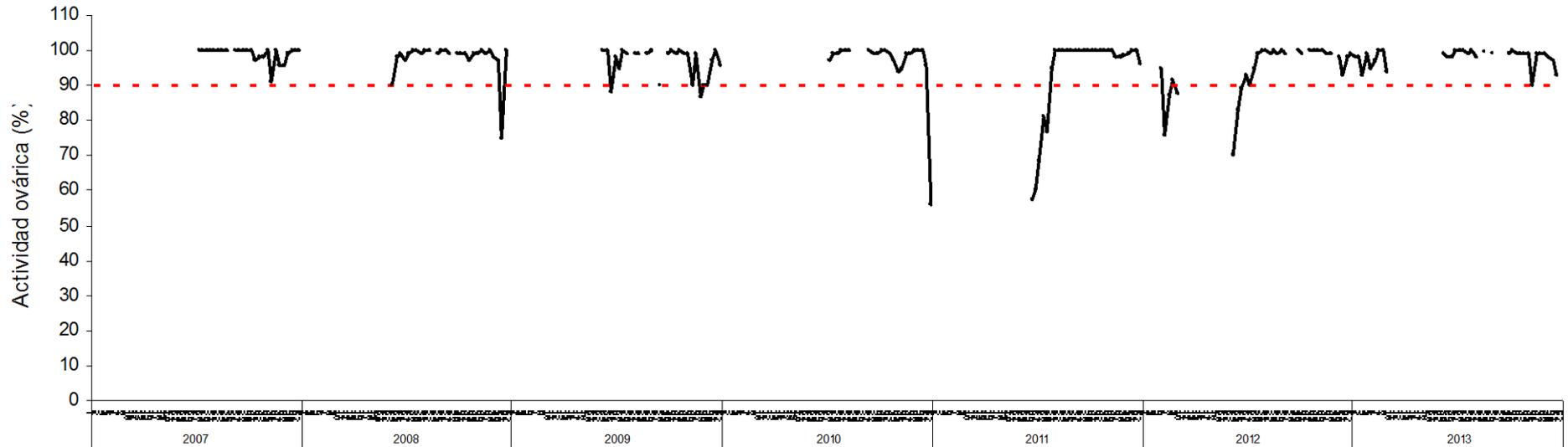
Variación semanal IGS: 2000 – 2012 y 2013



• Línea azul: valor medio referencial de **IGS 5%** de inicio de periodo actividad ovárica.

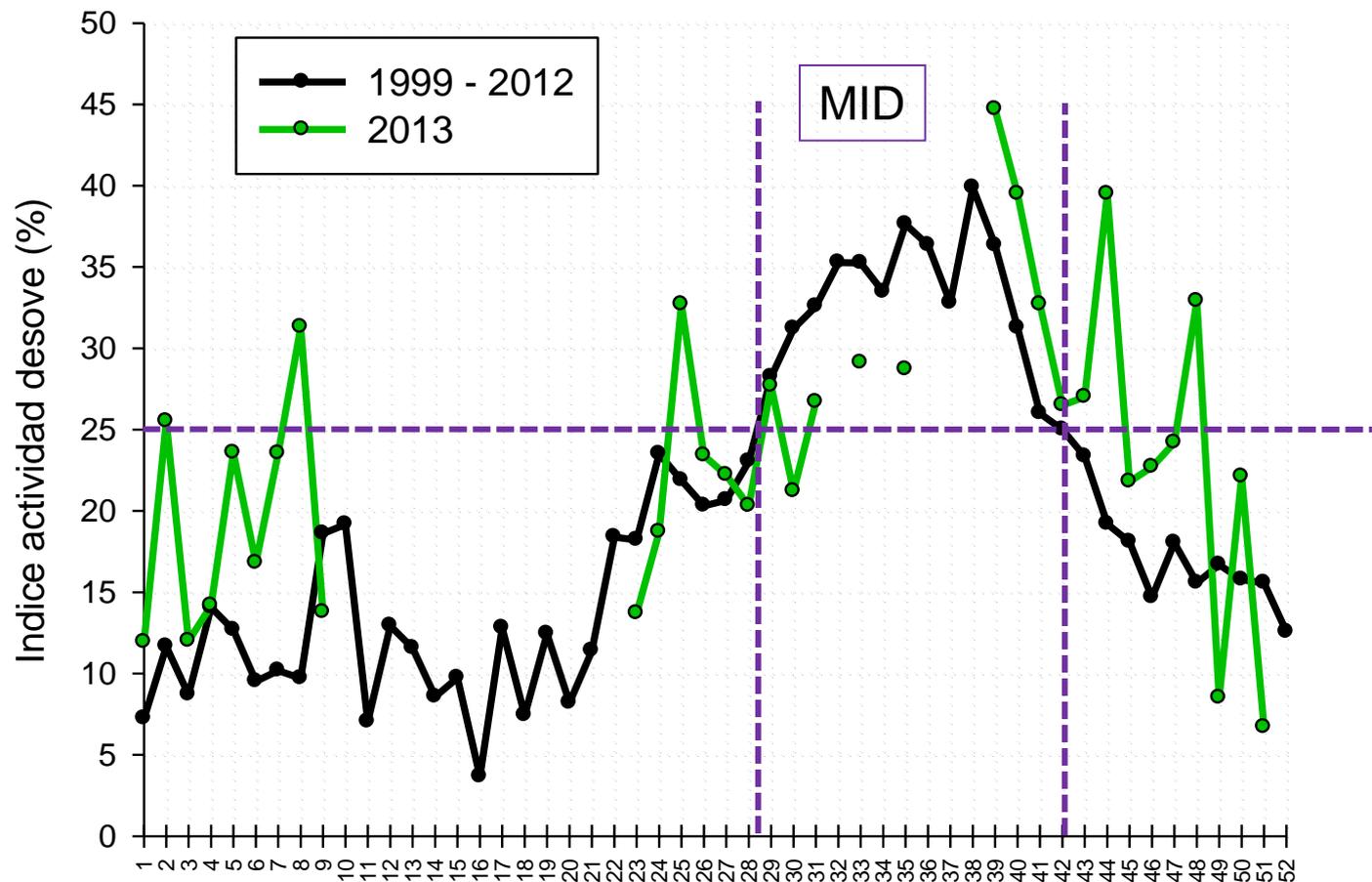
• Línea roja: valor referencial **IGS 6%** de máxima actividad ovárica.

Variación semanal hembras activas: 2007 - 2013



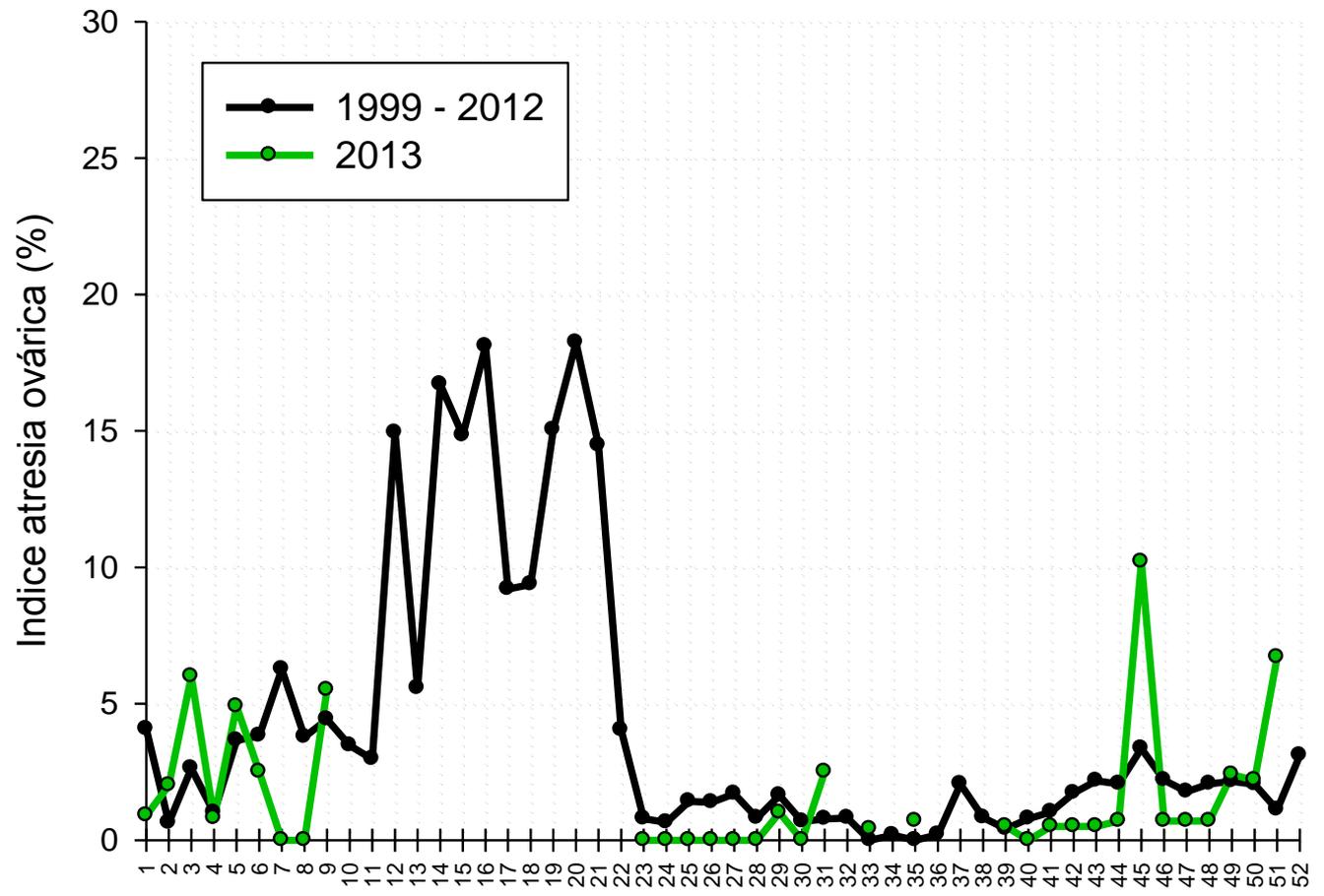
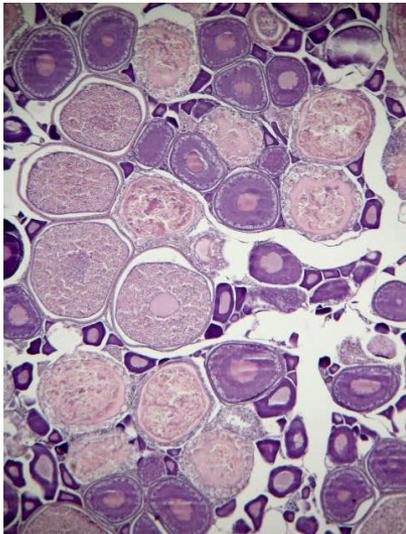
- ☐ Sobre 90% de hembras con actividad junio a diciembre-enero

Variación semanal IAD: 1999 – 2012 y 2013

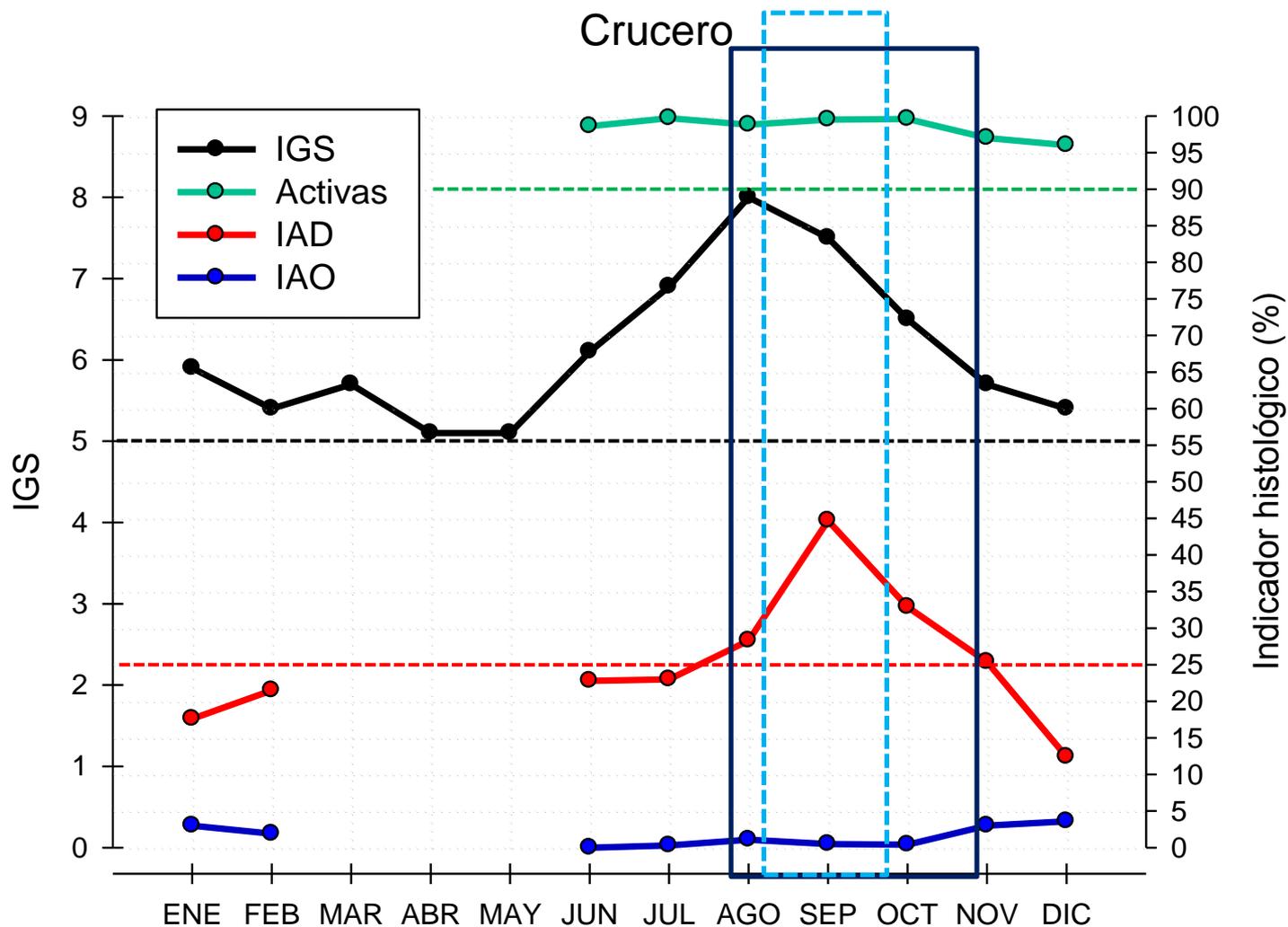


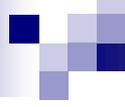
□ Valor referencial
IAD 25% periodo
máxima
intensidad de
desove (MID).

Variación semanal IAO: 1999 – 2012 y 2013



Variación mensual indicadores 2013





Conclusiones:

- ❑ No se manifestó el descenso característico de la actividad o reposo relativo en los meses de otoño, lo que señaló un proceso anómalo de maduración gonadal continuo.
- ❑ A partir de junio la actividad incrementó notoriamente, alcanzando en julio su máxima actividad, con IGS más altos en el bimestre agosto-septiembre.
- ❑ El periodo de máxima intensidad de desove (MID) se manifestó desde fines de julio e inicio de agosto hasta la última semana de octubre, periodo de mayor incidencia de hembras hidratadas y ovarios con folículos postovulatorios.
- ❑ Durante la ejecución de los cruceros de investigación, la anchoveta se encontró en condición reproductiva, en su periodo de la máxima intensidad de desove.

**Abundancia y distribución de huevos
de anchoveta FIP N° 2013-06**

FIP 2013-06

**Evaluación del stock desovante de
anchoveta en la XV, I y II regiones,
año 2013.**



Vivian Valenzuela C

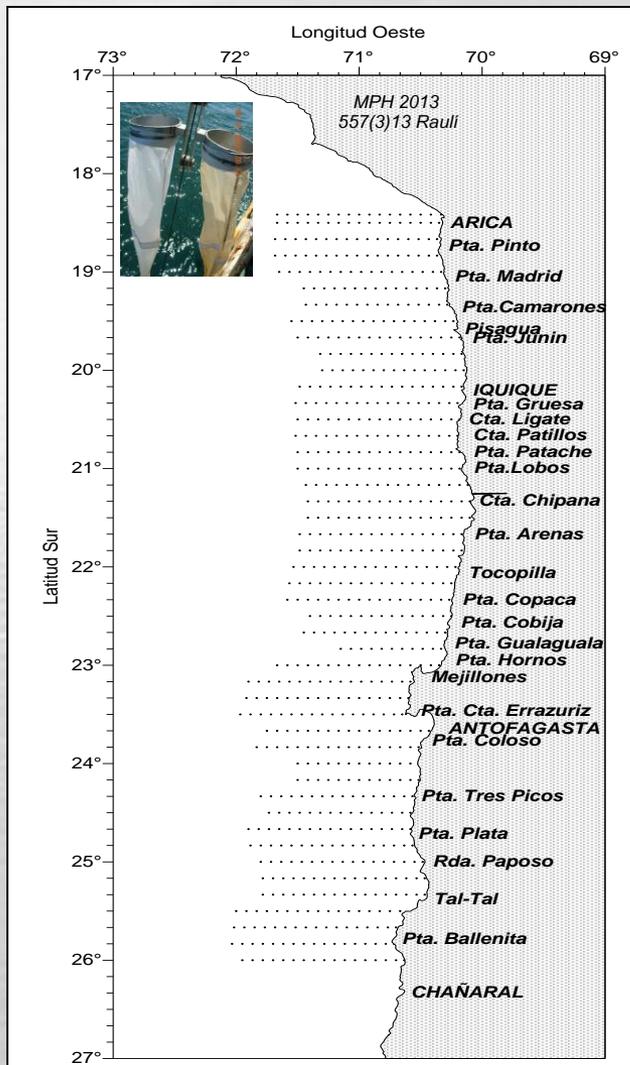
OBJETIVO ESPECIFICO 2.1

**Determinar la distribución y abundancia de
huevos de anchoveta.**

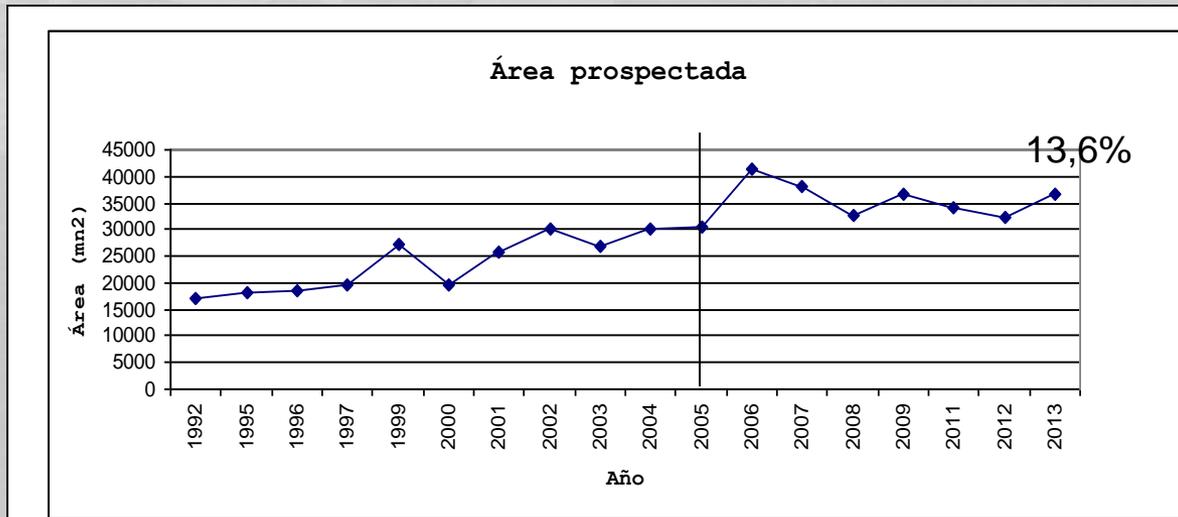


METODOLOGIA

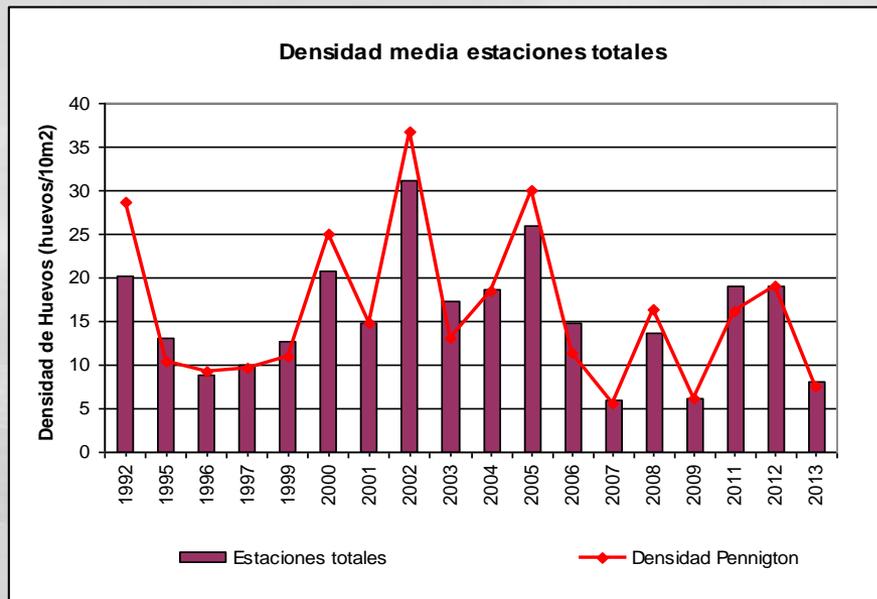
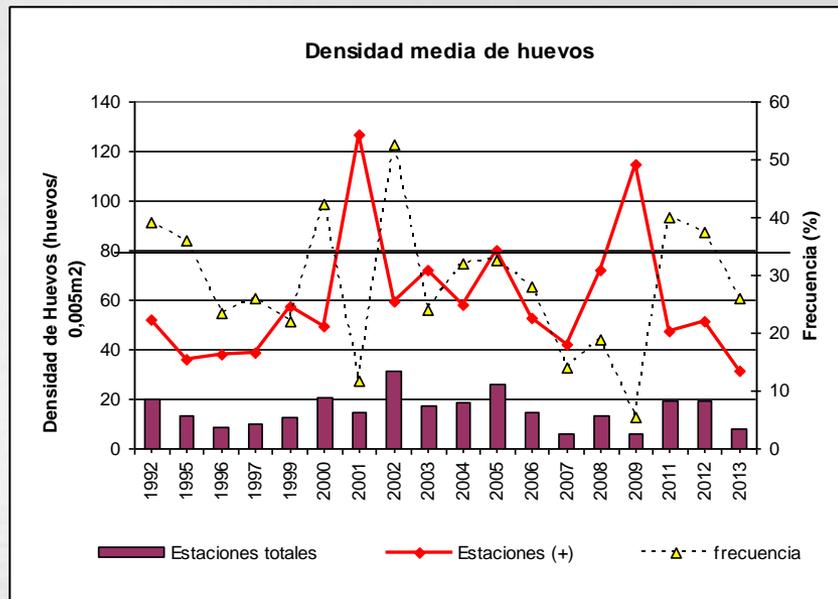
Recolección de muestras



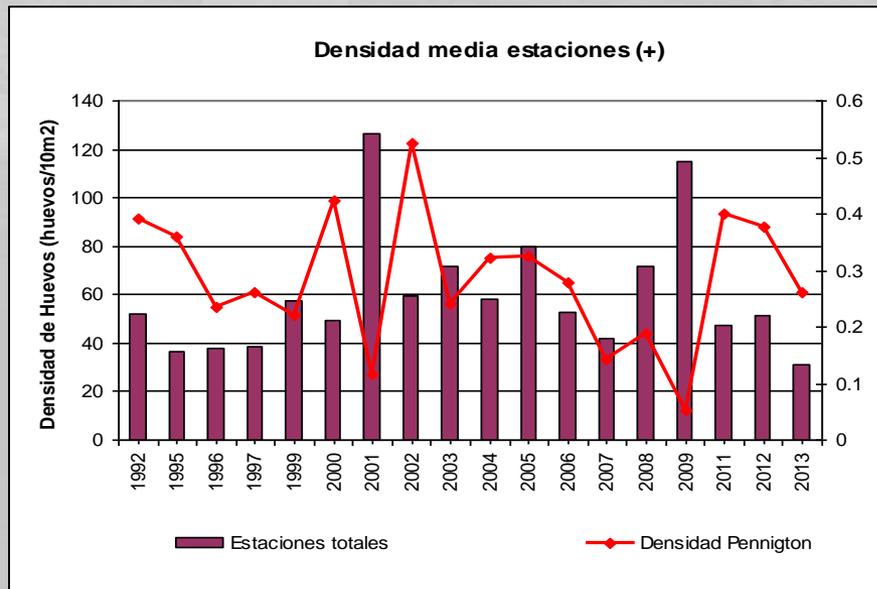
Área de estudio	18°25' LS -26°00' LS
Transectas	47
Distancia a la costa (mn)	1, 5, 10, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80.
Estaciones red CALVET	770
Área prospectada	36.696 mn ²



RESULTADOS: Abundancia

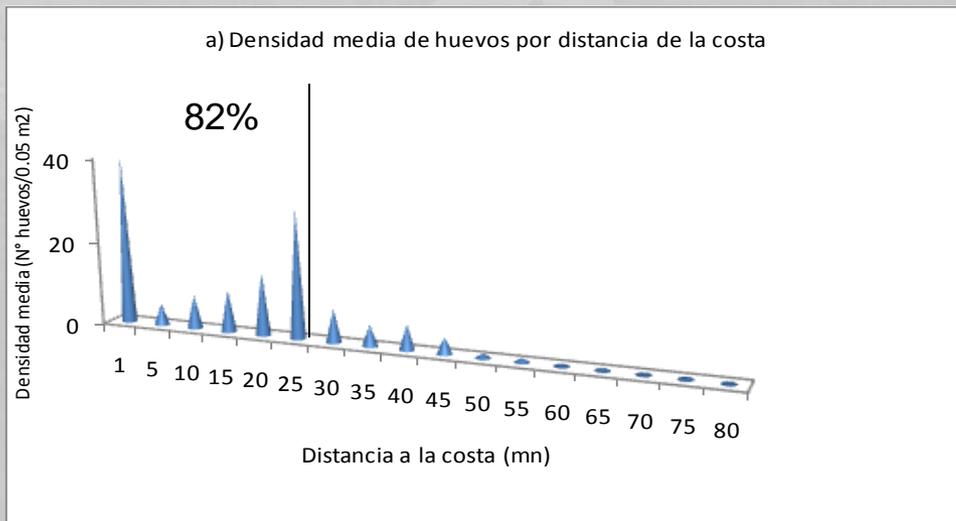
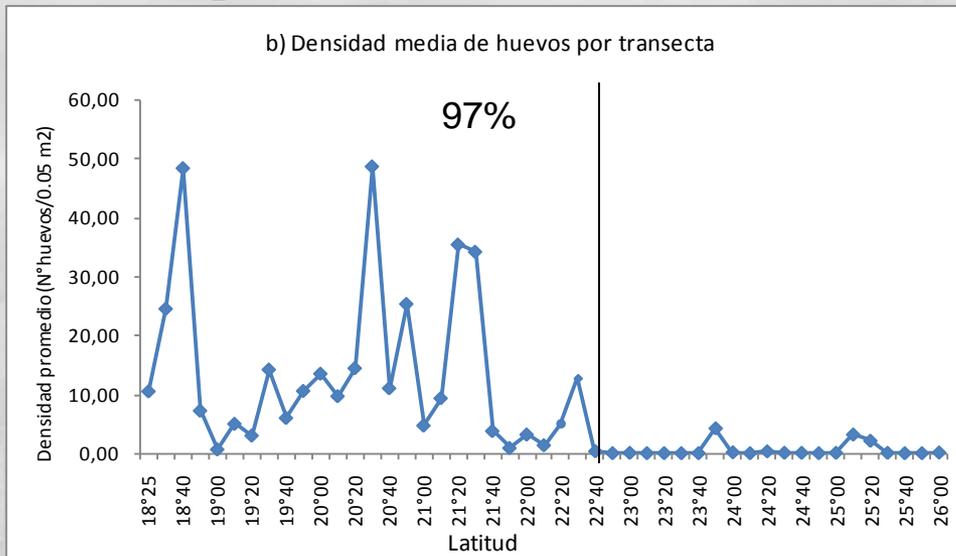
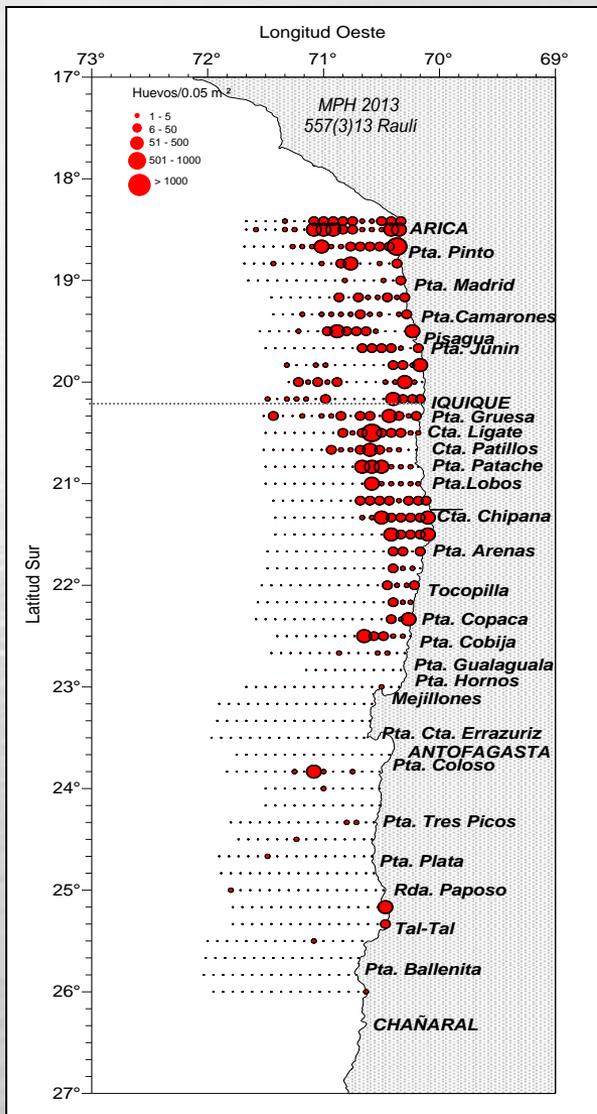


Año	Densidad media total	Densidad Est (+)	Frecuencia %
1992	20	52	39
1995	13	36	36
1996	9	38	23
1997	10	39	26
1999	13	57	22
2000	21	49	42
2001	15	126	12
2002	31	59	53
2003	17	72	24
2004	19	58	32
2005	26	80	33
2006	15	53	28
2007	6	42	14
2008	14	72	19
2009	6	115	5
2011	19	48	40
2012	19	51	37
2013	8	31	26

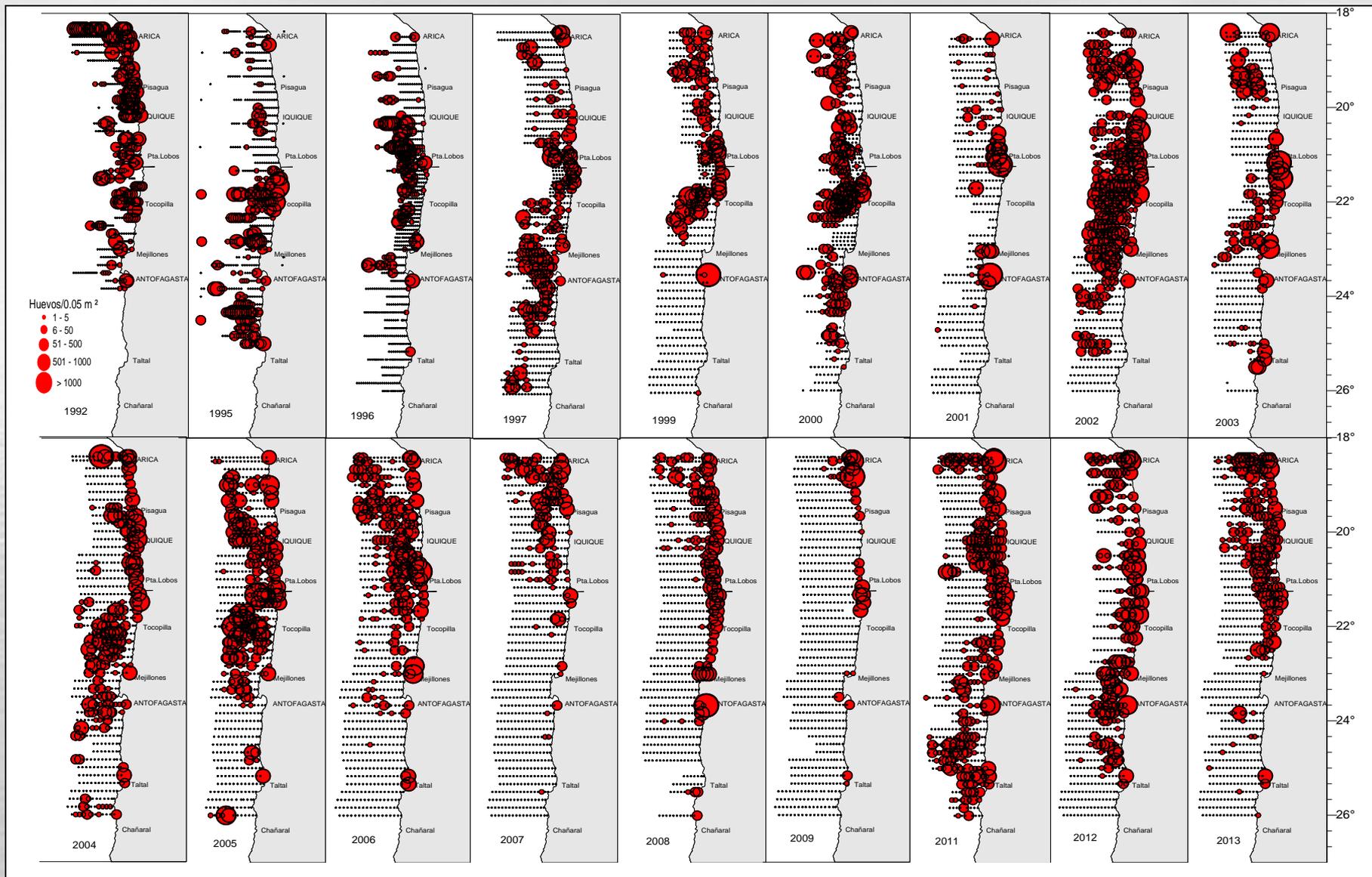


RESULTADOS

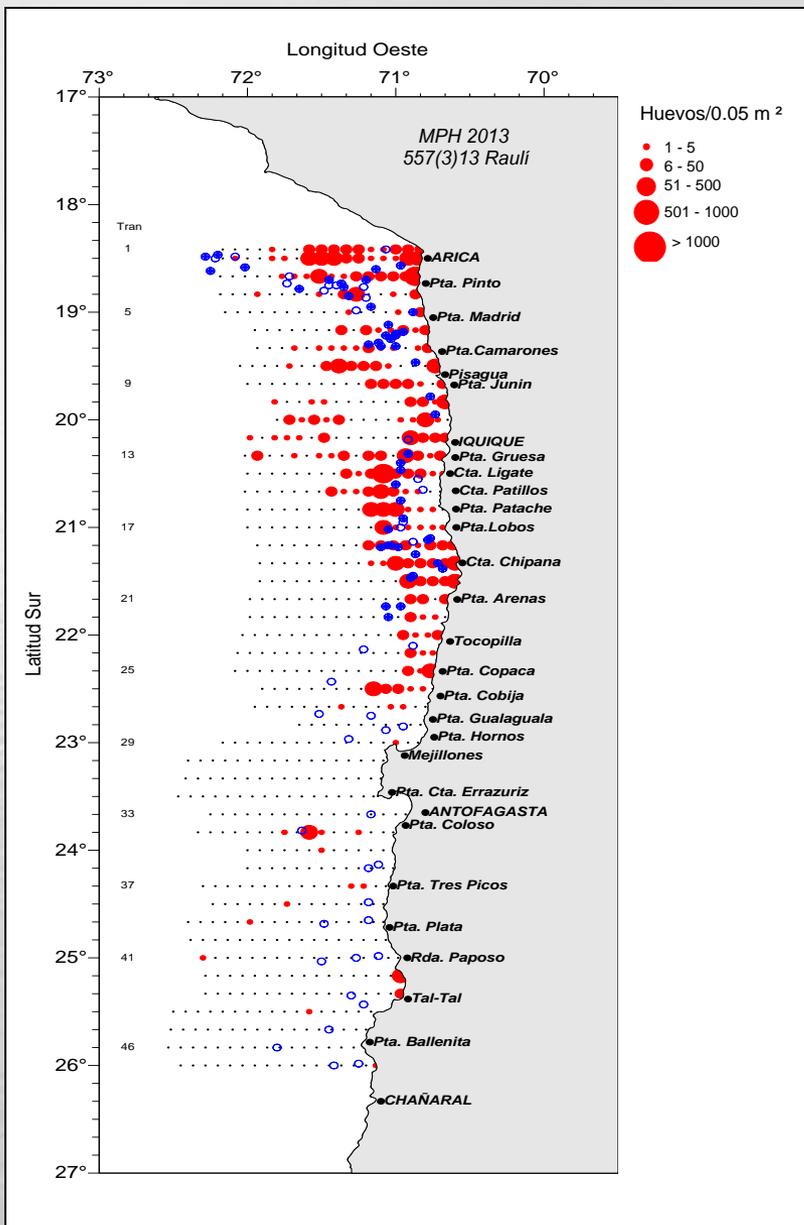
Ictioplancton : Distribución espacial



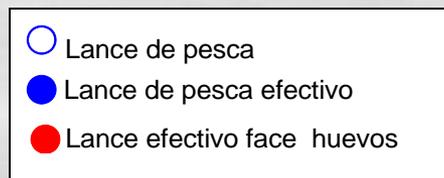
Resultados :Distribución espacial de huevos



RESULTADOS



Distribución espacial de los lances de pesca v/s huevos de anchoveta.



CONCLUSIONES

- La densidad media total de huevos, fue la tercera más baja de la serie 1992-2013.
- Se observaron congruencias entre la densidad media total y su valor estimado (Pennington 1986).
- El área de desove decreció un 25% respecto del período 2012 .
- La intensidad del desove disminuyó un 39% con respecto al invierno de 2012.
- Las áreas de desove más intensas se detectaron en los alrededores de Arica e Iquique.

Condiciones oceanográficas
FIP N° 2013-06

Condiciones oceanográficas en la zona norte de Chile durante agosto- septiembre 2013

Crucero MPH 2013

Hernán Reyes – Milena Pizarro

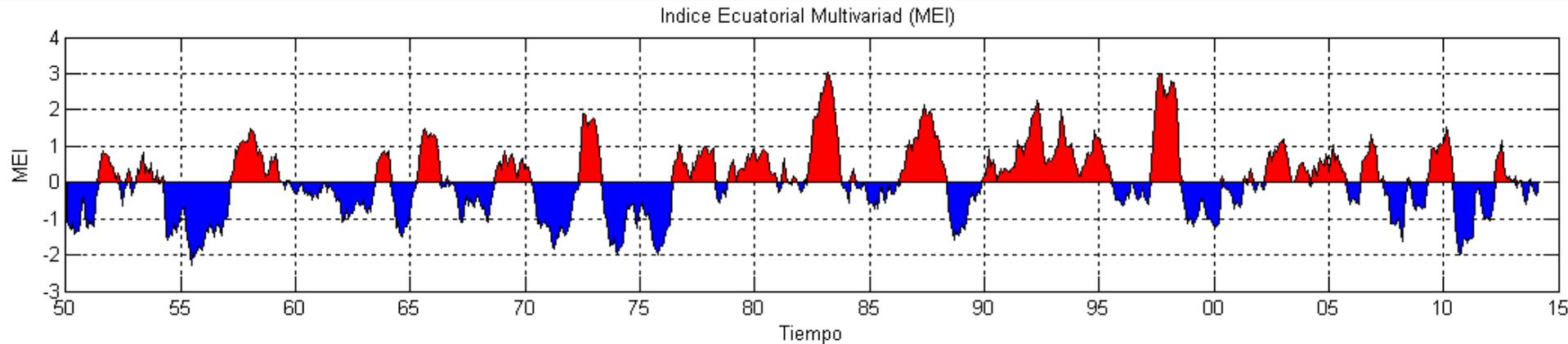
Instituto de Fomento Pesquero

Temario de la presentación

- ❑ Condiciones regionales (Pacífico ecuatorial) (NOAA)
- ❑ Revisión histórica de ATSM y cloa (series de tiempo).
- ❑ Crucero oceanográfico MPH
: Principales resultados
- ❑ Principales conclusiones

Condiciones regionales (Pacífico ecuatorial) (NOAA)

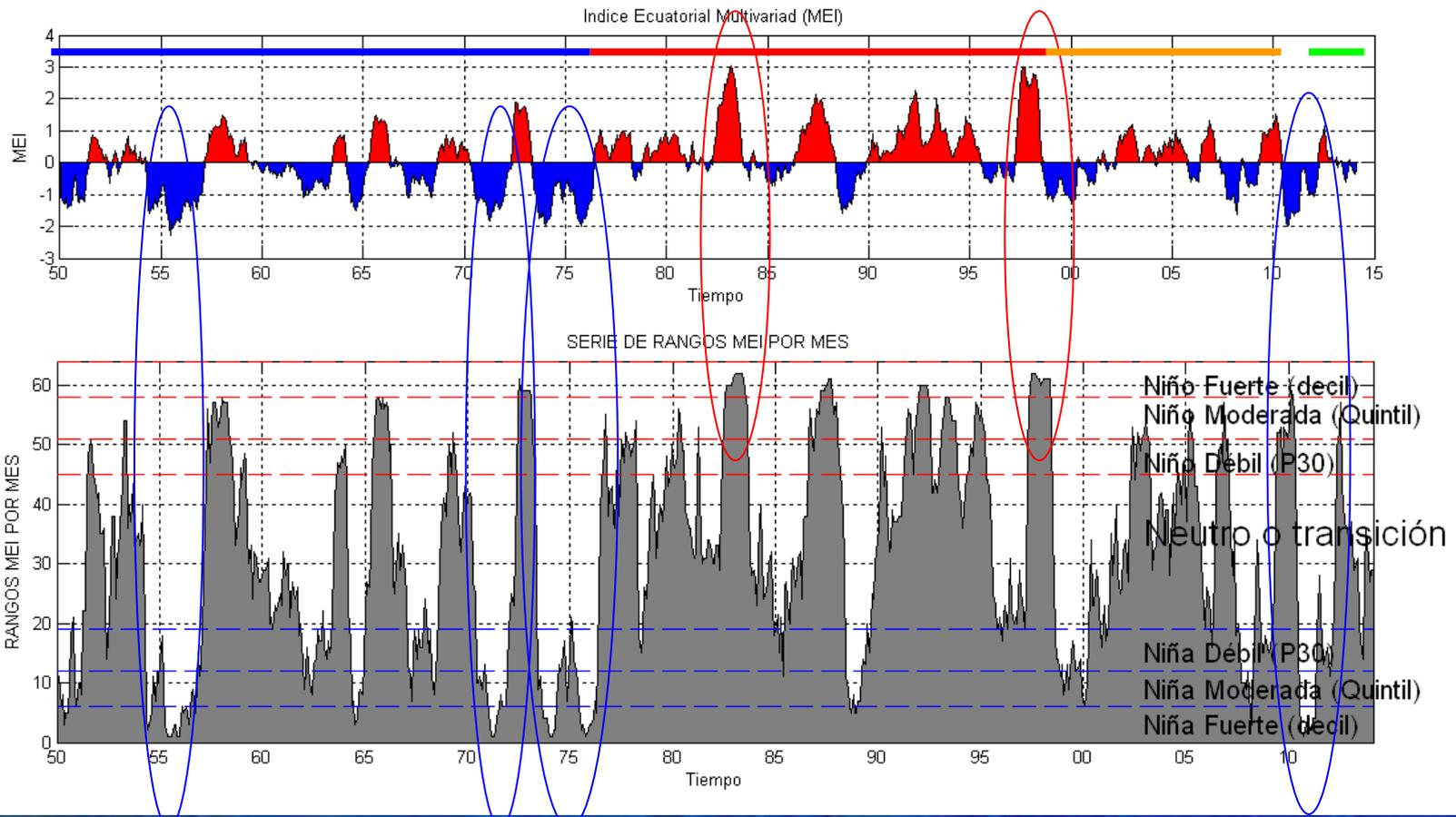
Marco ambiental Regional : Índice Ecuatorial Multivariado (MEI)



MEI Combina:
Presión a nivel del Mar,
Componente Zonal y Meridional
del viento, TSM, Temperatura
superficial del aire, Fracción total
de nubosidad

Valores históricos del Índice Multivariado Ecuatorial (MEI) entre el periodo mayo 1997 – febrero 2014. (Fuente: Earth system research Laboratory <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>).

El Niño 1982/83 El Niño 1997/98



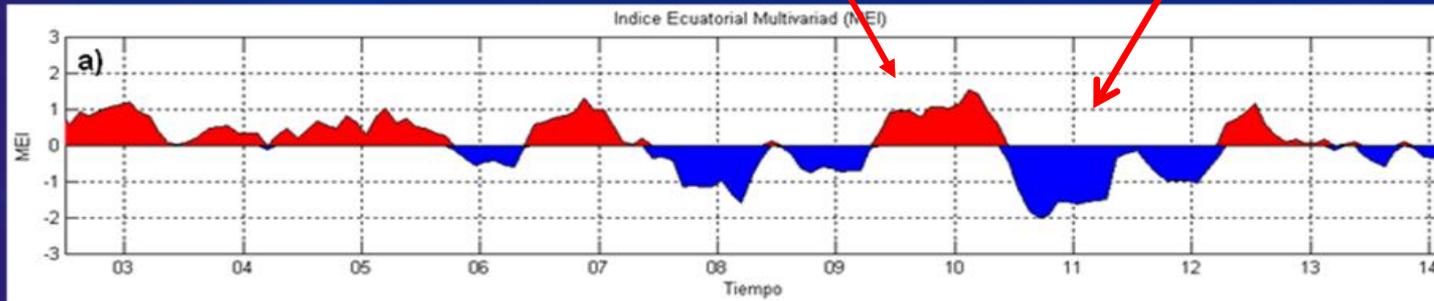
La Niña
1955

La Niña
1973-1977

La Niña
2010

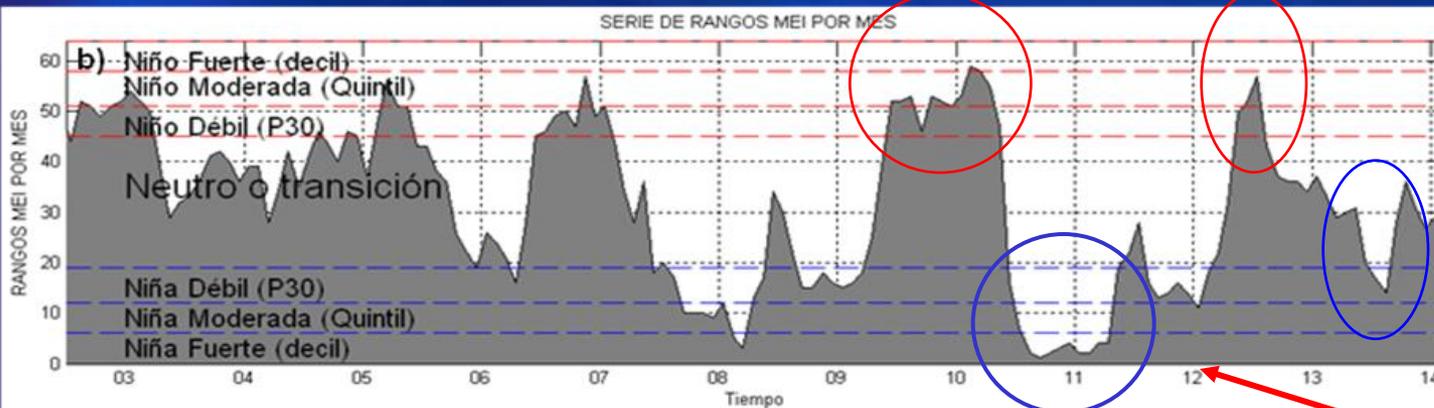
El Niño 2009-2010

La Niña 2010-11



CLASIFICACION
NOAA DE
INTENSIDAD
DE “EL NIÑO”
Y “LA NIÑA”

2009-10:
El Niño moderado/fuerte

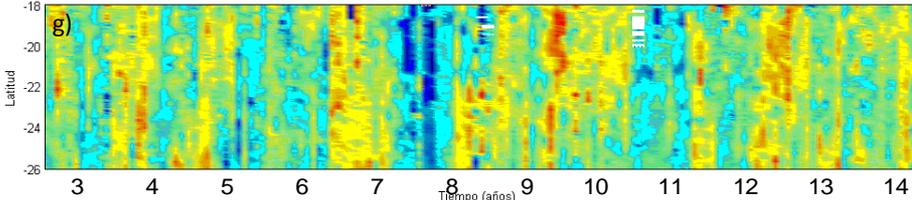
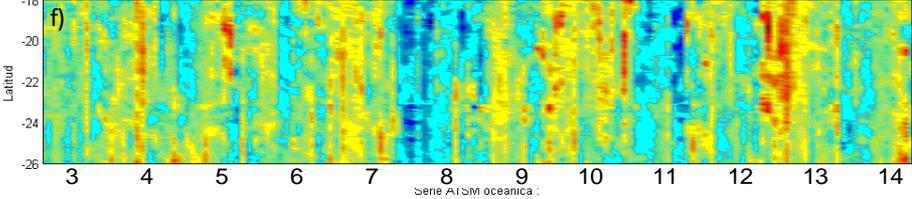
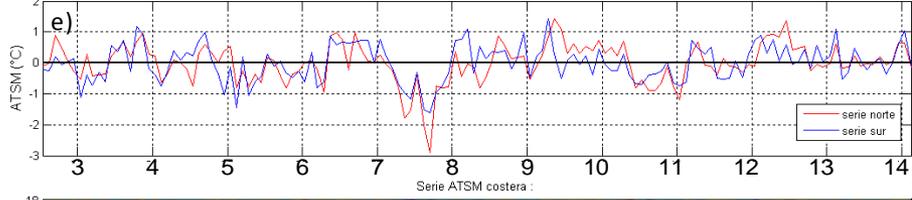
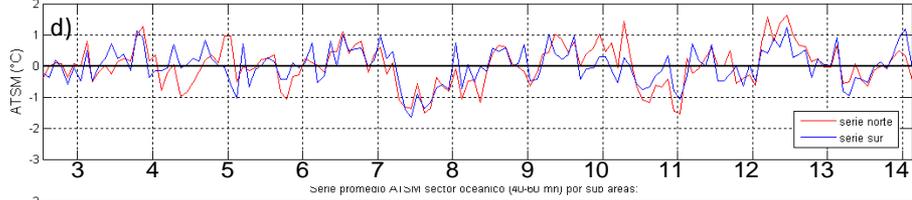
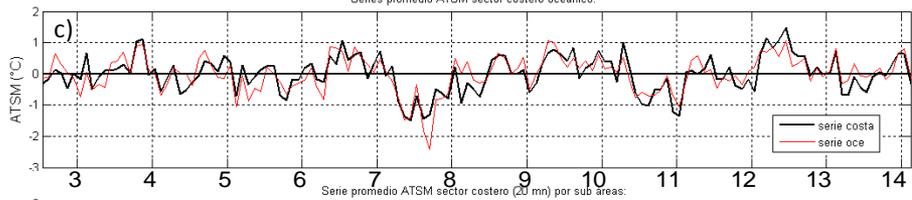
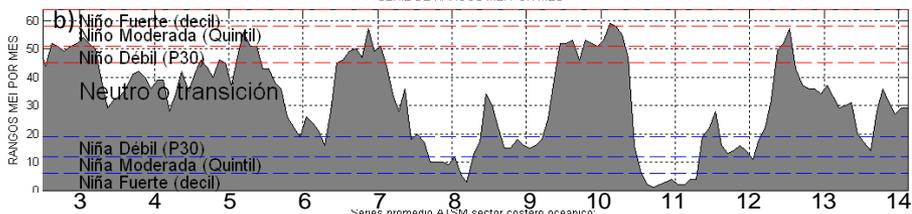
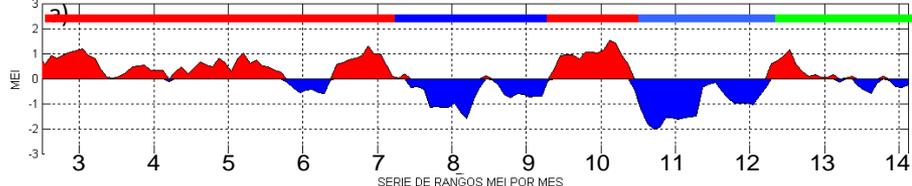


Abril 2012-febrero 2014
Neutral
Niño 2012 no concretado
Niña 2013 no concretada

2010-11:
La Niña fuerte
Segundo MEI más bajo
de la serie desde 1950

Serie de tiempo del Índice Ecuatorial Multivariado (MEI) para el periodo Julio 2002 – febrero 2014 y b) Serie de rangos del MEI bimensual que clasifica la intensidad de los periodos cálidos y fríos.
Fuente: NOAA (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>).

Revisión histórica de TSM y cloa en la zona de estudio.



MEI y ATSM satelital 2002-2014

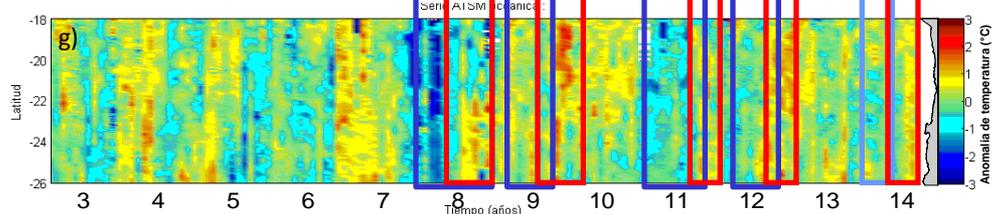
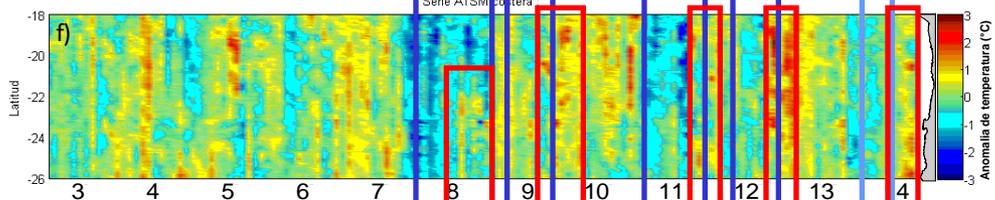
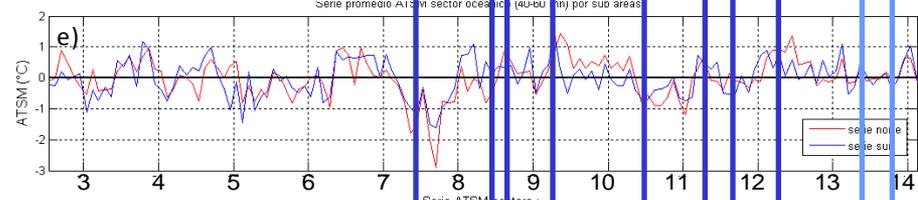
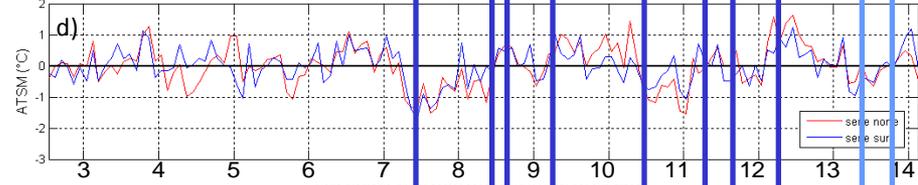
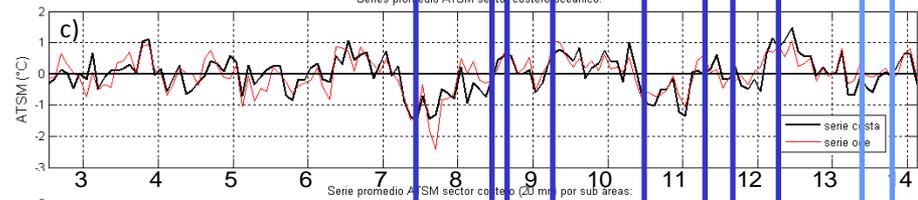
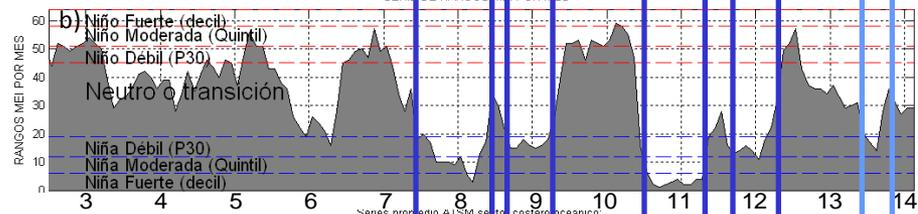
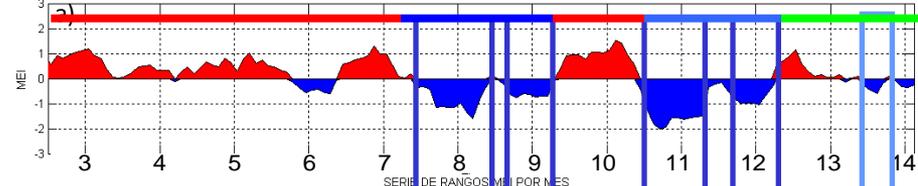
Series de tiempo para el período julio 2002-febrero 2014 de:

- a) MEI,
- b) rangos MEI y clasificación ENOS,
- c) promedio de ATSM (°C) entre las latitudes 18° a 26°S en el sector costero y oceánico.

Promedio de ATSM (°C) al norte y sur de los 23°S sector d) costero y e) oceánico.

Diagrama Hovmöller de ATSM f) costero y g) oceánico, para el área total, latitudes 18° a 26°S.

**** Según diversos autores hay una asociación entre procesos regionales y locales**



MEI y ATSM satelital 2002-2014

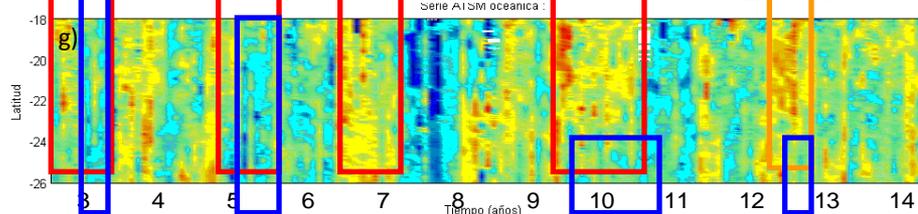
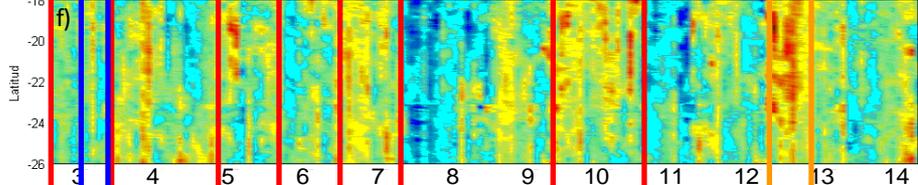
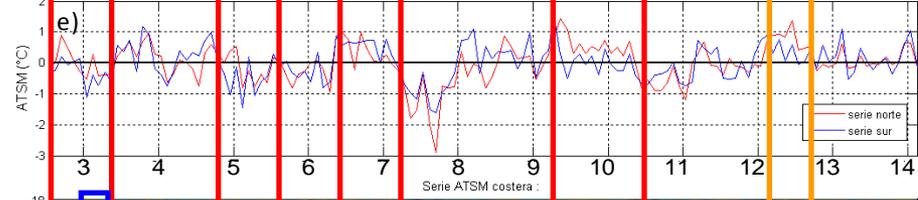
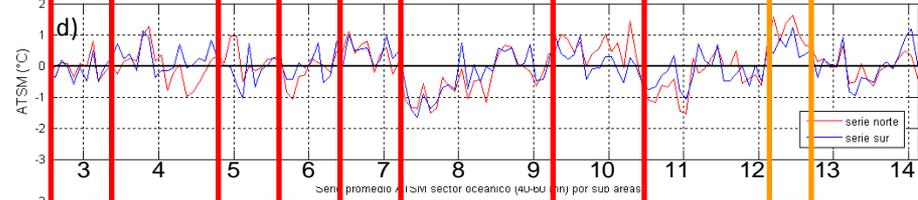
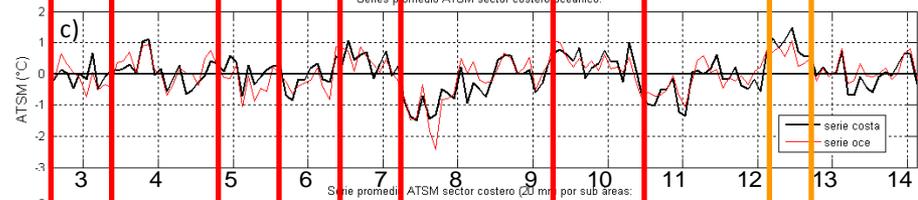
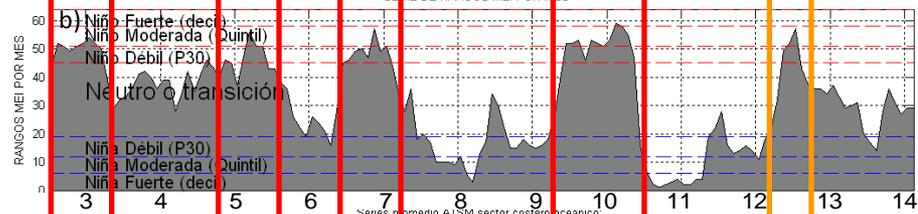
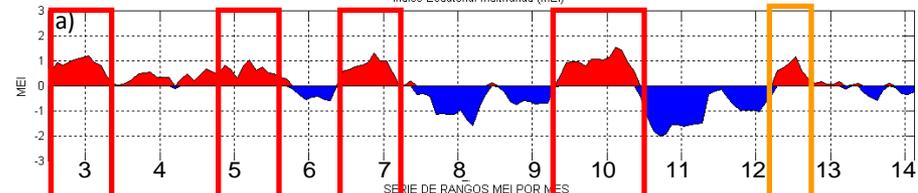
Se destaca para condiciones regionales frías La Niña:

- Niña 2007/08 (Moderado)
- Niña 2008/09 (débil)
- Niña 2010/11 (Fuerte)
- Niña 2011/12 (moderada)

Acoplamiento MEI (-) → ATSM (-)
 → En general hay concordancia
 → Pero :

ATSM más (-) en 2007/08
 (Niña menos intensa) que en 2010
 (viento débil en 2010 => efecto local moderador sobre el proceso frío)

ATSM (+) en 2008, 2009, 2011 y 2012 a finales del proceso frío. (cuadro rojo) **EFFECTO 'REBOTE'**



MEI y ATSM satelital 2002-2014

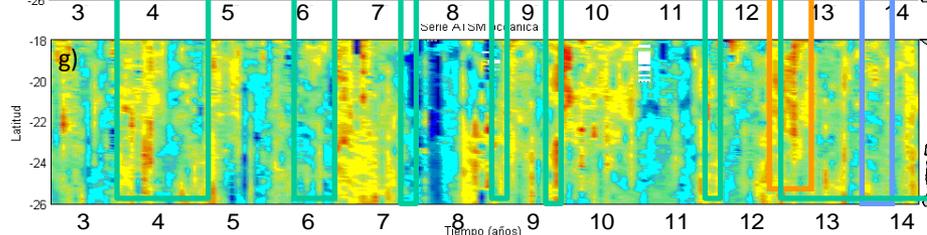
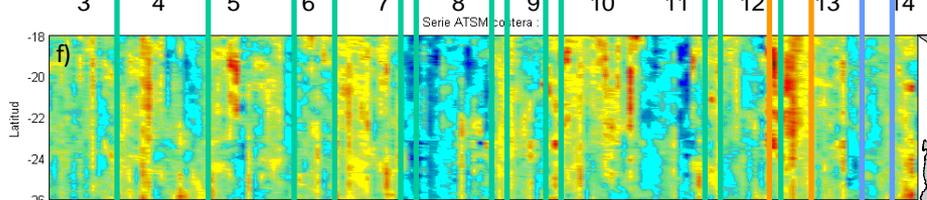
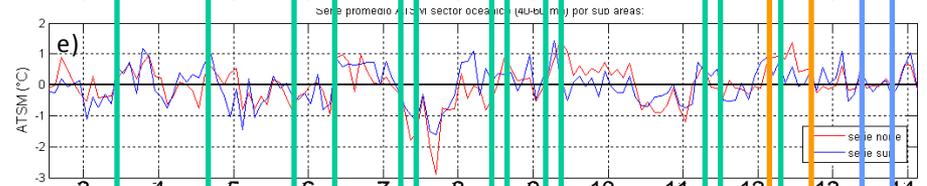
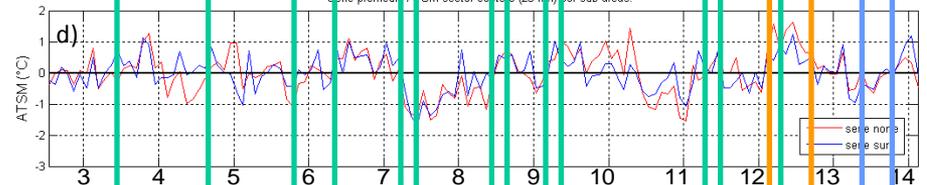
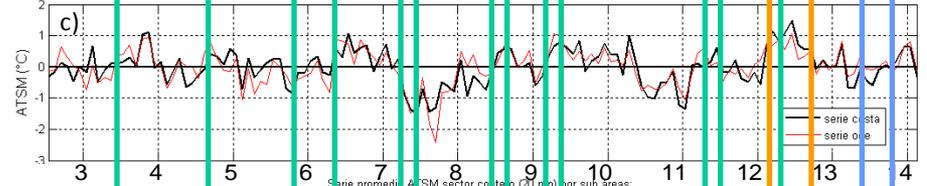
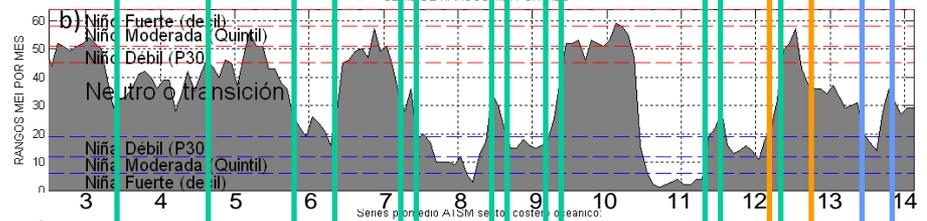
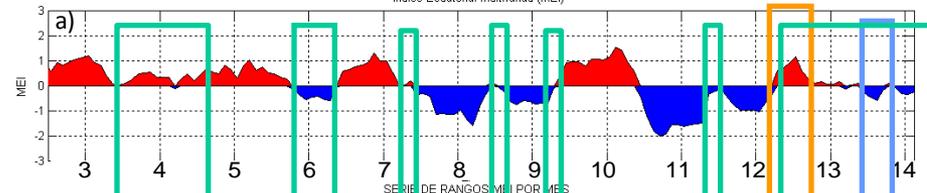
Se destaca para condiciones regionales cálidas El Niño:

- Niño 2002/03 (débil/moderado)
- Niño 2005 (débil/moderado)
- Niño 2006/07 (débil/moderado)
- Niño 2009/10 (moderado/fuerte)
- 2012, no catalogado como niño

Acoplamiento MEI (+) → ATSM(+)

→ En general hay concordancia

Pero :
 ATSM (-) en costa y océano 2003
 ATSM (-) en océano 2005
 ATSM (-) al sur de 24°S en 2009/10 y 2012



MEI y ATSM satelital 2002-2014

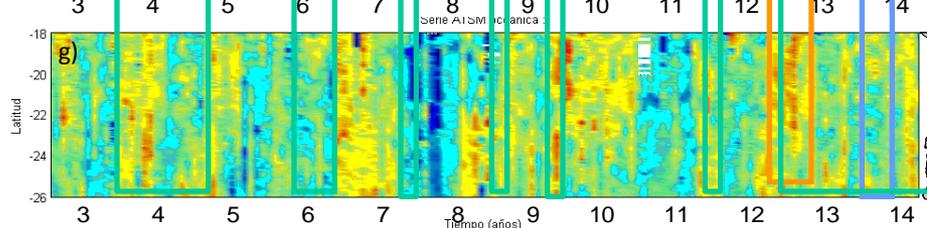
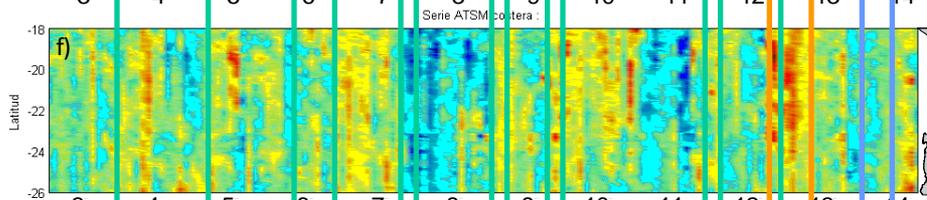
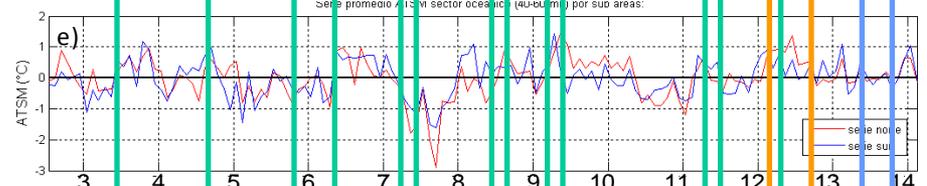
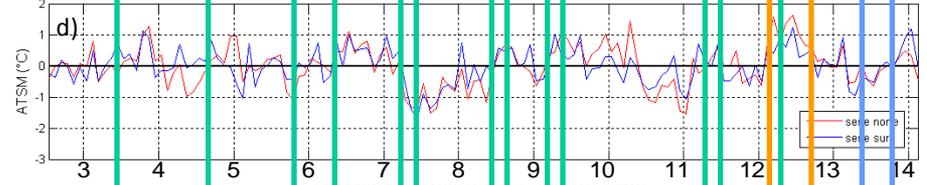
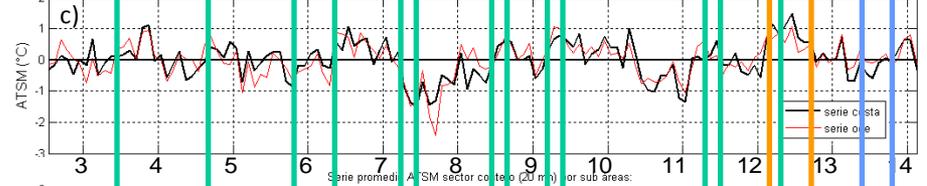
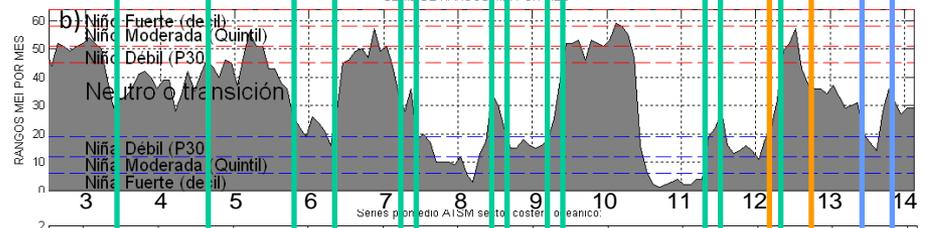
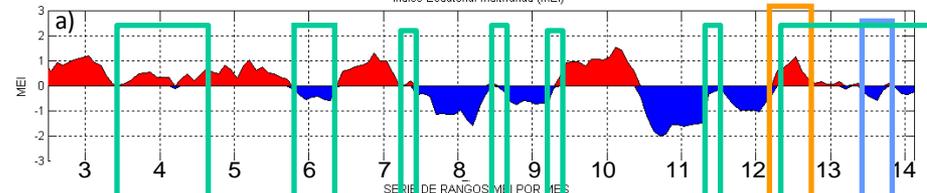
Se destaca para condiciones regionales neutras:

Periodos neutros (marcados en verde) son más breves desde año 2007 en adelante

- menor a 3 meses

Salvo por el periodo abril 2012-febrero 2014

Queda por ver : duración de los periodos neutros antes de 2002 con una serie más extensa del MEI y TSM satelital Pathfinder (1981).



MEI y ATSM satelital 2002-2014

Se destaca para condiciones regionales neutras:

En general ATSM local variado:

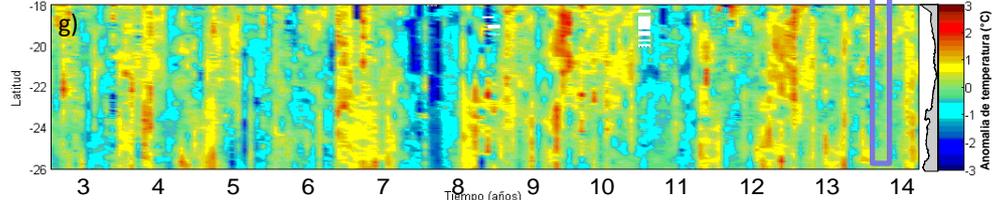
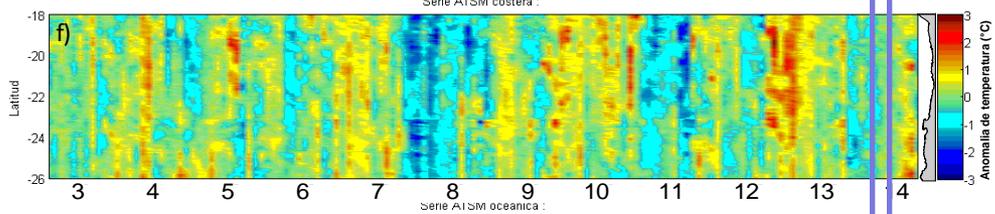
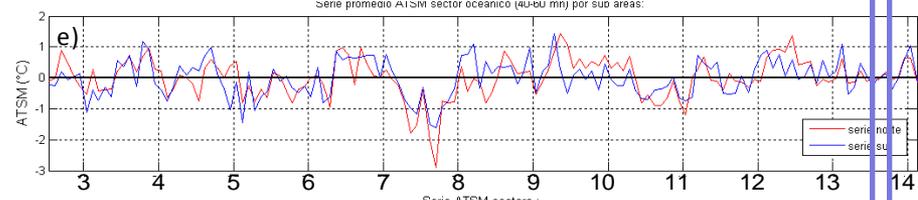
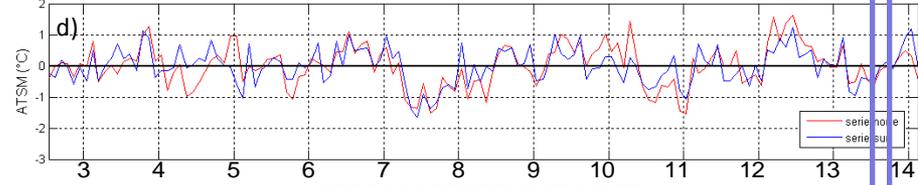
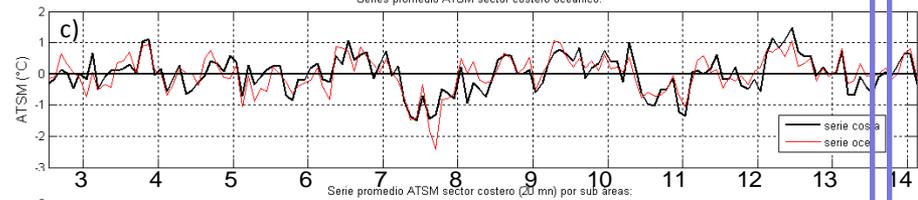
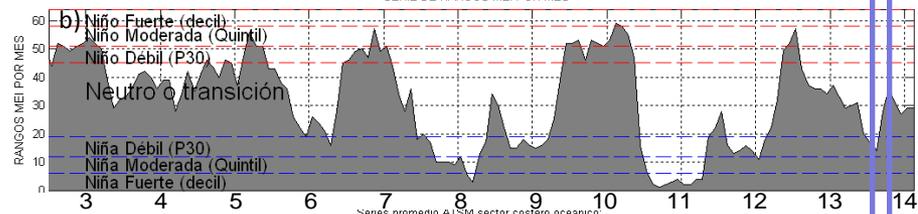
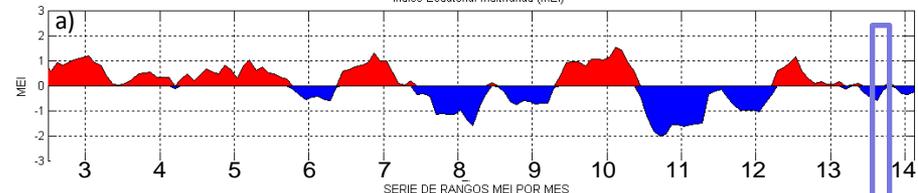
Con ATSM + o -

2006, 2007 y 2011: predominan (-)

2003/04 y 2009 predominan (+) intensas.

2012-2014, + y -

Lo que indica que aunque hay una asociación entre procesos regionales y locales no hay una relación de intensidad entre estos



MEI y ATSM satelital 2002-2014

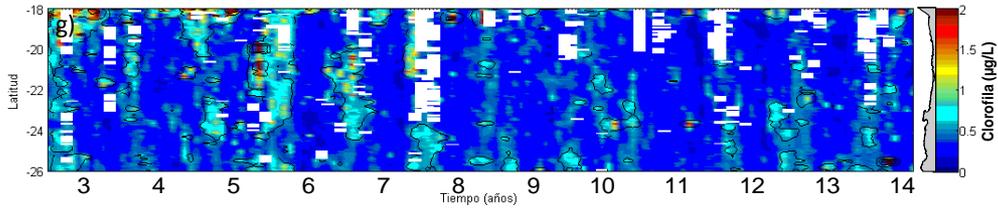
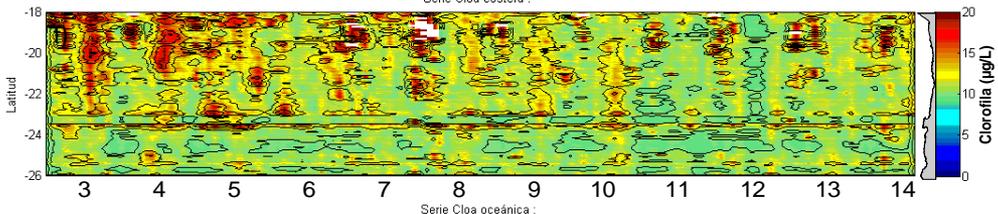
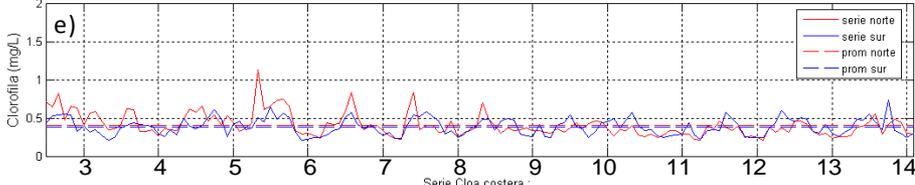
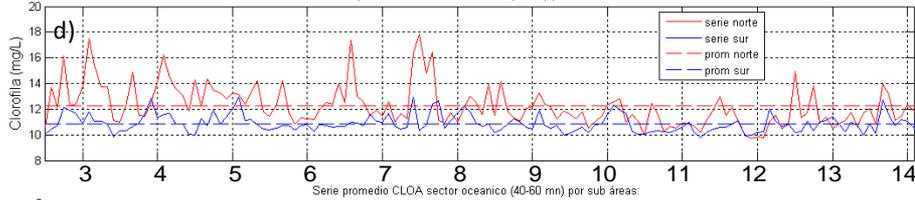
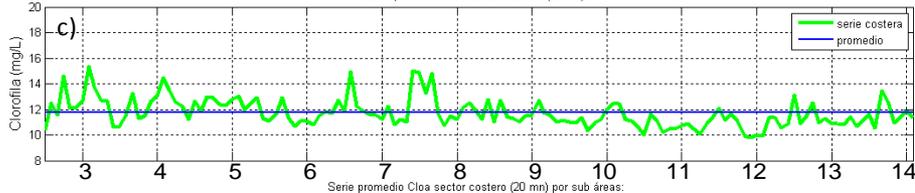
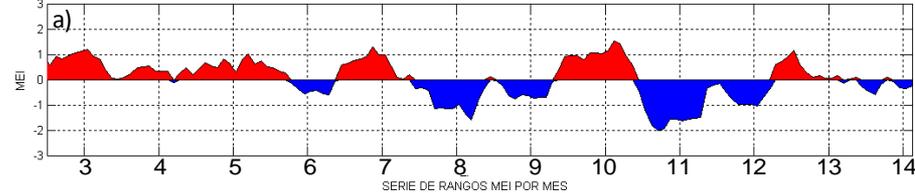
**Periodo del crucero MPH:
Agosto- septiembre 2013**

MEI : condición neutra abril 2012 a febrero 2014

**anomalías en la zona norte
ATSM : (-) para ambos meses
<1.0°C**

→ Las condiciones previas al crucero MPH en la zona de estudio, señalaron una tendencia a condición fría (marzo a julio). Normal durante crucero.

→ Pronóstico: condiciones neutras hasta al menos mediados de 2014



MEI y Cloa satelital 2002-2014

Series de tiempo para el período julio 2002-febrero 2014:

- a) MEI,
- b) rangos MEI y clasificación ENOS, y
- c) promedio de la concentración de clorofila satelital ($\mu\text{g/L}$) (cloas) entre las latitudes 18° a 26°S en el sector costero.

Promedio de cloas ($\mu\text{g/L}$) al norte y sur de los 23°S en el sector d) costero y e) oceánico.

Diagrama Hovmöller de cloas f) costero y g) oceánico, para el área total, latitudes 18° a 26°S .

MEI y Cloa satelital 2002-2014

Se destaca:

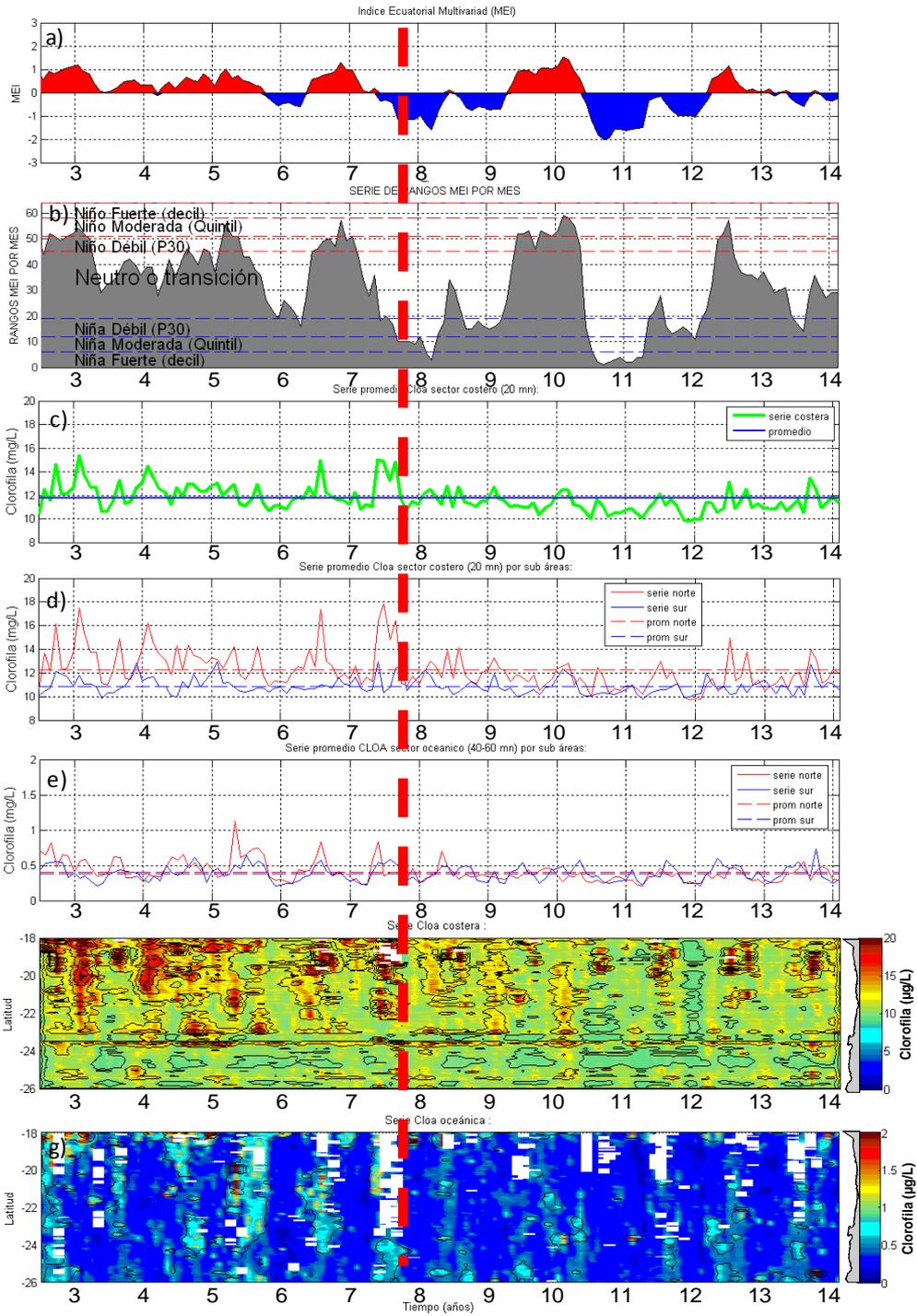
Las mayores [cloa] se dan entre loa 18 y 23°S en ambos sectores, especialmente costero

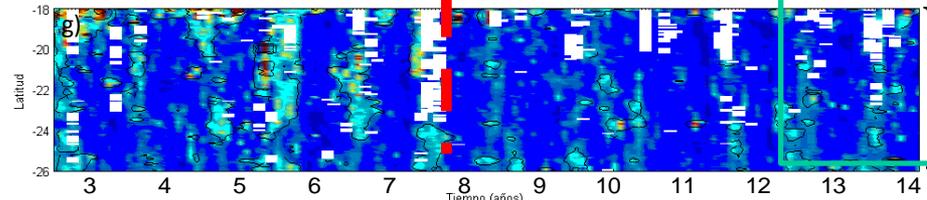
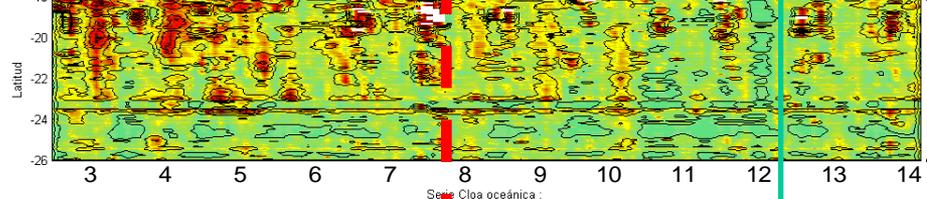
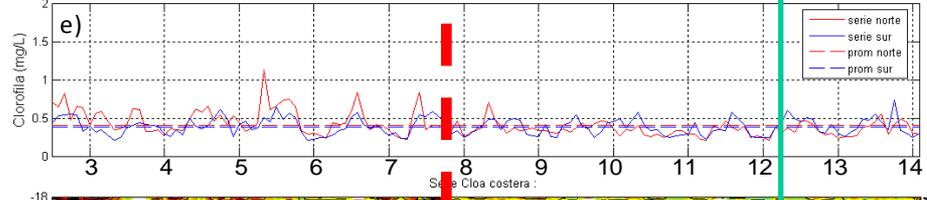
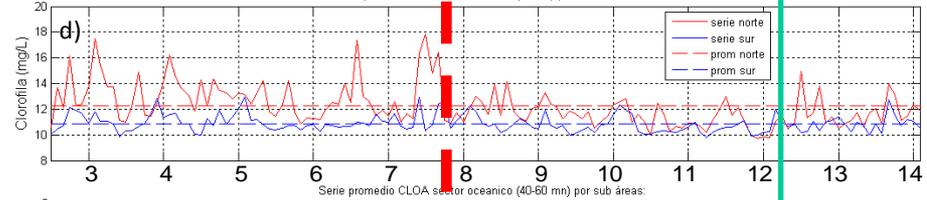
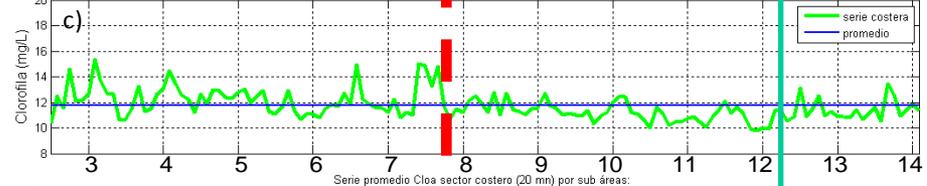
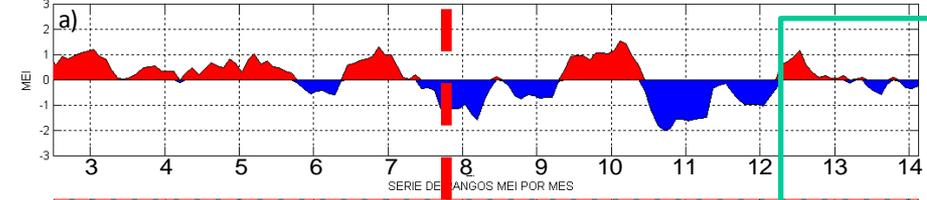
En los distintos sectores las mayores [cloa] se han dado hasta 2008, a excepción del sector oceánico sur donde se rompe el esquema al encontrarse el máximo en noviembre de 2013

Máximos:
Costa norte : > 17 µg/L; sur: > 12 µg/L
Océano norte: > 1 µg/L; sur: > 0,7 µg/L

Entre los 23 y 28°S poca variación en la serie, en relación a la parte norte

En el sector costero, mayor pobreza entre los 24 y 25°S





MEI y Cloa satelital 2002-2014

Se destaca:

No obstante las diferencias, a lo largo de la serie **ha habido una condición productiva en la zona**

Menores [cloa] desde 2008 –
Periodo de menor duración de las fases neutras.

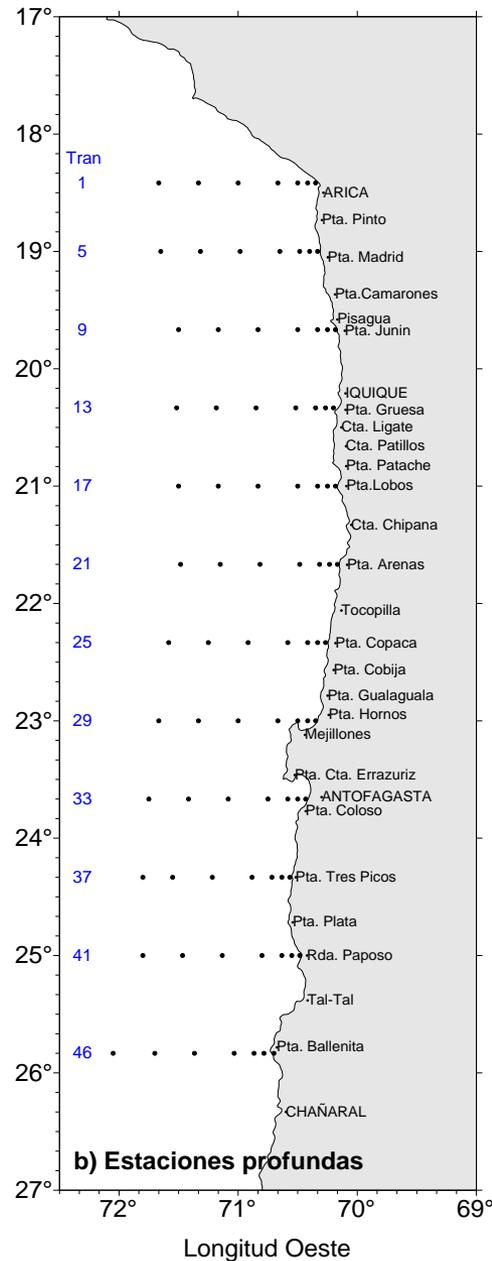
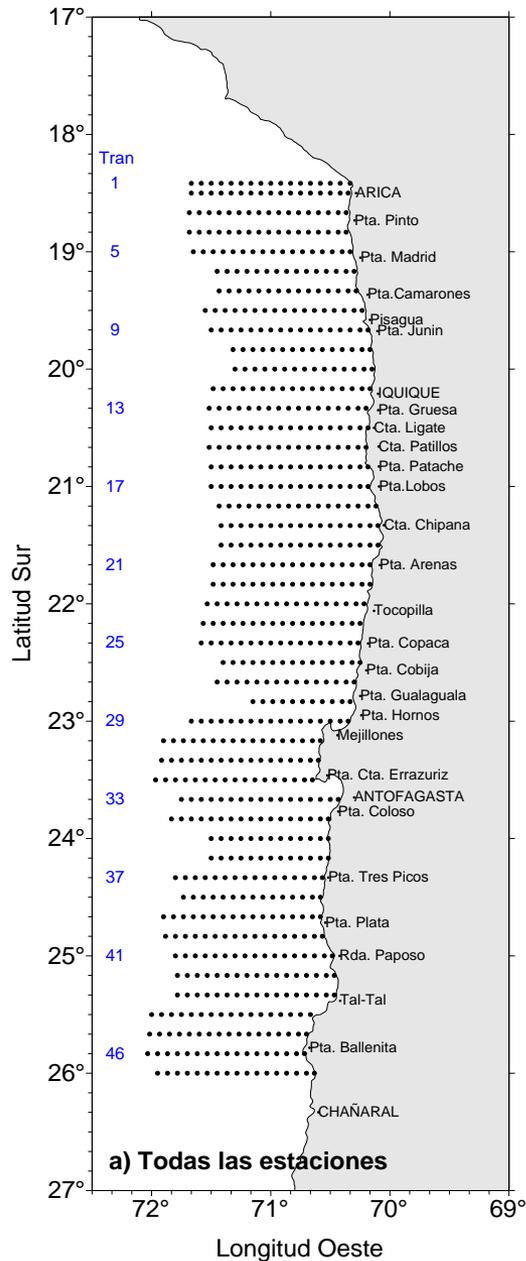
Sin embargo el último periodo neutro considerado desde abril de 2012 hasta ahora, aunque muestra un aumento en las concentraciones, éstas son inferiores a lo que se habría esperado, valores similares a los visto con anterioridad a 2008.

Condiciones oceanográficas asociadas al crucero de fase Huevos

CRUCERO MPH 2013

14 agosto a 9 septiembre 2013

Distribución de estaciones crucero MPH 2013 (agosto-septiembre)



MAPA DE ESTACIONES

Datos de estaciones

770 estaciones totales (huevos + CTD),
separadas cada 5 mn

47 transectas separadas cada 10 mn, salvo
en el extremo norte con 5 mn

Estaciones ubicadas entre
1 y 80 mn como máximo

Estaciones profundas

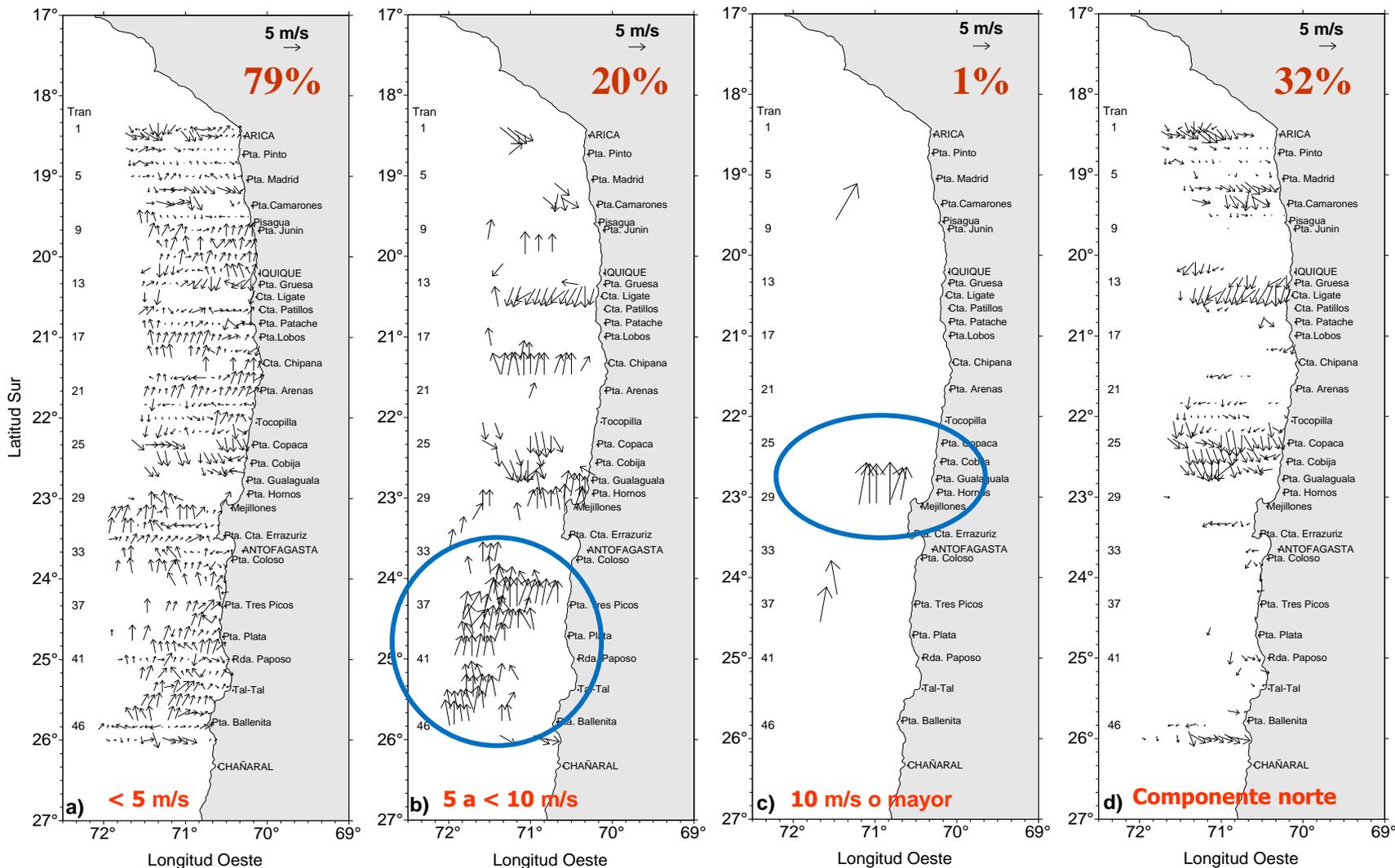
84 estaciones profundas
(1 – 5 – 10 – 20 – 40 – 60 – 80 mn como
máximo)

CTD a 500 m
12 transectas

CTD

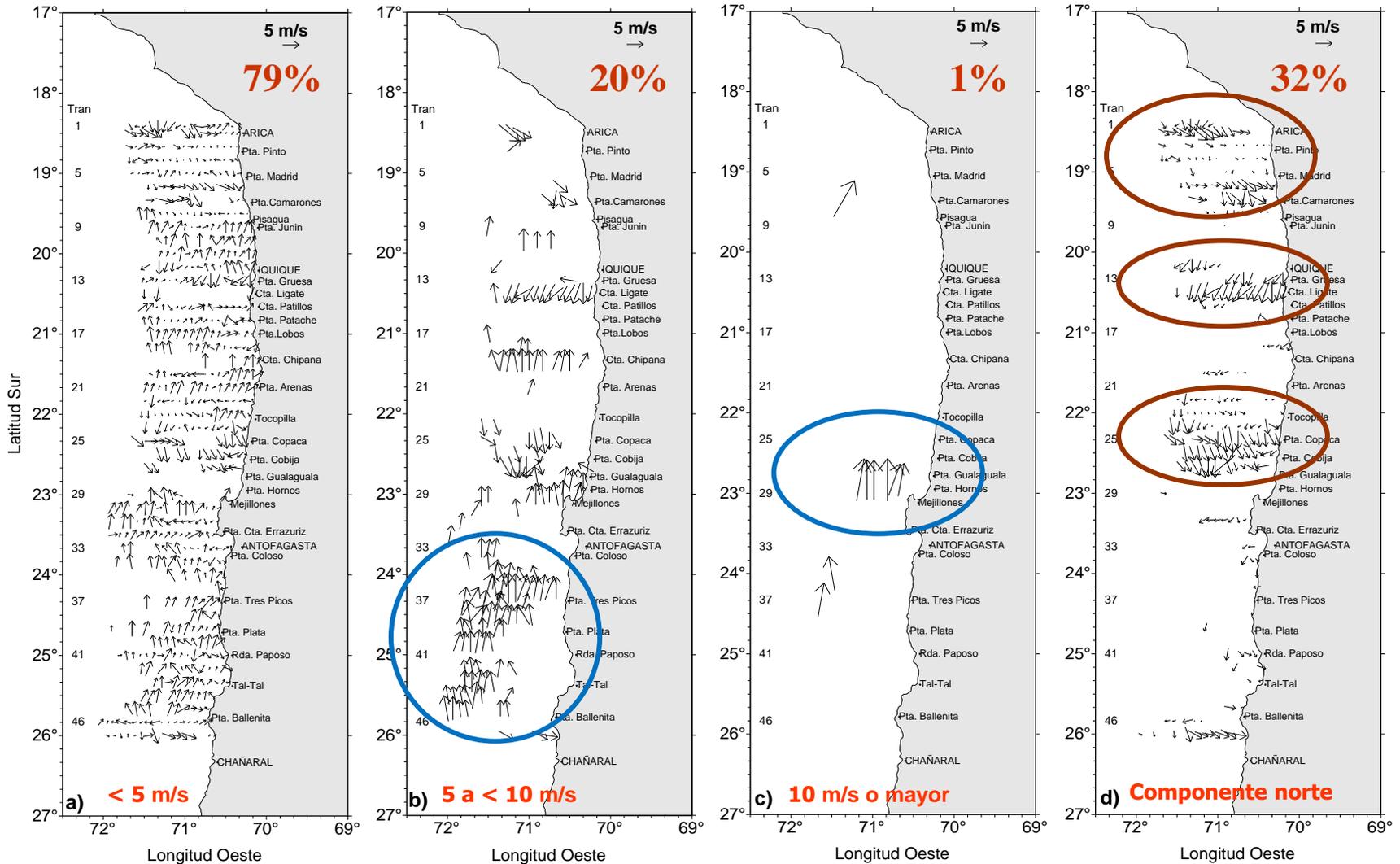
Oxígeno y Clorofila (100 m)

Intensidad de los vientos horario en crucero MPH 2013 (agost-sept)



- Predominio de intensidades débiles (< 5 m/s). 65,6% 2012
- Vientos más intensos (moderados a fuertes) desde punta Copaca al sur

Intensidad de los vientos horario en crucero MPH 2013 (agost-sept)



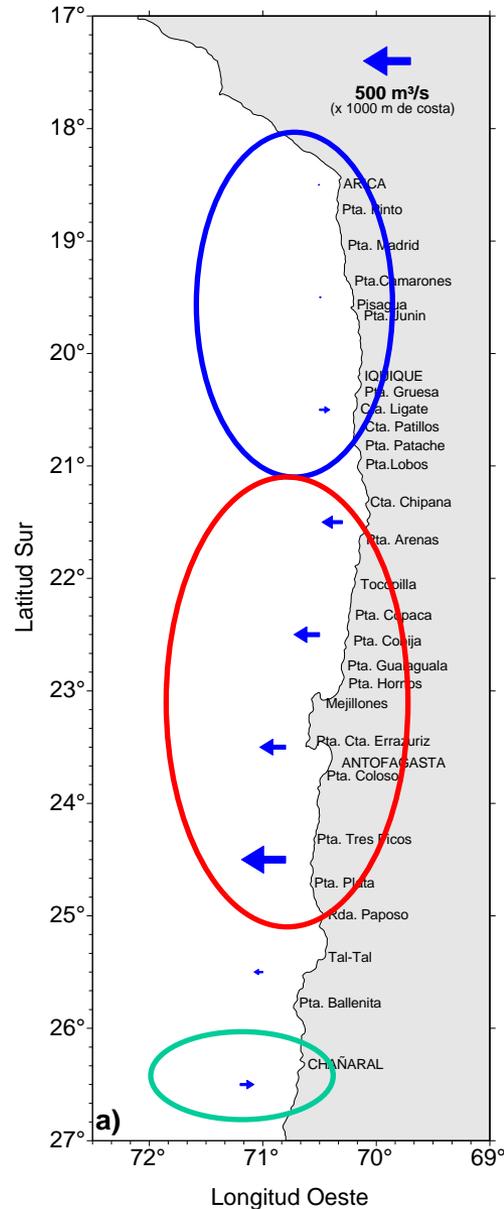
Viento norte focalizado entre: Arica y punta Camarones, Iquique a caleta Patillos, de los 22°S a punta Gualaguala. 68% de los vientos costeros (30 mn) tienen una componente favorable a la surgencia. * 84,9% en 2012

Indice de surgencia e Indice de Turbulencia en crucero MPH

< intensidad
y transporte
hacia la costa

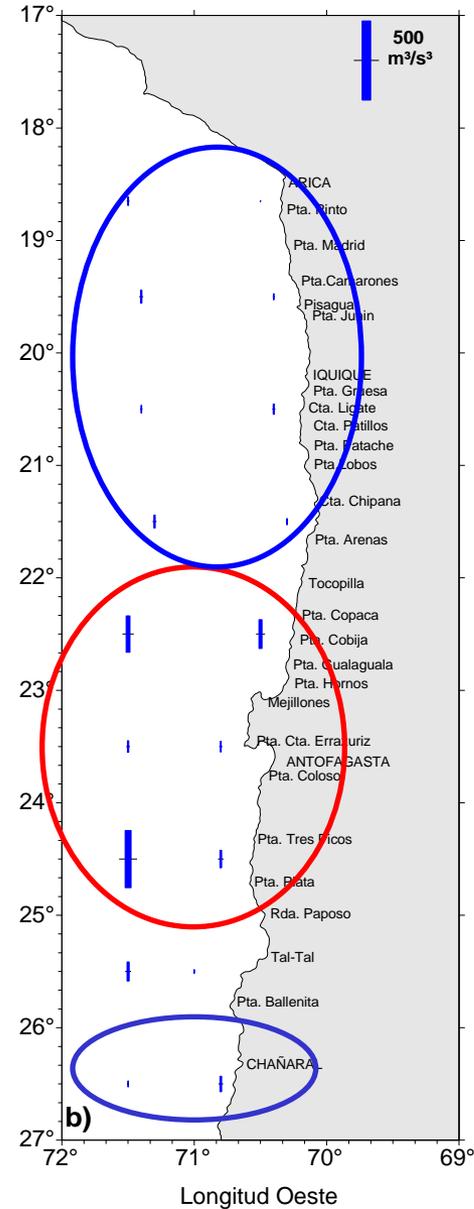
> intensidad

transporte
hacia la costa



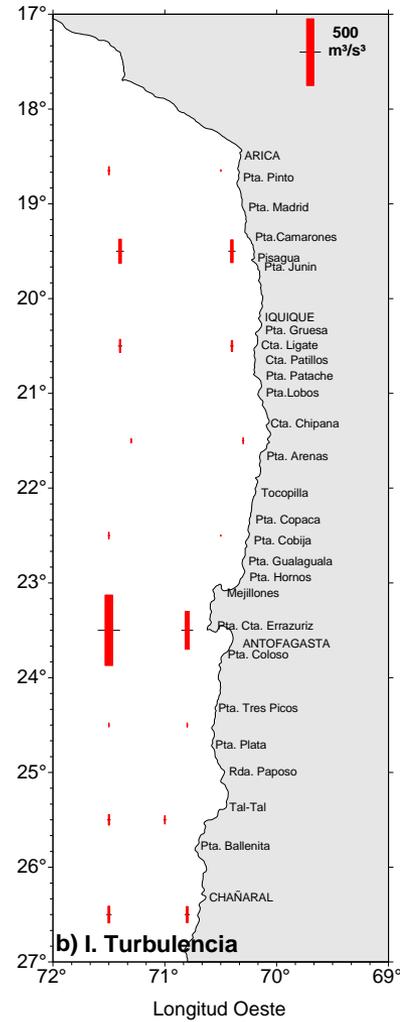
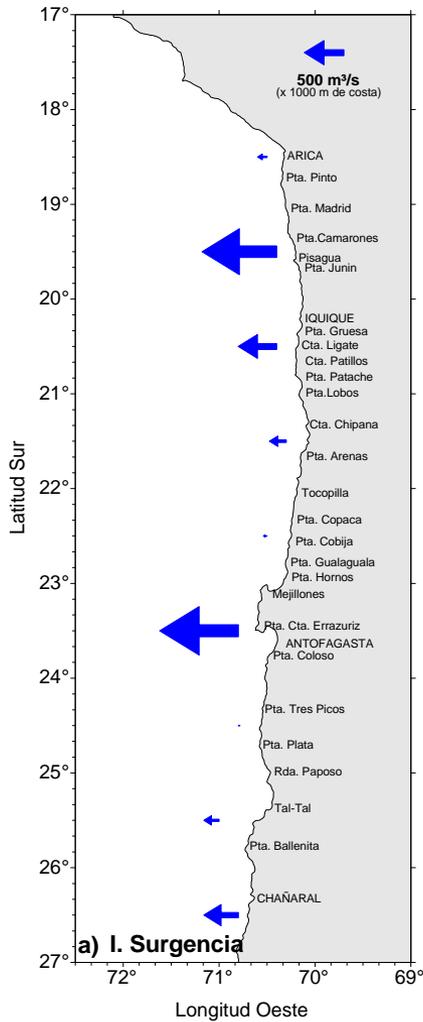
Turbulencia
< 100 m³/s³

> turbulencia

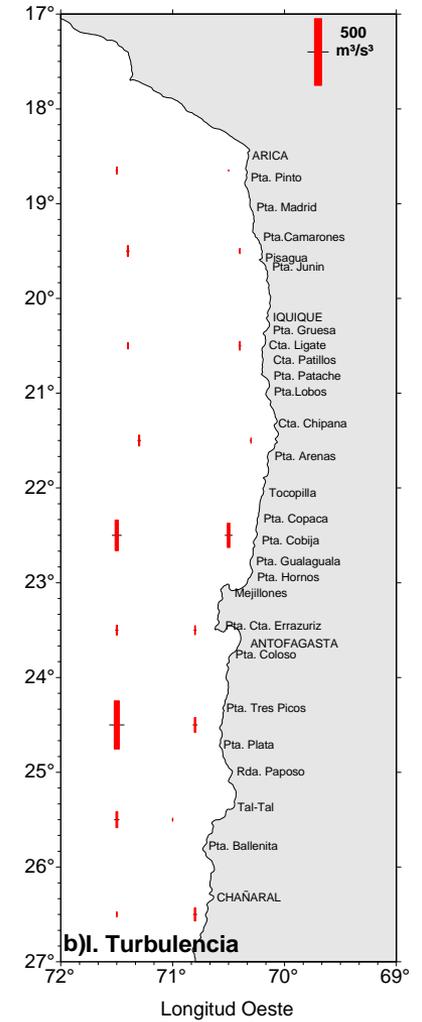
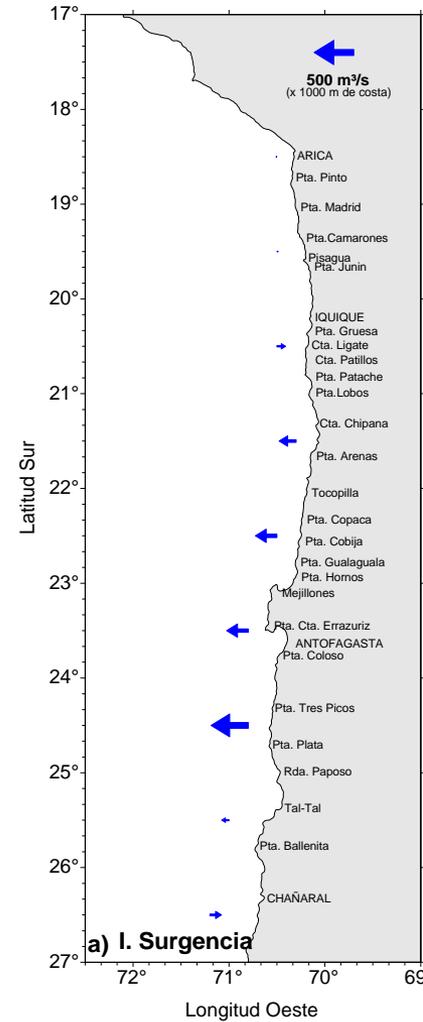


Indice de surgencia e Indice de Turbulencia en crucero MPH

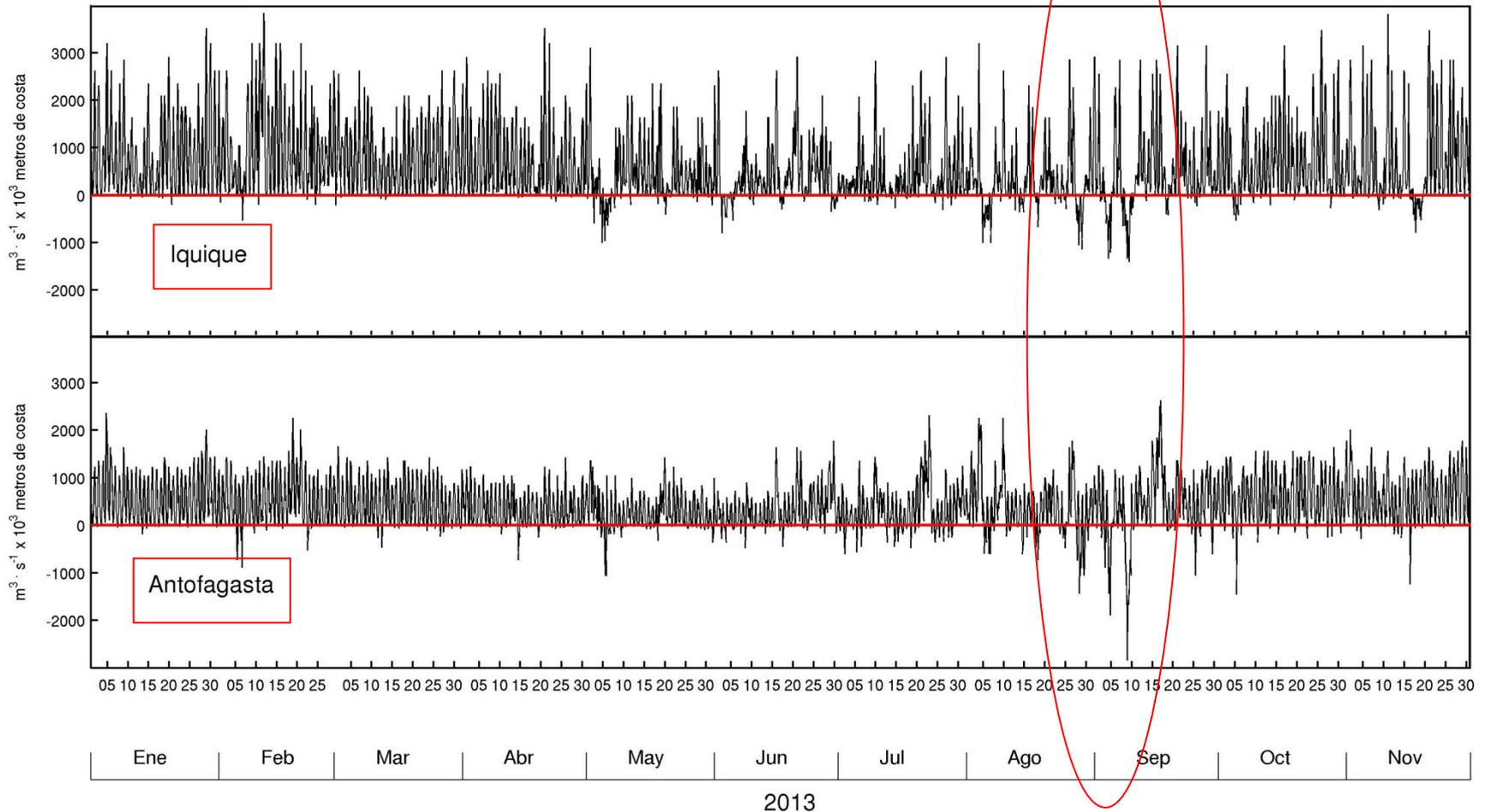
2012



2013

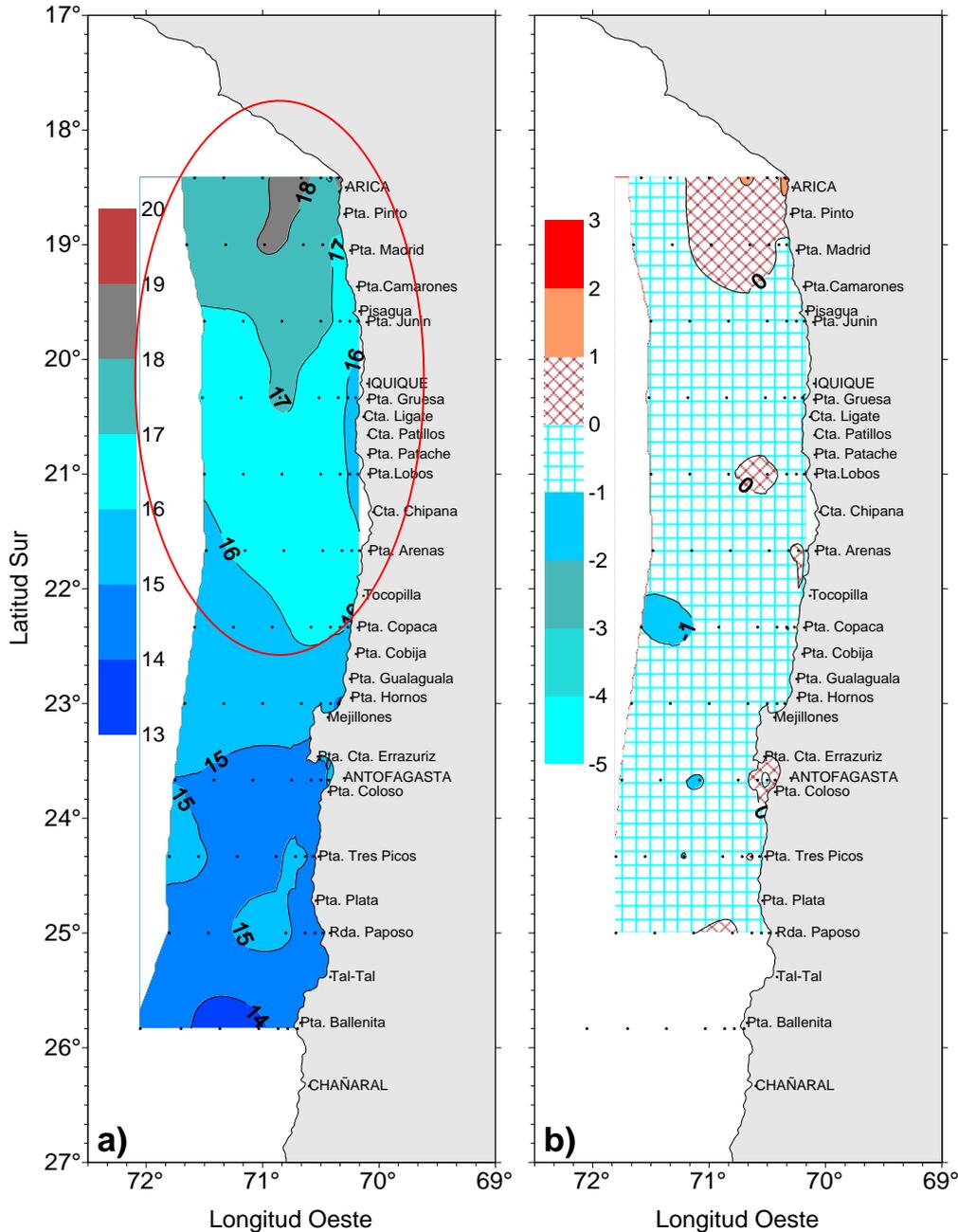


Transporte de Ekman



Entre el 15 de agosto y 15 de septiembre se registran al menos 5 eventos de TE hacia la costa en ambas series, donde principalmente las últimas 3 superan un TE de 1000 m^3/s , siendo más intensas las de Antofagasta

Temperatura (a) y anomalía T° (b) superficial en crucero MPH 2013



En a)

Gradiente norte-sur

Foco de < TSM en la costa sólo entre punta Gruesa y punta Lobos

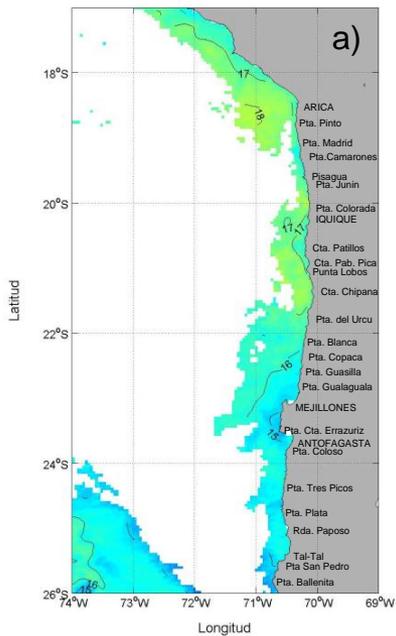
-No hubo frente térmico costa océano
-Entrada de aguas oceánicas hacia la costa, principalmente en el sector norte

→ Efecto del bajo viento

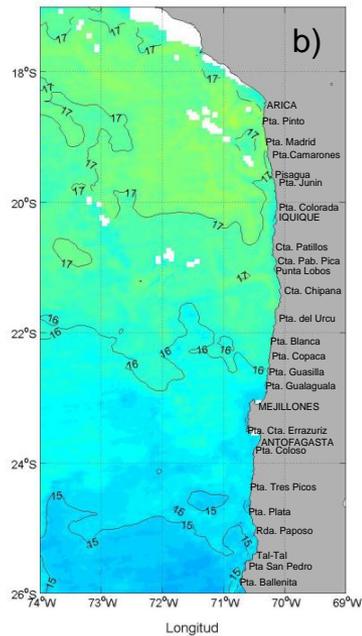
En b)

Predominio de valores de ATSM negativos no significativos < -1°C oce y -2°C costa (área achurada).

14 a 20 de agosto 2013

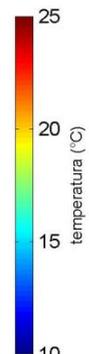


21 a 28 de agosto 2013

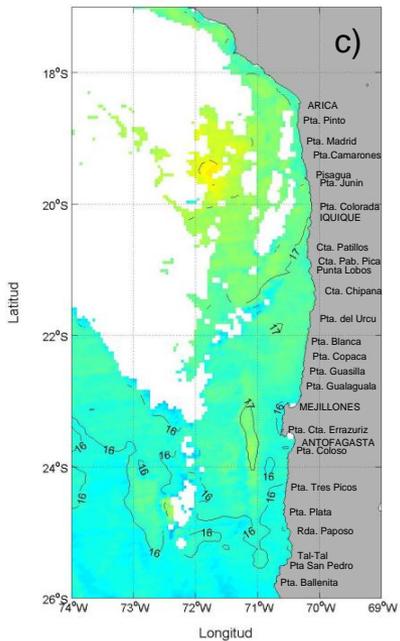


TSM satelital en crucero MPH 2013 y anomalía de agosto y septiembre

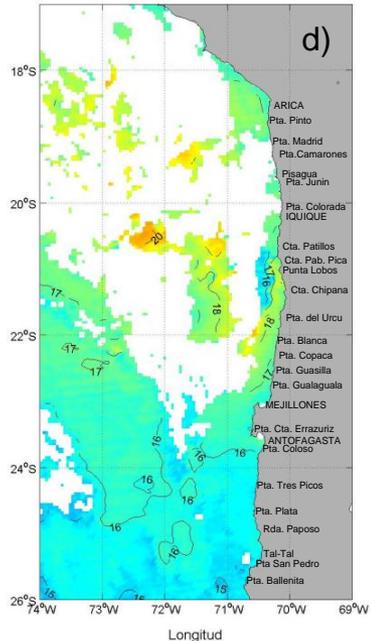
Se observa claramente como se acerca a la costa cuerpos de agua oceánica, principalmente desde Iquique al norte



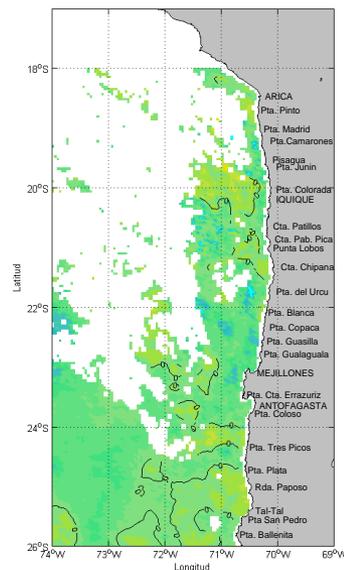
29 agos- 5 sept 2013



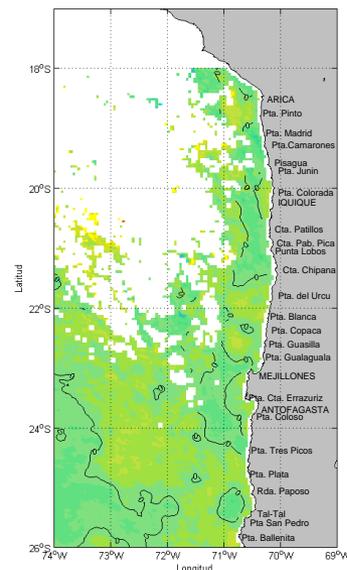
6 agos - 13 sept 2013



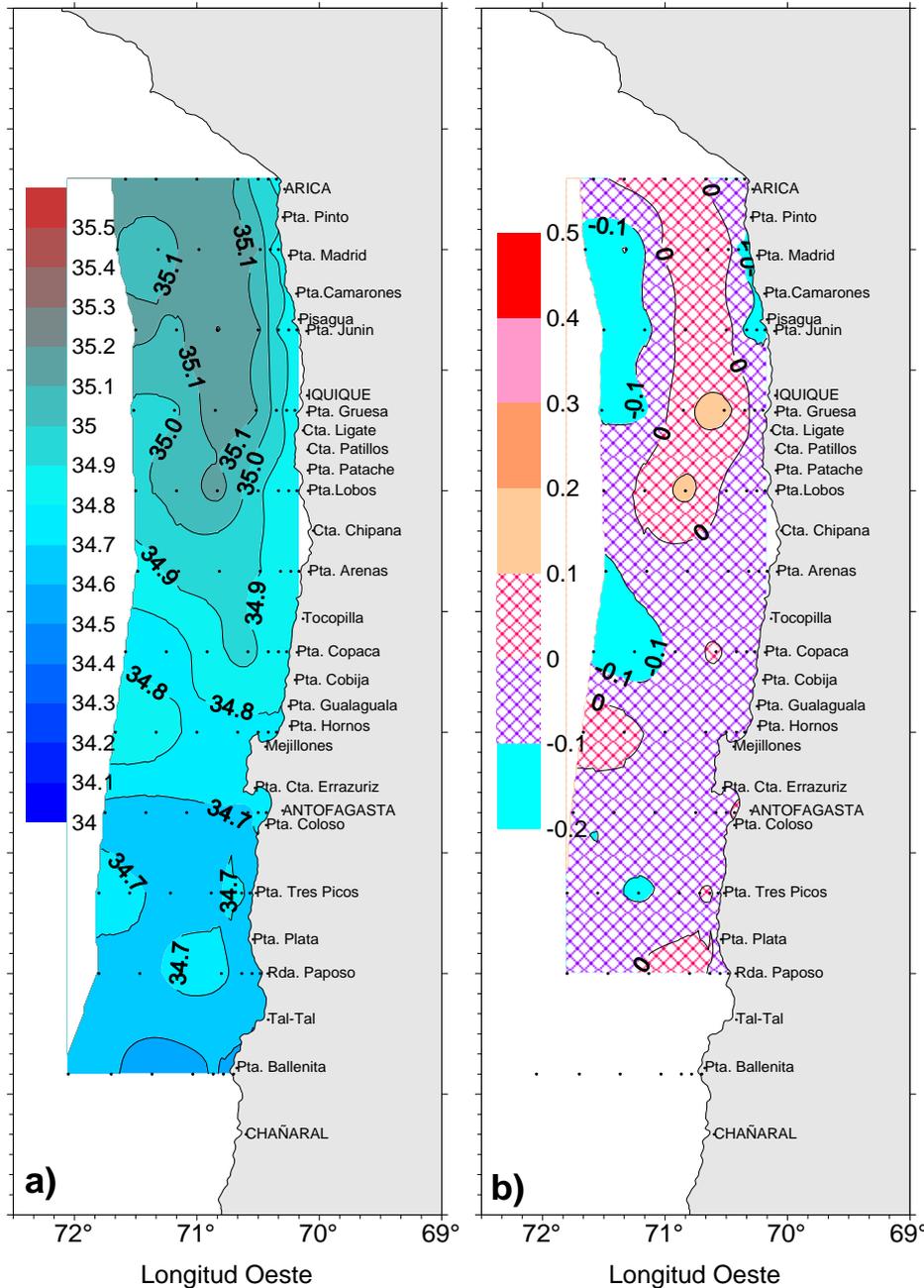
ATSM AGOSTO 2013



ATSM SEPTIEMBRE 2013



Salinidad y anomalía de salinidad superficial en crucero MPH 2013



En a)
Gradiente costero de salinidad desde
punta Lobos al norte
Salinidad en la costa > 34,8 desde punta
Gualagualla al norte

En b)
Predominio de valores
de ASSM positivos y negativos no
significativos en toda el área < ± 0,1

- focos significativos en el sector oceánico
centro -norte

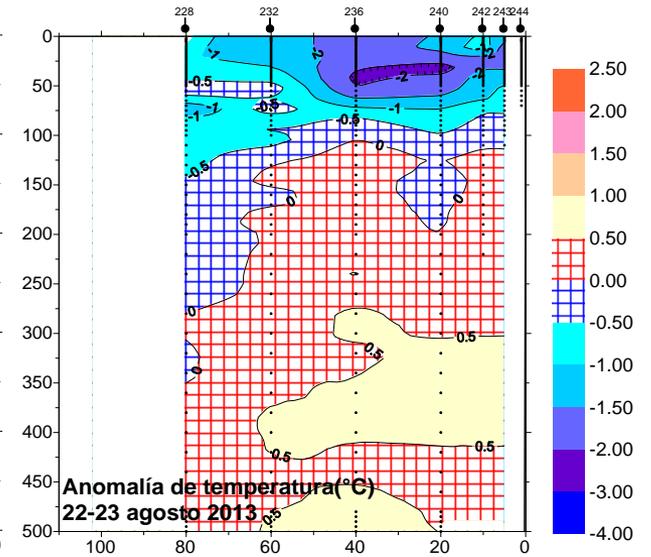
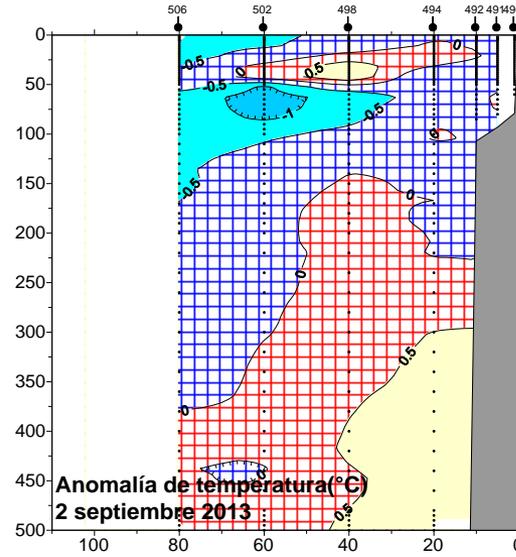
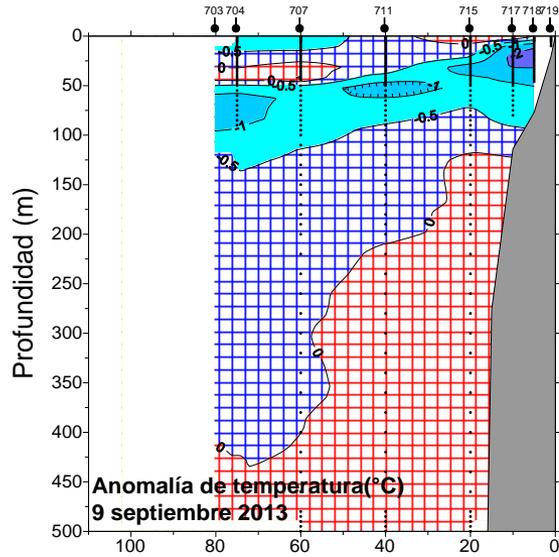
Anomalías de temperatura y salinidad vertical 2013

Arica

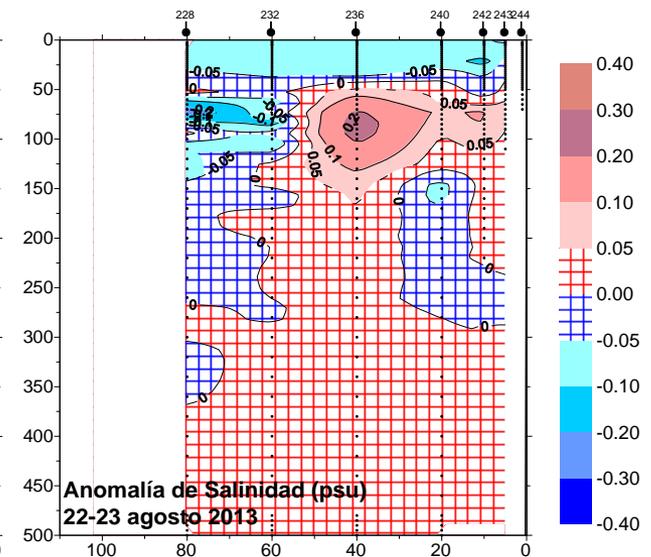
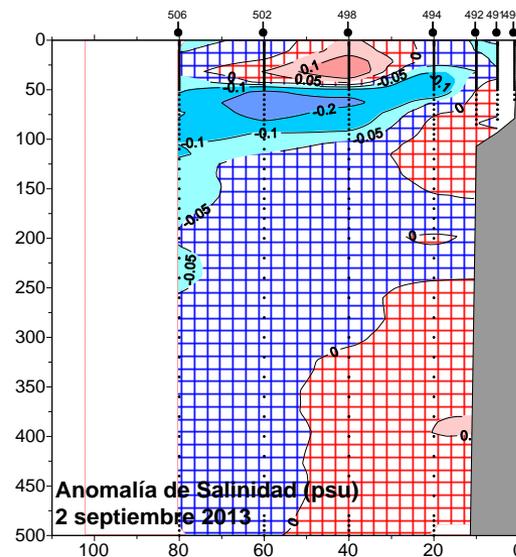
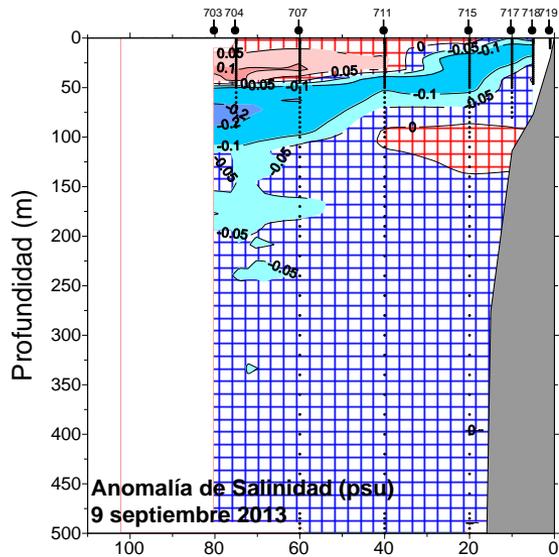
Punta Lobos

Bahía Moreno

Anomalia Temperatura



Anomalia salinidad



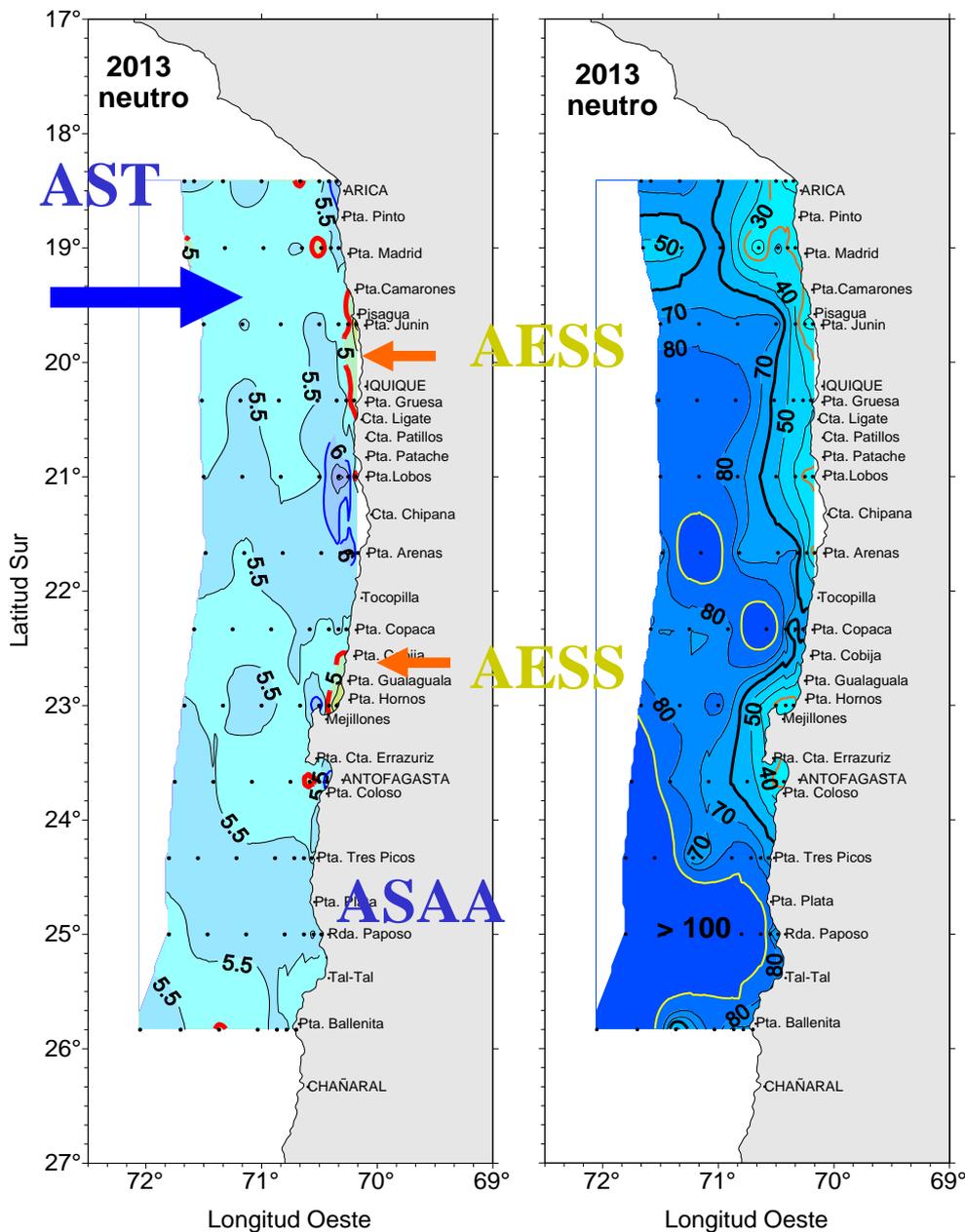
Distancia a la costa (mn)

Distancia a la costa (mn)

Distancia a la costa (mn)

No hay señales de alguna condición atípica

Oxígeno disuelto superficial y masas de agua



Observaciones:

Predominio de valores entre 5 y 6 mL/L

Producto de la baja intensidad de los vientos en el periodo que permitió el acercamiento de aguas oceánicas

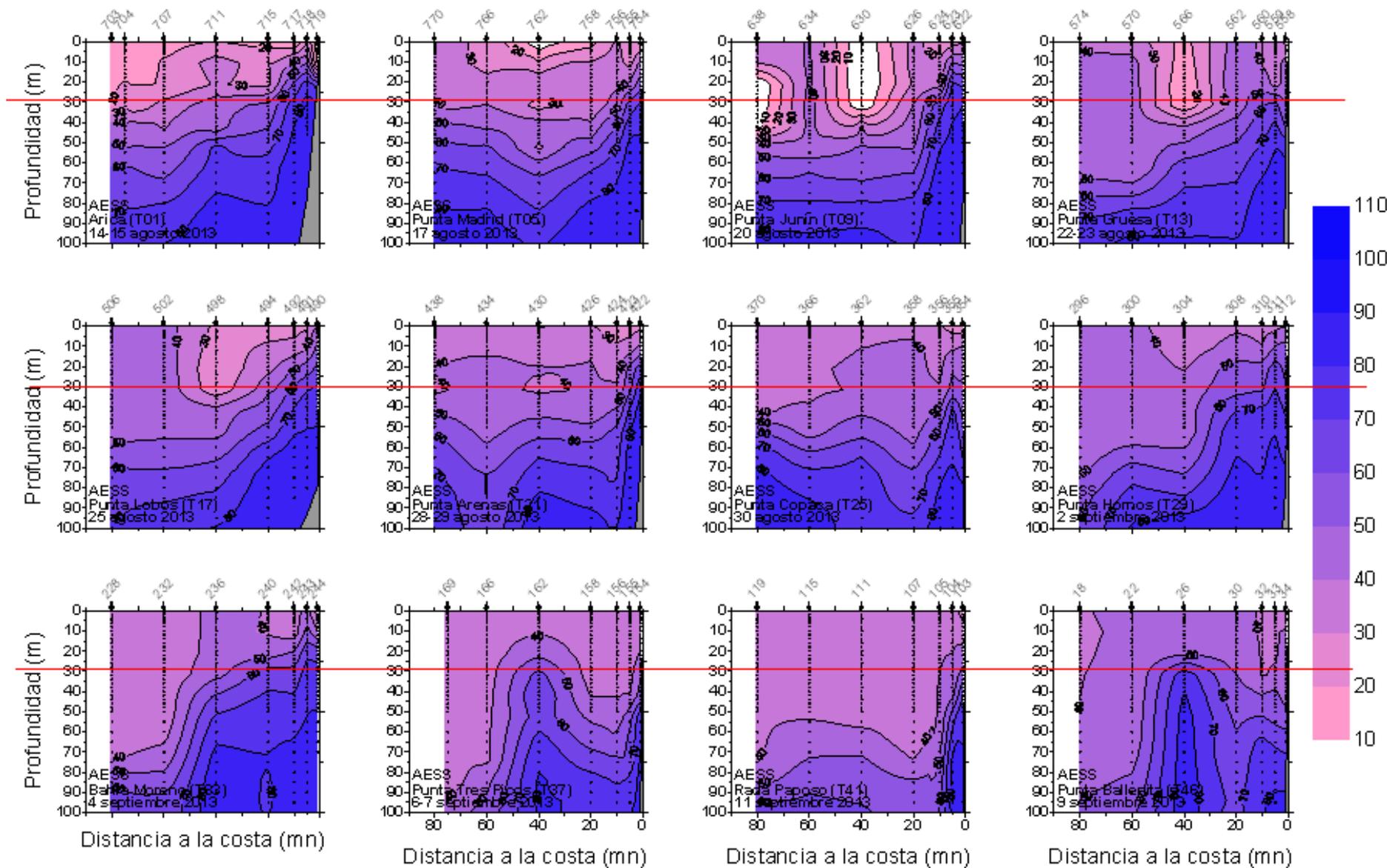
→ Baja frecuencia de focos superficiales de [< 5 mL/L] en la costa

→ Importante participación de AESS en subsuperficie aportada por surgencia.

En la columna de agua en el sector costero, la isolínea de 1 mL/L se ubicó a menos de 50 m hasta Antofagasta

el AESS se aproxima a niveles más someros y aporta nutrientes a la capa productiva.

Distribución vertical de AESS



Comparación histórica del OD

frío

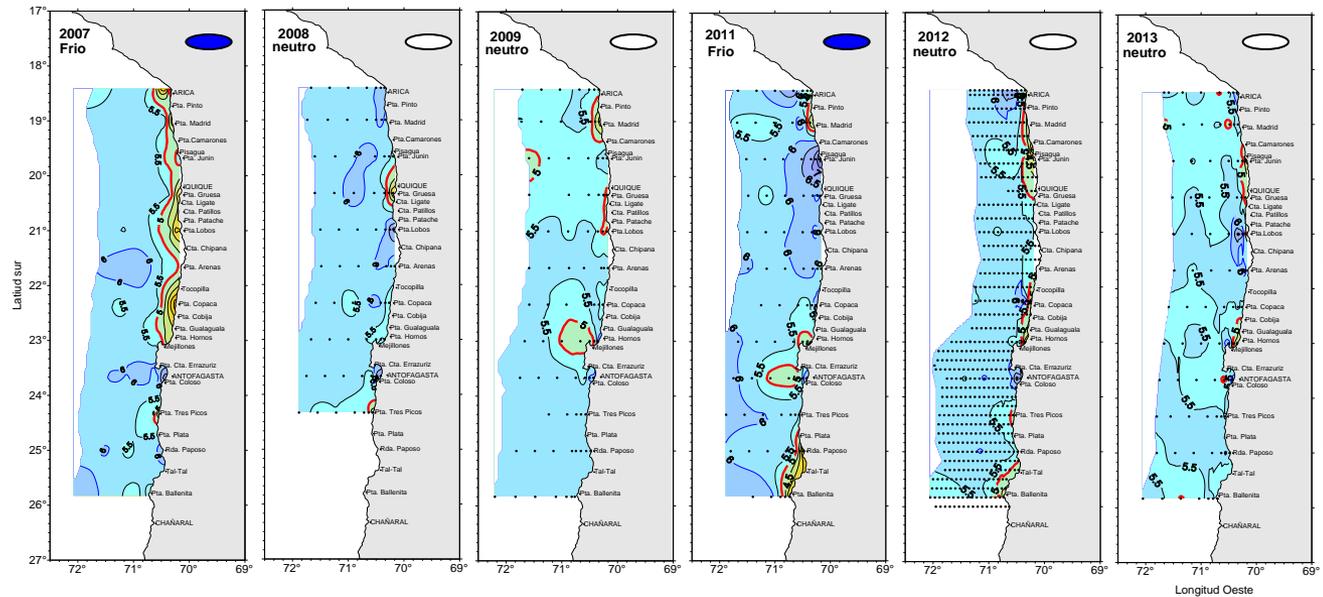
neutro

neutro

frío

neutro

neutro



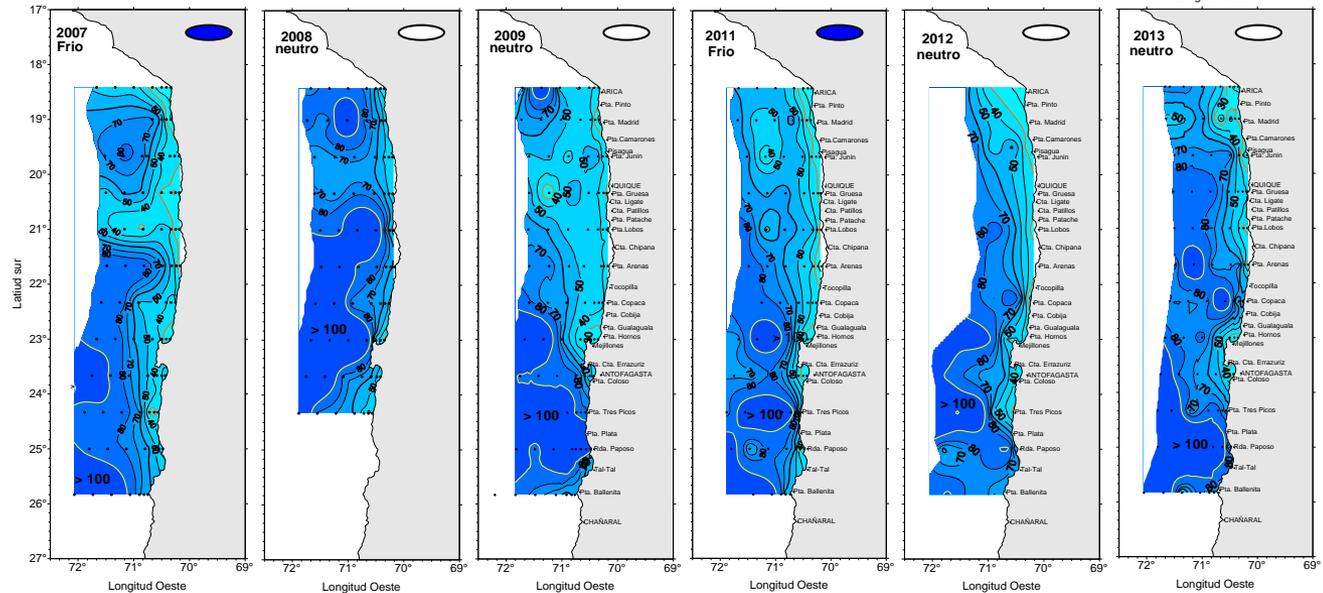
La Niña → Mayor AESS (teoría)
 → Menor OD superficial en la costa
 → Capa de mínimo OD más somera

Distribución de OD

En **2013 (neutro)**, los focos costeros < 5 mL/L menos frecuentes que **2012 (neutro)** y similar a **2008 y 2009 (neutro)**

Profundidad de la CMOD

El año más distinto es 2008



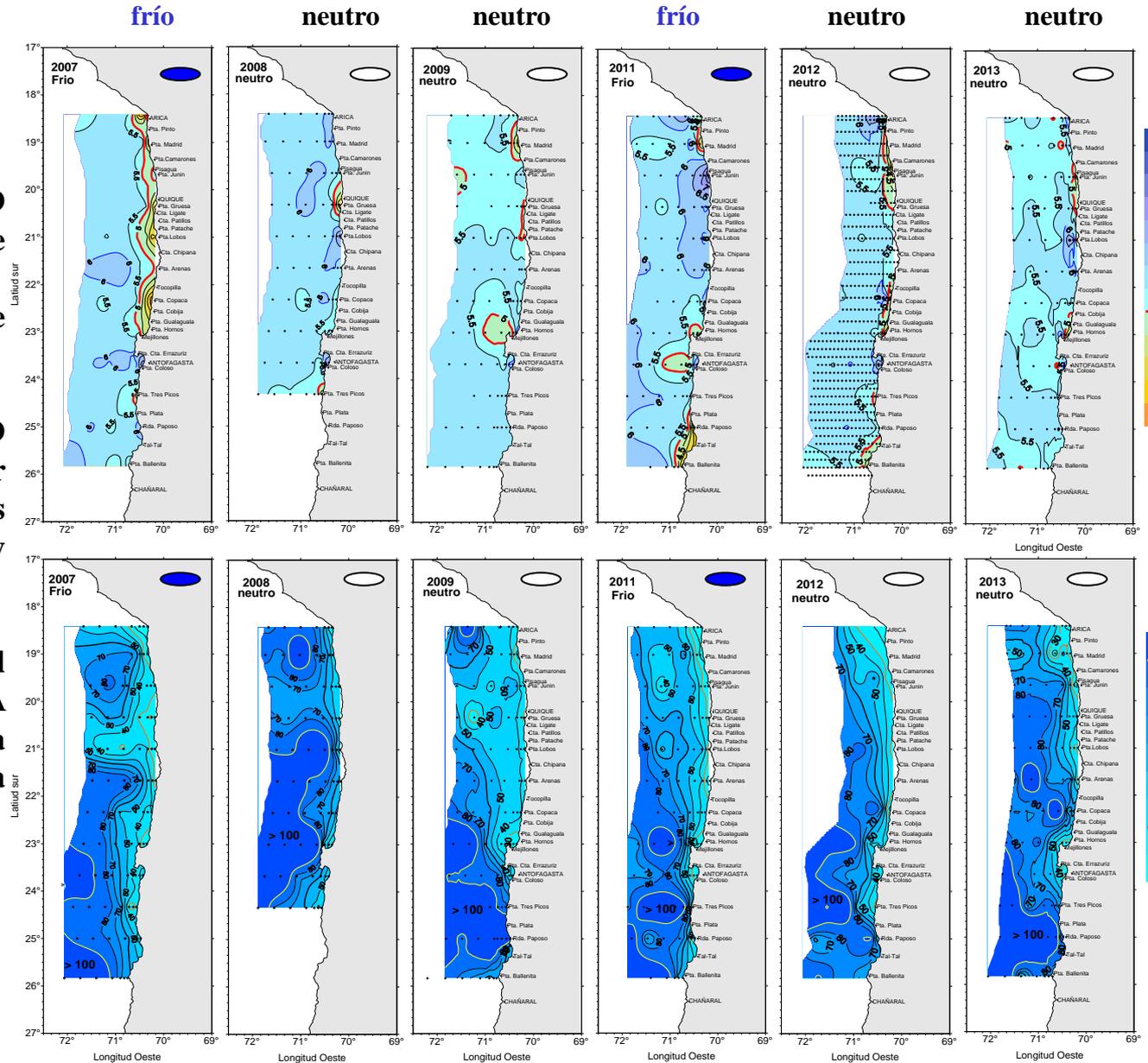
Comparación histórica del OD

Que podemos decir :

La profundidad de la CMOD no es claramente distinta entre periodos fríos y neutros (en los periodos cálidos se profundiza)

La profundidad de la CMOD estaría determinada por procesos locales y no regionales durante periodos fríos y neutros.

→ En los eventos La Niña, si el AST es reemplazado por ASAA no se altera mayormente la estructura vertical de esta variable.



Distribución de clorofila

→ a pesar de los bajos IS y escasos focos de bajo OD en la costa, las mayores concentraciones de clorofila superficial se ubicaron entre Arica y Antofagasta (valores mayores a $1 \mu\text{g/L}$).

→ Máximos de entre $5 \mu\text{g/L}$ y $20 \mu\text{g/L}$

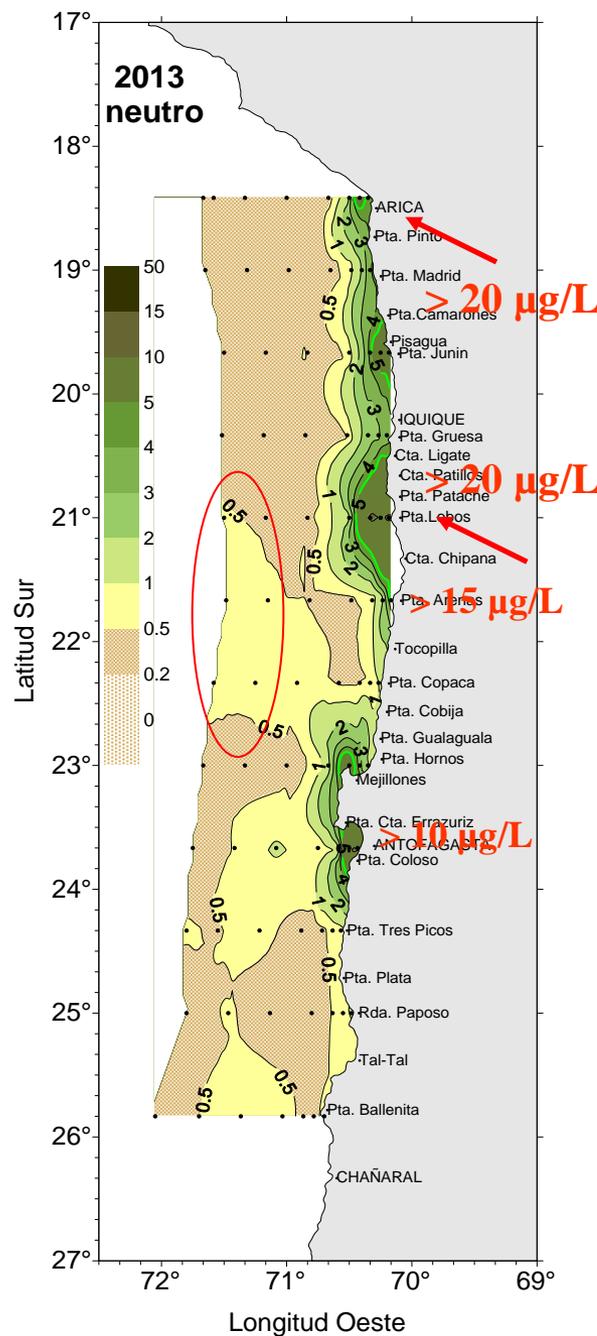
- Franja de cloint $>100 \text{ mg/m}^2$ entre Arica y punta Copaca

- Máximos $>300 \text{ mg/m}^2$ en Arica y punta Lobos

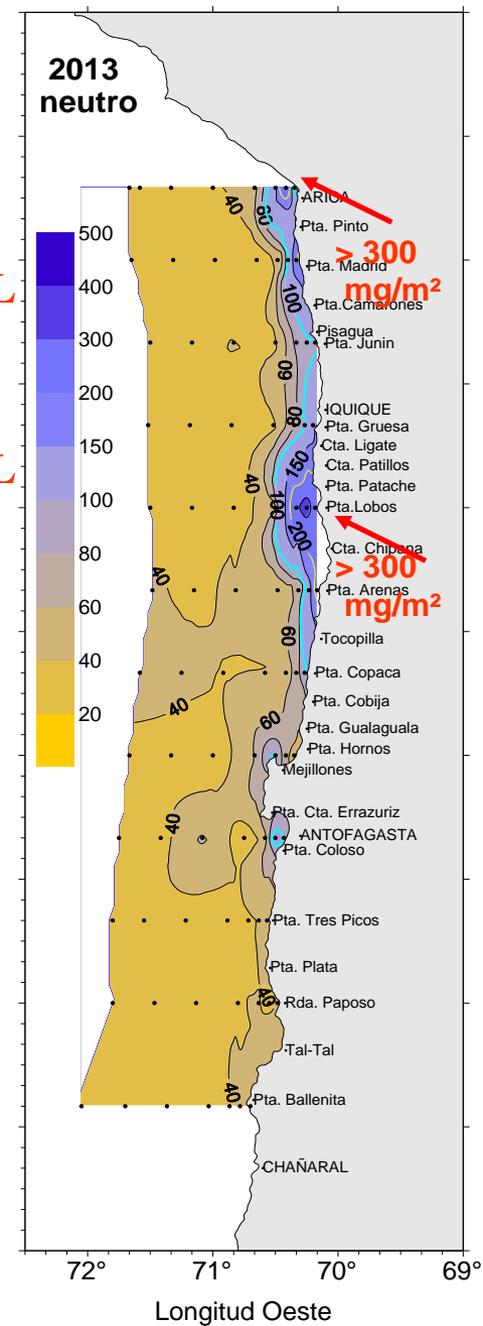
- Los núcleos costeros rara vez sobrepasaron las 40 m de espesor desde la superficie, con una extensión máxima hacia el oeste de 20 mn, en punta Lobos, Mejillones y Antofagasta

PPMA de AESS $> 60 \%$ al menos desde los 30 m entre Arica y Antofagasta

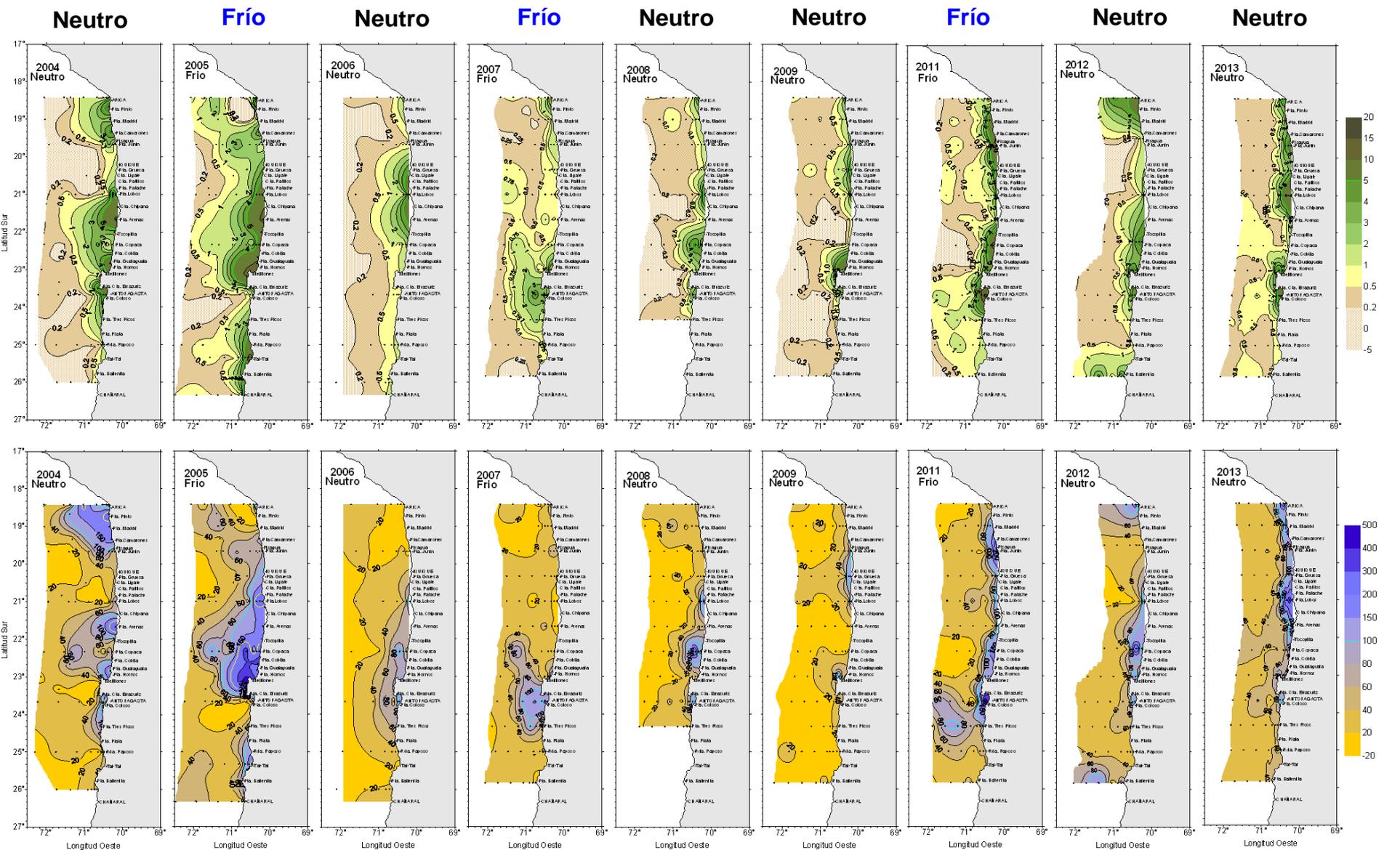
Clorofila superficial



Clorofila integrada



Distribución histórica de clorofila



Conclusiones principales

La condición oceanográfica en la zona intertropical desde el mes de abril de 2012 hasta marzo 2014, se ha definido como ENOS neutral y se mantendría hasta al menos mediado de año de 2014. Es el periodo neutro más largo de los últimos 12 años.

La zona norte de Chile es afectada por las condiciones cálidas y frías El Niño y La Niña que ocurren en el Pacífico Tropical sin embargo no habría necesariamente una simultaneidad temporal o una relación de intensidad.

Durante el periodo de marzo-julio 2013 se registró una tendencia fría

Para el mes de agosto y septiembre, periodo del crucero MPH, se encontró una condición de normalidad. Los procesos de surgencia costera habituales para la zona se presentaron en intensidad débil a moderada en la mitad norte y débil en la mitad sur de la zona.

La serie histórica del oxígeno muestra que hay diferencia entre las distribuciones superficiales en periodos neutros. La profundidad de la CMOD estaría determinada por procesos locales y no regionales durante periodos fríos y neutros.

Las mayores concentraciones superficiales de clorofila se ubicaron en general entre Arica y Antofagasta, mientras que las menores se ubicaron al sur de Antofagasta

Conclusiones principales (cont.)

Los focos costeros más notables en concentración de clorofila, que son Arica, caleta Patillos, Mejillones y Antofagasta muestran núcleo de AESS con PPMA > 60% a los 30 m de profundidad.

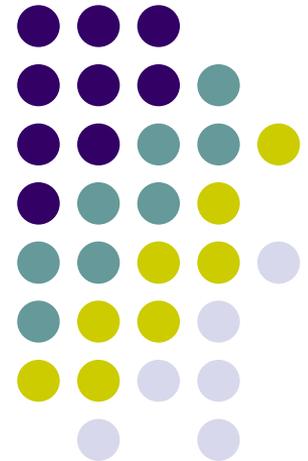
En la serie de clorofila costera (satelital) 2002 - 2014 se observa desde fines de 2007 y hasta comienzos de 2014 un descenso en las concentraciones entre los 18° y 23°S. Hacia el sur de los 23°S, las concentraciones han variado dentro de un rango menor, sin grandes cambios en la serie.

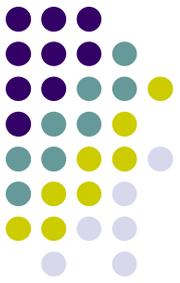
Entre los años 2008 y mediados de 2012, los periodos neutro o tiempo de transición de los eventos ENOS son notoriamente más breves

En el último y extenso periodo neutro 2012-2014, a pesar que se observan aumentos en las concentraciones de clorofila, estas no alcanzan el nivel visto con anterioridad a 2008.

Evaluación del stock desovante
FIP N° 2013-06

Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II regiones, año 2013





$$B = \frac{P}{C} = \frac{P_o A}{C} = \frac{N^\circ \text{ huevos/día}}{C}$$

$$C = \frac{R S F}{W} = \frac{N^\circ \text{ huevos/día}}{\text{gramo}}$$

P_o: 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

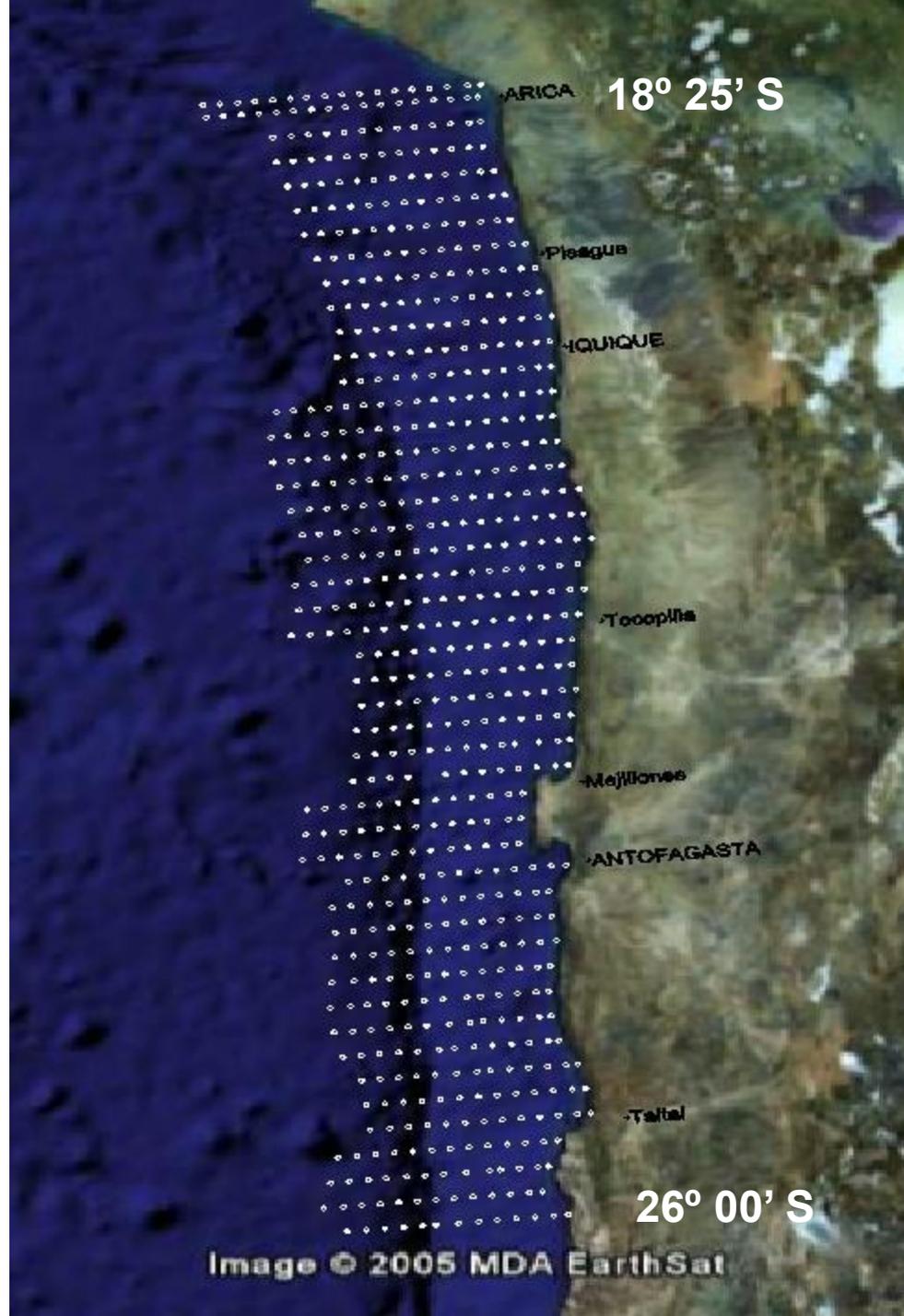


$$B = \frac{P_0 A}{C}$$

The equation $B = \frac{P_0 A}{C}$ is displayed in large, bold letters. The letter 'B' is black, the equals sign is black, and the fraction $\frac{P_0 A}{C}$ is yellow with a black outline. The letter 'C' is cyan with a black outline. A black line starts from the top left of the equation, goes up, then right, then down, ending in an arrow pointing to the left image. Another black line starts from the bottom right of the equation, goes right, then down, ending in an arrow pointing to the right image.



Crucero ictioplanctónico



Crucero Ictioplanctónico



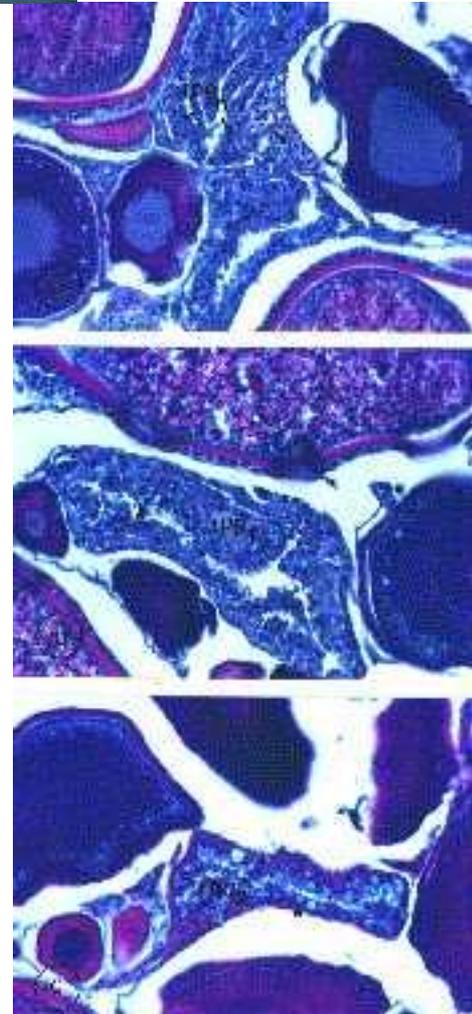
Año	Estac. Nº	Estac. (+) Nº	Total Huevos Nº	Densidad H/0.05 m ²	Densidad (+) H/0.05 m ²	Area crucero mn ²	Area desove mn ²	Temp 10 m °C
1992	542	212	10974	20	52	17055	10332	16.25
1995	578	208	7555	13	36	18137	13315	15.64
1996	752	176	6718	9	38	18353	10698	15.28
1997	800	209	8054	10	39	28276	14660	18.26
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
2011	730	292	13915	19	48	34736	15771	15.40
2012	564	241	10779	19	45	32291	14356	15.74
2013	770	201	6267	8	31	36696	10819	15.67

$$C = \frac{RSF}{W}$$



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
2011	41	1388
2012	45	1546
2013	37	1277



RESULTADOS

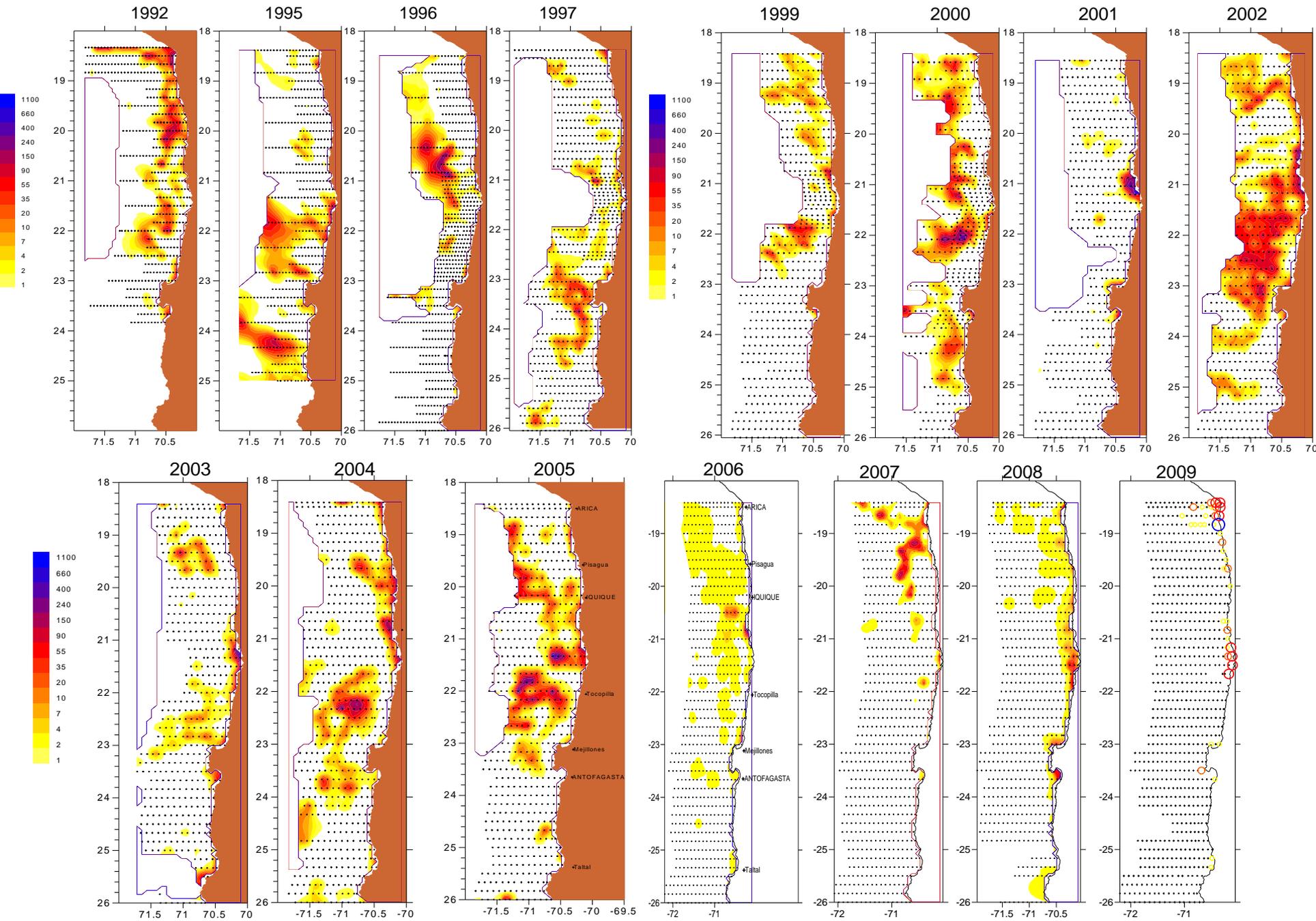


$$B = \frac{PoAW}{SFR}$$

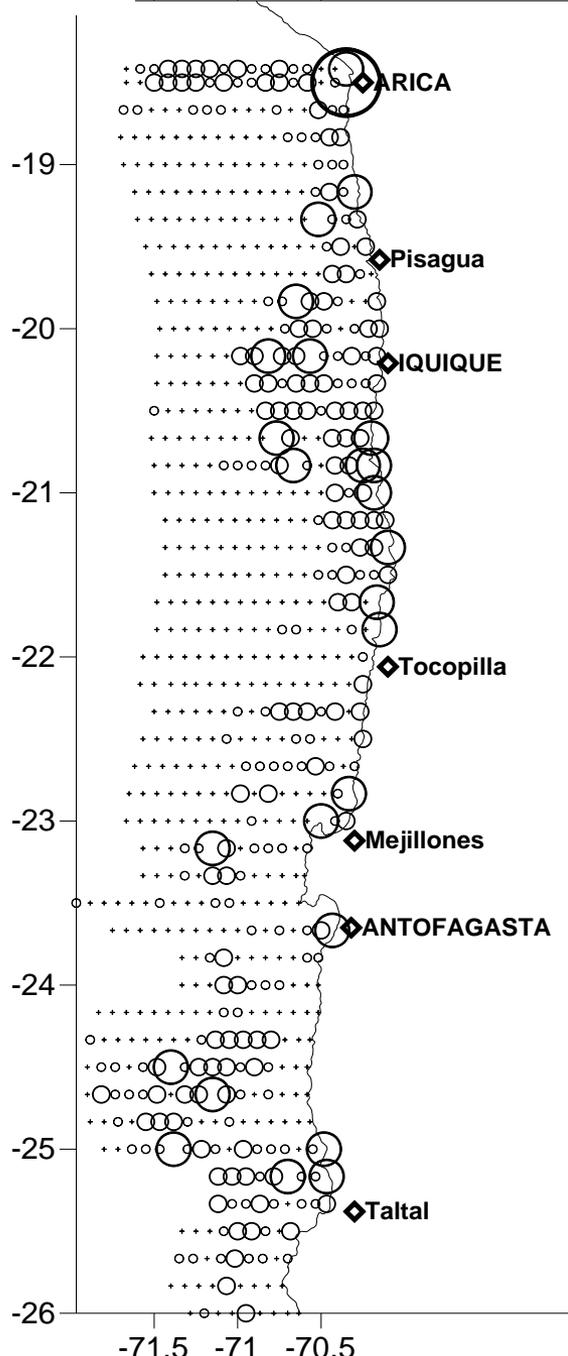


AREA DE DESOVE

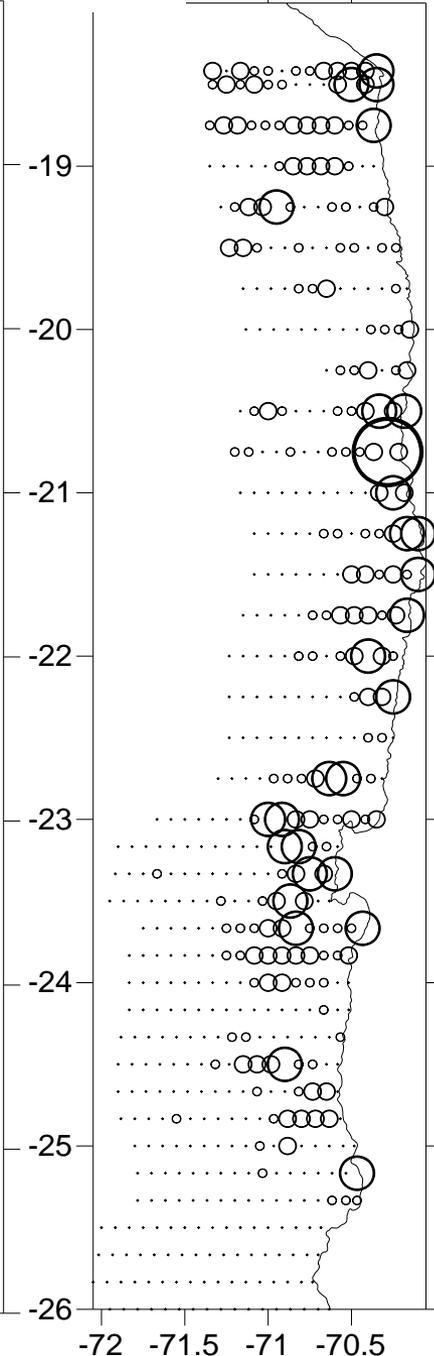
huevos/0.05 m²



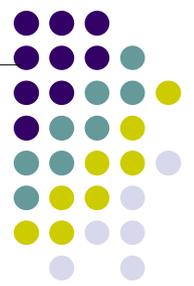
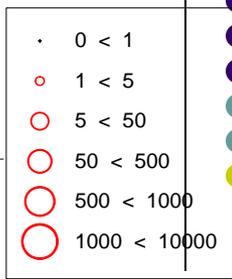
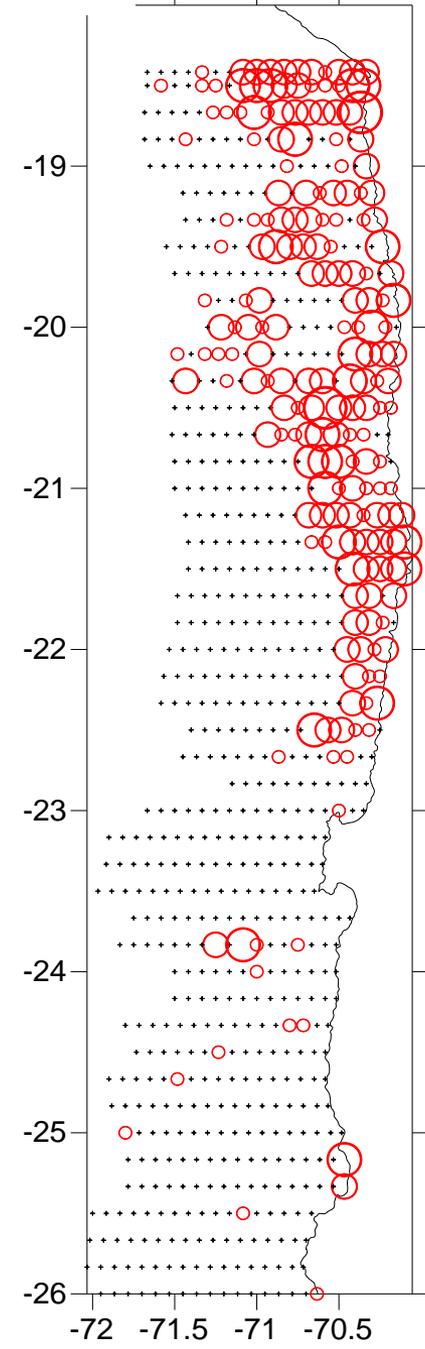
2011



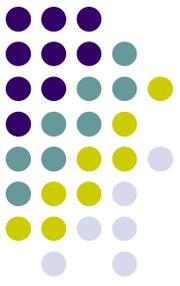
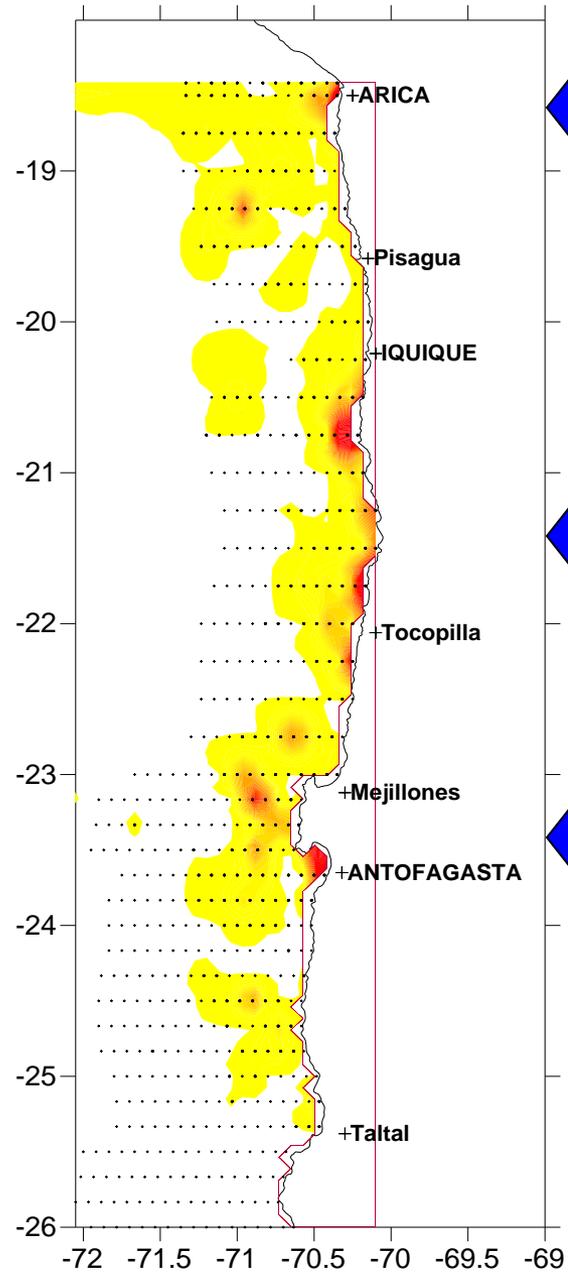
2012

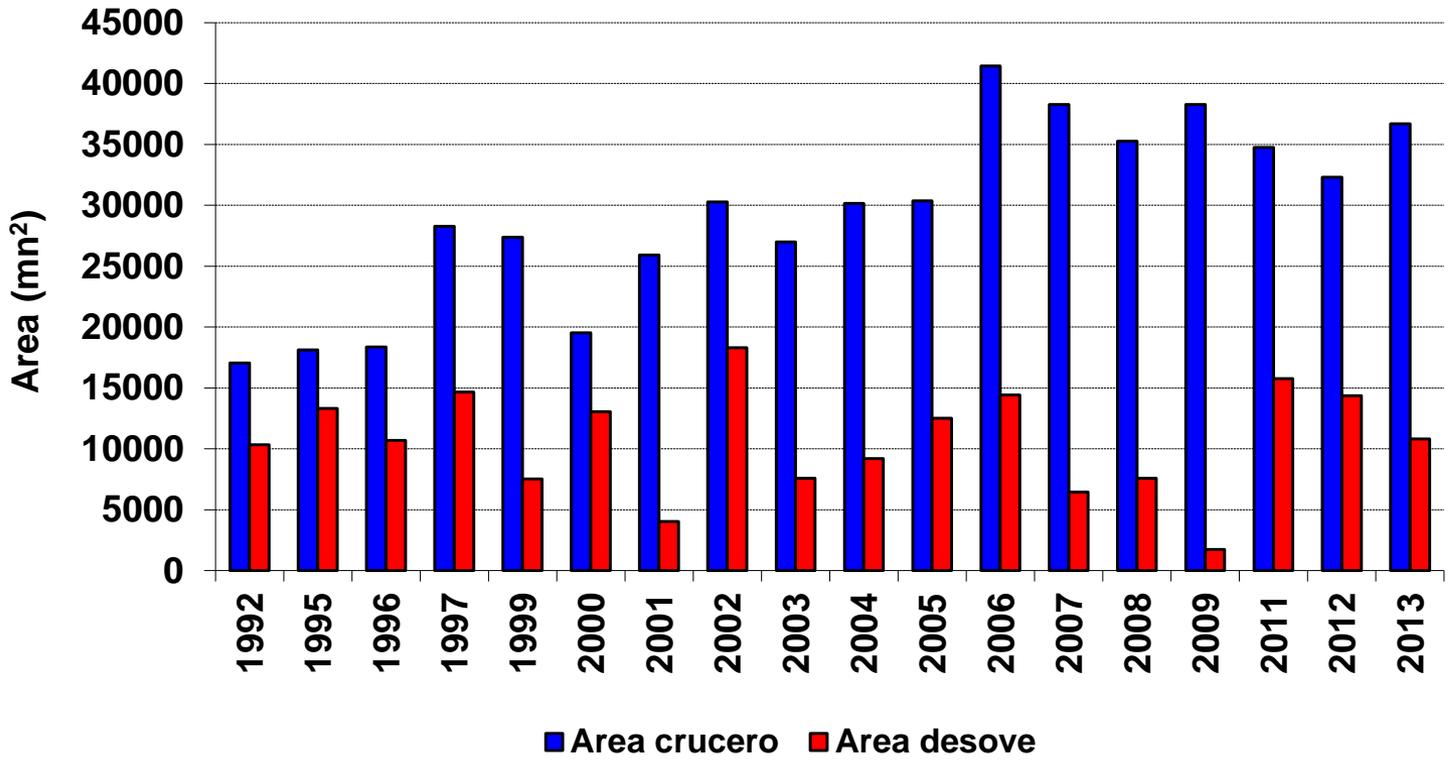


2013

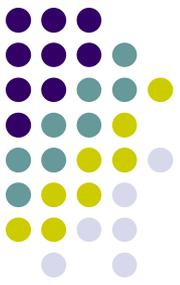


Sitios recurrentes

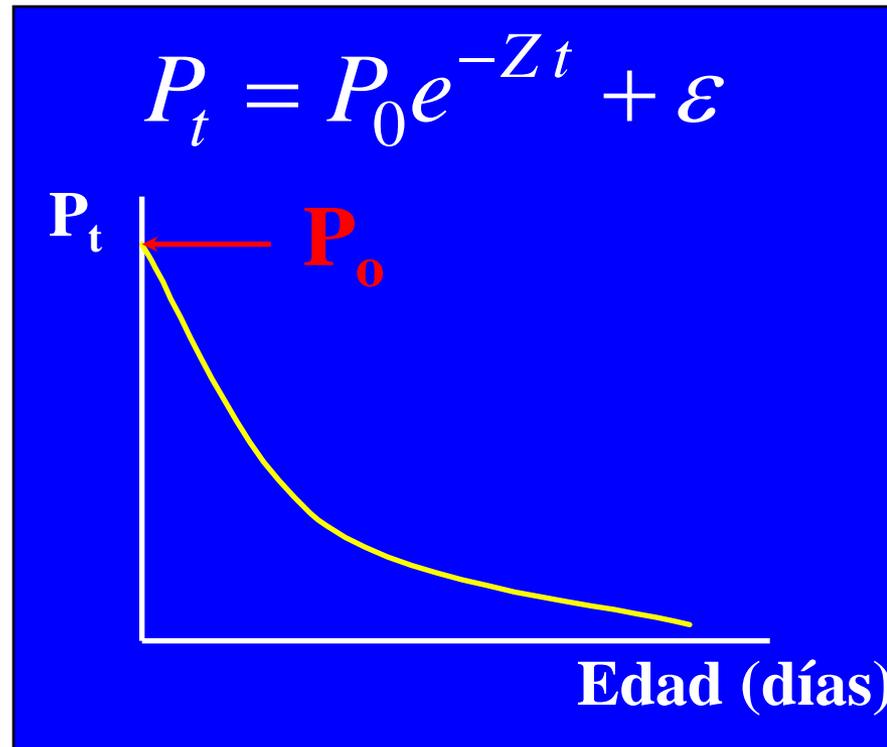




$$B = \frac{P_0 A W}{S F R}$$

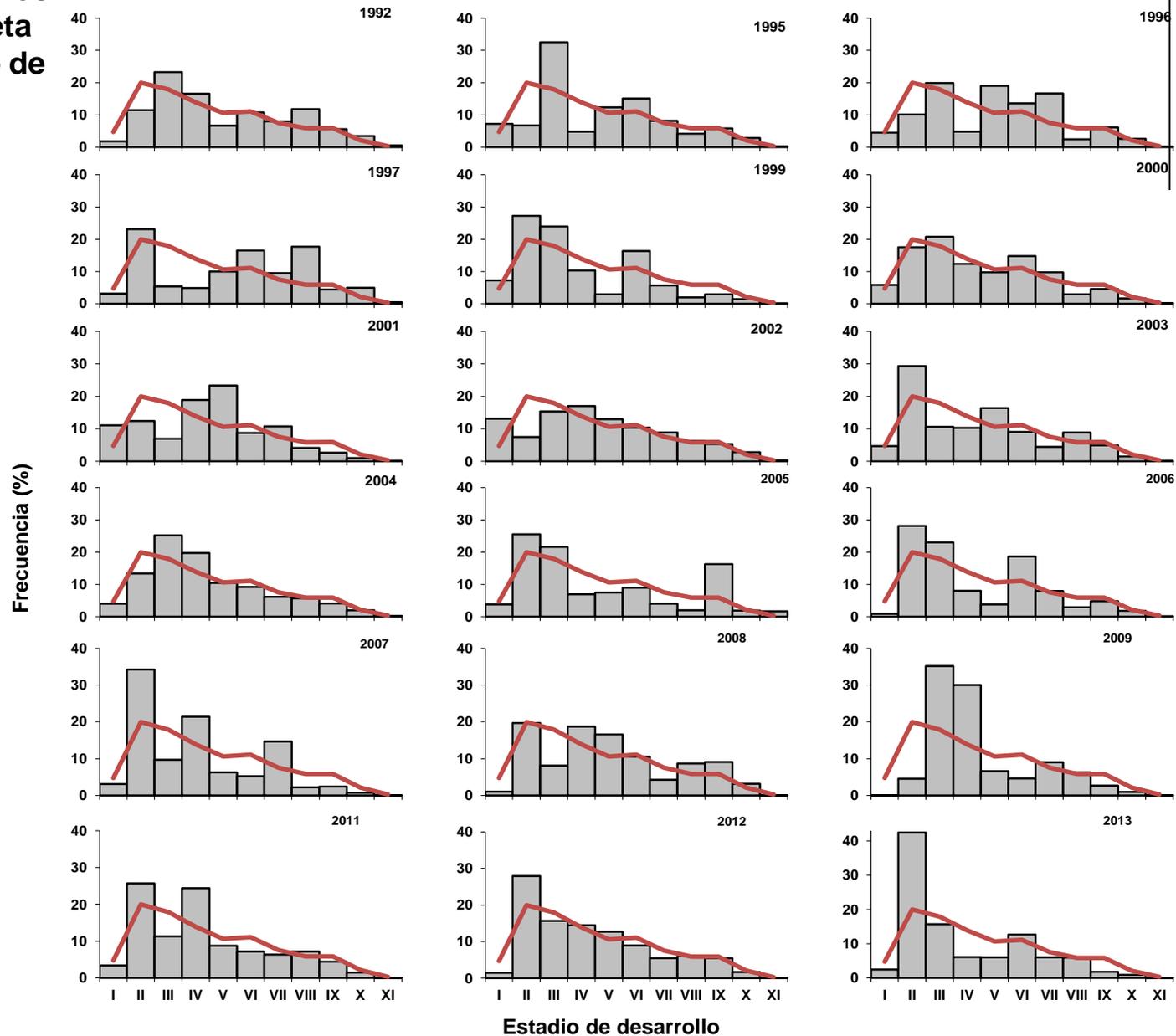


Producción diaria de huevos



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)

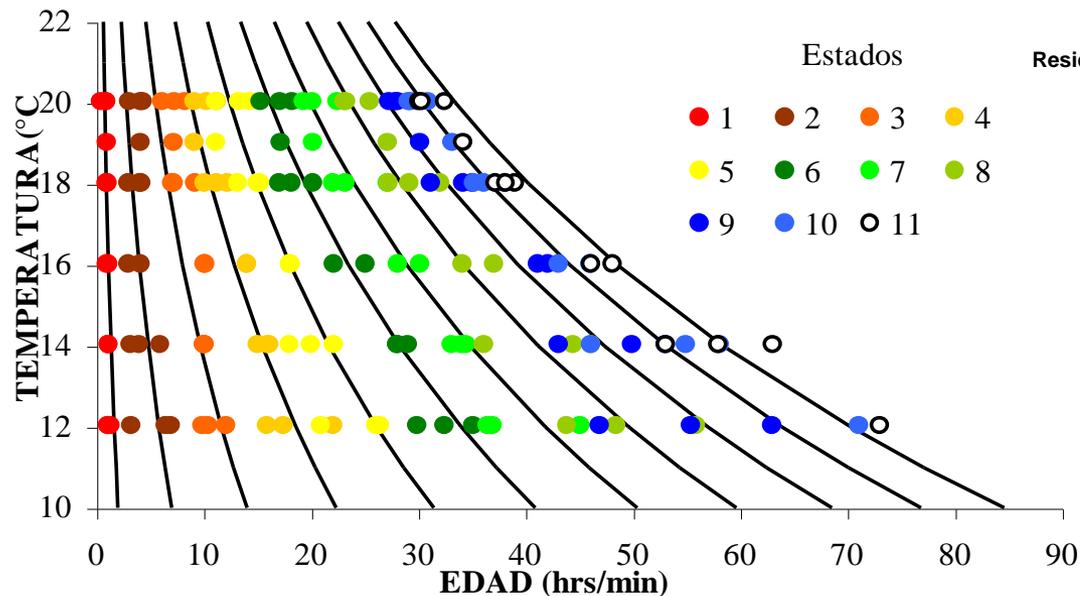
f = función paramétrica rígida

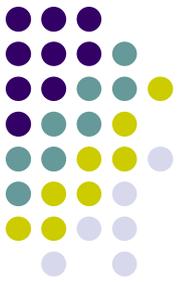
$$\rightarrow y_{i,t} = a e^{(bt+ci)} i^d$$

Parameters:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
a	9.8206	1.0261	9.571	1.61e-12 ***
b	0.0986	0.0024	41.447	< 2e-16 ***
c	0.1018	0.0167	6.098	2.06e-07 ***
d	1.8151	0.1103	16.463	< 2e-16 ***

Residual standard error: 1.371 on 46 degrees of freedom





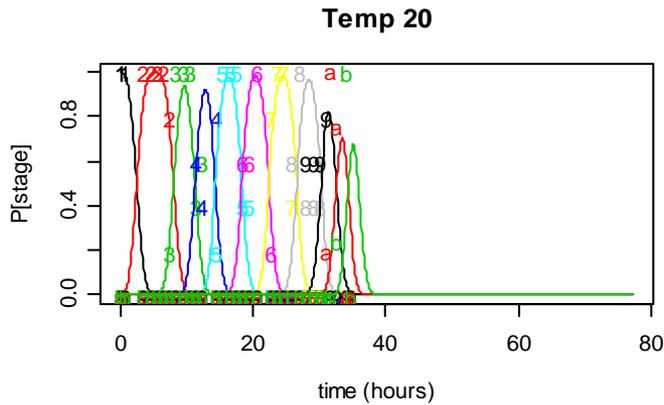
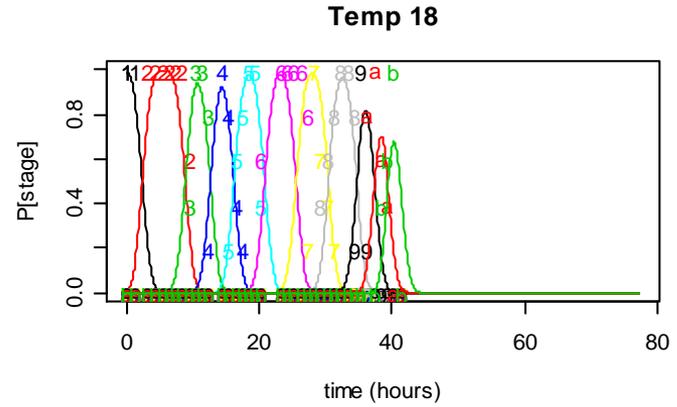
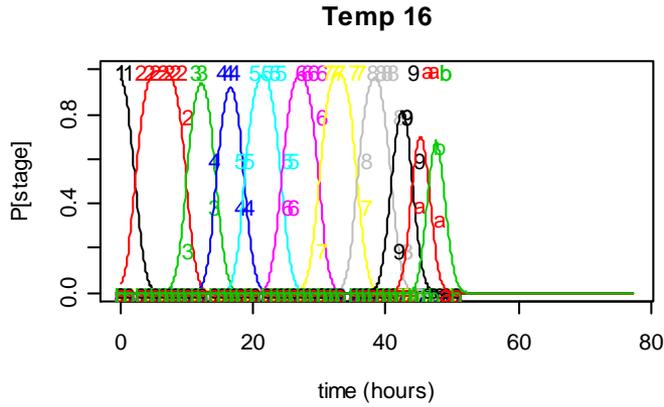
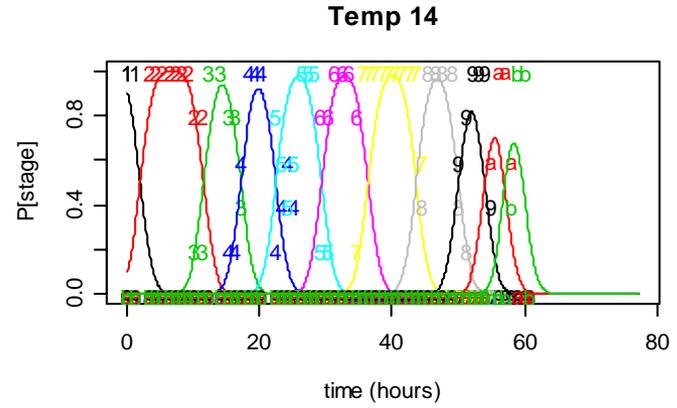
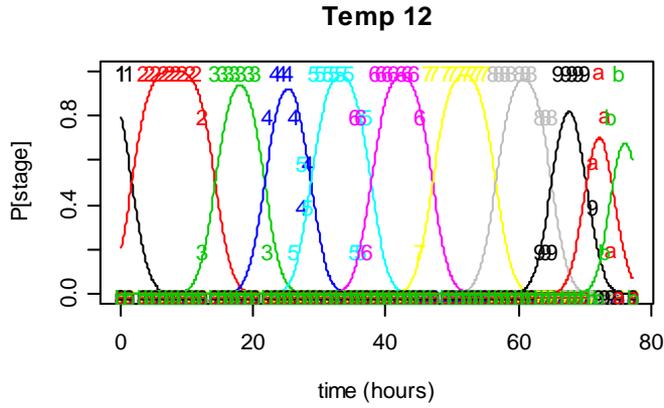
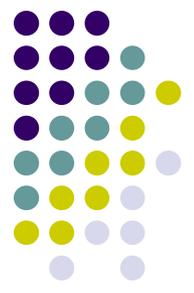
Modelos de desarrollo (II)

- Modelo multinomial

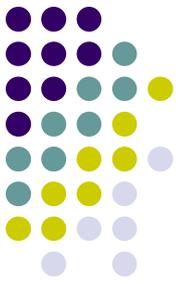
$$N_{i,t} \sim \text{Mult} (N , p_{i,t})$$

$$p_{i,t} = f (\text{Edad, Temperatura})$$

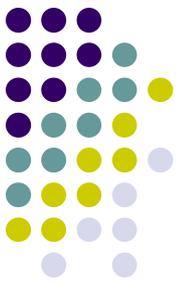
Anchoveta zona norte



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

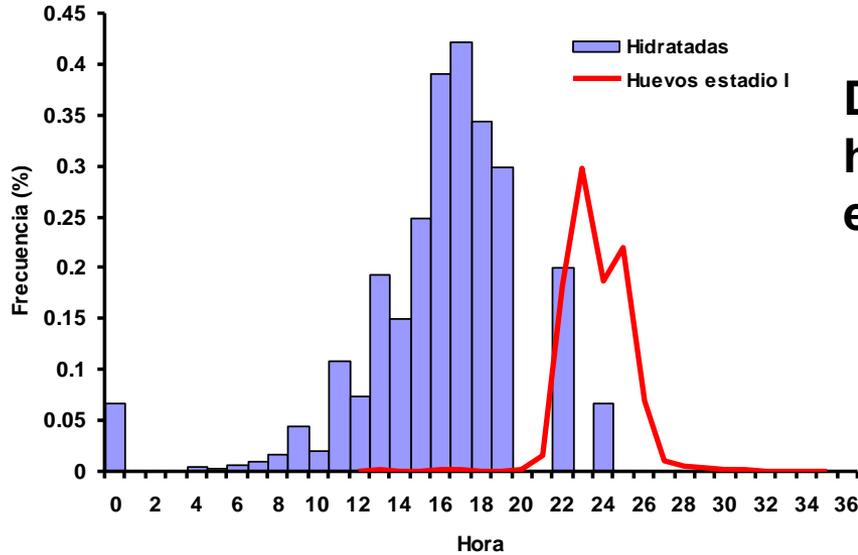


Métodos de datación (I)

- Método automático de Lo
 - Modelo de desarrollo de Lo
 - Sincronicidad: Pico de puesta

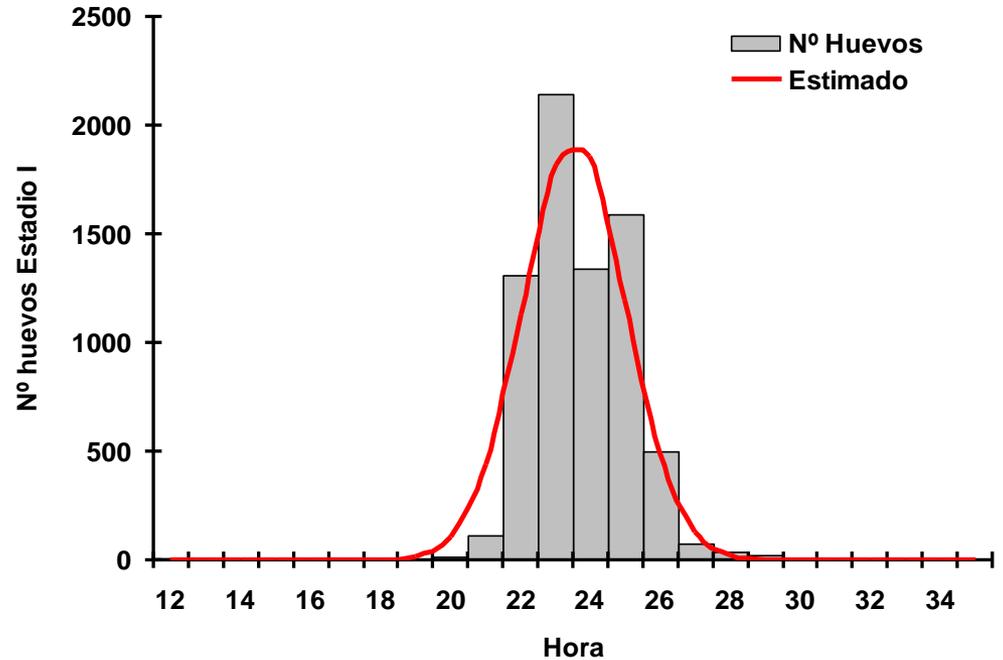
Si la edad predicha por el modelo de desarrollo \pm rango de edades de ese estadio es consecuente con el pico de desove, la edad se calcula como el tiempo exacto entre el pico de desove y la hora de muestreo

¿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 $(y_{i,t} + 22) - 24$

$$y_{i,t,k} = \left(\begin{array}{ll} y_{i,t} - G & \text{si } k < \hat{T} - G \\ y_{i,t} + k - \hat{T} & \text{si } \hat{T} - G < k < \hat{T} + G \\ y_{i,t} + G & \text{si } \hat{T} + G < k \end{array} \right)$$





Métodos de datación (II)

- Método Bayesiano
 - Modelo de desarrollo multinomial
 - Asunción de sincronicidad probabilística (dist. normal)

$$p(\text{age} / \text{stage}, \text{temp}, \text{time}) \propto p(\text{stage} / \text{age}, \text{temperature}) \pi(\text{age} / \text{time})$$

Datación

Modelo de desarrollo

sincronicidad

Curva de producción



• Método tradicional

$$P_{edad} = P_0 e^{-z \cdot edad}$$

- Regresión no lineal ponderada por el inverso del error estándar del número de huevos según categorías de edad de 0, 5 días

$$\log\left(\frac{P_{edad}}{area}\right) = \log(P_0) - z \cdot edad$$

• GLM

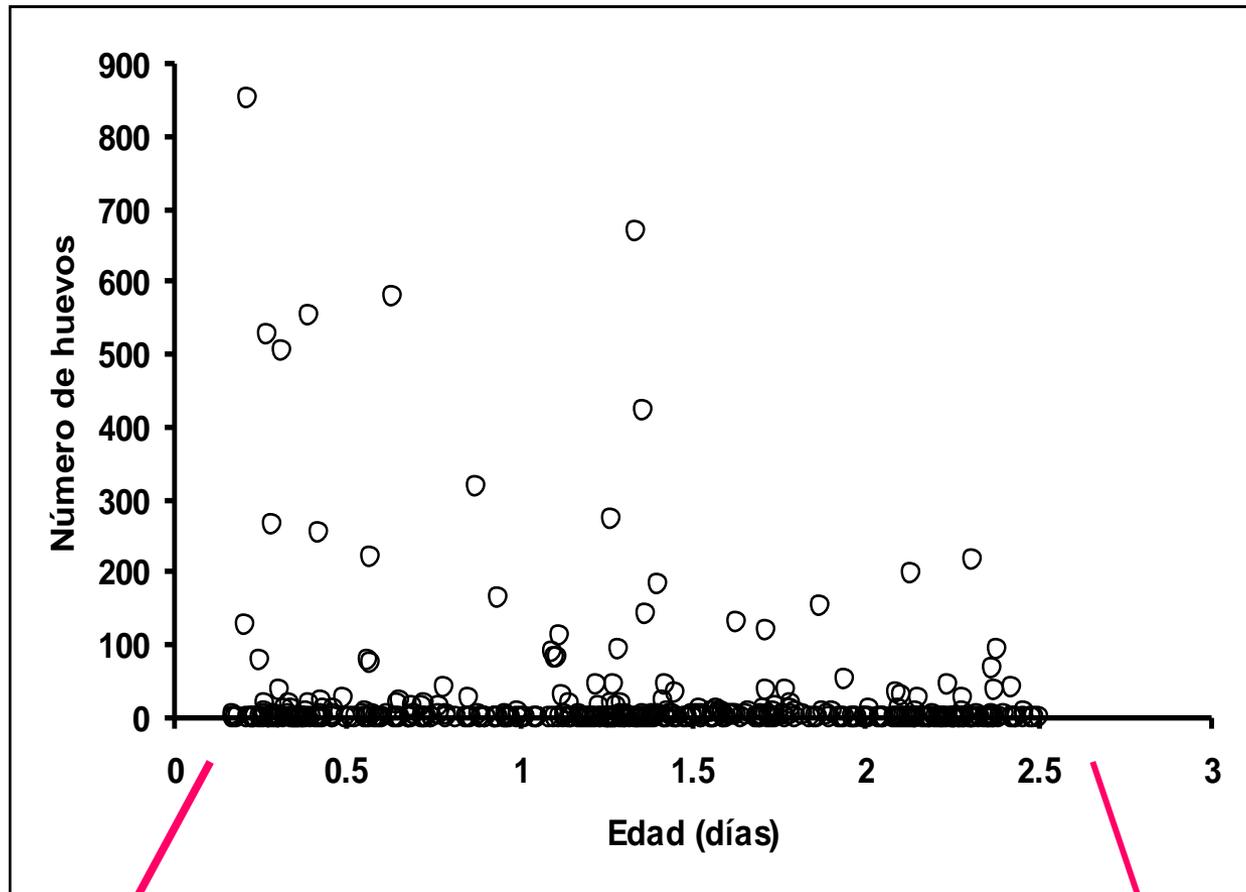
$$\log\left(\frac{P_{edad}}{area}\right) = \log(P_0) - z \cdot edad \rightarrow \log(P_{edad}) = \log(area) + \log(P_0) - z \cdot edad$$

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

Problemas curva de producción



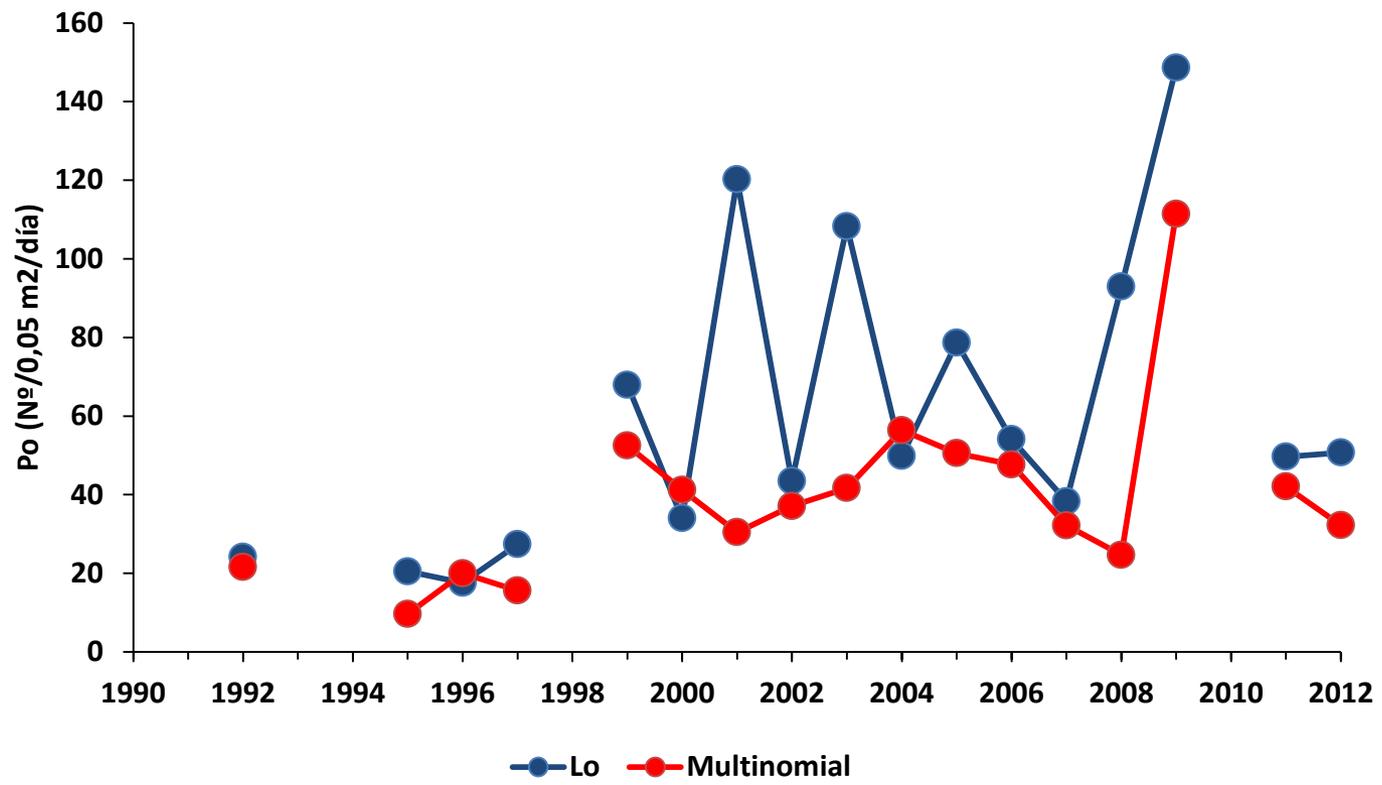
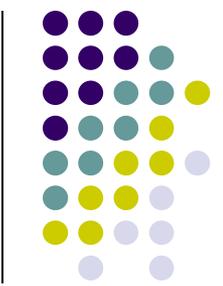
- Sesgo:
 - Sesgo debido a falta de disponibilidad de huevos en estadios tempranos
 - Sesgo debido a eclosión de huevos en estadios tardíos, especialmente si hay correlación entre producción, mortalidad y duración estadios
(e.g. ↑prod ↑temp ↑mortalidad ↓duración)



Corte: ≤ 4 hrs

Corte: $\geq 0.95 * \text{Edad eclosión}$

		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	0.491		
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		
2011	(Intercept)	6.900672	0.186255	37.05	< 2e-16	677	4310.7	6.735278	0.17785	37.871	<2e-16	653	4149
	Age	-0.0320	0.005836	-5.478	4.30E-08			-0.030481	0.005822	-5.236	1.64E-07		
2012	(Intercept)	6.921421	0.222119	31.16	<2e-16	467	3256	6.467997	0.209199	30.918	<2e-16	435	2883
	Age	-0.0265	0.007667	-3.46	5.39E-04			-0.017917	0.007967	-2.249	2.45E-02		
2013	(Intercept)	7.004254	0.279927	25.022	<2e-16	214	1338.6	7.06084	0.28826	24.495	<2e-16	214	1319
	Age	-0.0612	0.009889	-6.188	6.09E-10			-0.06252	0.01069	-5.848	4.99E-09		

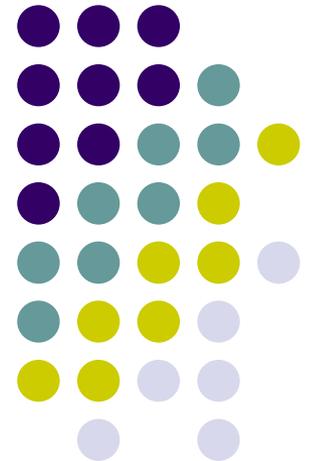


Estimaciones de Producción diaria de huevos (N°/0,05 m²/día)

Parámetros de adultos

Peso promedio de hembras

$$B = \frac{P_o A W}{S F R}$$

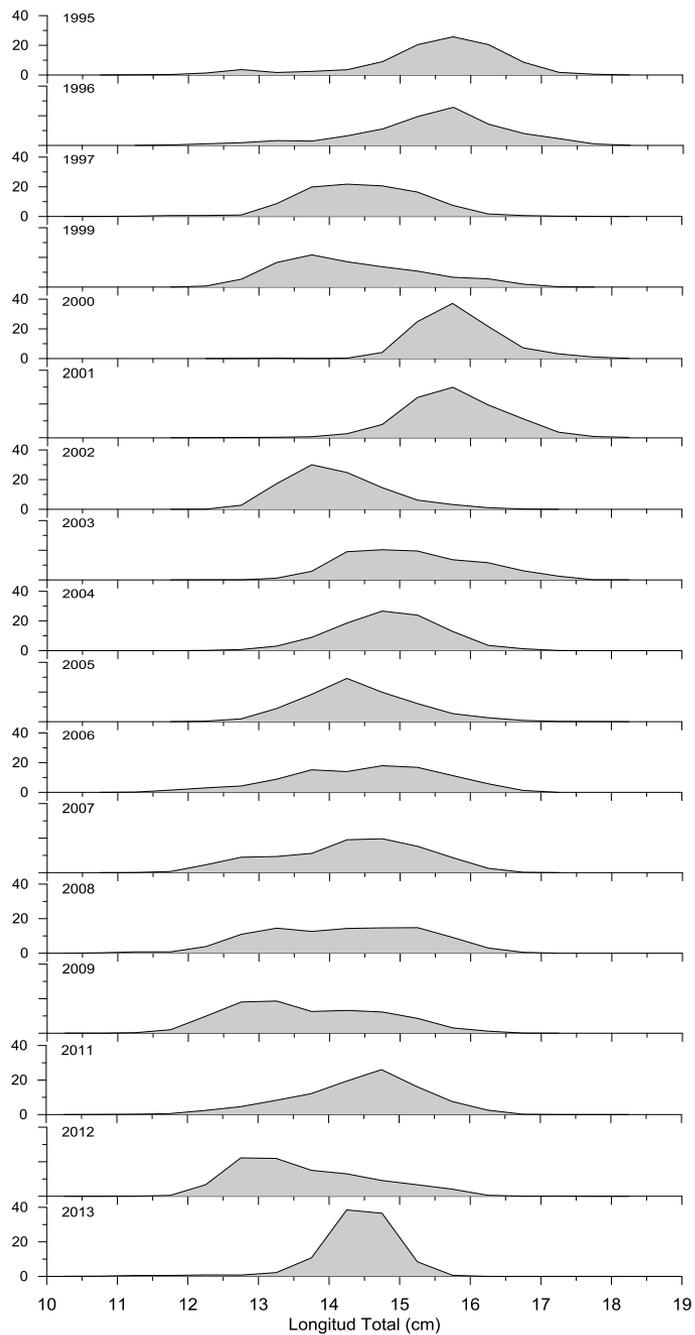


Peso promedio de hembras



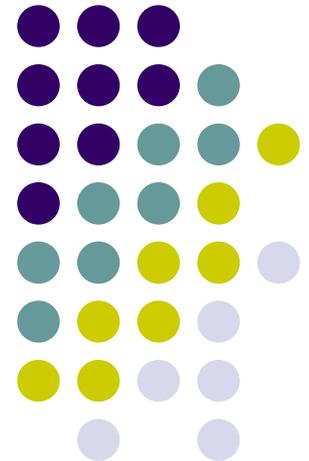
Año	Peso promedio		Fecundidad parcial		Fecundidad relativa	Fracción desovante		Proporción hembras	
	(g)	CV (%)	Nº	CV (%)	Nº ovoc./g	día ⁻¹	CV (%)		CV (%)
1992	20.7	1.32	14917	1.62	721	0.160	6.22	0.48	2.95
1995	29.2	2.53	15405	2.77	528	0.180	4.65	0.42	5.83
1996	30.0	2.52	19658	2.87	654	0.170	12.79	0.45	8.01
1997	21.7	1.73	12102	1.95	559	0.130	3.07	0.51	2.76
1999	22.7	1.42	10600	2.75	467	0.170	3.81	0.46	5.19
2000	30.9	1.02	16279	2.86	528	0.189	7.50	0.50	4.39
2001	32.4	1.17	15911	2.27	492	0.188	27.02	0.47	5.36
2002	21.3	0.96	11032	1.45	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	12246	1.96	371	0.176	7.16	0.52	3.53
2005	23.0	1.26	12059	1.60	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	8410.9	4.19	468	0.309	5.70	0.43	4.98
2011	23.45	2.396	11458	4.81	489	0.273	6.09	0.51	5.76
2012	20.12	2.613	11794	3.66	586	0.258	5.26	0.49	4.17
2013	24.47	1.112	15027	3.18	614	0.242	7.73	0.528	3.38

Distribución de frecuencia de tallas



Parámetros de adultos

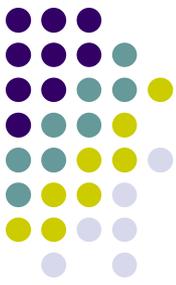
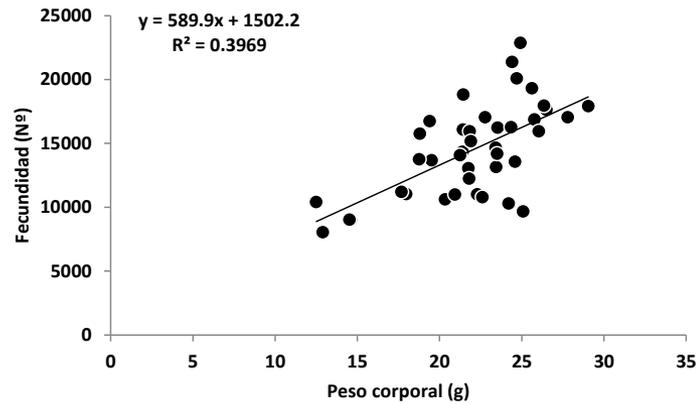
Fecundidad parcial



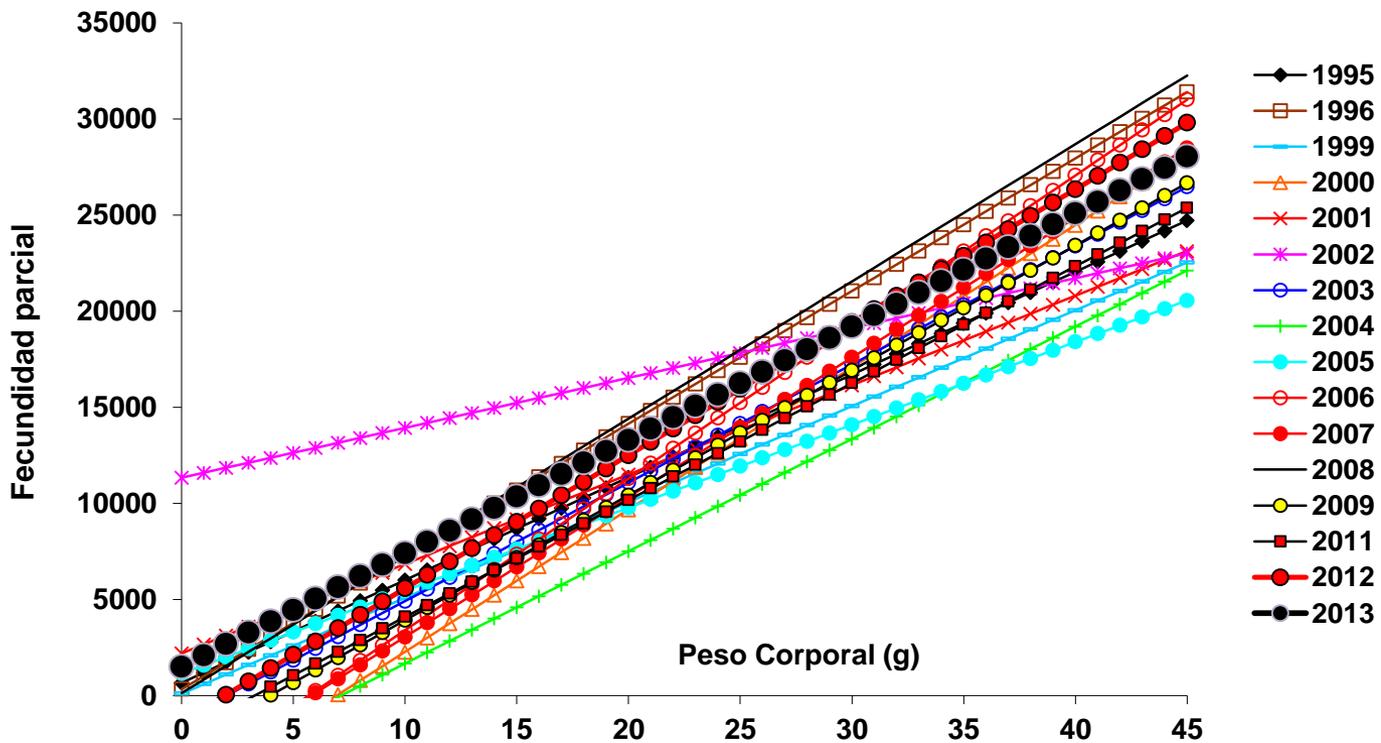
Fecundidad parcial

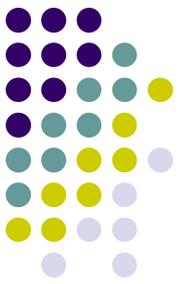


Año	Peso promedio		Fecundidad parcial		Fecundidad relativa	Fracción desovante		Proporción hembras	
	(g)	CV (%)	Nº	CV (%)	Nº ovoc./g	día ⁻¹	CV (%)		CV (%)
1992	20.7	1.32	14917	1.62	721	0.160	6.22	0.48	2.95
1995	29.2	2.53	15405	2.77	528	0.180	4.65	0.42	5.83
1996	30.0	2.52	19658	2.87	654	0.170	12.79	0.45	8.01
1997	21.7	1.73	12102	1.95	559	0.130	3.07	0.51	2.76
1999	22.7	1.42	10600	2.75	467	0.170	3.81	0.46	5.19
2000	30.9	1.02	16279	2.86	528	0.189	7.50	0.50	4.39
2001	32.4	1.17	15911	2.27	492	0.188	27.02	0.47	5.36
2002	21.3	0.96	11032	1.45	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	12246	1.96	371	0.176	7.16	0.52	3.53
2005	23.0	1.26	12059	1.60	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	8410.9	4.19	468	0.309	5.70	0.43	4.98
2011	23.45	2.396	11458	4.81	489	0.273	6.09	0.51	5.76
2012	20.12	2.613	11794	3.66	586	0.258	5.26	0.49	4.17
2013	24.47	1.112	15027	3.18	614	0.242	7.73	0.528	3.38



	Intercepto (a)	Sa	Pendiente (b)	Sb	r2	n	Syx	PC Min	PC Max	PC Promedio	Fec relativa	Ho: A=0
1995	671.77	1916.66	534.57	65.12	0.30	156	3291.11	18.53	42.01	29.2	557.7	Acepta
1996	337.46	1514.08	690.51	55.68	0.59	107	3004.22	13.66	40.7	26.7	704.5	Acepta
1997	6950.80	1923.85	262.61	78.30	0.05	210	3582.39	15.9	34.9	24.4	552.2	Rechaza
1999	105.44	816.02	498.60	34.12	0.54	187	2917.74	14.9	39.3	23.1	503.8	Acepta
2000	-5127.08	3285.50	740.45	116.16	0.28	109	4210.35	19.7	42.5	28.1	555.1	Acepta
2001	2205.21	2097.95	465.10	69.02	0.26	133	3749.33	21.7	43	30.0	539.7	Acepta
2002	11341.20	2719.11	259.56	121.04	0.06	69	2599.68	14.7	29.7	22.3	775.1	Rechaza
2003	-1237.67	1388.04	615.84	57.52	0.54	99	2249.76	13.48	33.54	23.8	562.8	Acepta
2004	-4164.12	2944.92	584.18	120.27	0.20	96	2476.32	19.52	29.71	24.4	412.3	Acepta
2005	1152.76	2582.87	431.29	86.79	0.24	79	2820.01	21.56	37.41	29.5	471.3	Acepta
2006	-4476.16	2326.28	788.63	87.82	0.54	72	3696.22	15.3	36.4	26.0	609.8	Acepta
2007	-4212.84	1688.05	726.94	74.06	0.57	76	2099.26	15.13	32.36	22.6	536.1	Acepta
2008	134.31	1628.23	713.99	90.54	0.34	121	2506.50	13.91	26.04	17.8	721.4	Acepta
2009	-2569.08	3057.79	649.82	135.80	0.38	39	1824.31	17.37	26.91	22.4	533.8	Acepta
2011	-1981.65	3728.66	607.99	190.78	0.22	37	2001.07	13.98	22.86	19.6	499.8	Acepta
2012	-1336.55	2417.45	692.09	111.25	0.49	42	2122.43	16.77	28.12	21.5	628.4	Acepta
2013	1502.20	2598.88	589.90	116.45	0.40	41	2809.34	12.5	29.05	22.0	660.6	Acepta





Parametros de adultos

Fracción diaria de hembras desovantes

S: Proporción de la población de hembras que desove al día.

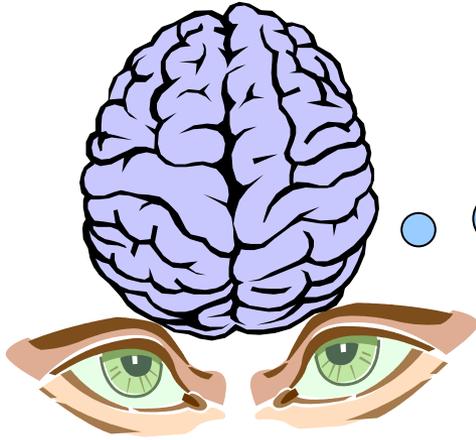
1/S: Frecuencia de desove

Fracción diaria de hembras desovantes



Año	Peso promedio		Fecundidad parcial		Fecundidad relativa	Fracción desovante		Proporción hembras	
	(g)	CV (%)	Nº	CV (%)	Nº ovoc./g	día ⁻¹	CV (%)		CV (%)
1992	20.7	1.32	14917	1.62	721	0.160	6.22	0.48	2.95
1995	29.2	2.53	15405	2.77	528	0.180	4.65	0.42	5.83
1996	30.0	2.52	19658	2.87	654	0.170	12.79	0.45	8.01
1997	21.7	1.73	12102	1.95	559	0.130	3.07	0.51	2.76
1999	22.7	1.42	10600	2.75	467	0.170	3.81	0.46	5.19
2000	30.9	1.02	16279	2.86	528	0.189	7.50	0.50	4.39
2001	32.4	1.17	15911	2.27	492	0.188	27.02	0.47	5.36
2002	21.3	0.96	11032	1.45	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	12246	1.96	371	0.176	7.16	0.52	3.53
2005	23.0	1.26	12059	1.60	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	8410.9	4.19	468	0.309	5.70	0.43	4.98
2011	23.45	2.396	11458	4.81	489	0.273	6.09	0.51	5.76
2012	20.12	2.613	11794	3.66	586	0.258	5.26	0.49	4.17
2013	24.47	1.112	15027	3.18	614	0.242	7.73	0.528	3.38

Fracción diaria de hembras desovantes



¿ 0,1 O 2 DÍAS?
¿A QUE HORA SE
CAPTURÓ?

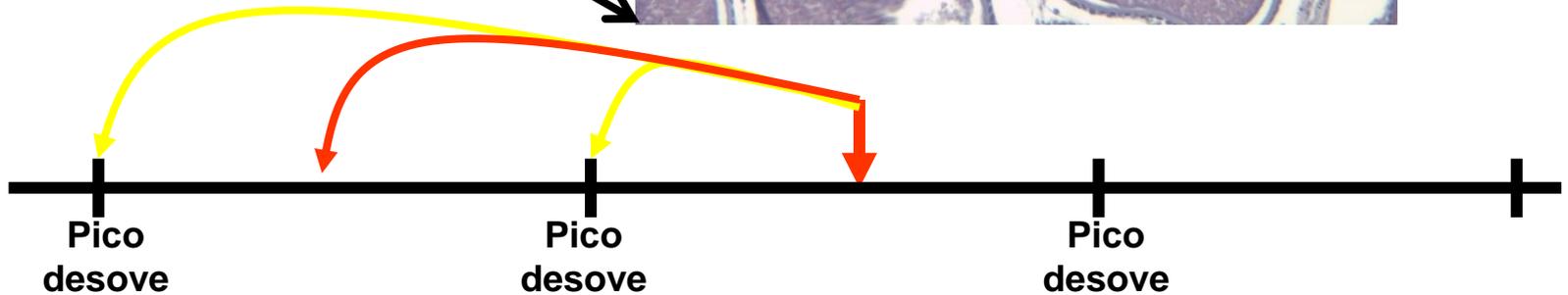
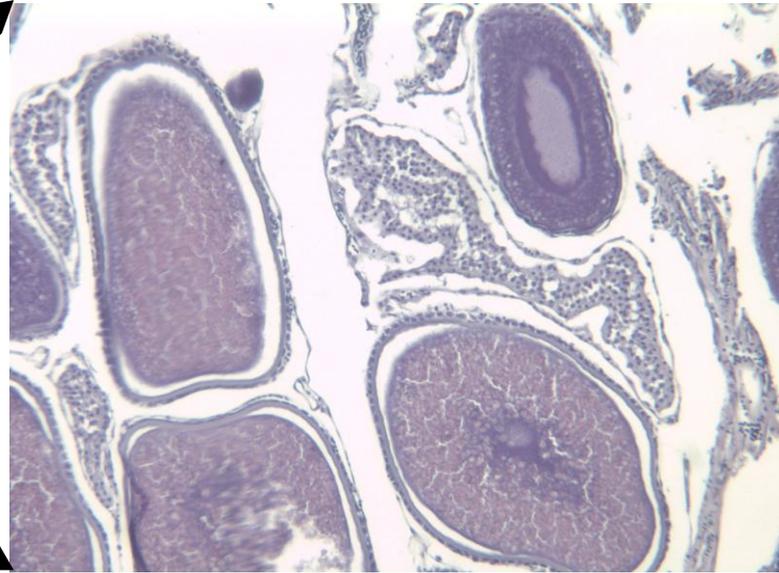
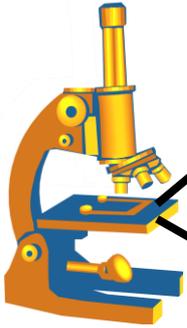
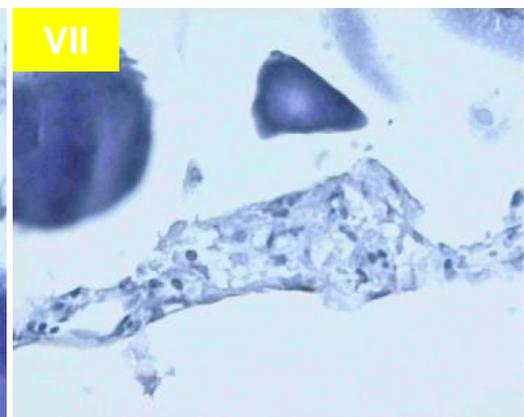
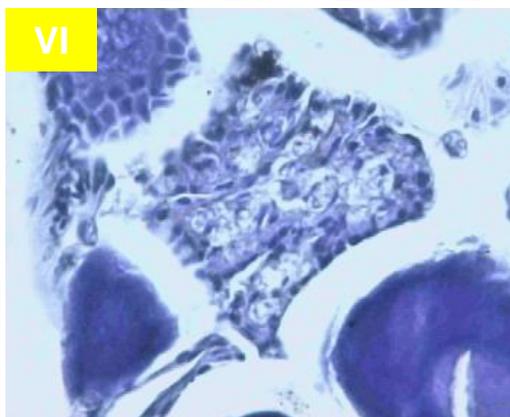
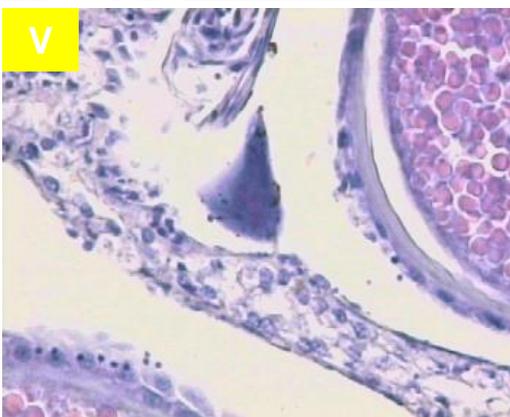
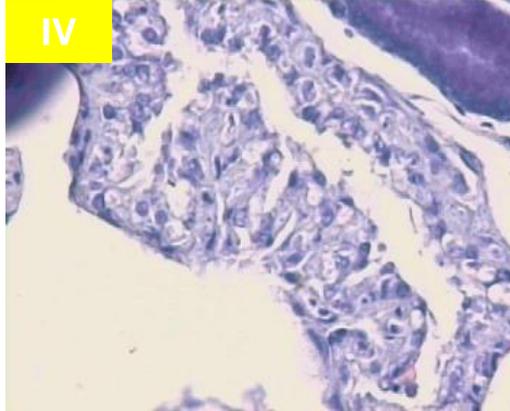
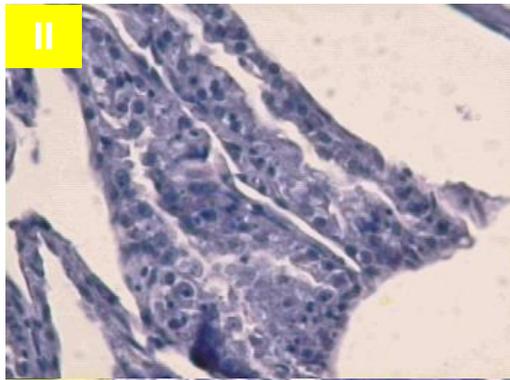
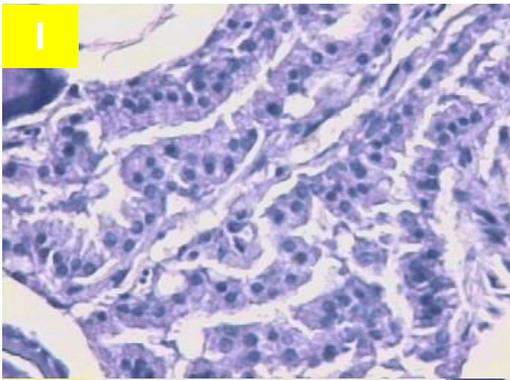




Tabla1.Escala de degeneración de los folículos post-ovulatorios de anchoveta (Zona norte y centro sur)

Estadios del fpo	I	II	III	IV	V	VI	VII
Tamaño	Grande	Grande	Mediano	Mediano	Pequeño	Muy pequeño	Remanente
Forma del FPO y relacion con el lumen	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
Folicular Celulas	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
Folicular Nucleo	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
Folicular Vacuolas	No se reconocen	Escasas y muy pequeñas	De menor o igual tamaño al núcleo, poco numerosas	De igual o mayor tamaño al núcleo, numerosas	Grandes y dominan en las laminas celulares	Grandes y dominan en las laminas celulares	No se reconocen
Teca	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



Ovarios en estadio
Núcleo migrante

Ovarios hidratados

Huevos estadio I en plancton

FPO 1

FPO 2

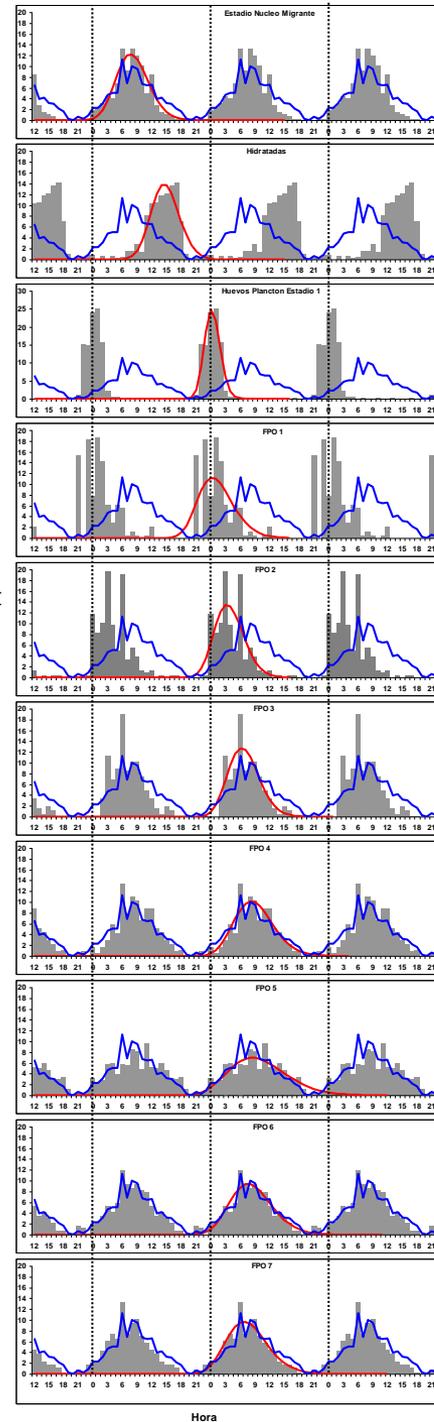
FPO 3

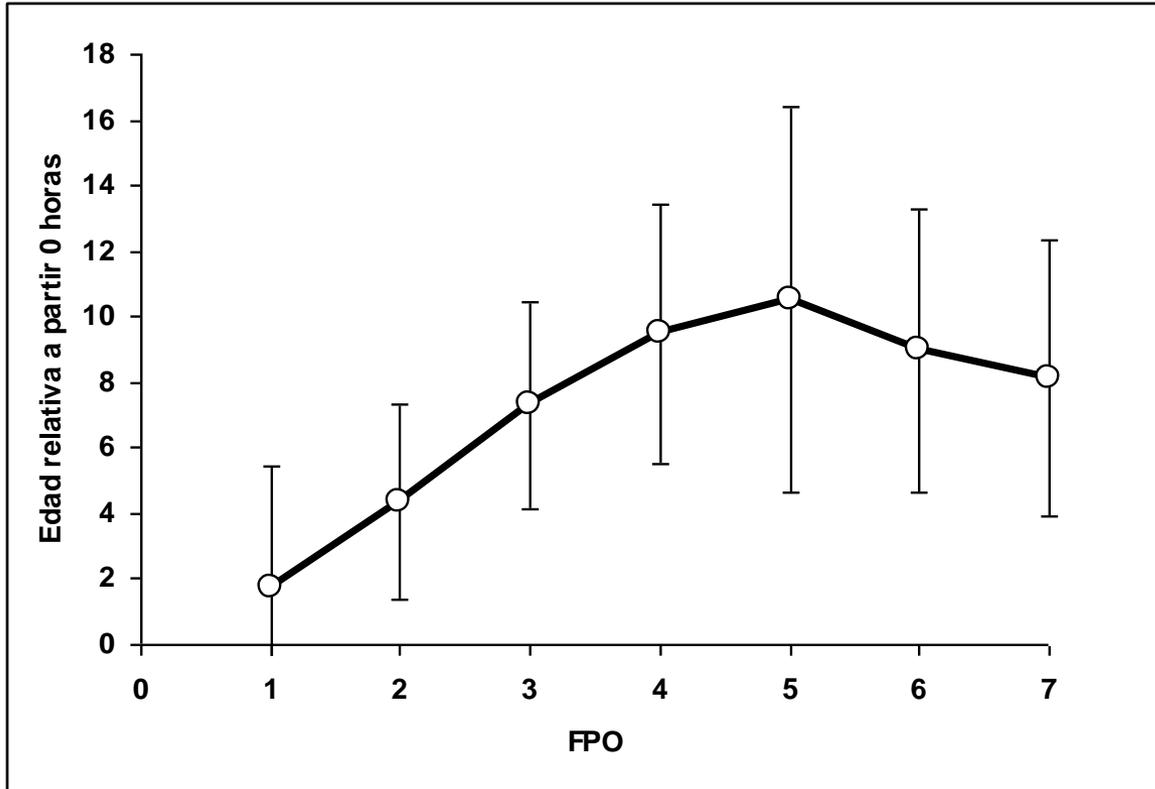
FPO 4

FPO 5

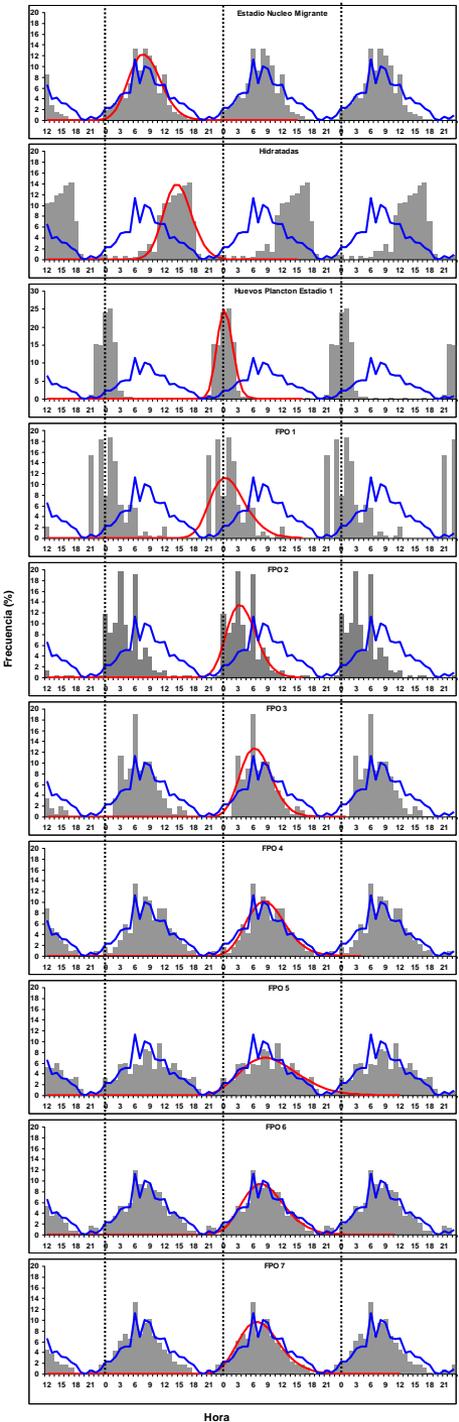
FPO 6

FPO 7

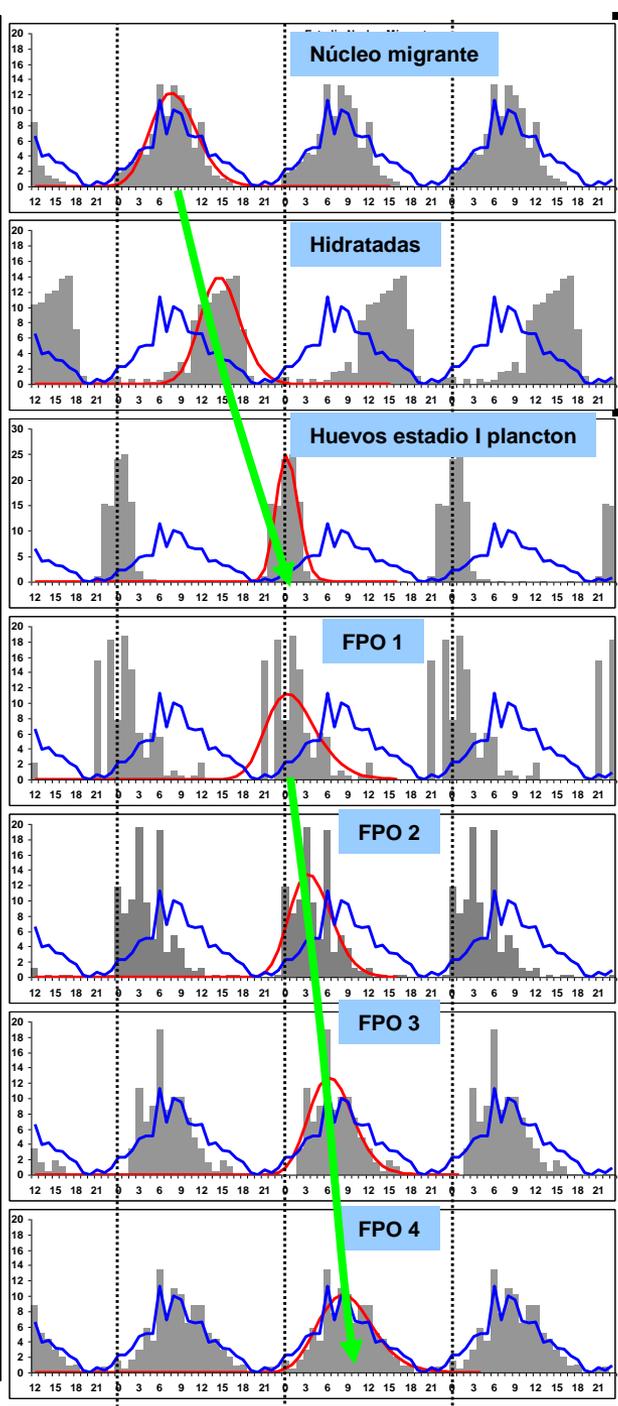




Edades medias de los estadios de FPO según ajuste por modelo de tipo Gamma en base a la hora acumulada a partir de las 00:00. Círculos: Edades medias. Líneas verticales: Desviación estándar.



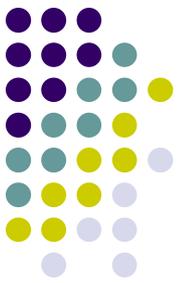
Frecuencia (%)



Desovarán
esta noche

Desovaron
anoche





		Media	Varianza	CV
2007	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.28	3.70E-04	0.07
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.25	4.12E-04	0.08
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.26	1.90E-04	0.05
2008	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.24	4.88E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.23	7.08E-04	0.11
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.24	2.30E-04	0.06
2009	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.34	9.05E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.28	9.26E-04	0.11
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.31	3.10E-04	0.06
2011	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.26	5.73E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.28	6.69E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.27	2.76E-04	0.06
2012	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.29	5.85E-04	0.08
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.22	3.86E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.26	1.85E-04	0.05

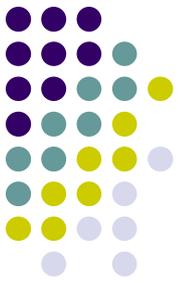
Estimaciones de fracción desovante diaria según la clasificación en 7 estadios de FPO. Fracción desovante FPO 0 corresponde a la utilización de los estadios de núcleo migrante e hidratadas. Fracción desovante FPO 1 corresponde a la utilización de FPO de estadios I al IV



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.

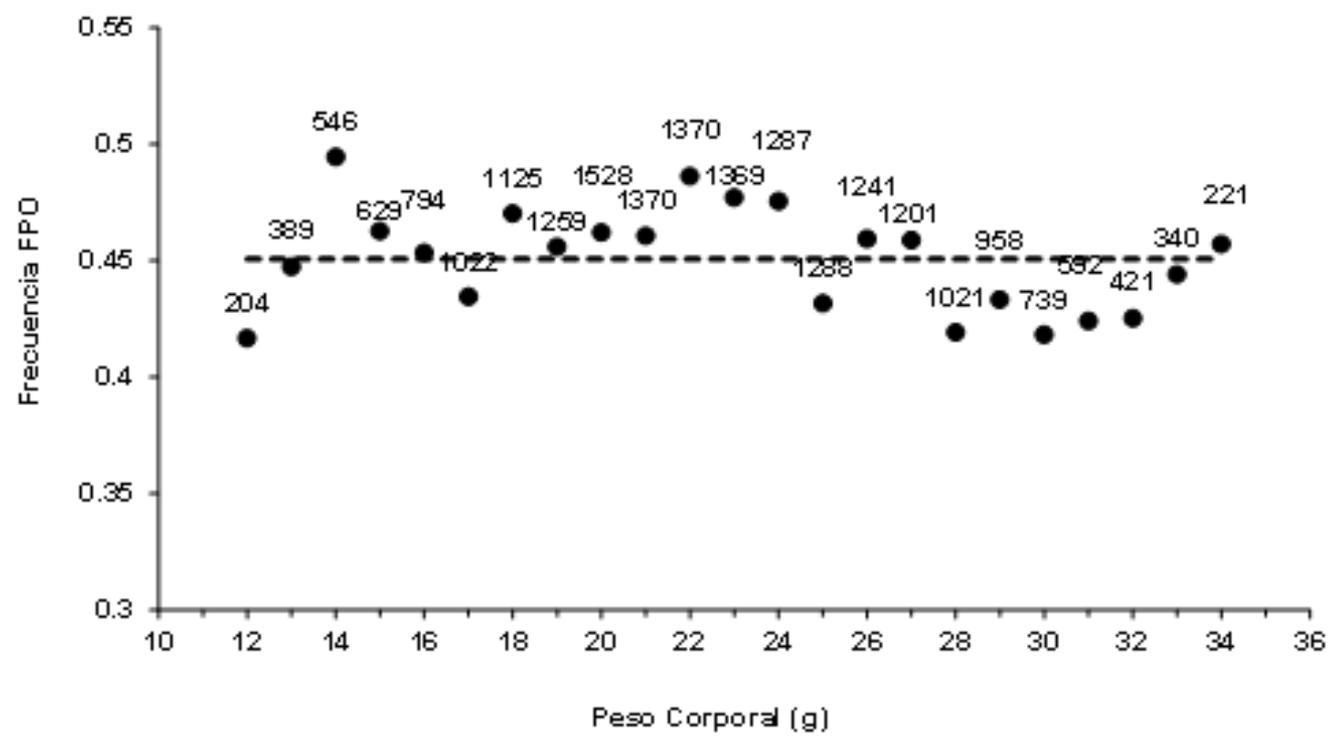
	Media	Var.	C.V.
FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.295	0.00107	0.111
FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.190	0.00063	0.132
FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.242	0.00035	0.077



Patrones de largo plazo en FPO

Serie histórica 15 años

21.622 hembras



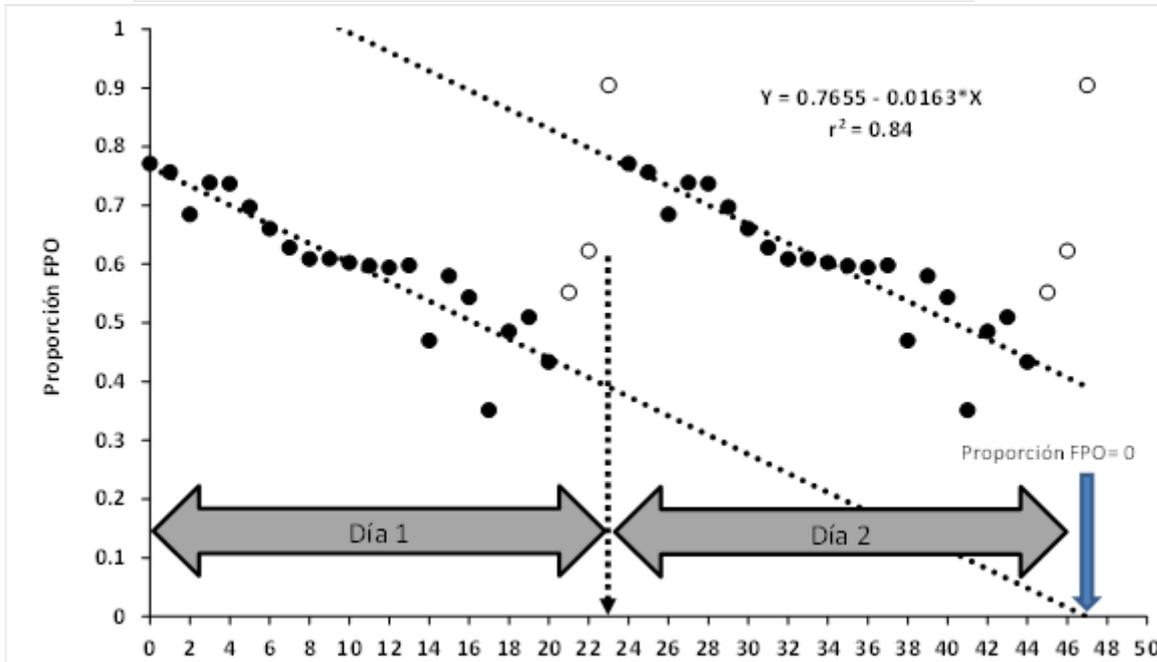
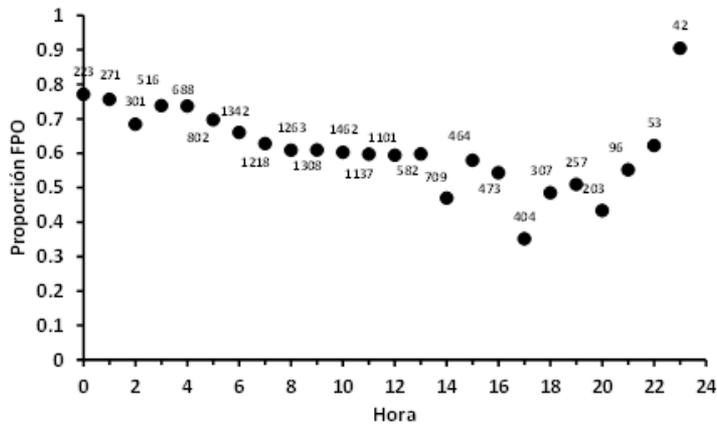
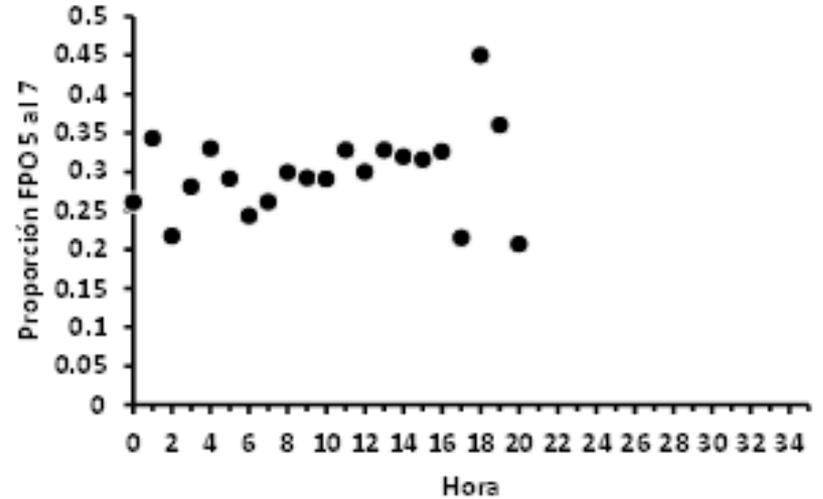
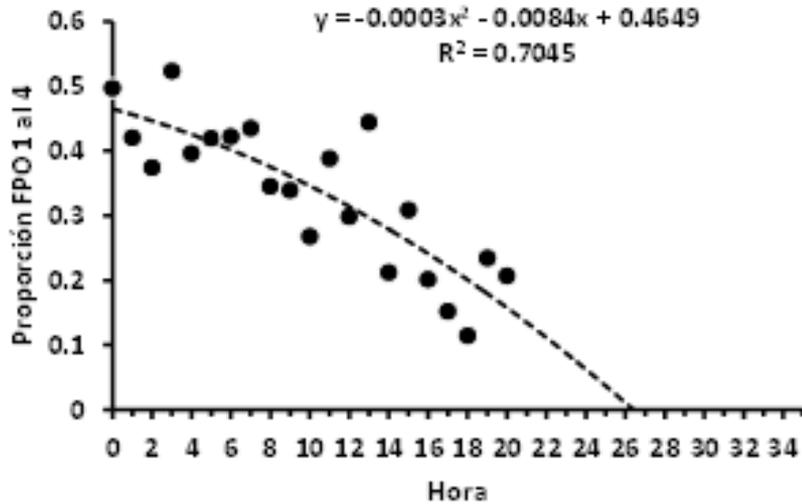


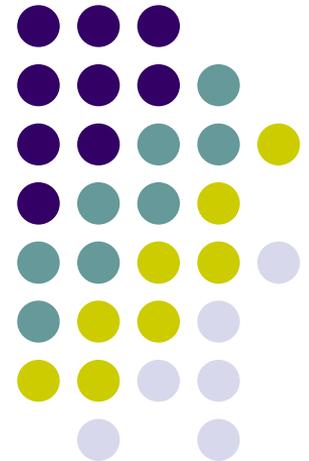
Figura 10: Conceptualización y proyección de la Proporción FPO en función de la hora del día (Mismos datos de figura 8. Se repite información de las 24 a 48 horas), para el estadio Vitelado. Círculos negros son los datos considerados en la proyección (Línea segmentada). Círculos blancos no son considerados en proyección por estar en la hora pico de desove (23:00 h). Flecha azul indica hora en que la proporción de FPO sería 0 (Ausencia de FPO = Total reabsorción).



Proporción de FPO en estadios 1 al 4 (izquierda) y 5 al 7 (derecha) de acuerdo a la hora de captura. Base de datos histórica de 15222 hembras; 3141 con FPO 1 al 4 y 2578 con FPO 5 al 7.

Parámetros de adultos

Proporción de hembras



Proporción de hembras

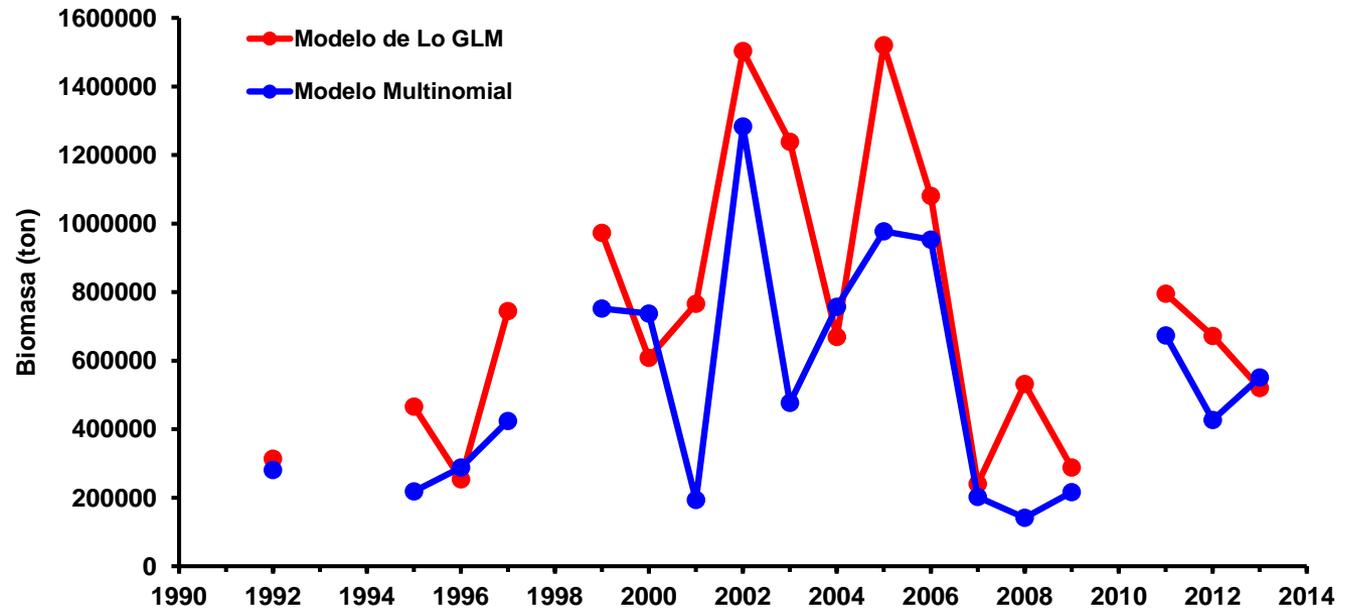


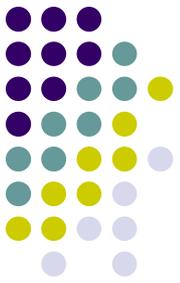
Año	Peso promedio		Fecundidad parcial		Fecundidad relativa	Fracción desovante		Proporción hembras	
	(g)	CV (%)	Nº	CV (%)	Nº ovoc./g	día ⁻¹	CV (%)		CV (%)
1992	20.7	1.32	14917	1.62	721	0.160	6.22	0.48	2.95
1995	29.2	2.53	15405	2.77	528	0.180	4.65	0.42	5.83
1996	30.0	2.52	19658	2.87	654	0.170	12.79	0.45	8.01
1997	21.7	1.73	12102	1.95	559	0.130	3.07	0.51	2.76
1999	22.7	1.42	10600	2.75	467	0.170	3.81	0.46	5.19
2000	30.9	1.02	16279	2.86	528	0.189	7.50	0.50	4.39
2001	32.4	1.17	15911	2.27	492	0.188	27.02	0.47	5.36
2002	21.3	0.96	11032	1.45	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	12246	1.96	371	0.176	7.16	0.52	3.53
2005	23.0	1.26	12059	1.60	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	8410.9	4.19	468	0.309	5.70	0.43	4.98
2011	23.45	2.396	11458	4.81	489	0.273	6.09	0.51	5.76
2012	20.12	2.613	11794	3.66	586	0.258	5.26	0.49	4.17
2013	24.47	1.112	15027	3.18	614	0.242	7.73	0.528	3.38



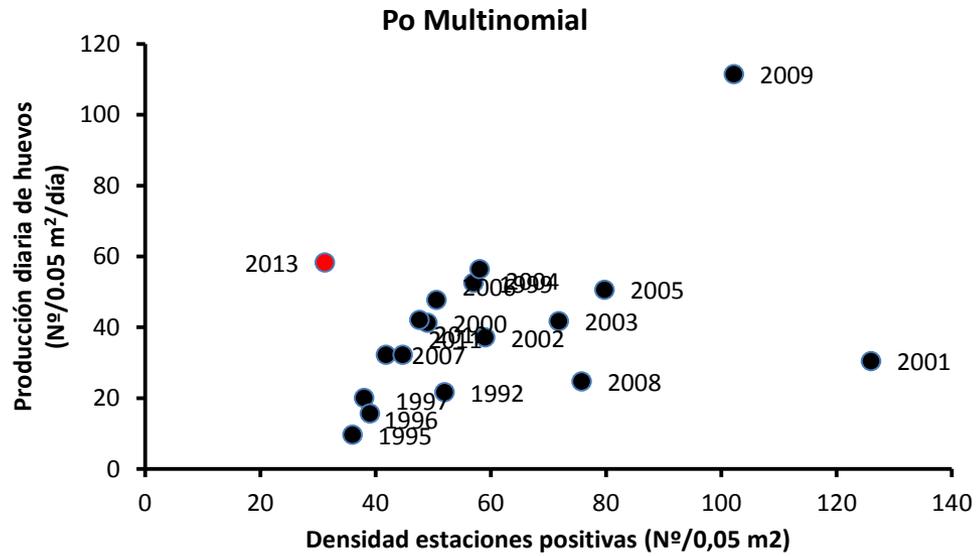
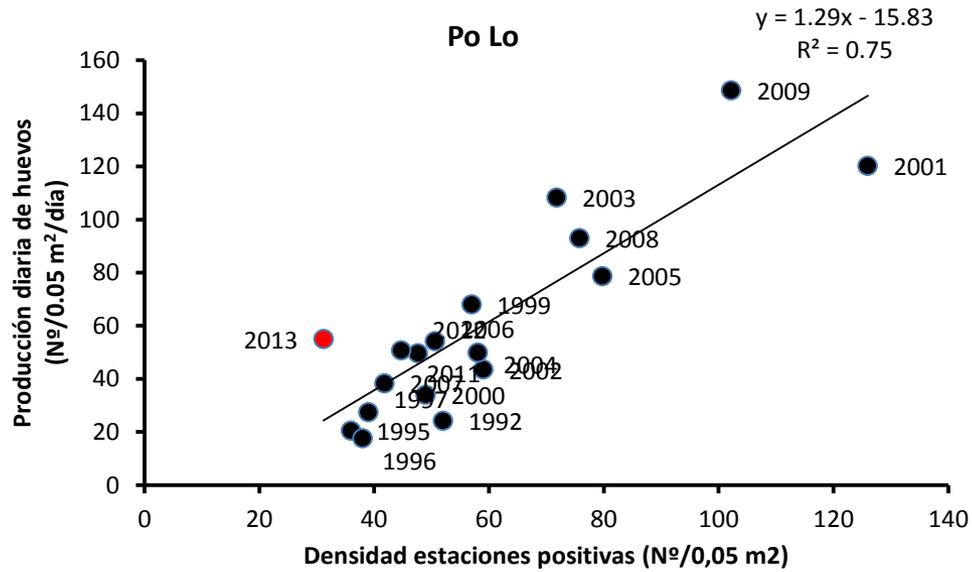
BIOMASA

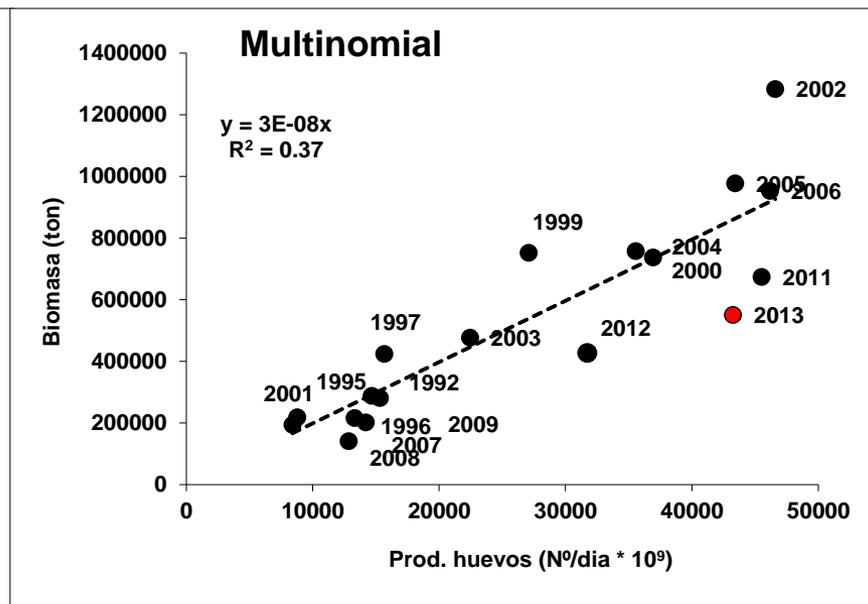
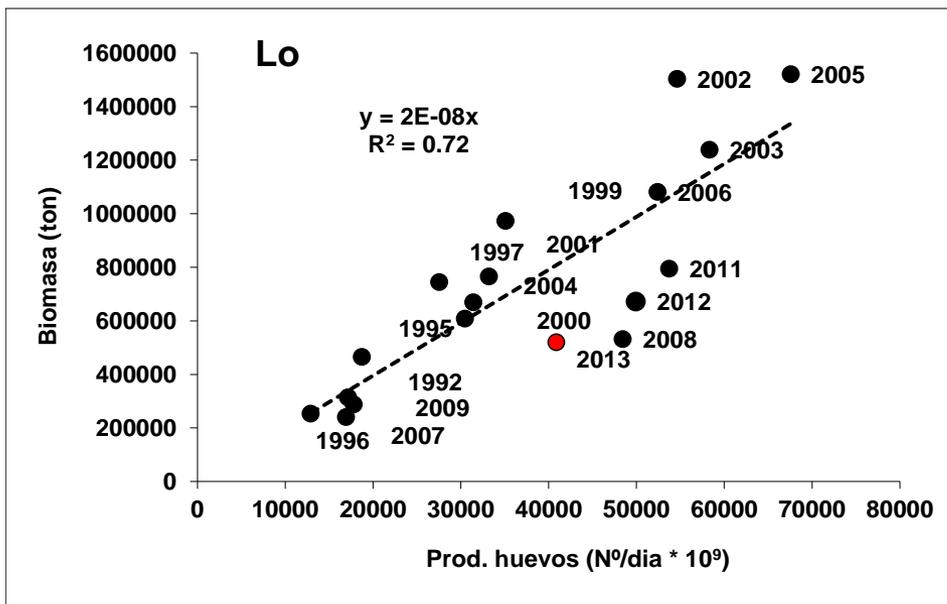
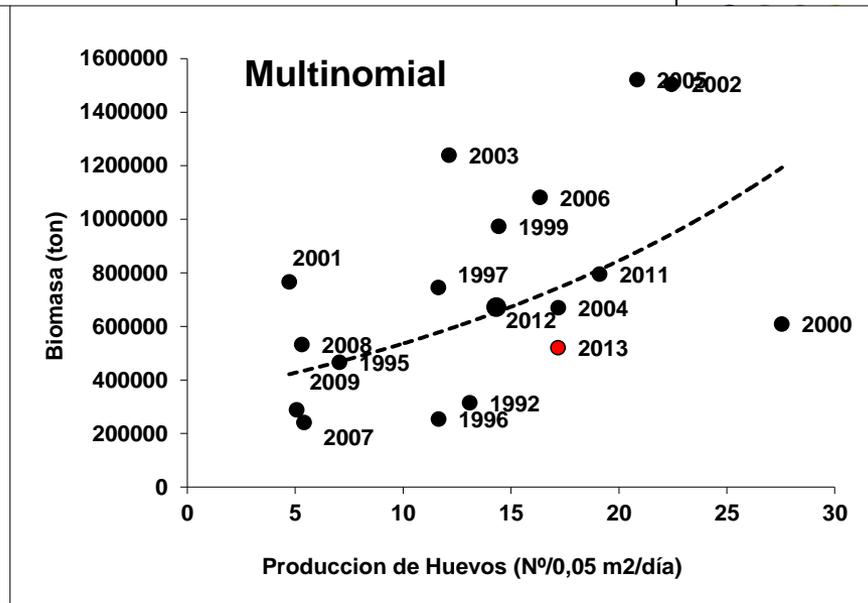
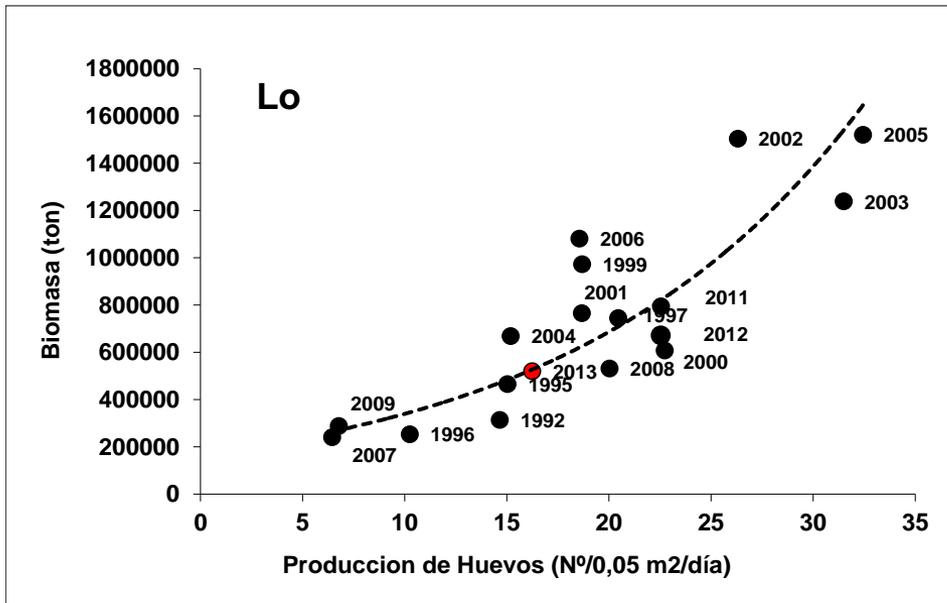
	Modelo de Lo GLM			Modelo Multinomial		
Año	Biomasa	Varianza	CV	Biomasa	Varianza	CV
1992	314232	1.03E+10	32.3	280714	8.32E+09	32.5
1995	465696	2.17E+10	31.6	218468	4.16E+09	29.5
1996	253356	1.05E+10	40.5	288152	1.35E+10	40.3
1997	744838	6.62E+10	34.5	423654	1.81E+10	31.7
1999	973292	3.94E+11	64.5	751810	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
2011	795056	5.15E+10	28.5	673857	3.39E+10	27.3
2012	672077	5.19E+10	33.9	427071	1.87E+10	32.0
2013	520336	7.42E+10	52.4	550629	8.80E+10	53.9

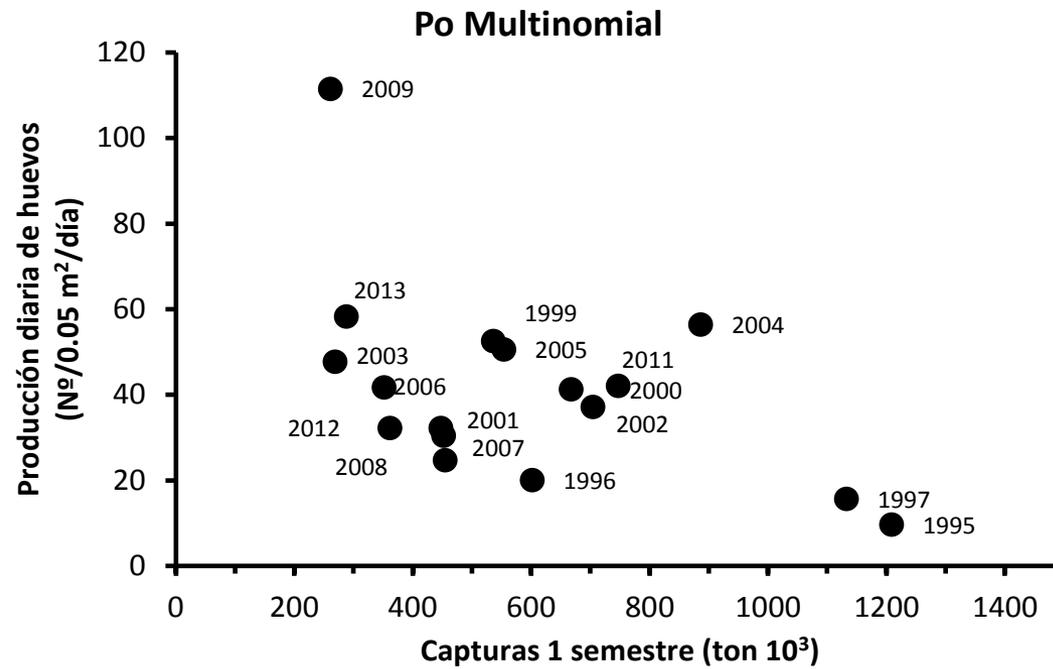
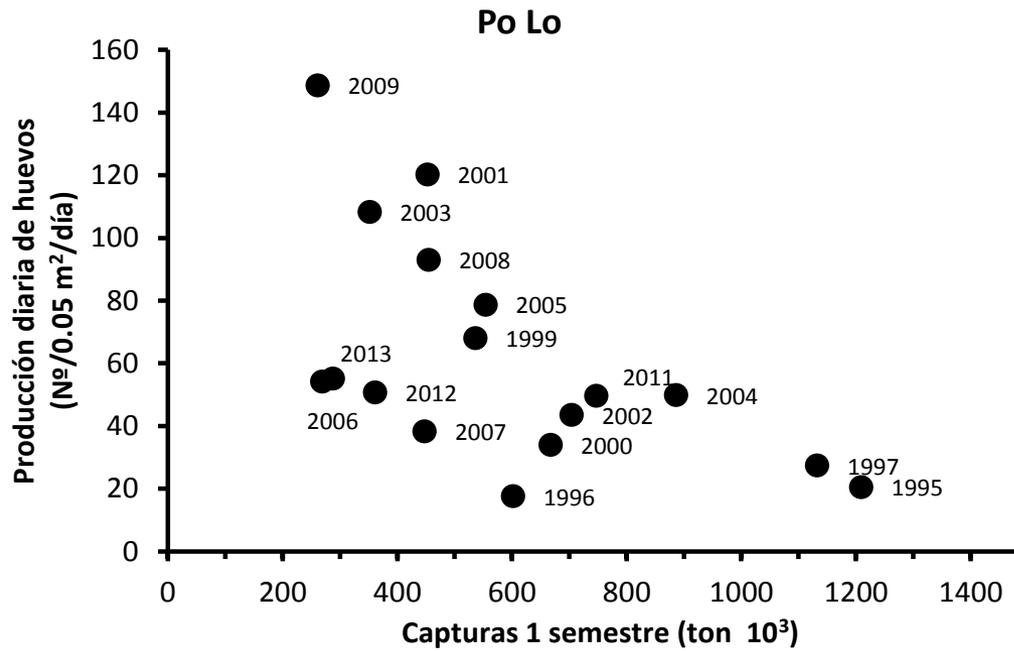


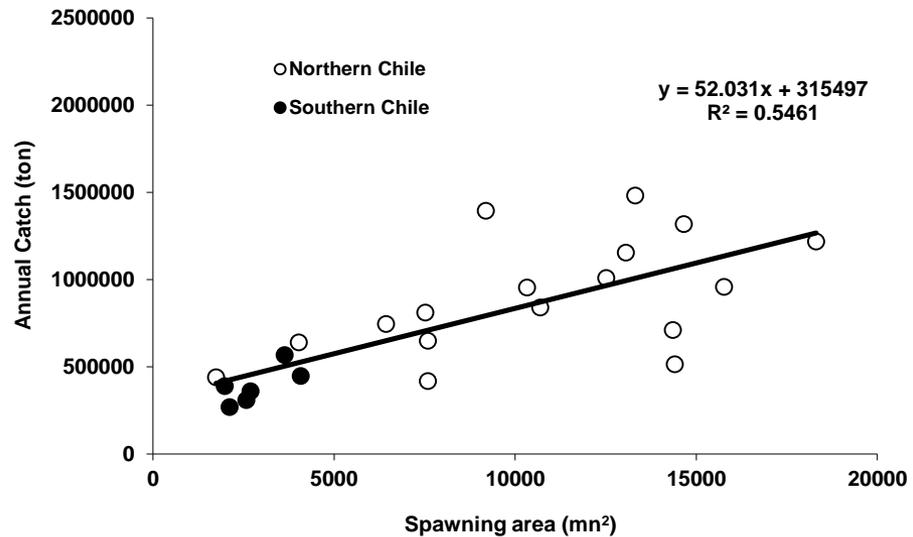
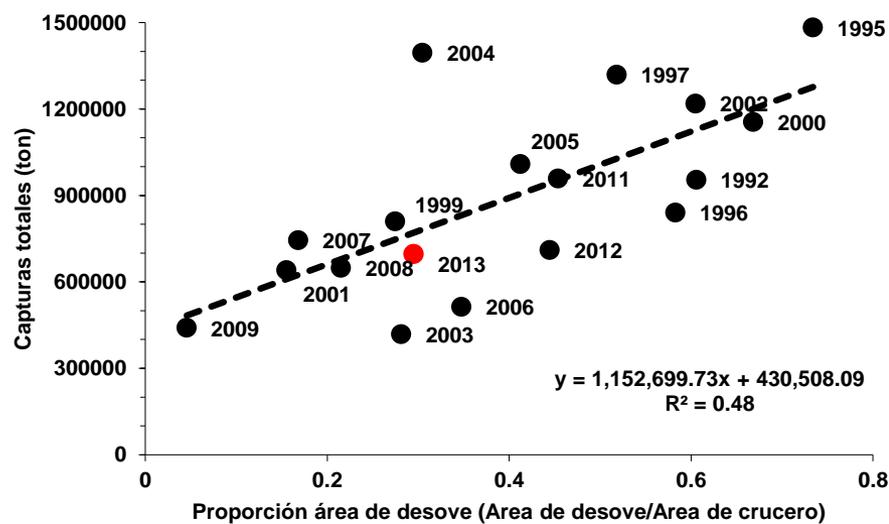
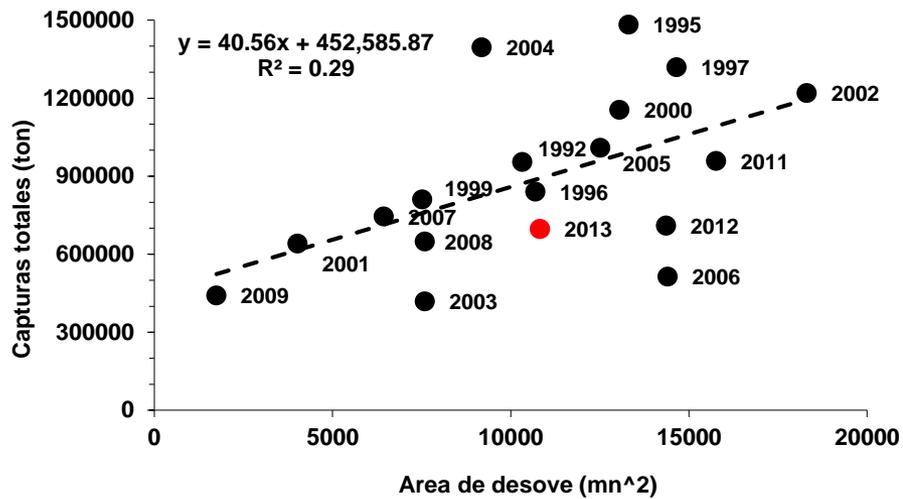


Patrones



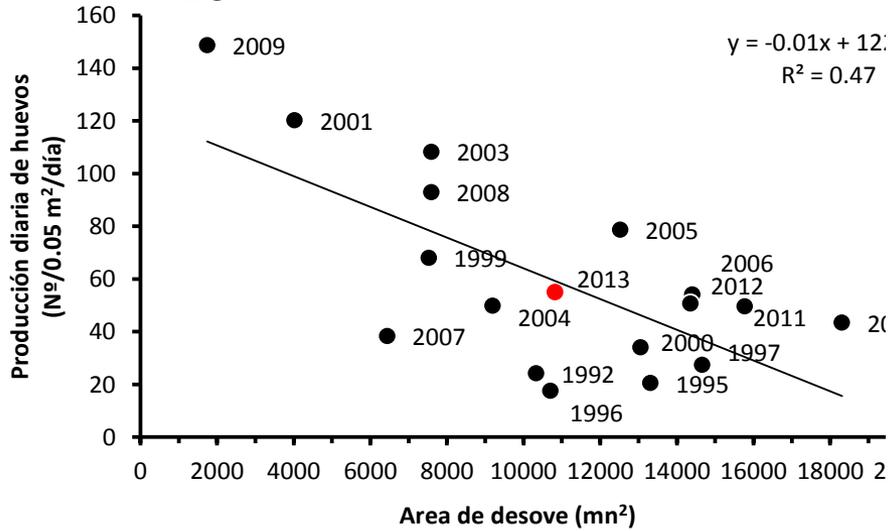




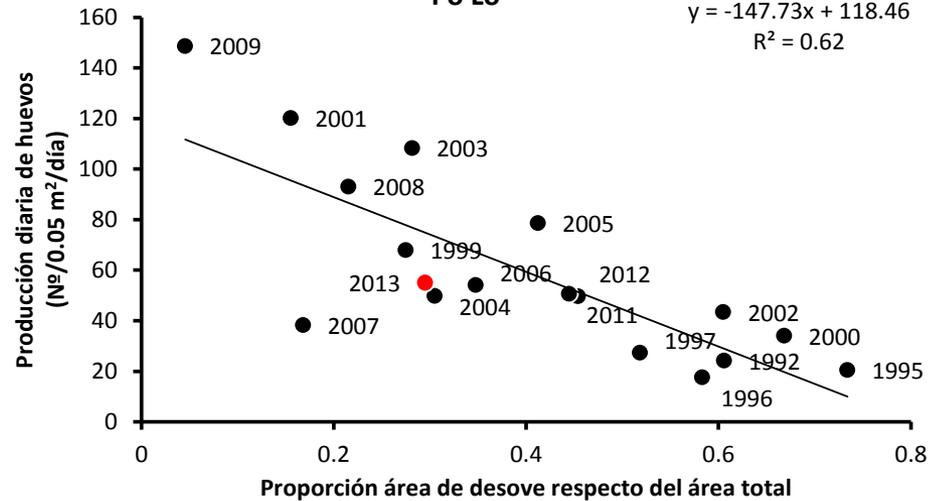




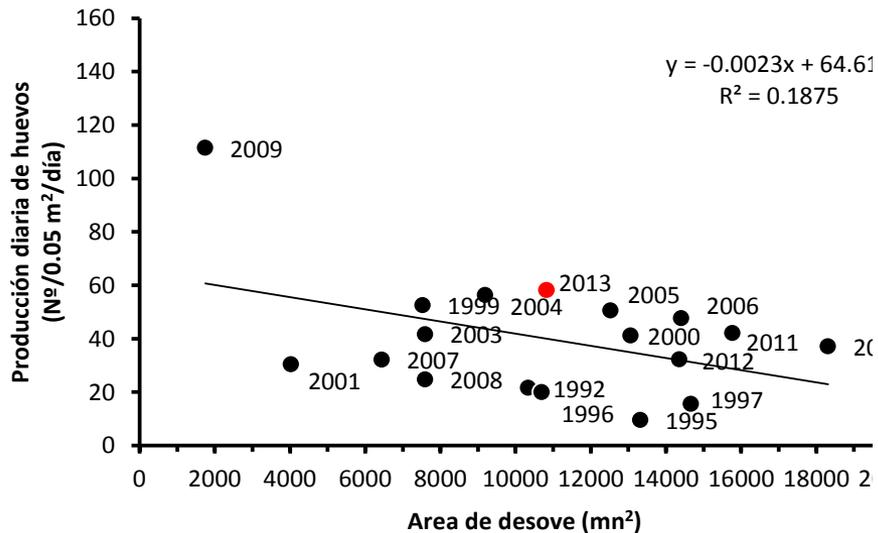
Lo



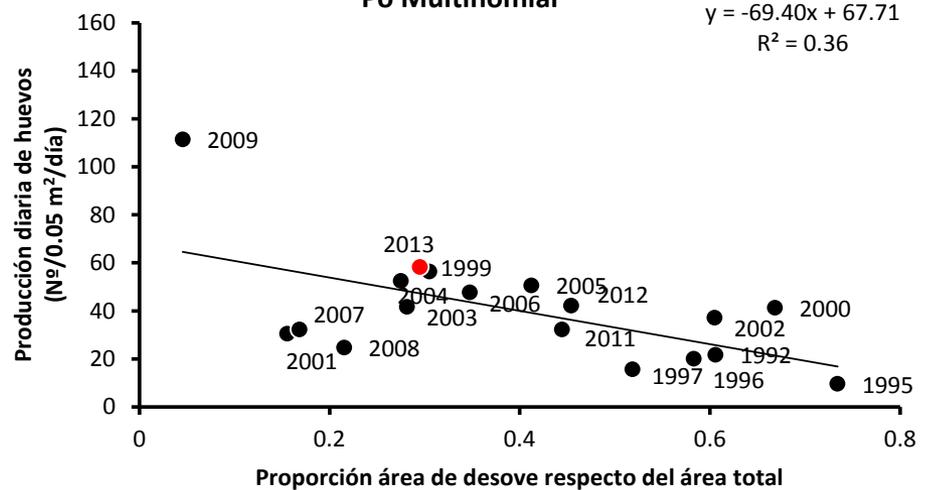
Po Lo



Multinomial



Po Multinomial





Gracias

ANEXO 4

Personal participante por actividad (HH).
FIP N° 2013-06.

ANEXO N° 4

PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD (HH)

Objetivo Específico 2.1

ACTIVIDADES					
PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes R.			16	16	32
Vivian Valenzuela C.	25	25	25	20	95
Raúl Ojeda A.	135				135
Hernán Miles U.	180				180
Cristian Ibieta F.	180				180
Marcelo González P.	180				180
Guillermo Galindo P.	45				45
UNAP					
Gabriel Claramunt			40	40	80
Paola Moreno		160	25	20	205
Cristian Azócar		320			320
Jeannelle Jaque		320			320
TOTAL	745	825	106	96	1.772

Objetivo Específico 2.2

ACTIVIDADES					
PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes R.	200	90	90	45	425
Fernando Espíndola R.		20	20	18	58
E. Milena Pizarro R.	16	90	90	16	212
Juan C. Saavedra N.			20	5	25
TOTAL	216	200	220	84	720

Objetivo Específico 2.3

ACTIVIDADES					
PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes R.			16	16	32
Eduardo Díaz R.		5	5	5	15
Carlos Gaspar S.	15	15			30
Raúl Ojeda A.	45				45
Francisco Bertrán M.	75				75
Luís Quintana F.	75				75
Oscar Aguilera C.	75				75
Juan Ríos B.	75				75
Oswaldo Villanueva C.	75				75
Marjorie Montecino Q.	75				75
UNAP					
Gabriel Claramunt			20	20	40
Cristian Azócar		40			40
TOTAL	510	60	41	41	652

Objetivo Específico 2.4

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes R.			16	16	32
Viivian Valenzuela C.		10	10		20
Juan C. Saavedra N.			20	5	25
M. Gabriela Böhm St.			5		5
UNAP					
Gabriel Claramunt			40	50	90
Paola Moreno			25	20	45
TOTAL		10	116	91	217

Objetivo Específico 2.5

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes R.			16	16	32
Eduardo Díaz R.			5		5
Juan C. Saavedra N.			20		20
M. Gabriela Böhm St.			10	5	15
Vivian Valenzuela C.			10	5	15
UNAP					
Gabriel Claramunt				20	20
Gustavo Herrera			90	70	160
Cristián Azócar			140	20	160
Etna Muñoz		300			300
Pablo Cuello		300			300
TOTAL		600	291	136	1027

Objetivo Específico 2.6

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes R.			16	16	32
Eduardo Díaz R.			10	5	15
Juan C. Saavedra N.			20		20
M. Gabriela Böhm St.			5		5
UNAP					
Gabriel Claramunt			10	10	20
Cristian Azócar		120			120
TOTAL		120	61	31	212

Objetivo Específico 2.7

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes R.			16	16	32
M. Gabriela Böhm St.			5		5
Juan C. Saavedra N.			20		20
UNAP					
Gabriel Claramunt			40		40
TOTAL			81	16	97

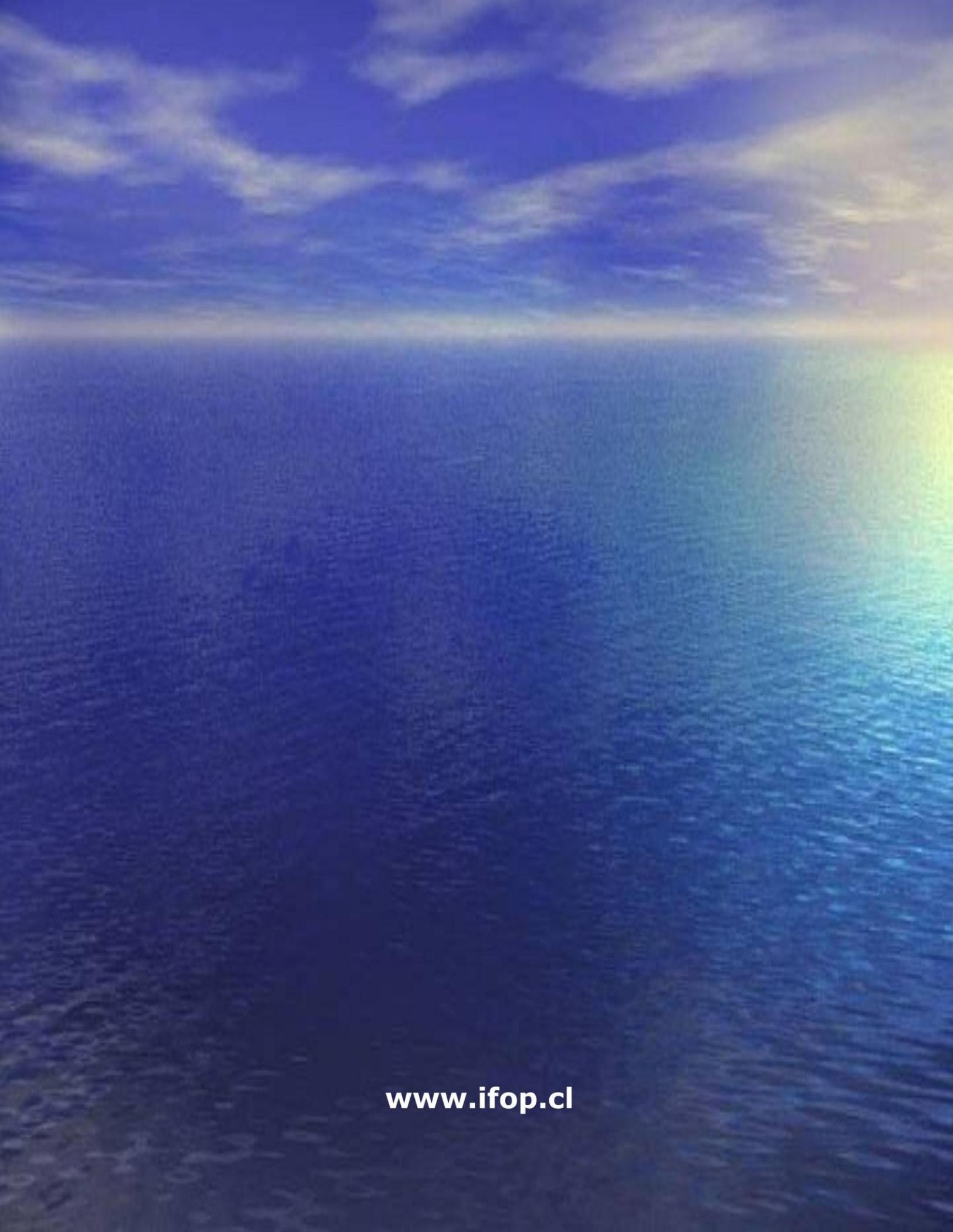
Objetivo Específico 2.8

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes R.			16	45	61
Vivian Valenzuela C.			10		10
Fernando Espíndola R.		5	5	7	17
Víctor Catasti B.		10	10	10	30
Juan C. Saavedra N.			60	5	65
TOTAL		15	101	67	183



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción
Almt. Manuel Blanco Encalada 839
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl



www.ifop.cl