



INFORME FINAL

Evaluación del stock desovante de anchoveta
en la XV, I y II Regiones, año 2012

FIP N° 2012-06 / Abril-2013



INFORME FINAL

Evaluación del stock desovante de anchoveta
en la XV, I y II Regiones, año 2012

FIP N° 2012-06 / Abril-2013

REQUIRENTE

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA
Presidente Consejo de Investigación Pesquera
Pablo Galilea Carrillo

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Jefe División Investigación Pesquera
Jorge Castillo Pizarro

Director Ejecutivo
José Luis Blanco García

JEFE DE PROYECTO

Mauricio Braun Alegría
Hernán Reyes Rivas



FIP N°2012-06 / Abril 2013

AUTORES

Abundancia y distribución de huevos de anchoveta

Mauricio Braun Alegría
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 C.
Mauricio Braun Alegría
Eduardo Díaz Ramos
María Gabriela Böhm Stoffel

Distribución espacial de huevos y variables oceanográficas

Fernando Espíndola Rebolledo
Juan Carlos Saavedra Nievas
Víctor Catasti Barraza
Mauricio Braun Alegría

COLABORADORES

Vivian Valenzuela Cuevas
Hernán Miles Urbina



I. RESUMEN EJECUTIVO

En el presente documento se informa la totalidad de las actividades realizadas en el marco del proyecto FIP N° 2012-06 “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2012”, para dar cumplimiento a los objetivos planteados en los términos básicos de referencia. Este proyecto fue licitado al Instituto de Fomento Pesquero por el Consejo de Investigación Pesquera para el año 2012, como parte de las necesidades de investigación y la posterior adopción de medidas de administración de las pesquerías, cuyo principal objetivo es la conservación de los recursos hidrobiológicos, considerando tanto aspectos biológicos, pesqueros, económicos y sociales. Es así, que para el año 2012, se decidió continuar con la línea de investigación orientada a 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). Esta información se obtuvo de la recolección de datos y muestras efectuadas durante la realización de los cruceros designados tanto para el módulo de huevos como para el módulo de adultos.

El crucero se desarrolló durante el período de mayor actividad reproductiva del recurso anchoveta, con el propósito de recolectar muestras de huevos y ejemplares adultos.

Los datos oceanográficos físicos, de huevos y las capturas de los adultos fueron obtenidos durante los meses de agosto, septiembre y los primeros días de octubre de 2012, efectuándose de manera interrumpida las respectivas recolectas por problemas de fuerza mayor, situación que fue informada oportunamente a la Subsecretaría de Pesca (IFOP/DIP/N°190/212 de fecha 13 de septiembre de 2012) y al Consejo de Investigación Pesquera (IFOP/DIP/N°189/2012,



IFOP/DIP/N°195/2012 del 13 y 21 de septiembre, respectivamente). Así, el crucero módulo huevos se efectuó a bordo del PAM “Eperva 57”, perteneciente a la Empresa Pesquera Corpesca S.A, el cual abarcó una extensión longitudinal comprendida entre la costa y las 80 mn entre punta Carrizalillo (26°00´S) y punta Angamos (23°00´S), zona donde se realizaron 19 transectas equidistantes entre sí cada 10 mn. Desde Michilla (22°45´S) hasta Arica (18°25´S) se modificó el track original, efectuándose 19 transectas perpendiculares a la costa con una equidistancia entre sí de 15 mn y cobertura longitudinal máxima de 60 mn.

El crucero módulo adultos, para la obtención de ejemplares de anchoveta se realizó a bordo de cuatro embarcaciones cerqueras entre el 26 de agosto y el 20 de octubre de 2012, ambas fechas inclusive.

Las naves industriales autorizadas para tales efectos fueron los PAMs “Licanten”, de la Compañía Pesquera Camanchaca S.A; “Audaz” “Intrépido” y “Halcón” de la Empresa Pesquera CORPESCA y las embarcaciones artesanales Bucanero como titular y Corsario como suplente, según Resolución de Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca número 2245 del 14 de agosto de 2012. Con respecto a las embarcaciones artesanales, cabe señalar que debido a problemas de mantención mecánica, no participaron de la pesca de investigación, situación que fue informada a Subsecretaría de Pesca (IFOP/PGE/N°232/2012/DIR/607 de fecha 24 de septiembre de 2012). Además, colaboraron en la recolección de este recurso los PAM: “Albimer”, “Eperva 56” “Parinal”, “Patillo”, “Trueno I”, “Claudia Alejandra”, “Costa Grande”, Tornado” y las embarcaciones artesanales “Gringo Pablo II”, “Alborada II”, “Pelicano”, “Isaura”, “Petrohue II” e “Ike I”.

Las embarcaciones cerqueras industriales mencionadas anteriormente operaron por fuera del Área de reserva artesanal hasta las 80 mn, mientras que las naves cerqueras artesanales operaron en el Área de reserva artesanal de las regiones de



Arica – Parinacota y Tarapacá, según el programa de trabajo entregado por el IFOP, en el cual el área de estudio se dividió en cuatro zonas de pesca las que se indican en la **Figura 1**. La prospección de las zonas antes mencionadas se realizó en forma simultánea con el módulo de huevos, como también en forma posterior hasta el 22 de octubre, esto con la finalidad de aumentar la cantidad de información de adultos.

El PAM “Eperva 57”, módulo huevos, operó desde el 25 de agosto hasta el 29 de septiembre de 2012, abarcando la zona comprendida entre Arica (18°25´S) y Carrizalillo (26°03´S), realizando 38 transectas perpendiculares a la costa, de un total de 47 programadas (80,8%).

De acuerdo a los indicadores en el 2012, el proceso de maduración gonadal presentó variaciones respecto al comportamiento normal para el bimestre junio-julio, que se caracterizó por exhibir una menor actividad reproductiva y de desove, con registros que se ubicaron en el límite inferior de años anteriores. Esta condición anómala significó un desfase en el inicio del principal evento reproductivo, el cual se manifestó gradualmente a fines de julio e inicio de agosto. Desde agosto los indicadores se normalizaron a niveles históricos, con el periodo de la máxima intensidad de desove de la anchoveta que se inició a comienzos de agosto y se mantiene hasta la primera semana de octubre, con mayores registros de **IAD** desde mediados de agosto. Los antecedentes indicaron que la anchoveta durante la ejecución del crucero de investigación se encontró en condición desovante, sin mostrar evidencia hacia la disminución de la actividad, en este contexto los parámetros reproductivos de los adultos son constantes, por desarrollarse el estudio durante el período de la máxima actividad reproductiva.

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



Del total de 564 estaciones de la grilla realizada este año 2012, en que se realizó muestreo con red CalVET (California Vertical Tow) en su versión doble PAIROVET (Smith et al, 1985), 211 estaciones presentaron huevos de anchoveta lo que corresponde a un 37,41% del total de estaciones muestreadas. Comparativamente, con el año 2011 hay un número menor de estaciones positivas para anchoveta, similar a los años 1992, 2000 y 2005.

El área prospectada fue de 32291 mn². El área de desove estimada correspondió a 14356 mn², la cual está dentro de las más altas de la serie histórica para anchoveta.

Un total de 10.779 huevos/ 0,05 m² de anchoveta (13.906 en el año 2011 y 4.703 en el 2009) fueron cuantificados en el área comprendida entre punta Carrizalillo (26°00´S) y Arica (18°25´S). La media de huevos por estación positiva alcanzó a 51 ejemplares (DS = 124,3) y la media por estaciones totales fue igual a 19, situación que señala una importante y significativa actividad reproductiva en la zona de estudio. En relación a la intensidad y extensión espacial del desove, las densidades promedio por estaciones positivas y totales, muestran una situación diferente para ambos índices. La intensidad del desove con respecto al invierno de 2011 experimenta un leve incremento de 6,3%, exhibiendo prácticamente la misma cobertura geográfica del año 2011.

El patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta en el área de estudio, señala que el desove fue costero con expansiones hacia el océano en la zona de Arica, y se verificó en el rango latitudinal comprendido entre islote Blanco-Taltal (25°20´S) y Arica (18°25´S) y longitudinalmente hasta las 65 mn al oeste de caleta Bandurria (23°20´S). En términos generales, la densidad promedio de las



estaciones positivas por transecta para los huevos de anchoveta, tendió a disminuir de costa a mar afuera.

Los focos de desove más importantes (>300 huevos/ $0,05\text{m}^2$) se localizaron en el sector costero frente a bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$), a 20 mn de caleta Herradura de Mejillones ($23^{\circ}10'S$), a 1mn al oeste de caleta Atala ($22^{\circ}15'S$) y punta Urco ($21^{\circ}45'S$), a 5 mn de punta Patillo ($20^{\circ}45'S$) y a 1 mn frente a Caleta Ligate ($20^{\circ}30'S$) y Ensenada San Martín ($18^{\circ}30'S$), respectivamente; cuyas abundancias en conjunto representaron el 38,4% respecto del total de huevos de anchoveta cuantificados. El resto de los registros positivos exhibieron abundancias que fluctuaron entre 1 y 299 huevos/ $0,05\text{ m}^2$. En este contexto, la estación con la densidad más importante (1.010 huevos), se localizó a 5 mn de punta Patillo.

En relación al número de huevos el invierno de 2012 presento un porcentaje de cambio negativo de -22,5% con respecto al crucero MPH precedente (2011), constituyéndose en el séptimo registro más alto de la serie 1992 – 2012.

La densidad media de huevos estimada para el período 1992-2012, a través del estimador de la media de una distribución delta y la proporción de estaciones positivas (con huevos) muestra que la densidad obtenida en esta oportunidad es 19% mayor respecto al invierno de 2011, constituyéndose en el quinto registro más importante de la serie y en el tercero con respecto a la proporción de estaciones positivas.

Con respecto al invierno precedente el índice de huevos presentó una leve disminución de 2,3%, mientras que la biomasa desovante estimada por ambos métodos experimenta disminuciones de 15,5% (Lo GLM) y 36,6% (multinomial).



La zona norte de Chile a finales del invierno de 2012 registró condiciones normales, lo que estuvo asociado a condiciones ENOS neutrales en la zona intertropical presentes desde el segundo trimestre del año. No obstante lo anterior, la zona de estudio registró condiciones cálidas entre febrero y julio de 2012, lo que parece estar asociado a las condiciones cálidas de la región Niño 1+2. En este sentido, durante la etapa de declinación de los procesos fríos “La Niña” en la región ecuatorial, ocurre en la zona norte de Chile un rápido e intenso efecto “rebote” en las condiciones locales que pasan de frías a cálidas.

Durante el crucero, se midió un alto porcentaje de viento débil y favorable a la surgencia. Estos procesos de afloramiento tuvieron una intensidad variable en distintas áreas de la zona, destacándose las áreas de Pisagua, caleta Ligate, Antofagasta y punta Ballenita como aquellas que registraron los procesos de surgencia más intensos y con una mayor participación de agua Ecuatorial Subsuperficial. Por el contrario, las áreas de menor intensidad de surgencia fueron punta Tres Picos a Tal-Tal, punta Junín a Iquique, caleta Chipana y rada Paposo. Comparativamente, el transporte Ekman medido en septiembre de 2012 para la zona fue mayor que el mismo mes de 2009 y 2011. La clorofila medida durante la prospección, presentó altas concentraciones en núcleos de entre 20 y 35 m, con alta frecuencia de máximos subsuperficiales, siendo Arica y punta Copaca, las localidades de mayor biomasa fitoplanctónica.

La franja costera presentó altas concentraciones de clorofila superficial (satelital), principalmente en Arica, Iquique y península de Mejillones, destacándose un amplio y extenso foco de altas concentraciones que rodeó la península de Mejillones en la primera semana de crucero, foco que se extendió hacia el oeste en la semana siguiente. En la serie histórica de clorofila satelital, desde fines de 2007 y hasta comienzos de 2012 se observa un descenso en las concentraciones de clorofila entre los 18° y 23°S.



La distribuci3n espacial adoptada por los ejemplares adultos de anchoveta durante el periodo de estudio, se extendi3 latitudinalmente desde caleta Vitor ($18^{\circ}45'$) hasta el norte de Antofagasta ($23^{\circ}21'S$) y desde la primera hasta las 15 mn.

Se procesaron los 46 lances para proporci3n sexual, totalizando 4634 ejemplares, de los cuales 2195 correspondieron a hembras. La proporci3n sexual en peso de las hembras result3 en 0,49 con una varianza de 0.00042 y un coeficiente de variaci3n de 4,2%.

Del an3lisis integrado de los coeficientes $V(Cramer)$ se seala que la temperatura y la salinidad presentaron correlaciones similares con los huevos de la especie, especficamente, la salinidad alcanz3 un 3ndice $V(Cramer)$ de 0,44 y la temperatura un $V(Cramer)$ de 0,40. Respecto a los rangos de distribuci3n preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la temperatura se concluye que el estadio de huevo se distribuy3 vinculado con ciertos rangos caracter3sticos, en este sentido se destaca que present3 una moda principal en la isoterma de $15^{\circ}C$ (35% de las celdas) y la salinidad report3 una moda principal en las isohalinas de 34,6 y 34,7 psu.

Asimismo, el an3lisis del patr3n de distribuci3n de los huevos indic3 que en general poseen una cobertura geogr3fica costera y que las mayores agregaciones se encuentran en los bordes de gradientes t3rmicos y salinos relevantes. 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 a3o 2012 el an3lisis indic3 un desplazamiento hacia el sur localiz3ndose frente a punta Arenas. Cabe destacar los desplazamientos de los CG hacia el sur cuando la zona est3 influenciada por evento "El Ni3o".



La producci3n diaria de huevos estimada para el modelo de Lo es de 50,69 huevos/0,05m²/día con un coeficiente de variaci3n de 22%. En el modelo multinomial la estimaci3n es de 32,21 huevos/0,05m²/día con un coeficiente de variaci3n de 21%.

Combinando el grupo de hembras que desovar3 dentro de las pr3ximas 24 horas, con el grupo de desove de la noche anterior, la fracci3n diaria de hembras desovantes se estim3 en 0,26 con una varianza de 0,00018 y un coeficiente de variaci3n de 5,3%.

La fecundidad media poblacional resulta de 11.794 ovocitos, con una varianza de 186466 y un coeficiente de variaci3n de 3,7%.

La proporci3n de hembras en peso para el total de lances analizados present3 un promedio de 0,49, una varianza igual a 0,00042 y un coeficiente de variaci3n de 4,2%. El peso promedio de hembras maduras en el 3rea investigada fue de 20,12 gramos, con una varianza de 0,276 y un coeficiente de variaci3n de 2,6%.

La biomasa desovante estimada por el modelo tradicional de Lo resulta en 672.077 ton, con una varianza de 5,18802E+10 y un coeficiente de variaci3n de 33,9%. Por el Modelo Multinomial se estima una biomasa de 427.070 ton con una varianza de 1,86661E+10 y un coeficiente de variaci3n de 32%.



II. 3NDICE GENERAL

	P3gina
I. RESUMEN EJECUTIVO	1
II. 3NDICE GENERAL	9
III. 3NDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS	11
IV. OBJETIVOS	24
1. Objetivo general.....	24
2. Objetivos espec3ficos.....	24
V. ANTECEDENTES GENERALES.....	26
VI. DESARROLLO METODOL3GICO	35
1. 3rea de estudio.....	35
2. Monitoreo reproductivo que fundament3 el inicio y t3rmino del crucero..	37
2.1 Procesamiento biol3gico	38
3. Metodolog3a por objetivo espec3fico	47
3.1 Objetivo espec3fico 2.1	47
3.2 Objetivo espec3fico 2.2	53
3.3 Objetivo espec3fico 2.3	64
3.4 Objetivo espec3fico 2.4	71
3.5 Objetivo espec3fico 2.5	80
3.6 Objetivo espec3fico 2.6	85
3.7 Objetivo espec3fico 2.7	89
3.8 Objetivo espec3fico 2.8	91
VII. RESULTADOS	102
1. Monitoreo reproductivo que fundamenta el inicio del crucero	102
2. Objetivo espec3fico 2.1	104



3.	Objetivo espec3fico 2.2	107
4.	Objetivo espec3fico 2.3	128
5.	Objetivo espec3fico 2.4	131
6.	Objetivo espec3fico 2.5	133
7.	Objetivo espec3fico 2.6	135
8.	Objetivo espec3fico 2.7	137
9.	Objetivo espec3fico 2.8	138
VIII.	DISCUSI3N	157
IX.	BASE DE DATOS FIP N° 2012-06	171
1.	Datos oceanogr3ficos y meteorol3gicos	171
2.	Datos huevos de anchoveta	175
3.	Par3metros de adultos	176
X.	CONCLUSIONES	177
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGR3FICAS	182

FIGURAS

TABLAS

ANEXOS:

- Anexo 1.** Instructivo de muestreo: Utilizado a bordo por parte de los Observadores Cient3ficos.
- Anexo 2.** Procedimientos de recopilaci3n, transmisi3n, validaci3n y almacenamiento de datos.
- Anexo 3.** Taller 1 de Coordinaci3n de Actividades (26 julio 2012)
Taller 2 Presentaci3n de Resultados (07 febrero 2013).
(Se adjunta CD con Presentaciones del Taller).
- Anexo 4.** Personal participante por actividad (HH). FIP N° 2012-06.



III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

FIGURAS

- Figura 1.** Rango latitudinal de operación de las barcos cerqueros industriales que trabajaron en forma conjunta, en la recolección de adultos de anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2012.
- Figura 2.** Ubicación geográfica de a) estaciones bio-oceanográficas y b) estaciones con muestreo de clorofila y oxígeno (estaciones oceanográficas profundas). Crucero MPH - Invierno 2012.
- Figura 3.** Distribución de frecuencia, N^o de huevos de anchoveta en el estadio I de desarrollo (Recientemente desovados y fertilizados) según hora de recolecta para el total de cruceros realizados en la zona norte.
- Figura 4.** Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubación.
- Figura 5.** 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 2011 (Claramunt *et al*, 2007).
- Figura 6.** Zona de estudio y las veinte áreas (polígonos) de 20 millas náuticas de longitud proyectada desde la línea de costa.
- Figura 7.** 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 2012. La línea horizontal representa el valor referencial de actividad reproductiva.



- Figura 8.** Variación semanal del IGS promedio histórico 2000-2011 y en el 2012. La línea indica el valor referencial de actividad reproductiva.
- Figura 9.** Variación mensual del Índice de Actividad de Desove (IAD) y del Índice de Atresia Ovárica (IAO). Ciclo anual 2001 al 2003, y entre junio de 2008 y septiembre de 2012. La línea horizontal representa el IAD referencial ($\geq 25\%$) que define el periodo de la máxima intensidad de desove (MID).
- Figura 10.** Variación semanal del IAD promedio histórico 1999-2011 y en el 2012. La línea horizontal representa el IAD referencial ($\geq 25\%$) que define el periodo de la máxima intensidad de desove (MID).
- Figura 11.** Variación semanal del IAO promedio histórico 1999-2011 y en el 2012.
- Figura 12.** Distribución geográfica de las estaciones positivas y negativas a huevos de huevos de anchoveta. Crucero MPH 552(3)12 Eperva 57 – Invierno 2012.
- Figura 13.** Distribución y abundancia huevos de anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2012.
- Figura 14.** Distribución de la abundancia promedio de huevos de anchoveta con respecto a la distancia de la costa (a) y con respecto a la latitud (b). Crucero MPH – Invierno 2012.
- Figura 15.** Distribución espacial y abundancia de huevos de Anchoveta. Cruceros MPH Inviernos 1992-2012.
- Figura 16.** Distribución espacial de los lances de pesca v/s los huevos de anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2012.
- Figura 17.** (a) Densidad media de huevos de anchoveta estimada para el período 1992 - 2012, a través del estimador de la media de una



distribución delta y (b) proporción de estaciones positivas (con huevos), período 1992 – 2012.

- Figura 18.** Comparación del índice de huevos y la biomasa desovante estimada con el modelo multinomial (a) y con el modelo de Lo GLM (b).
- Figura 19.** 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 2012.
- Figura 20.** 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 2012.
- Figura 21.** Distribución superficial de a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad (psu) y d) anomalía de salinidad (psu). Crucero MPH - Invierno 2012.
- Figura 22.** Distribución de a) temperatura (°C) en el nivel de 50 m de profundidad, b) diferencia térmica (°C) entre superficie y el nivel de 50 m, c) salinidad (psu) en el nivel de 50 m de profundidad y d) diferencia de salinidad (psu) entre superficie y el nivel de 50 m. Crucero MPH - Invierno 2012.
- Figura 23.** 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 2012.
- Figura 24.** Distribución de a) espesor de la capa de mezcla (m), b) concentración de oxígeno disuelto superficial (mL/L) y c) profundidad de la isolínea de 1 mL/L de OD. Crucero MPH - Invierno 2012.
- Figura 25.** 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 2012.



- Figura 26.** Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas oceanográficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012
- Figura 27.** Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de los primeros 100 m en las transectas oceanográficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.
- Figura 28.** Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas oceanográficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.
- Figura 29.** Distribución vertical de salinidad (psu) de los primeros 100 m en las transectas oceanográficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.
- Figura 30.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$) en las transectas oceanográficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.
- Figura 31.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$) de los primeros 100 m en las transectas oceanográficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.
- Figura 32.** Anomalía vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y salinidad (psu) en las transectas: de Arica ($18^{\circ}25'\text{S}$) (T1), punta Lobos ($21^{\circ}00'\text{S}$) (T17) y Bahía Moreno ($23^{\circ}40'\text{S}$) (T33). Crucero MPH - invierno 2012.
- Figura 33.** Distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L), transectas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.
- Figura 34.** Distribución vertical clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), transectas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.
- Figura 35.** Distribución vertical feopigmentos ($\mu\text{g/L}$), transectas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.
- Figura 36.** Transporte de Ekman 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 septiembre de 2012 (Fuente: Dirección Meteorológica de Chile).



- Figura 37.** Temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales entre los días a) 28 de agosto y 4 de septiembre, b) 5 y 12 septiembre, c) 13 y 20 de septiembre y d) 21 y 28 de septiembre de 2012.
- Figura 38.** Anomalía de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) de la imagen del satélite MODIS-A correspondiente al promedio del mes de septiembre de 2012.
- Figura 39.** Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales entre los días a) 28 de agosto y 4 de septiembre, b) 5 y 12 septiembre, c) 13 y 20 de septiembre y d) 21 y 28 de septiembre de 2012. La línea negra marca la isolínea de $1 \mu\text{g/L}$.
- Figura 40.** Anomalía del nivel del mar (cm) y velocidad geostrófica (cm/s) provenientes de la combinación de los satélites ERS, Topex y Jason, correspondientes a los días 28 de agosto y 5,13 y 21 de septiembre de 2012.
- Figura 41.** Series de tiempo para el período julio 2002- octubre 2012 de a) Índice Multivariado Ecuatorial (MEI), b) promedio de las anomalías de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) por fecha entre las latitudes 18° a 28°S en el sector costero y oceánico; Diagramas Hovmöller para el mismo período y área de la anomalía de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) superficial del mar (satelital) c) costera y d) oceánica.
- Figura 42.** Series de tiempo para el período julio 2002- octubre 2012 de a) Índice Multivariado Ecuatorial (MEI), b) promedio de la concentración de clorofila satelital ($\mu\text{g/L}$) por fecha entre las latitudes 18° a 23°S y de 23°S a 28°S en el sector costero; Diagramas Hovmöller para el mismo período y área de la concentración de clorofila satelital (promedio mensual) ($\mu\text{g/L}$) c) costera y d) oceánica.



- Figura 43.** Serie de Tiempo de áreas promediadas para las anomalías en la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de la superficie del océano (SST) en las regiones de El Niño [Niño-1+2 (0° - 10°S , 90°W - 80°W), Niño 3 (5°N - 5°S , 150°W - 90°W), Niño-3.4 (5°N - 5°S , 170°W - 120°W), Niño-4 (150°W - 160°E and 5°N - 5°S)]. Las anomalías de TSM son variaciones de los promedios semanales del período base de 1981-2010.
- Figura 44.** 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 – septiembre 2012. Fuente: NOAA (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>).
- Figura 45.** Distribución espacial de los lances de pesca. Crucero MPH Invierno 2012.
- Figura 46.** Distribución de tamaños de anchoveta capturadas entre las XV, I y II Regiones. A: por sexo (M: machos, H: hembras), B: total. Crucero MPH 2012.
- Figura 47.** Distribución de tallas de las hembras muestreadas en cada año de aplicación del método de producción de huevos en la zona norte. Línea roja vertical es solo referencial (13 cm).
- Figura 48.** Frecuencia (N°) 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 49.** Estimaciones de Producción diaria de huevos ($\text{N}^{\circ}/0,05 \text{ m}^2/\text{día}$), ponderado por el área, para anchoveta de la zona norte, en base a las dos metodologías aplicadas.
- Figura 50.** 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 51.** Fecundidad parcial en función del peso corporal para el año 2012.



- Figura 52.** Regresiones de Fecundidad parcial en funci3n del Peso Corporal para distintos a1os de aplicaci3n del MPH en la zona norte.
- Figura 53.** Biomosas desovantes estimadas en cada a1o de aplicaci3n del M3todo de producci3n Diaria de Huevos.
- Figura 54.** 1reas de crucero y de desove para cada a1o de aplicaci3n del M3todo de producci3n Diaria de Huevos.
- Figura 55.** Distribuci3n espacial y temporal de los huevos de anchoveta. Per3odo 1992-2012.
- Figura 56.** Distribuci3n espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Per3odo 1992-2012.
- Figura 57.** Distribuci3n espacial y temporal de la salinidad superficial. Per3odo 1992-2012.
- Figura 58.** Rangos de distribuci3n preferencial de los huevos de anchoveta respecto de: a) temperatura (°C) y b) salinidad (psu). Per3odo 1992-2012.
- Figura 59.** 1ndices de ocupaci3n (IOC) de las distribuciones de huevos de anchoveta. Per3odo 2005-2012.
- Figura 60.** Frecuencia acumulada y rangos de preferencia de anchoveta en relaci3n a a) temperatura y b) salinidad. Crucero 2012.
- Figura 61.** Distribuci3n espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de huevos de anchoveta. Per3odo 1992-2012.
- Figura 62.** Densidad media de huevos para el total de estaciones y estaciones positivas y proporci3n de estaciones con presencia de huevos de anchoveta, por a1o y total. Cruceros realizados en la XV y entre la I y II Regi3n.



- Figura 63.** 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 zonas achuradas corresponden a las bandas de confianza.
- Figura 64.** 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 65.** Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la temperatura superficial del mar para el periodo 1995 – 2012.
- Figura 66.** Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la salinidad superficial del mar para el periodo 1995 – 2012.
- Figura 67.** Densidad media de huevos de anchoveta por año y polígono paralelo a la costa, y delimitado en cuatro segmentos latitudinalmente (18-20°S, 20-22°S, 22-24°S y 24-26.5°S).
- Figura 68.** Estadísticas descriptivas para las variables densidad de huevos de anchoveta (a), la longitud (b), la temperatura (c) y la salinidad superficial del mar (d). Cruceros realizados en la I y II Región desde los años 1995 al año 2012.
- Figura 69.** Patrón temporal de la densidad de huevos de anchoveta (escala logarítmica) para cada área (20 mn) paralela a la costa. La línea negra representa la tendencia suavizada y los círculos los datos observados.



- Figura 70.** Efectos de los predictores fecha, latitud: longitud, temperatura y salinidad sobre la variable conteo de huevos de anchoveta por estación, ajustado un modelo MAG con una distribución Poisson para la variable respuesta. Las líneas segmentadas corresponden a los intervalos de confianza y $s(X,P)$ corresponde a la función suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad.
- Figura 71.** Estimaciones suavizadas del patrón temporal de la densidad de huevos para cada área paralela a la costa y delimitada latitudinalmente, obtenidos del MAG.
- Figura 72.** Estimaciones suavizadas del patrón temporal de la temperatura superficial del mar para cada área paralela a la costa y delimitada latitudinalmente, obtenidos del MAG.
- Figura 73.** Estimaciones suavizadas del patrón temporal de la salinidad superficial del mar para cada área paralela a la costa y delimitada latitudinalmente, obtenidos del MAG.
- Figura 74.** Temperaturas promedio a 10 metros ($^{\circ}\text{C}$) de profundidad de los cruceros del MPH en la zona norte de Chile. Líneas verticales representan la desviación estándar y líneas horizontales los valores mínimos y máximos.
- Figura 75.** Relación entre área de desove (mn^2) y la Biomasa desovante (ton) según modelo de Lo.
- Figura 76.** Relación entre el área de desove (mn^2) y la captura total del año (ton). Captura para el año 2012 es una cifra preliminar.



TABLAS

- Tabla 1.** Caracterizaci3n de los estadios ov3ricos de peces pel3gicos (Wallace y Selman, 1981; Hunter y Macewicz, 1985).
- Tabla 2.** Clasificaci3n histol3gica de los fol3culos postovulatorios (**FPO**) de anchoveta, seg3n grado de degeneraci3n (Claramunt *et al.*, 2007)
- Tabla 3.** Clasificaci3n de los estadios de desarrollo embrionario (Santander *et al.*, 1984).
- Tabla 4.** Par3metros de la ecuaci3n combinada para estadio y temperatura ajustada a los datos de anchoveta de la zona norte.
- Tabla 5.** Resultados del ajuste del modelo probabil3stico para la edad de los estadios de huevos en anchoveta zona norte.
- Tabla 6.** Evoluci3n semanal de los indicadores reproductivos (**IGS**, **IAD** e **IAO**) de la anchoveta en la zona Arica – Antofagasta. enero – primera semana de octubre, 2012.
- Tabla 7.** Densidad promedio, constancia y rangos de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, en invierno de los a3os 1992 - 2012.
- Tabla 8.** Estimaci3n del 3ndice de huevos de Anchoveta, XV, I y II regiones en invierno de 1992-2012.
- Tabla 9.** Posici3n geogr3fica de los lances efectuados durante el crucero MPH, m3dulo adultos, en la XV, I y II Regi3n, agosto - octubre 2012.
- Tabla 10.** Resumen de los datos de los lances. Hora del lance en hora y fracci3n de hora. Estadios de Madurez Microsc3pico (EMM), Fol3culos postovulatorios (FPO), n3mero de hembras (n), peso total (PT; Corregido) fecundidad parcial estimada (FECUND) y Proporci3n de hembras en peso (PROP. H).



- Tabla 11.** 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 12.** Número de lances y total de hembras muestreadas en los distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.
- Tabla 13.** Distribución horaria de la frecuencia (%) de los estadios de Folículos Postovulatorios y Estadios de Madurez Ovárica (Núcleo Migrante e Hidratados). Información acumulada del 2004 al 2011. EMM 5: Estadio de núcleo migrante. EMM 6: Hembras hidratadas.
- Tabla 14.** 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 15.** 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 16.** Parámetros de las regresiones entre fecundidad parcial y peso corporal para cada año de aplicación del MPH en la zona norte de Chile.
- Tabla 17.** Parámetros de adultos obtenidos en las distintas aplicaciones del MPH en la zona norte.



- Tabla 18.** 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).
- Tabla 19.** Frecuencia de estaciones con presencia y ausencia de huevos por año, para estaciones sin registro de salinidades (Cero) y con registro de salinidades (Positiva).
- Tabla 20.** Síntesis por año del número de estaciones totales, número de estaciones sin y con presencia de huevos de anchoveta y densidad media de huevos/0,05 m² de las estaciones positivas desde los años 1992, 1995 a 1997, 1999 al 2009, 2011 y 2012.
- Tabla 21.** Resumen de estadísticas descriptivas para las variables longitud, latitud, temperatura superficial, salinidad superficial y densidad de huevos de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región desde los años 1992, 1995 a 1997, 1999 al 2009, 2011 y 2012.
- 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 y 2012.
- Tabla 23.** Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen del ajuste del modelo MAG para la variable número de huevos de anchoveta bajo una distribución Poisson.
- Tabla 24.** Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen del ajuste del modelo MAG para la variable número de huevos de anchoveta bajo una distribución Poisson.
- Tabla 25.** Correlaciones temporales estimadas para la densidad de huevos de anchoveta, la temperatura y salinidad superficial del mar durante el periodo analizado.



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 (26 julio 2012.)
Taller 2 Presentación de Resultados (07 febrero 2013).
(Se adjunta CD con las Presentaciones del Taller).
- Anexo 4.** Personal participante por actividad (HH).



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 estadíos 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

Durante el período enero – diciembre de 2012, el valor de las exportaciones pesqueras totalizó una cifra de 4.564 millones de dólares, mostrando un decrecimiento del 2,8%, respecto a igual período del año anterior. En relación al valor (FOB) de las exportaciones totales chilenas, las exportaciones del sector pesquero para este período, contribuyeron aproximadamente con un 5,8% (Fuente: Elaborado por IFOP en base a información del Servicio Nacional de Aduana, cifras provisionales).

Las estadísticas pesqueras nacionales señalan que a noviembre de 2012 se desembarcaron 3,3 millones de t, volumen 14% inferior al promedio del quinquenio 2007 - 2011 y 10% menor respecto a igual período de 2011. Por otra parte, la actividad generada en torno a las exportaciones del Sector Pesquero extractivo indica que a octubre de 2012 alcanzaron los US\$ 1.076 millones, cifra inferior en un 7% respecto a igual período de 2011 (Informe Sectorial de Pesca y Acuicultura, noviembre 2012 - SUBPESCA). En el ámbito del sector extractivo destacan por su importancia los recursos pelágicos con 2,1 millón de t representado principalmente por la anchoveta con 847 mil t, seguida por la sardina común con 788 mil t y jurel con 223 mil t

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



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

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

En el caso de la pesquería pelágica desarrollada en la zona norte, los desembarques muestran grandes oscilaciones, asociados a la inestabilidad del stock, provocada por la sobreexplotación del recurso, y fluctuaciones de las condiciones ambientales a diferentes escalas temporales y espaciales (Martínez *et al.*, 1995; Yáñez *et al.*, 1995). A pesar que los términos básicos de referencia se refieren específicamente al efecto de "El Niño", es necesario señalar que la zona norte está afectada por otros procesos físicos importantes como "El Viejo" y las ondas atrapadas a la costa (**OAC**), además en esta zona normalmente asociada a la surgencia costera, están presentes estructuras oceanográficas como giros de mesoescala (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.*, 2004a), se hizo 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 post-desove se asume que han sido capaces de desovar durante el crucero de forma tal, que son incluidos como parte de la biomasa desovante (Macewicz *et al.*, 1996). La biomasa desovante se estima por la relación entre la producción diaria de huevos (huevos evacuados al mar en un día por la población total de hembras) y la fecundidad específica diaria de la población adulta (huevos potenciales de ser desovados por día por tonelada métrica). La producción diaria de huevos se calcula de los datos de densidad y estado de desarrollo embrionario de los huevos recolectados en un crucero de ictioplancton. La fecundidad específica diaria de la población adulta, se determina mediante el procesamiento de muestras de peces obtenidas durante un crucero de pesca, las cuales proporcionan información respecto de la fecundidad parcial, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción de sexos.

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



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

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

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

El "Método de Producción de Huevos" presenta en términos generales las siguientes ventajas:

- a. proporciona una estimación instantánea de la biomasa desovante,
- b. sus fuentes de error están identificadas, siendo factible estimar fácilmente la precisión de cada una de ellos,



- c. proporciona informaci3n biol3gica anexa (fecundidad, tasa de mortalidad de huevos, proporci3n de peces maduros, etc) de utilidad para evaluar la condici3n del stock y el reclutamiento potencial, y constituye una fuente de informaci3n auxiliar para calibrar las evaluaciones indirectas.

La aplicaci3n del MPH a peque1os pel3gicos ha sido un 3xito y es considerada una herramienta fundamental para la administraci3n de la pesquería de anchoveta en la zona norte. En Chile, el MPDH convencional se ha aplicado para evaluar el stock desovante de la anchoveta en la zona norte de Chile (XV, I y II Regiones) desde el a1o 1992, la anchoveta y sardina com3n de la zona centro-sur (V-X Regiones) desde el 2002-2005 y 2007 a 2010; y desde el a1o 2000 en jurel a trav3s de proyectos financiados por el Fondo de Investigaci3n Pesquera. En la aplicaci3n del MPDH a estos recursos, ha participado pr3cticamente 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 conclusi3n importante del an3lisis de los resultados del MPH como serie de tiempo, es que las tendencias en las biomاسas son independientes de los criterios de estimaci3n de las 3reas de desove, pudiendo ser usadas en el estudio de sus fluctuaciones o como 3ndices de calibraci3n de m3todos indirectos, lo que hace recomendable su aplicaci3n. Es as3 que al comparar las tendencias hist3ricas de la biomasa desovante con las capturas totales del a1o, se observa que siguen la misma tendencia, indicando la robustez de los resultados del MPH (Oliva *et al*, 2001).

El MPDH convencional, desarrollado en la primera mitad de los a1os 80, s3lo permite determinar un estimado puntual de la biomasa desovante, descuid3ndose la componente espacial tanto de la producci3n diaria de huevos como de la fecundidad espec3fica diaria. Uno de los aspectos fundamentales del m3todo



convencional lo constituyen los criterios de post-estratificación del área de desove, muchas veces no muy bien desarrollada o descrita en forma explícita. Por otra parte, la estimación de los parámetros reproductivos exige ciertos protocolos y procedimientos que deben ser considerados en términos espacio-temporales.

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

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



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

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

Por las razones ya señaladas, el método más adecuado para evaluar el stock desovante de peces con fecundidad indeterminada como la anchoveta es el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH), ya que incorpora la dinámica reproductiva y la producción de huevos realizada.

Actualmente el MPDH es la metodología más adecuada para evaluar la biomasa desovante de peces pelágicos pequeños con desove parcial (Lasker 1985, Hunter y Lo 1993, 1997, Lo *et al.*, 2001, Somarakis *et al.*, 2004). La biomasa desovante se define como la razón entre la producción diaria de huevos (huevos por unidad de superficie por día) y la fecundidad específica diaria de la población adulta (huevos por día por tonelada métrica) en el área de desove. La producción diaria de huevos se evalúa a partir de la producción total de huevos en la época



reproductiva mediante un crucero ictioplanct3nico. La fecundidad espec3fica diaria de la poblaci3n se determina a partir de muestras de peces adultos obtenidos simult3neamente, y de las cuales se determina la fecundidad media poblacional, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporci3n sexual. Estos par3metros reproductivos, as3 como la producci3n diaria, son tasas instant3neas que permiten evaluar la biomasa desovante en un instante determinado dentro del per3odo reproductivo sin la necesidad de integrar toda la producci3n de huevos en una estaci3n de desove completa (Hunter y Lo 1993, 1997).

Dentro de este contexto, y considerando la importancia de este tipo de estudios para incrementar la comprensi3n de la distribuci3n y abundancia de los recursos y sus fluctuaciones espacio temporales, el Consejo de Investigaci3n Pesquera teniendo presente lo informado al efecto por la Subsecretar3a de Pesca y la conveniencia de mantener una l3nea de investigaci3n respecto al stock desovante de anchoveta, decidi3 incluir el presente proyecto en el programa de investigaci3n pesquera correspondiente al a3o 2012.



VI. DESARROLLO METODOLÓGICO

De conformidad con la metodología presentada en la propuesta técnica y con la finalidad de determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta, registrar las condiciones oceanográficas físicas, estimar el peso promedio de las hembras maduras y la proporción sexual en peso, la producción diaria de huevos, fracción de hembras desovantes, fecundidad y la biomasa del stock desovante, se realizaron los cruceros Módulo Huevos y Módulo Adultos para el recurso anchoveta, durante el período de máxima actividad reproductiva del año 2012.

1. Zona de estudio

Los datos oceanográficos físicos, de huevos y las capturas de los adultos fueron obtenidos durante los meses de agosto, septiembre y los primeros días de octubre de 2012, efectuándose de manera interrumpida las respectivas recolectas por problemas de fuerza mayor, situación que fue informada oportunamente a la Subsecretaría de Pesca (IFOP/DIP/N°190/212 de fecha 13 de septiembre de 2012) y al Consejo de Investigación Pesquera (IFOP/DIP/N°189/2012, IFOP/DIP/N°195/2012 del 13 y 21 de septiembre, respectivamente). Así, el crucero módulo huevos se efectuó a bordo del PAM “Eperva 57”, perteneciente a la Empresa Pesquera Corpesca S.A, el cual abarcó una extensión longitudinal comprendida entre la costa y las 80 mn entre punta Carrizalillo ($26^{\circ}00'S$) y punta Angamos ($23^{\circ}00'S$), zona donde se realizaron 19 transectas equidistantes entre sí cada 10 mn. Desde Michilla ($22^{\circ}45'S$) hasta Arica ($18^{\circ}25'S$) se modificó el track original, efectuándose 19 transectas perpendiculares a la costa con una equidistancia entre sí de 15 mn y cobertura longitudinal máxima de 60 mn.



El crucero módulo adultos para la obtención de ejemplares de anchoveta se realizó preferentemente a bordo de cuatro embarcaciones cerqueras entre el 26 de agosto y el 20 de octubre de 2012, ambas fechas inclusive.

Las naves industriales autorizadas para tales efectos fueron los PAMs “Licanten”, de la Compañía Pesquera Camanchaca S.A; “Audaz” “Intrépido” y “Halcón” de la Empresa Pesquera CORPESCA y las embarcaciones artesanales Bucanero como titular y Corsario como suplente, según Resolución de Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca número 2245 del 14 de agosto de 2012. Con respecto a las embarcaciones artesanales, cabe señalar que debido a problemas de mantención mecánica, no participaron de la pesca de investigación, situación que fue informada a Subsecretaría de Pesca (IFOP/PGE/N°232/2012/DIR/607 de fecha 24 de septiembre de 2012).). Además, colaboraron en la recolección de este recurso los PAM: “Albimer”, “Eperva 56” “Parinal”, “Patillo”, “Trueno I”, “Claudia Alejandra”, “Costa Grande”, Tornado” y las embarcaciones artesanales “Gringo Pablo II”, “Alborada II”, “Pelicano”, “Isaura”, “Petrohue II” e “Ike I”.

Las embarcaciones cerqueras industriales mencionadas anteriormente operaron por fuera del Área de reserva artesanal hasta las 80 mn, mientras que las naves cerqueras artesanales operaron en el Área de reserva artesanal de las regiones de Arica – Parinacota y Tarapacá, según el programa de trabajo entregado por el IFOP, en el cual el área de estudio se dividió en cuatro zonas de pesca las que se indican en la **Figura 1**. La prospección de las zonas antes mencionadas se realizó en forma simultánea con el módulo de huevos, como también en forma posterior hasta el 22 de octubre, esto con la finalidad de aumentar la cantidad de información de adultos.



Las actividades de muestreo de anchoveta, tanto de huevos como de adultos, se desarrollaron en el período de máxima actividad reproductiva. El PAM “Eperva 57” operó desde el 25 de agosto hasta el 29 de septiembre de 2012, abarcando la zona comprendida entre Arica (18°25´S) y Carrizalillo (26°03´S), realizando 38 transectas perpendiculares a la costa, de un total de 47 programadas (80,8%).

El total de estaciones zooplanctónicas realizadas mediante la red CalVET fue de 564, cifra 22,7% menor respecto a la obtenida en agosto-septiembre de 2011.

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 toma de decisiones en pesca y acuicultura, 2012” Actividad N°1: Recursos pelágicos Pesquería pelágica zona norte, y a través de él, 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; la evolución de los indicadores histológicos **IAD** e **IAO** y las variaciones del Índice Gonadosomático (**IGS**). Período que se asocia a la totalidad de la anchoveta en estadios de madurez avanzados; con el incremento de hembras hidratadas y de ovarios con folículos postovulatorios, y de menor evidencia de regresión o atresia, caracterizándose el período 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**.



2.1 Procesamiento biol3gico

El muestreo reproductivo de la anchoveta considera el ciclo anual de 2012 en los principales puertos de la Zona Norte (Arica-Antofagasta), registrándose la informaci3n biol3gica de la especie, consignándose datos de longitud, peso, sexo y estadios de madurez.

El procedimiento aplicado consistió en recolectar ovarios de anchoveta de la captura comercial, los que fueron inmediatamente fijados en formalina tamponada al 10%, con el fin de determinar mediante t3cnicas macrosc3picas (variaciones del Índice Gonadosomático) y microsc3picas (Índice de Actividad de Desove e Índice de Atresia Ovárica) la condici3n reproductiva de la especie. Para ello se analizaron macrosc3picamente, en el periódo de enero a octubre (1 semana), 9.608 hembras y microsc3picamente, en el periódo de incremento del IGS, a partir de junio y hasta octubre, 2.384 ovarios de anchoveta, cifras 16% y 17% mayor respecto a las analizadas en el ańo 2011, respectivamente.

La componente metodol3gica consider3 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 est1 en directa relaci3n con la modalidad de operaci3n de las flotas que operan en la pesquer1a. Los planes de muestreo consideran dise1os en puerto (desembarques) y eventualmente a bordo de naves cerqueras analizando las capturas.

Poblaci3n objetivo

La poblaci3n 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, corresponden a la primera muestra de la poblaci3n.

B. Plan operativo

Fuentes de captaci3n de datos

Los datos biol3gicos emanaron principalmente del muestreo del desembarque que se realiz3 en tierra y eventualmente a bordo.

Antecedentes para la selecci3n de centros de muestreo

La estrategia de recolecci3n de datos consider3 una cobertura de centros de desembarque, asegurando la representatividad de los muestreos. Los antecedentes utilizados para definir los centros de muestreo, se basan en informaci3n actualizada de la flota y la modalidad de operaci3n de 1sta.



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
- Tocopilla
- Mejillones

Con respecto al tamaño de la flota industrial, en la actualidad existe un total de 65 embarcaciones industriales operando en esta pesquería (L. Caballero, 2012 com. pers.), las que se distribuyen según su frecuencia de recalada de la siguiente manera:

- Iquique : 61
- Mejillones : 3

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

Formularios para la recopilación de los datos

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



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

Se utiliz3 un total de 5 observadores cient3ficos distribuidos de la siguiente forma: Arica (2), Iquique (2) y Mejillones (1), cuya funci3n principal fue la recolecci3n 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 biol3gico-pesqueros se obtuvieron en el lugar de recepci3n del desembarque de cada empresa.

Las muestras biol3gicas se recolectaron desde el vibrador o secador, una vez obtenida la muestra, se inicia la recolecci3n de datos de cada uno de los ejemplares, los que constituyen la unidad de an3lisis de acuerdo al tipo de variable o caracter3stica en estudio.

- **Longitud** : a cada ejemplar se le midi3 su longitud total.
- **Peso**: a cada ejemplar se le registr3 el peso total, eviscerado y peso de g3nadas.



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

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

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

El diseño pasa necesariamente por velar por la calidad de la información, si los datos son deficientes, entonces la información como proceso de transformación de éstos no tendrá ningún valor. En este contexto, tanto los diseños de muestreo como los datos capturados, entraron a procesos de control de calidad, lo que aseguro la confiabilidad de la información (**Anexo 2**).

D. Plan de análisis

Indicadores reproductivos

Indicador macroscópico: Índice gonadosomático (IGS)

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



Notación:

Wg_i : Peso de la gónada del *i-ésimo* ejemplar

We_i : Peso eviscerado del *i-ésimo* ejemplar

n : Total de ejemplares en la muestra

Estimador del índice IGS

$$IGS = \frac{\sum_{i=1}^n Wg_i}{\sum_{i=1}^n We_i}$$

Estimador de la varianza del IGS

$$\hat{V}(IGS) = \frac{1}{n(n-1)\bar{We}^2} \sum_{i=1}^n (Wg_i - IGS \cdot We_i)^2,$$

donde,

$$\bar{We} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n We_i$$

Coefficientes de variación e intervalos de confianza

El coeficiente de variación se calculó con el siguiente procedimiento:

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



El intervalo de confianza se obtuvo como:

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

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

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

La anchoveta se caracteriza por presentar un ovario con desarrollo de tipo asincr3nico, lo que implica presencia simultanea de ovocitos en todos los estados de desarrollo, con modas de tama1os continuos y sucesivos que derivan en desoves parciales.

En los muestreos de anchoveta, por su car3cter de tipo asincr3nico y de desovador parcial, es posible encontrar ejemplares en distintos estadios de desarrollo, con predominio de algunos que determinan semanal, mensual y estacionalmente la condici3n ov3rica dominante, caracteriz3ndose por la presencia de hembras en actividad de desove durante todo el a1o, con cambios en su incidencia e intensidad.

El comportamiento anual del **IGS** para esta especie iter3para es de car3cter estacional, con una tendencia fluctuante (aumento en peso gonadal y desove) ascendente hasta alcanzar valores m3ximos mensuales que indican una sincronía poblacional en el proceso reproductivo, caracteriz3ndose este perío do por una mayor inversi3n a la reproducci3n (desoves m3s frecuentes y mayor fecundidad parcial y relativa), que para el caso de la anchoveta se presenta principalmente en



el bimestre agosto-septiembre, período en que se visualizan los **IGS** máximos y una alta incidencia de ovarios con folículos postovulatorios (valores altos del indicador **IAD**). El descenso poblacional del **IGS**, refleja estado de desoves avanzados que disminuyen, en términos energéticos, la producción de ovocitos y por ende los pesos gonadales, hasta alcanzar una mayor proporción de ovarios inmaduros.

Indicador microscópico: Índice de Actividad de Desove (IAD) e Índice de Atresia Ovárica (IAO)

El cálculo del índice de actividad de desove (**IAD**) requiere de la observación sistemática del ovario, contabilizándose la presencia de folículos postovulatorios de diferentes edades y de los ovocitos hidratados, para estimar la proporción de individuos que alcanzaron este estado en el stock parental maduro.

El cálculo del índice de atresia ovárica (**IAO**) requiere conocer el porcentaje de hembras con presencia masiva de ovocitos atrésicos y resulta un indicador inverso al **IAD**. El análisis histomorfológico del parénquima gonadal se realizó de acuerdo a criterios señalados por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989) y Hunter y Macewicz (1985) (**Tabla 1**), 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 de estadios de degeneración de estos, propuesta por Claramunt *et al.*, (2007) para la anchoveta, la que considera 7 estadios (**Tabla 2**).



En el c3lculo del **IAD** las hembras fueron agrupadas considerando el estado de madurez ov3rica y el estadio de degeneraci3n del fol3culo postovulatorio, seg3n la expresi3n:

$$\text{IAD} = \frac{\text{Hembras con fol3culos postovulatorios d3a 0 + d3a 1 + Hembras hidratadas}}{\text{N}^\circ \text{ hembras maduras}} * 100$$

Con respecto a un indicador inverso al **IAD**, se requiere conocer simult3neamente el 3ndice de Atresia Ov3rica (**IAO**), el cual se define, como:

$$\text{IAO} = \frac{\text{N}^\circ \text{ hembras en estado de atresia ov3rica}}{\text{N}^\circ \text{ hembras maduras}} * 100$$

An3lisis macrosc3pico y microsc3pico

Se determin3 el per3odo de m3xima intensidad reproductiva mediante el an3lisis de las tendencias, en base semanal y mensual de la anchoveta en los diferentes estadios de madurez del ovario; la evoluci3n de los indicadores histol3gicos **IAD** e **IAO** y las variaciones del 3ndice Gonadosom3tico (**IGS**). Per3odo que se asocia a la totalidad de la anchoveta adulta en estadios de madurez avanzados; con el incremento de hembras hidratadas y de ovarios con fol3culos postovulatorios, y de menor evidencia de regresi3n o atresia, caracteriz3ndose el per3odo de m3xima actividad de desove por la ocurrencia y permanencia de altos valores de **IGS** e **IAD** y de bajos o nulos valores de **IAO**.



3. Metodología por objetivo específico:

3.1 Objetivo específico 2.1 “Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta”

3.1.1 Diseño de muestreo de ictioplancton

El diseño de muestreo utilizado permitió configurar una grilla de 564 estaciones distribuidas en 38 transectas perpendiculares a la costa equidistantes entre sí cada 10 y 15 mn, realizándose desde punta Carrizalillo hasta punta Angamos, 17 estaciones planctónicas a 1; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 55, 60, 65, 70, 75 y 80 mn, y desde Michilla hasta Arica 13 estaciones con una cobertura longitudinal máxima de 60mn.

El número de estaciones realizadas en el área de estudio se basó en el análisis de la densidad media de huevos por estación de los cruceros efectuados entre los años 2000 y 2006, excluyendo la información del crucero de 2001, debido a la alta concentración del desove en un área reducida que se observó en dicho año, comportamiento atípico en comparación con la distribución observada en la serie histórica 1992-2006. De esta manera, conociendo un estimado *a priori* de la media y varianza de la densidad de huevos, la relación entre estaciones positivas y negativas y utilizando la metodología de determinación de tamaño de muestras para variables continuas (Thompson, 1992), se estimó el número mínimo de estaciones positivas requerido.



De esta forma, se utiliz3 la relaci3n:

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

Donde: n_0 es el tama1o de muestra, Z es el percentil $1-\alpha/2$ de la distribuci3n normal est1andar, S es la desviaci3n est1andar de la densidad de huevos, r corresponde al nivel de error de estimaci3n y \bar{X} corresponde al estimador de la densidad media de huevos.

Este mismo procedimiento fue utilizado por Santander *et al.*, (1982), quienes experimentalmente utilizaron como estimador del n1mero total de estaciones n , la relaci3n porcentual entre las estaciones positivas (n^+) y el total de estaciones. Al respecto, se encontr3 que tal relaci3n fue de:

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

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

Utilizando el valor estimado de la densidad media y la desviaci3n est1andar para las estaciones positivas de los cruceros, se pudo establecer que para un valor α del 5% y un nivel de error de estimaci3n del 24%, se requieren 263 estaciones positivas. As3, conociendo la relaci3n entre el n1mero de estaciones positivas y las negativas de los cruceros anteriores, se estim3 un total de 658 estaciones a realizar, sin embargo, y de acuerdo a los antecedentes originados en el taller de divulgaci3n de los resultados del Proyecto FIP 2005-03, se determin3 extender la zona de estudio



de cada transecta hasta las 80 mn, permitiendo cubrir áreas donde históricamente el muestreo se prolongaba solo hasta las 60 mn, distancia en la que se registraba presencia de huevos de anchoveta, con el desconocimiento de si esta distribución se extendía más allá de esta distancia.

De esta forma se realizó un total de 564 estaciones bio-oceanográficas (**Figura 2a**). Cabe destacar, que este tamaño de muestra en general, está dentro del rango recomendado por Lo (1997), quien basada en el análisis empírico de la relación entre el coeficiente de variación del estimado de producción diaria de huevos y el número de estaciones, recomienda un mínimo de 600 estaciones.

3.1.2 Recolección de las muestras

La recolección de las muestras de plancton se efectuó a bordo del PAM “EPERVA 57”, realizando el "track" en forma simultánea 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 *et al.*, 1985), el que se remolcó verticalmente desde una profundidad máxima de 70 m o desde 3 m sobre el fondo hasta la superficie en el caso de profundidades menores. El calado y virado se realizó a una velocidad nominal de 70 m/minuto, considerándose un tiempo de estabilización de 15 segundos, una vez alcanzada la profundidad máxima de muestreo.

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



Para obtener el volumen de agua filtrada en una red de lance vertical, se multiplica el área de la boca de la red por el factor de corrección y por la profundidad del lance, este factor de corrección es entregado por el fabricante y es de suma importancia porque nos indica la eficiencia de filtración de la red, ya que nunca es de un 100%. Cabe señalar que en todas las aplicaciones de este método, tanto en la zona norte como centro-sur de Chile, el muestreador CalVET versión PAIROVET ha sido utilizado sin medidor de flujo, dado su pequeño diámetro de boca (0,25 m), expresando los resultados de la cuantificación del número de huevos por estación bajo $0,05 \text{ m}^2$, es decir, el área de su boca.

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

3.1.3 Tratamiento de las muestras a bordo

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



3.1.4 Procedimiento en laboratorio

3.1.4.1 Separación e identificación de huevos de anchoveta

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

- Separación y extracción de la totalidad de los estadios tempranos de peces de cada una de las muestras.
- Identificación taxonómica de huevos de anchoveta.
- Cuantificación de huevos de anchoveta.
- Enumeración y agrupación del resto del ictioplancton, bajo la denominación de “otras especies”.

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

3.1.4.2 Análisis de la información planctónica

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

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



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

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

Donde:

- m : es la cantidad de estaciones (observaciones) positivas
- n : es el total de estaciones
- \bar{y} : es la media de la variable transformada a logaritmo natural
- $G_m(r)$: es una funci3n de la varianza de la variable transformada a logaritmo de la forma:

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

Donde:

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

Siendo: s^2 la varianza de la variable transformada a logaritmo. Puede apreciarse que $G_m(r)$ es una serie infinita que depende de la varianza de los datos transformados a logaritmo y de la cantidad de valores distintos de cero.



La varianza de la densidad media estimada viene dada por:

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

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

Para efectos de establecer una comparación interanual se utilizó la serie histórica estandarizada de huevos de anchoveta para el período 1992/2012, obtenida para la zona norte de Chile en aplicaciones precedentes del MPH. Como indicador de la magnitud, intensidad y extensión del desove de anchoveta, se estimó el índice de abundancia de huevos (Smith y Richardson, 1985).

3.2 Objetivo específico 2.2 *“Registrar las condiciones oceanográficas asociadas al crucero de prospección de huevos de anchoveta”*

3.2.1 Recolecta de muestras y registro de datos oceanográficos

En la zona de estudio se realizaron un total de 38 transectas perpendiculares a la costa. Estas transectas estuvieron separadas cada 5 mn entre las dos primeras del extremo norte de la zona, por 15 mn hasta la transecta 20 (23°S) y por 10 mn entre la sección 20 y 38. Entre las secciones 1 y 19 la extensión hacia el oeste fue de 60 mn, con 13 estacione distribuidas en ellas y desde la sección 20 en adelante éstas fueron de 80 mn con 17 estaciones. Las estaciones estuvieron en



cada transecta separadas cada 5 mn (**Figura 2a**), completándose un total de 564 estaciones propuestas. La sección 9 (20°15'S) tuvo una extensión de sólo 30 mn debido a que el buque regreso a puerto por una urgencia médica.

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 las estaciones ubicadas a 1, 5, 10, 20, 40, 60 y 80 mn (esta última estación cuando corresponda por la extensión de la transecta) de las secciones de: Arica (18°25'S), caleta Pisagua Vieja (19°30'S), punta Lobos (21°00'S), punta Copaca (22°15'S), punta Hornos (23°0'S), bahía Moreno (23°40'S), punta Tres Picos (24°20'S), rada Paposos (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 59 y se les denominará en adelante estaciones oceanográficas profundas (**Figura 2b**).

En las estaciones profundas se obtuvo registros continuos de CTD SB19 plusV2 en la vertical de las variables temperatura, salinidad, 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). 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).

3.2.2 Medición de la clorofila-a

En las estaciones oceanográficas profundas se colectaron 441 muestras para los análisis de clorofila-a. Para esta variable la metodología fue filtrar *in situ* un volumen estandarizado de 50 mL con un sistema de filtrado múltiple Millipore, utilizando filtros de fibra de vidrio (MFS GF-75, 0,7 μm , 25 mm 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, fue 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 se realizó en ambiente de baja luminosidad con la técnica fluorimétrica con y sin acidificación descrita en Parsons *et al.* (1984), utilizando para tales efectos un fluorómetro digital marca Turner Designs, modelo 10AU, calibrado con un estándar puro de clorofila-a marca Sigma Chemicals.

3.2.3 Procesamiento de la información oceanográfica del crucero

La información del CTD se procesó de acuerdo al procedimiento estándar recomendados 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 temperatura (TSM), salinidad (SSM) y oxígeno disuelto. Con los datos verticales de CTD se obtuvo información de la capa de mezcla (espesor), temperatura y salinidad en el nivel de 50 m y su diferencia con los valores superficiales, realizándose las respectivas cartas y su posterior análisis. Así también la profundidad de la isoterma de 15°C y su anomalía.

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

Los valores de salinidad se entregan en forma adimensional, siguiendo recomendaciones de UNESCO (1981a); por conveniencia se anotan omitiendo el factor 10⁻³ y la unidad psu. El cálculo de la densidad se realizó utilizando la ecuación internacional de estado del agua de mar de 1980 (Millero & Poisson, 1981, UNESCO, 1981a, 1981b). La densidad se presenta como sigma-t (Densidad-1000 kg/m³).

Para el nivel superficial se presentan valores de anomalía estacional de temperatura, salinidad, como también a nivel subsuperficial al de la profundidad de la isoterma de 15°C. El valor de anomalía corresponde a la diferencia entre el valor observado y el histórico, 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 (Reynolds, 1982; Blanco, 1996; Rojas y Silva, 1996) y que fueron actualizados por IFOP hasta el año 2002 (Braun *et al.*, 2002) según la metodología indicada por Blanco *et al.* (2001) usando la base de datos de IFOP de más de 30 años. 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 Paposos (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.

Se graficó la distribución vertical de las variables temperatura, salinidad 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 estacionales 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).

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 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ por 1.000 metros de costa. El **IS** instantáneo se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

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



donde:

- M_x = transporte de masa hacia el oeste
- t_y = coacci3n del viento sobre la superficie en la direcci3n norte-sur
- f = par3metro de Coriolis

siendo:

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

donde en (2) :

- ω = velocidad angular de la tierra
- I = latitud del lugar

a su vez, de la ecuaci3n 1:

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

donde en (3):

- r_a = densidad del aire (1.25 Kg/m^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 utiliz3 en los c3culos 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.

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 cruceo con los promedios de datos históricos para el mes respectivo.

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 $\pm 1^\circ\text{C}$, $\pm 0,1$ psu y ± 10 m, respectivamente, no son significativos, ya que están en el rango de 1 desviación estándar, por lo tanto, se encuentran dentro lo que se considera como variación normal del sistema. En el caso del sector costero, en promedio (primeras 20 mn), éste rango aumenta al doble, es decir $\pm 2^\circ\text{C}$ y $\pm 0,2$ psu y hasta ± 10 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 determinaci3n de la “condici3n de normalidad” de la zona de estudio hace uso de valores de anomalía se~alados, junto con el análisis de los procesos locales o de forzamiento remoto que se presentan en la zona al momento del crucero y que justifican las anomalías encontradas. Los promedios históricos de temperatura, salinidad y profundidad de la isoterma de 15°C para la zona y mes sólo están calculados para el área de Arica a rada Paposos (25°S), por lo tanto las anomalías respectivas son obtenidas para el área se~alada.

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 estimaci3n de clorofila a través de la fluorescencia por cada estaci3n. En las estaciones 103, 308, 352, 461, 465 y 469 no se encontr3 un buen ajuste, por lo que se consider3 los valores discretos de laboratorio en el análisis de la variable.

Esta informaci3n permiti3 confeccionar cartas de distribuci3n vertical para todas las transectas, además de las cartas superficiales. Los resultados de clorofila estimada y de los productos de degradaci3n o feopigmentos se expresan en µg/L. La concentraci3n de los feopigmentos fue analizada solamente como un índice relativo de la degradaci3n de la biomasa fitoplanctónica activa.

Para la adecuada representaci3n de la estructura biol3gica de toda la columna, se calcul3 el valor de la clorofila a integrada utilizando la informaci3n metro a metro, mientras que para los feopigmentos se utiliz3 el calcul3 del valor integrado segun Lohrenz *et al.* (1988), utilizando la siguiente ecuaci3n:

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



Donde:

$\sum Feop$ es el feopigmento integrado en la columna de agua entre 0 y 100 m como m3ximo

i son las profundidades de muestreo discretas definidas en el punto 3.2.1 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 m3xima de 100 m.

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

3.2.4 Recopilaci3n de informaci3n satelital del periodo del crucero

Las im3genes de TSM y clorofila fueron confeccionadas con datos semanales de promedio compuesto de 8 d3as que fueron obtenidos del programa “Ocean Color Web” que distribuye datos del sat3lite MODIS-Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), con una resoluci3n espacial de 4 x 4 km y resoluci3n temporal variada. Promedio compuesto significa que cada pixel est3 promediado de acuerdo a la cantidad de informaci3n disponible en el periodo de 8 d3as, quedando en blanco o como nube si al menos no hay un solo dato v3lido para el pixel. En ambas variables, las im3genes satelitales promedio semanales dan mejor cuenta de su distribuci3n espacial que una imagen de un solo d3a. Los promedios semanales corresponden a los siguientes periodos: 28 de agosto a 4 de septiembre, 5 a 12 de septiembre, 13 a 20 de septiembre y 21 a 28 de septiembre de 2012. Sensores AVHRR a bordo del sat3lite permiten obtener la TSM de la primera capa del oc3ano tanto de d3a como de noche. Para el c3lculo de la anomal3a de TSM satelital para el mes de septiembre de 2012 se trabaj3 con los datos promedio mensual a los cuales se les rest3 el promedio de todos los datos de TSM satelital del mismo mes de la serie 2002-2012.



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 $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ 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 optima 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: 28 de agosto y 5, 13 y 21 de septiembre de 2012. Las corrientes geostróficas superficiales se representan como flechas.

3.2.5 Condiciones oceanográficas en el periodo 2002-2012

Para el análisis de las condiciones oceanográficas en el periodo julio 2002-septiembre 2012 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 28° 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 se1al anual promediando los datos mensuales de cada mes en la serie julio 2002- septiembre 2012 y luego restando este promedio a los datos mensuales de la serie. Se confeccion3 tambi3n una serie de tiempo del promedio de las anomalias de temperatura y un promedio de concentraci3n de clorofila, para el sector costero y oce1nico en el mismo periodo en el caso de la **ATSM** y s3lo para el costero en la clorofila.

3.2.6 Caracterizaci3n de la condici3n ambiental regional

Para el an1lisis regional se utiliz3 la serie de tiempo del 3ndice Ecuatorial Multivariado (**MEI**) entre junio de 2002 y septiembre de 2012, el cual permite estimar la condici3n Ecuatorial referente a periodos fr3os o c1lidos. Este 3ndice combina la Presi3n a nivel del Mar, las Componentes Zonal y Meridional del viento, la **TSM**, la temperatura superficial del aire y la fracci3n total de nubosidad en la zona Ecuatorial y es obtenido de la p1gina de Internet de la NOAA (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>). Para el mismo periodo se utiliz3 tambi3n la serie de rangos bimensuales del **MEI** y su categorizaci3n de los procesos ENOS que usa el percentil 30, quintil y decil de acuerdo a la serie de rangos del **MEI** entre 1950 y 2012 (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/rank.html>). Adicionalmente se utiliz3 la serie de anomal3a de **TSM** para los sectores Ni1o entre octubre 2010 y septiembre de 2012 obtenida del bolet3n de discusi3n de la NOAA publicada en internet correspondiente al 4 de octubre de 2012 para se1alar los efectos de las condiciones regionales sobre la **TSM** en el Pac3fico intertropical (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/).



3.2.7 Series de tiempo de viento en la costa de Iquique y Antofagasta

Se obtuvieron datos de viento de los aeropuertos Diego Aracena de Iquique y Cerro Moreno de Antofagasta, adquiridos de la Dirección Meteorológica de Chile. Estos datos corresponden a intensidad y dirección del viento cada 3 horas entre enero y septiembre de 2012.

3.2.8 Procesamiento de los datos de viento en la costa de Iquique y Antofagasta

Las observaciones de viento en ambas localidades, al igual que los datos de viento registrados en el puente del PAM durante el crucero, permitieron derivar el transporte de Ekman (Mx) (Bakun, 1973, 1975 y 1987) dando una visión integradora del crucero dentro del contexto del año 2012 (Enero-Septiembre). La metodología para obtener Mx es la misma utilizada y señalada para el proceso de los datos horario durante el crucero.

3.3 Objetivo específico 2.3 *“Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas”*

3.3.1 Muestreo de anchoveta en el mar – crucero adultos

El método de estimación de biomasa desovante requiere que simultáneamente con el desarrollo del crucero módulo huevos, se realicen lances de pesca, que permitan determinar los parámetros relacionados con la dinámica reproductiva de los peces adultos. En este esquema, la recolección de anchoveta adulta se realizó con la participación de 4 embarcaciones cerqueras industriales.



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

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

3.3.2 Determinación del tamaño de muestra

En los cardúmenes de 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 ésta especie, en períodos sin perturbación ambiental, los cardúmenes desovantes, caracterizados por el predominio de machos, se separan de aquellos que están en otra condición reproductiva. Este comportamiento ha sido observado por otros investigadores (Blaxter y Hunter, 1982; Oliva *et al.*, 1989; Martínez *et al.*, 1992, 1993, 1994; Claramunt *et al.*, 1996, 1997).

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



El diseño de muestreo empleado en las 17 aplicaciones del MPH en el área de estudio ha permitido concluir que con 40 lances efectivos se puede estimar en forma óptima los parámetros de adultos. Al respecto, cabe señalar que en estudios precedentes del MPH en Chile se han realizado 50 lances (Rojas y Oliva, 1993), 40 lances (Claramunt *et al.*, 1996), 32 lances (Claramunt *et al.*, 1997), 60 lances (Oliva *et al.*, 1998), 51 lances (Oliva *et al.*, 2000), 60 lances en los años 2001 y 2002 (Oliva *et al.*, 2002) e igual número de ellos en el año 2003 y 2004 (Braun *et al.*, 2005).

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

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

De acuerdo a esto, se pudo tener una apreciación visual en terreno, de la condición reproductiva de la anchoveta durante el desarrollo del crucero de adultos.

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.



3.3.3 Fracci3n de hembras (Proporci3n de sexo) (R)

La fracci3n de hembras (proporci3n sexual) fue estimada para cada lance de una submuestra compuesta de los primeros 2.300 gramos de peces (Rojas y Oliva, 1993) o de 100 ejemplares recoleccionados al azar. Esta proporci3n fue estimada sobre la base del peso en vez del n3mero.

Debido al efecto de la preservaci3n, el peso registrado fue ajustado por un factor de correcci3n por fijaci3n, donde el promedio de la muestra y la varianza fueron estimados de acuerdo a:

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

Donde:

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

\bar{R} : Proporci3n promedio de hembras sobre la base del peso por peso en porcentaje de todos los lances.

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

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

n : N3mero de lances.



3.3.4 Peso promedio de hembras maduras (\bar{W})

De cada lance, las primeras 30 hembras maduras procesadas fueron utilizadas para la determinación del peso promedio del cuerpo. El pesaje de los ejemplares se realizó en una balanza electrónica Sartorius, Modelo TE 1502S, con precisión de 0,01 g y capacidad máxima de 1500 g.

Se calculó el peso promedio para cada lance (\bar{W}_i) y la varianza de acuerdo a:

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

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

Donde:

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

\bar{W}_i : Peso promedio del cuerpo de las hembras maduras en el lance i .

\bar{W} : Peso promedio del cuerpo de las hembras maduras en todos los lances.

m_i : Número de peces sub-muestreados desde cada lance i .

n : Número de lances.



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

3.3.5 Corrección debido al fijador

En todos los años de aplicación del MPH en la zona norte se ha realizado la corrección del peso de los ejemplares por el efecto de la formalina, aún cuando este nunca ha sobrepasado el 3%.

Debido a que los peces se preservaron en formalina hasta su procesamiento en laboratorio, se realizó una corrección a los registros de longitud y peso, ya que el fijador introduce una variación en estos parámetros. De acuerdo a lo recomendado por Hunter (1985), en el sentido que dentro de los factores que influyen en esta variación están las diferencias interespecíficas, tamaño de los peces, estado del pez cuando es preservado, tiempo en formalina y razón de formalina y diluyente. Por lo que los efectos de preservación con este componente son muy específicos, es necesario una calibración para cualquier cambio de técnica, especie o estadio de vida. Este factor de corrección se calculó de la siguiente manera: Una muestra de 30 machos y 30 hembras se pesaron en fresco, para luego ser fijadas con la misma solución, e igual procedimiento utilizado a bordo, siendo nuevamente pesados a intervalos regulares. El factor de corrección para cada parámetro y sexo, fue calculado como la media del porcentaje de variación de las mediciones efectuadas después de 48 horas desde la fijación, es decir, la muestra fijada se mide y se pesa a intervalos de tiempo regulares, cada 24 horas desde la fijación para así obtener el factor de corrección apropiado.



3.4 Objetivo específico 2.4 “*Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos*”

3.4.1 Análisis de las muestras de huevos

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

De acuerdo a los cambios morfológicos que se producen en el transcurso de la embriogénesis (**Tabla 3**), la clasificación de los estadios de desarrollo de los huevos de anchoveta se efectuó en base a la escala de 11 estadios propuesta por Santander *et al.*, (1984), Los huevos que no puedan ser asignados a ninguno de dichos estadios debido a opacidad o daño en su estructura interna, se clasificaron como deteriorados (**DET**). La suma de la totalidad de los 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.

De acuerdo a Claramunt *et al.*, (2007) el pico de desove a utilizar debe ser las 23:00 h con una desviación estándar de 1,5 h. Este resultado proviene de la distribución horaria del total de huevos en estadio 1 ($n = 7.208$) recolectados en los cruceros en la zona norte (**Figura 3**).



Para la asignación de edad, se utilizaron dos metodologías: 1) El método Tradicional de Lo (1985) y 2) El modelo Multinomial (Ibaibarriaga *et al.*, 2007, Bernal *et al.*, 2001).

1) Método Tradicional

Se basa en la metodología descrita por Lo (1985), es decir, a través de la estimación de la edad para cada estadio en función de la temperatura ambiental al momento de la captura. La temperatura a 10 metros de profundidad fue 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. 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). El Modelo de desarrollo en función de la temperatura fue el ajustado por Claramunt *et al.*, (2007) para la anchoveta de la zona norte y cuyos parámetros se entregan en la **Tabla 4.**

Luego se aplica el “método automatizado de Lo”, que se basa en:

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

Donde:

$y_{i,t}$: Se obtiene del modelo temperatura dependiente.

K : Hora del lance

T : Remanente de $(y_{i,t} + 23) - 24$



Las decisiones de correcci3n seg3n la hora de recolecci3n 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 desviaci3n est3ndar de la edad dentro de cada estadio.

Los huevos de categor3a DES (desintegrados) se asignan a un estadio de desarrollo seg3n los siguientes criterios:

1. Huevos que pueden ser identificados dentro de un rango de estadios, son asignados en forma ponderada, de acuerdo a la proporci3n por estadio ya determinada para la muestra.
2. Las estaciones en las que s3lo se encuentren huevos DES, se asignan aleatoriamente siguiendo una distribuci3n uniforme dentro del rango de estadios posibles.

Existe una recomendaci3n generalizada de cortar los estadios de desarrollo cercanos al desove debido a una subestimaci3n por reclutamiento incompleto. Hay investigadores que eliminan las edades menores a 8 horas (Armstrong *et al.*, 1988) y otros que eliminan el primer estadio (S3nchez *et al.*, 1996). Dado que lo que se pretende estimar es un intercepto al origen, se debe tener la precauci3n de no eliminar observaciones que no est3n subestimadas, ya que podr3a provocar elevaci3n artificial del intercepto a edad cero (P_0). En el proyecto "Mejoramiento del M3todo de Producci3n de Huevos aplicado en pel3gicos peque1os" (Claramunt *et*



al., 2007), se analiz3 el problema de los cortes y se lleg3 a que la mejor opci3n es cortar las edades menores o iguales a 4 horas y las iguales o superiores al 95% de la edad de eclosi3n seg3n la temperatura de la estaci3n ictioplanct3nica.

2) **Modelo Multinomial**

El m3todo 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, s3lo 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 (eg. Lo 1985; Bernal *et al.*, 2001). Bernal (*op cit*), elaboraron un procedimiento innovativo y estad3sticamente fundamentado de asignaci3n de edad, y fue desarrollado e integrado dentro de las rutinas GAM del MPDH. El procedimiento utiliza la misma informaci3n que el m3todo tradicional, por ejemplo:

- Informaci3n del crucero: abundancia de huevos por estadios de desarrollo, hora de recolecta y condiciones ambientales que afectan la tasa de desarrollo durante la embriog3nesis (usualmente la temperatura).
- Informaci3n de experimentos de incubaci3n: el desarrollo de los estadios morfol3gicos de los huevos durante la embriog3nesis en funci3n del tiempo y la temperatura.
- Informaci3n sobre la din3mica reproductiva de la especie: distribuci3n de la actividad del desove en un ciclo diario.



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

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

que representa la probabilidad de permanecer en el estadio s dada la edad a y temperatura T . Cuando una especie muestra sincronía diaria en el desove, la información sobre la distribución de la actividad de desove durante el ciclo diario afecta el proceso de asignación de edad. Si el desove ocurre solamente en cierto momento del día, los huevos podrían tener una cierta edad considerando el tiempo transcurrido entre la hora del desove y la observación (hora de recolecta). En un caso extremo, si el desove es perfectamente sincrónico (los huevos son desovados a un hora dada del día, eg. medianoche) y el desarrollo dura hasta la eclosión en un día, los huevos observados pueden tener solamente una edad exacta dada por el tiempo transcurrido entre el desove (medianoche) y la hora de recolecta. Si la duración del desarrollo del huevo dura más de un día, entonces una edad promedio aproximada y observada en el experimento de incubación puede ser utilizada para decidir en qué noche los huevos fueron desovados, y entonces utilizar el tiempo transcurrido entre el evento de desove y la época del crucero para atribuir una edad exacta. La sincronía del desove puede ser



formalizada como una 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 m1s viejos son menos probables de ser encontrados y as1, cuando diferentes cohortes diarias pueden ser asignadas a un huevo, es m1s probable que 3ste sea m1s joven que viejo.

El ajuste del modelo probabil1stico multinomial a los datos de anchoveta de la zona norte, presenta un buen ajuste y se entrega en la **Tabla 5, Figura 4**.

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 recolecta) 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 m3todo 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 m3todo 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 fácil de implementar, asigna aleatoriedad a las variables equivocadas (edad, la cual es realmente fija y decidida por el investigador).
- Está compuesta de dos modelos diferentes, uno de edad media y otro de duración de estadios. La estimación de la edad media no es bien documentada en las diferentes implementaciones (Miranda *et al.*, 1990; Motos, 1994), y algunas veces es equivocadamente descrito o implementado. Los modelos asumidos para la duración de estadios también varía entre las diferentes implementaciones del método de Lo.
- El nuevo procedimiento tiene propiedades de cualquier método de verosimilitud, incluyendo insesgamiento y eficiencia, y facilita la comparación con otros métodos de verosimilitud.
- La incertidumbre de los datos provenientes del experimento de incubación se incorpora a través del modelo multinomial.

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

- Permite incluir conocimiento relevante en términos de la sincronía del desove de una manera tan cercana a la realidad como compleja sea y los datos actuales lo permitan.
- Tiene la potencialidad de incluir conocimiento a priori a través de funciones de densidad de probabilidad de otras variables que puedan afectar la tasa de desarrollo de los huevos, y así la edad de un huevo en un cierto estadio de desarrollo.



- La distribución posterior de la edad contiene la incertidumbre de la información que proviene del experimento de incubación como de la asumida distribución para la sincronía del desove, y estos pueden ser incluidos en cualquier estimación subsiguiente que incluya edad (eg. la tasa de mortalidad diaria). También, la distribución posterior puede utilizarse para agrupar los huevos en cohortes diarias (como en el método convencional).

La estimación de P_0 y Z sobre la base de las dataciones con el procedimiento de Lo (convencional) y con el método multinomial son recomendables. La primera en términos de seguir evaluando la biomasa desovante en forma tradicional, y la segunda porque el procedimiento relaciona en forma correcta los datos observados con el modelo, desde el punto de vista estadístico. Ambos procedimientos deben basarse en la estimación de P_0 y Z con GLM y familia binomial negativa. El criterio para decidir por uno u otro método será finalmente el ajuste del modelo de decaimiento de huevos y estimación de P_0 . Es así, por ejemplo, que durante el año 2008 el Modelo Multinomial generó estimaciones de mortalidad de huevos no significativas ($P > 0,05$), por lo que se recomienda, en este caso, el ajuste proveniente del método de Lo.

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

En consideración a las conclusiones y recomendaciones de Claramunt *et al.*, (2007), el cálculo de la producción diaria de huevos, su varianza y la tasa de mortalidad fue estimada por el método tradicional de Lo (1985) basado en un ajuste por GLM y por el modelo multinomial. Estos dos últimos están implementados en el programa eggs y eggsplore en plataforma R por Miguel Bernal.



Modelo de Lo GLM: Una metodologfa basada en el modelo de Lo (1985) para el desarrollo de huevos en funci3n de la temperatura y asignaci3n de edades segun Lo (*op. cit.*), pero con la estimaci3n de P_0 y Z a travs de una estimaci3n por GLM con distribuci3n binomial negativa y ponderaci3n por el area que representa cada estaci3n. Se incluyen las estaciones negativas dentro del area de desove, se excluyen huevos menores a 4 horas y el corte de edades superiores corresponde al 95% de la edad de eclosi3n de acuerdo a la temperatura de la estaci3n.

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

Modelo multinomial: Basado en el modelo de desarrollo de huevos multinomial y asignaci3n de la edad por m3todo Bayesiano. Los cortes se realizan autom3ticamente dada la probabilidad de eclosionar y hora pico de desove.

En los modelos basados en GLM y multinomial en los cuales se utiliza una distribuci3n binomial negativa en la estimaci3n, el error estandar asociado al intercepto ($\ln(P_0)$) es equivalente al coeficiente de variaci3n de la producci3n de huevos (P_0).

El c3lculo de la producci3n diaria de huevos ponderada para el area total (P) se realiza desde el valor de P_0 por estratos, de la siguiente manera:

$$P = \left(P_{01} \frac{A_1}{A} + P_{02} \frac{A_2}{A} \right) K$$

donde P_{01} y P_{02} corresponden a la producci3n diaria de huevos por unidad de muestreo para el area de desove (A_1) y el area negativa (A_2) respectivamente y A es



el 1rea total del crucero ($A_1 + A_2$). K es un factor de conversi3n desde la unidad muestral a mn^2 .

La varianza ajustada de P para post-muestreo estratificado se estim3 como:

$$S^2_{(P)} = \left(I + \frac{I}{n} \right) \left(\frac{A_1}{A} S^2_{(P_{01})} + \frac{A_2}{A} S^2_{(P_{02})} \right)$$

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

3.5 Objetivo espec3fico 2.5 “Estimar la proporci3n de estadi3s de madurez sexual microsc3picos y la fracci3n diaria de hembras desovantes de anchoveta con su varianza asociada”

3.5.1 Procesamiento de las muestras en el laboratorio histol3gico

Los espec3menes preservados en formalina neutralizada se procesaron en el laboratorio, registr1ndose la longitud total de cada ejemplar mediante un icti3metro, con una precisi3n de 0,5 cent3metros y el peso total, adem1s del peso g3nada, pesados en una balanza con una precisi3n de 0,01 gramos. Terminada la fijaci3n, los ovarios se deshidrataron e incluyeron en parapl1st, 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 an1lisis.



3.5.2 Análisis microscópico de los ovarios

Se determinaron las variaciones de la condición reproductiva a través del análisis de la distribución mensual de los estadios de madurez de los ovarios, utilizando el diagnóstico histológico del parénquima gonadal, aplicando una escala microscópica específica basada en los criterios señalados por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989) para peces teleósteos; Alheit *et al.* (1984) para *E. ringens* y Hunter y Macewicz, (1985) para *E. mordax*. (**Tabla 1**).

Folículos postovulatorios

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

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

Para conseguir una mayor definición del proceso de degeneración de los Folículos Postovulatorios (**FPO**) en el proyecto FIP N° 2006-38 (Claramunt *et al.*, 2007) se construyó una clasificación de estadios de degeneración de estos, de acuerdo a lo planteado por Alday *et al.* (2008), en el Simposio “Dinámica reproductiva de peces



pelágicos pequeños y el método de la producción diaria de huevos” durante el XXVI Congreso de Ciencias del Mar, Iquique. El que consiste en subdividir el proceso de reabsorción de los **FPO** en varios estadios de degeneración, 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.

La escala confeccionada y utilizada para el análisis de las placas histológicas y la validación de la asignación de edad a los folículos postovulatorios, se entrega en la **Tabla 2**. Con esta nueva escala de clasificación, se revisaron las placas histológicas para asignarlas a uno de los estadios, sin consideraciones de la hora de la captura. Una vez analizados todos los ejemplares, se observa la incidencia de los distintos estadios de **FPO** según la hora de captura, de forma de dilucidar el grado de degeneración de los **FPO** en ciclos de 24 horas. En la **Figura 5** se entrega la distribución horaria según Claramunt *et al.*, (2007).

3.5.3 Frecuencia de hembras maduras desovantes por día (F)

Los lances positivos fueron distribuidos en un ciclo completo de 24 horas y la edad de los folículos postovulatorios puede ser determinada hasta 56 horas después del desove, debido a que los folículos de mayor edad pueden ser confundidos con otras estructuras tales como folículos en estado atrésico (Hunter y Goldberg, 1980; Hunter y Macewicz, 1985). En consecuencia se podrían separar dos grupos independientes de folículos postovulatorios de 24 horas: los del día 1 con edad < a 24 h y de día 2 con edad entre 24 y 48 horas. Debido a su independencia, estos dos grupos se podrían unir, logrando así duplicar el número de muestras (Alheit *et al.*, 1984).



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

$$F_i = \frac{m_{hi}}{m_i} \text{ ó } \frac{m_{1i}}{m_i} \text{ ó } \frac{m_{2i}}{m_i}$$

Donde:

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

y cuya notación es la siguiente:

- 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 .
- 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 reemplaza por:

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



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

$$F_{1i} = \frac{m_{1i}}{\left(\frac{m_{1i} + m_{2i}}{2}\right) + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}}$$

y la fracción de hembras desovantes de día 2 es:

$$F_{2i} = \frac{m_{2i}}{\left(\frac{m_{1i} + m_{2i}}{2}\right) + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}}$$

Donde, F_i es la fracción corregida de hembras con folículos postovulatorios de 9 a 32 horas de edad (hembras del día 1) ó 33 a 56 horas de edad (hembras del día 2) en el lance i .

Los estimados para el promedio y la varianza están dados por:

$$\bar{F}_i = \frac{m_{1i} + m_{2i}}{2\left(\frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}\right)} = \frac{m_{1i} + m_{2i}}{2m_{yi}}$$

La fracción promedio de hembras desovantes y su varianza se estimaron de acuerdo a:

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

$$Var(\bar{F}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{m_{yi}}{\bar{m}}\right)^2 (\bar{F}_i - \bar{F})^2$$



Donde:

- \bar{F} : Fracción promedio de hembras desovantes por día.
- 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 promedio corregido de hembras maduras.
- n : Tamaño de muestras.

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

3.6 Objetivo específico 2.6 “Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación, y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas”

La fecundidad se estimó de acuerdo al método gravimétrico descrito por Hunter y Goldberg (1980), Hunter *et al.*, (1985), Santander *et al.*, (1984), Oliva *et al.*, (1998) y Rojas y Oliva (1993).

Este método se basa en que los ovocitos hidratados en el interior del ovario son liberados en corto tiempo y el número de éstos refleja la fecundidad parcial, asumiendo que todos son desovados. Cabe mencionar, que las ventajas comparativas con otros métodos, es la rapidez en su determinación y el significativo ahorro de tiempo en su conteo, no existiendo dudas en la separación de las modas en los diagramas de frecuencia - tamaño de los ovocitos, debido a la diferencia de tallas de los ovocitos hidratados, los cuales se caracterizan por su gran tamaño, transparencia y consistencia blanda.



Todos los ovarios recolectados como hidratados fueron sometidos a un examen histológico, descartando aquellos que tenían indicios de desove (presencia de folículos postovulatorios), seleccionando sólo aquellos que con seguridad estén hidratados e intactos.

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, tomando tres segmentos (regiones anterior, media y posterior) del tejido y que fue de 0,2 gramos, aproximadamente, asegurando una cantidad no inferior a 100 ovocitos hidratados por submuestra.

Las submuestras fueron pesadas en una balanza analítica Sartorius, con una precisión de 0,0001 gramos y posteriormente colocadas en una cápsula petri cubriéndolas con gotas de glicerina (33%) para ser contabilizadas bajo microscopio estereoscópico.

El número promedio de los ovocitos hidratados de las 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:

$$E_j = \bar{n} * W_j$$

E_j : Fecundidad parcial (número total de ovocitos hidratados en el ovario j).

W_j : Peso húmedo del ovario j (g).

\bar{n} : Número promedio de ovocitos hidratados por gramo de ovario.

El Método de Producción de Huevos, requiere la estimación de la fecundidad media poblacional o modal, representativa del total de la población de hembras



maduras, para lo cual, es necesario ajustar un modelo que explique los datos de la fecundidad parcial en funci3n de un par3metro corporal.

De acuerdo a lo reportado por Santander *et al.*, 1984; Rojas y Oliva, 1993; Claramunt *et al.*, 1996, Claramunt *et al.*, 1997, Oliva *et al.*, 1998 y Oliva *et al.*, 2000, la variable que mejor explica la fecundidad parcial corresponde al peso corporal (peso total menos peso g3nada). Sobre esta base se ajust3 un modelo de regresi3n lineal entre la fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras maduras, teniendo en consideraci3n que este modelo es el que mejor explica la variabilidad de los datos (Oliva *et al.*, 2000, 2001 y Sep3lveda *et al.*, 2000).

La fecundidad parcial se calcula utilizando las hembras recolectadas en el 3rea de muestreo (Regiones XV, I y II). Se realiz3 una regresi3n entre la fecundidad parcial (n3mero de ovocitos hidratados) y el peso del cuerpo de hembras sin g3nada.

A las 30 hembras maduras de cada lance utilizadas para el c3lculo de fracci3n desovante y peso promedio, se les estim3 su fecundidad parcial por medio del modelo de regresi3n ajustado.

La fecundidad media poblacional y su varianza se estim3 siguiendo la metodolog3a aplicada en el M3todo de Producci3n de Huevos, descrita por Hunter *et al.* (1985):

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



Donde:

- \bar{E} : Fecundidad media poblacional.
- m_i : N3mero de peces muestreados en el lance i.
- \bar{E}_i : Fecundidad parcial promedio en el lance i, estimada a partir del modelo de regresi3n.

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

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

Donde:

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



Cabe se1alarse que no es un modelo en particular, en este caso el lineal, el que viola los supuestos de homocedasticidad, sino que son los datos los que indican si estamos frente a un error aditivo o multiplicativo. En el caso de la fecundidad y los análisis que se han hecho durante todos los años de aplicaci3n del MPH no se han encontrado situaciones de error multiplicativo.

3.7 Objetivo específico 2.7 “Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos”

3.7.1 Modelo para la estimaci3n de la biomasa

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

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

Donde:

- B* : Biomasa desovante en toneladas métricas.
- P_o* : Producci3n diaria de huevos en el área investigada (huevos producidos por 0,05 m² d⁻¹).
- W* : Peso promedio de las hembras maduras (g) de la poblaci3n.
- R* : Proporci3n de sexos (fracci3n de hembras maduras de la poblaci3n, en peso).
- F* : Fracci3n de hembras maduras que desova por día.
- E* : Fecundidad parcial media poblacional.
- K* : Factor de conversi3n de gramos a toneladas métricas.
- A* : Área total investigada (en 0,05 m²)



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

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

El cálculo de esta varianza se simplifica, dado que el muestreo de la producción diaria de huevos para estimar P_o , es independiente del muestreo de adultos para estimar los parámetros R , F , E y W . En tal caso, las covarianzas de P_o , con las estimaciones de los parámetros de adultos se pueden considerar nulas, por lo cual el cálculo de covarianzas se restringe a éstos últimos solamente.

3.7.2 Covarianzas entre los parámetros de adultos (R , F , W y E)

Para cada lance i dentro de un estrato (o el área total) se estimó un valor de los parámetros de interés (\bar{R}_i , \bar{F}_i , \bar{W}_i y \bar{E}_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{F}_i , \hat{W}_i y \hat{E}_i , luego la covarianza se pudo estimar usando la fórmula:



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

- n : Número de lances en el estrato (o en el área total).
- m_i : Número de hembras en el lance i para estimar el parámetro.
- k_i : Número de hembras en el lance i para estimar el parámetro \bar{y}_{2i} .
- y_{1i} : Valor del parámetro 1 (cualquiera entre \bar{R}_i , \bar{F}_i , \bar{W}_i y \bar{E}_i).
- y_{2i} : Valor del parámetro 2 (distinto del parámetro 1).

3.8 Objetivo específico 2.8 “Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores y los resultados del presente proyecto”

3.8.1 Análisis integrado

El análisis de las relaciones ambiente-recurso se realiza mediante dos enfoques. El primero consiste en la aplicación de Sistemas Geográficos de Información (SIG) para relacionar los distintos planos de información y el segundo mediante una modelación con métodos Aditivos Generalizados (GAM).

a) Relaciones entre la distribución de huevos de anchoveta y las variables oceanográficas mediante SIG.

Se realizó un estudio espacio-temporal de la distribución y abundancia de los huevos de anchoveta y de las variables oceanográficas asociadas. Para ello se



utilizaron los archivos de la base de datos correspondientes a 17 cruceros bio-oceanográficos realizados en el período de invierno entre los años 1992-2012. La información considera los siguientes registros: fecha, latitud y longitud de las lecturas de huevos de anchoveta; asimismo, se utilizan datos de temperatura y salinidad provenientes de las estaciones oceanográficas.

Procesamiento de la información

Para el análisis integrado de las variables registradas se utilizaron, como plataforma de trabajo, los SIG IDRISI Kilimanjaro (Eastman, 2003) y TNTmips (Microimages, 1997). El objetivo principal de la utilización del SIG es la de superponer distintos planos de información, para estimar relaciones espaciales y temporales. La confección de mapas implicó realizar previamente la georreferenciación de la costa, que se obtuvo desde las cartas náuticas electrónicas (CNE) del SHOA, mediante la técnica de Control de Puntos (Buttler *et al.*, 1990). Luego se confeccionaron los archivos de vectores bases en formato SIG, los que contemplaron, la georreferencia con sus respectivos datos. Finalmente, a los mapas de abundancia de huevos se le determinó el Índice de Ocupación (IOC), por categorías de clases de acuerdo a:

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

donde:

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

NC_i = N° de pixeles categoría "i".

NT = N° pixeles totales.

NP = N° pixeles positivos totales.



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

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

Para determinar la asociación entre la distribución de los huevos recurso 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:

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} : N3mero de p3xeles observados de la categor3a (i, j) .

E_{ij} : N3mero de p3xeles esperados de la categor3a (i, j) .

El n3mero de p3xeles esperado corresponde al valor que deber3a darse seg3n lo establecido en la hip3tesis nula, asumiendo que esta es verdadera. La estad3stica de prueba se distribuye como una Chi-cuadrado con $(c-1)(r-1)$ grados de libertad. El criterio de “aceptaci3n o de rechazo” de la hip3tesis Nula est3 dado por: Rechace la hip3tesis nula si $\chi^2_{\text{calculado}} > \chi^2_{\text{tabla } (c-1, r-1)}$, al nivel de significaci3n “ α ” (igual a 0,05 por ejemplo).

Una vez determinada la existencia de asociaci3n entre las variables, se cuantifica el grado de asociaci3n por medio del 3ndice $V(Cramer)$ (Aguilera, 2001), cuyo rango de variaci3n se encuentra entre 0 y “+1”. Valores destacados del 3ndice corresponden a:

- “0” indica que no existe asociaci3n entre las variables;
- “1” indica que las variables presentan una asociaci3n perfecta.

Por cierto que la proximidad al valor “0” es un antecedente de no asociaci3n entre las variables o que el recurso se localiz3 en un estrecho rango de las variables ambientales, adem3s constituye un antecedente de concentraci3n del recurso. Por el contrario, una proximidad a “+1” es una presunci3n de alta asociaci3n entre las variables y de que el recurso posee una alta cobertura espacial y se distribuy3 en un amplio rango de la variable ambiental.



c) Determinaci3n de los centros de gravedad (CG)

Una vez realizada la cartograf3a se procede a calcular los 3ndices estad3sticos de los mapas. En el caso de las cartograf3as de huevos de anchoveta, se calcula el centro de gravedad de las cartograf3as (CG).

Para el c3lculo del CG para cada crucero se utiliz3 la siguiente f3rmula:

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

donde:

CG_n = Centro de gravedad del n-3simo crucero.

$Lat(Long)_{in}$ = Latitud (Longitud) de la i-3sima estaci3n.

Den_{in} = Densidad de huevos de la i-3sima estaci3n.

d) Modelamiento estad3stico de la densidad de huevos asociado a variables ambientales

Existe m3s de una aproximaci3n para realizar el an3lisis de los datos, puede ser en un enfoque dise1o basado (Cochran, 1977) acorde con el dise1o impl3cito en la toma de datos o modelo basado, sobre la base de la distribuci3n de probabilidades de las variables. Los datos que se analizan se caracterizan por presentar una proporci3n importante de estaciones negativas (muestras en las cuales no se observan huevos), la que puede ser modelada considerando dos alternativas, 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 la 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 har3 use de 3sta 3ltima alternativa.

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 $g(\cdot)$ es la funci3n de enlace, la cual 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 una amplia familia de distribuciones estadísticas. El t3rmino x_k es el valor de la k-3sima covariable. El t3rmino β_0 es un intercepto, y $S_k(\cdot)$ es una funci3n de suavizamiento unidimensional para la k-3sima covariable.



La variable de interés a modelar correspondió a la densidad de huevos (número x 0,05 m⁻²) y es modelada como una función de variables de localización (latitud, longitud) y oceanográficas (salinidad y temperatura), las cuales fueron introducidas en el modelo a través de funciones no-paramétricas suaves, de la forma de los suavizadores splines cúbicos (Hastie y Tibshirani, 1990); además, se incorporó un predictor lineal correspondiente al año. Este último factor permite conocer la tendencia del índice, en un contexto interanual.

e) Análisis de la distribución de huevos de anchoveta asociada a variables oceanográficas.

Para ejecutar el análisis integrado de las variables biológicas pesqueras - oceanográficas recolectadas durante los diferentes proyectos precedentes de evaluación del stock desovante de anchoveta, se validaron los archivos de las bases de datos correspondientes a 16 cruceros oceanográficos realizados durante el período 1995 - 2012. La información recolectada considera los siguientes registros: fecha, estación de muestreo, latitud y longitud de las lecturas de huevos de anchoveta y su valor de densidad (referido a número de individuos). Además, se utilizan los registros de temperatura y salinidad superficial del mar provenientes de las estaciones oceanográficas. La información correspondiente al año 1992 no fue considerada por la ausencia de los registros de temperatura y salinidad, para comenzar en el año 1995 los análisis.

De modo de visualizar la información biológica pesquera - oceanográfica se emplean herramientas espaciales de mapeo e interpolación de datos mediante el método de kriging, el cual considera el modelo esférico para el ajuste del variograma (Cressie, 1991; Goovaerts, 1997). De esta manera se obtienen mapas que permitan realizar descripciones espaciales y temporales de las variables biológicas pesqueras - oceanográficas, superponer distintos planos de información



que permitan encontrar relaciones espaciales y temporales. Para poder realizar una buena estimación del kriging, se genera una grilla espacial única para que los diferentes mapas de manera que tengan una misma escala espacial. Además, se considera el área efectiva donde se realizó el muestreo de las observaciones mediante la generación del polígono que contiene todas las observaciones realizadas para cada año. Este algoritmo espacial genera una grilla imaginaria considerando los valores máximos y mínimos para la longitud y latitud, luego el algoritmo recorre la grilla imaginaria identificando aquellos datos que se encuentran más alejados de la zona de muestreo, y así se genera el polígono que encierra todas las estaciones de muestreo por año. La principal finalidad de este polígono es eliminar aquellas observaciones que son interpoladas fuera del área de muestreo y así obtener valores interpolados solo en el área de muestro, donde fue observada la variable bajo estudio.

De manera de poder cuantificar la variabilidad espacial, en términos longitudinales y latitudinales, se generaron 20 polígonos paralelos a la costa y delimitados latitudinalmente (18° - 20° S, 20° - 22° S, 22° - 24° S y 24° - 26° S) de veinte millas náuticas cada uno (**Figura 6**). Estas veinte áreas fueron creadas para identificar la procedencia del registro de densidad de huevos de anchoveta, de manera de incorporar esta nueva variable (polígono) a la modelación, de manera de estimar las tendencias de largo plazo (tiempo) para cada polígono generado. Estas tendencias de largo plazo de huevos de anchoveta por polígono son comparadas con las tendencias de largo plazo que presenta la temperatura y la salinidad superficial del mar mediante análisis de correlación.

Para detectar las posibles asociaciones entre la densidad de huevos de anchoveta y las diferentes covariables (como la componente espacial y temporal, la temperatura y la salinidad) se usaron los modelos aditivos generalizados (Wood, 2006). Los modelos aditivos generalizados (MAG) es una extensión aditiva



de los modelos lineales generalizados (MLG), esta extensi3n permite introducir funciones de suavizaci3n (smoothing) que relacionan las variables respuesta a los predictores. Una de las ventajas de esta aproximaci3n, es que permite hacer validaci3n cruzada (proceso que determina autom3ticamente la cantidad 3ptima de smoothing) y permite ajustar componentes aleatorios, incluir correlaciones espaciales y temporales, datos anidados y varios patrones de heterogeneidad (Zuur, *et al.* 2009). Los datos para es tipo de modelos surge de una variedad de campos de investigaci3n, tales como estudios longitudinales, encuesta por muestreos, ensayos cl3nicos y mapas de enfermedades. La caracter3stica principal de los MAG es que usan funciones aditivas no param3trica para modelar los efectos de las covariables. Las funciones no param3tricas son estimadas usando suavizadores splines y conjuntamente estima el par3metro del suavizador y el componente de varianza usando cuasi-probabilidad marginal, esta aproximaci3n es una extensi3n de la aproximaci3n de m3ximo de probabilidad restringida.

Supongamos que las observaciones para la i -3sima de n unidades, consiste en una variable de salida y_i y p covariables $x_i = (1, x_{i1}, \dots, x_{ip})^T$ asociada con efectos fijos. Entonces, un modelo aditivo generalizado sigue la forma,

$$E(y_i) = g^{-1}(\beta_0 + f_1(x_{i1}) + \dots + f_p(x_{ip})) \quad (1)$$

donde $g(\cdot)$ es una funci3n uni3n diferenciable monot3nica (funci3n de enlace), $f_j(\cdot)$ es una funci3n suavizada unidimensional centrada y dos veces diferenciable de la i -3sima covariable. Y el t3rmino β_0 es un intercepto.



Si el conjunto de datos es medido al mismo tiempo, el siguiente modelo podr3a plantearse como un punto de partida,

$$\text{huevos} = \text{intercepto} + f(\text{tiempo}) + f(\text{espacio}) + f(\text{tsm}) + f(\text{sal}) + \varepsilon \quad (2)$$

donde f es la funci3n de suavizaci3n que t3picamente es modelada como una “spline” en los MAG. Un problema identificado en el modelo planteado anteriormente, es que la tendencia de largo plazo es considerada constante para toda la zona de estudio. Una posibilidad es descomponer las tendencias de largo plazo para cada pol3gono generado en la zona de estudio, ya que en el an3lisis exploratorio de los datos se indico que estas tendencias de largo plazo difieren para cada pol3gono (**Figura 10**). Si usamos una funci3n suavizadora para cada pol3gono, el modelo queda definido de la siguiente manera,

$$\text{huevos} = \text{intercepto} + f_{\text{poligono}}(\text{tiempo}) + f(\text{espacio}) + f(\text{tsm}) + f(\text{sal}) + \varepsilon \quad (3)$$

Este modelo (3) es una extensi3n del modelo (2) y asegura que una funci3n suavizadora es solamente aplicada a un subconjunto de los datos donde el argumento es definido por el i -3simo pol3gono. Se consideraron los primero cuatro pol3gonos por segmento de latitud, ya que los 3ltimos pol3gono (5, 10, 15 y 20) no presentaban una cantidad de datos suficientes que permitan obtener una buena representaci3n de la tendencia por pol3gono, produciendo un desbalance en el dise1o de la matriz de datos, lo que hace que el ajuste del modelo no sea estimado, presentando principalmente errores de convergencia en el ajuste del modelo. En muchos sistemas ecol3gicos, la dispersi3n de los datos difiere entre



años y áreas, lo que podría estar violando la suposici3n de homogeneidad (Zuur *et al.*, 2009). Este mismo procedimiento tambi3n es efectuado para la temperatura y la salinidad superficial del mar de manera de estimar el patr3n temporal por área de las variables ambientales y así correlacionar estos patrones ambientales al patr3n temporal de la densidad de huevos de anchoveta.



VII. 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 análisis del **IGS** en lo transcurrido del año 2012 (**Figuras 7 y 8**), con 9.608 hembras, cifra 16% mayor respecto a lo medido en el 2011 en igual fecha, mostró el descenso de la actividad en febrero (4,1%) a registros mínimos en abril-mayo (3,2%). En junio-julio, el **IGS** incrementó gradualmente a un 4,4% no alcanzando el promedio histórico referencial del inicio del evento reproductivo (**IGS**: 5%). La variación semanal del **IGS** indicó el aumento a mediados de junio (4,5%), pero se mantuvo relativamente estable hasta fines de julio (4,6%). La actividad incrementó notoriamente en agosto (6,5%) y en septiembre (7,4%), con registros de **IGS** que se intensificaron desde mediados de agosto (6%), señalando la manifestación de la máxima actividad de desove, que se mantiene hasta la primera semana de octubre con un **IGS** de 7,0%.

El cálculo de los índices microscópicos se sustentó de la observación histológica de 2.384 hembras, cifra 17% mayor respecto a lo analizado en el 2011, las que fueron muestreadas desde la primera semana de junio hasta la primera semana de octubre, a objeto de intensificar y precisar el monitoreo de la actividad reproductiva de la anchoveta en el período de incremento del **IGS**. El 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 microscópico de las gónadas mostró la presencia inusual de una alta incidencia de hembras en regeneración (inmaduras reincidentes) durante las semanas de junio e inicios de julio, lo que significó una menor actividad reproductiva en este periodo. Los menores registros de actividad se observaron en junio (mínimo 70%), para normalizarse con un 99% en la tercera semana de julio. De agosto a la primera semana de octubre, prácticamente el 100% de la hembras se encontraron en desarrollo del evento reproductivo. El comportamiento normal de ovarios activos (fases agrupadas 3 a 8) señala principalmente sobre un 90% en las semanas de junio a diciembre.

El seguimiento del **IAD** (**Tabla 6; Figuras 9 y 10**) mostró valores bajos inferiores al 14% entre la primera semana de junio y la tercera semana de julio, lo que indicó una baja actividad de desove en el bimestre junio-julio con un **IAD** mensual de 8% y 11%, respectivamente, concordante con los bajos registros de **IGS** y la presencia inusual de hembras inactivas. A partir de la última semana de julio el **IAD** incrementó marcadamente (26%) y permaneció con un registro alto hasta la primera semana de octubre (34%), alcanzando el 29% en agosto y el 35% en septiembre.

El comportamiento al incremento del **IAD** definió el periodo de la máxima intensidad de desove (**MID**) que se manifestó a fines de julio e inicios de agosto y se mantiene hasta la primera semana de octubre, sustentado por la mayor incidencia de hembras hidratadas y de ovarios con folículos postovulatorios.

El comportamiento característico de **IAO** (**Figuras 9 y 11**) indica una mayor incidencia de atresia en otoño, periodo de menor actividad reproductiva, mientras



que está prácticamente ausente en los procesos reproductivos masivos y de plena actividad de desove (junio a mediados de octubre), reapareciendo gradualmente desde mediados de octubre con registros relativamente bajos evidenciando los primeros indicios de la disminución de la intensidad de desove. En el 2012 (**Tabla 6**), el **IAO** mostró registros inusuales de atresia en baja incidencia en junio y mediados de julio, con un máximo de 2,7%. Desde la segunda mitad de julio y hasta la primera semana de octubre, la atresia está prácticamente ausente, concordante con la mayor actividad reproductiva y la manifestación de la máxima intensidad de desove.

El análisis reproductivo a la primera semana de octubre de 2012, indicó que el mayor desove de la anchoveta se manifestó desde fines de julio e inicio de agosto y se mantiene hasta la primera semana de octubre, 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 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. Objetivo específico 2.1 “Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta”

Del total de 564 estaciones de la grilla realizada este año 2012, en que se realizó muestreo con red CalVET (California Vertical Tow) en su versión doble PAIROVET (Smith et al, 1985), 211 estaciones presentaron huevos de anchoveta lo que corresponde a un 37,41% del total de estaciones muestreadas. Comparativamente,



con el año 2011 hay un número menor de estaciones positivas para anchoveta, similar a los años 1992, 2000 y 2005 (**Tabla 7**).

Un total de 10.779 huevos/ 0,05 m² de anchoveta (13.906 en el año 2011 y 4.703 en el 2009) fueron cuantificados en el área comprendida entre punta Carrizalillo (26°00´S) y Arica (18°25´S). La media de huevos por estación positiva alcanzó a 51 ejemplares (DS = 124,3) y la media por estaciones totales fue igual a 19, situación que señala una importante y significativa actividad reproductiva en la zona de estudio (**Figuras 12 y 13; Tabla 7**).

En relación a la intensidad y extensión espacial del desove, las densidades promedio por estaciones positivas y totales, muestran una situación diferente para ambos índices. La intensidad del desove con respecto al invierno de 2011 experimenta un leve incremento de 6,3%, exhibiendo prácticamente la misma cobertura geográfica del año 2011(**Tabla 7**).

El patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta en el área de estudio, señala que el desove fue costero con expansiones hacia el océano en la zona de Arica, y se verificó en el rango latitudinal comprendido entre islote Blanco-Taltal (25°20´S) y Arica (18°25´S) y longitudinalmente hasta las 65 mn al oeste de caleta Bandurria (23°20´S). En términos generales, la densidad promedio de las estaciones positivas por transecta para los huevos de anchoveta, tendió a disminuir de costa a mar afuera (**Figura 14a**).

Más de 98,9% de los huevos de anchoveta se concentraron entre la costa y las 50 mn (**Figura 14 a, b**). Los focos de desove más importantes (>300 huevos/0,05m²) se localizaron en el sector costero frente a bahía Moreno (23°40´S), a 20 mn de caleta Herradura de Mejillones (23°10´S), a 1mn al oeste de caleta Atala (22°15´S) y punta Urco (21°45´S), a 5 mn de punta Patillo (20°45´S) y a 1 mn



frente a Caleta Ligate ($20^{\circ}30'S$) y Ensenada San Martín ($18^{\circ}30'S$), respectivamente; cuyas abundancias en conjunto representaron el 38,4% respecto del total de huevos de anchoveta cuantificados. El resto de los registros positivos exhibieron abundancias que fluctuaron entre 1 y 299 huevos/ $0,05\text{ m}^2$. En este contexto, la estación con la densidad más importante (1.010 huevos), se localizó a 5 mn de punta Patillo (**Figura 13**).

En relación al número de huevos el invierno de 2012 presento un porcentaje de cambio negativo de -22,5% con respecto al crucero MPH precedente (2011), constituyéndose en el séptimo registro más alto de la serie 1992 – 2012 (**Figura 15**).

En general y para la zona comprendida entre caleta Vitor ($18^{\circ}45'S$) y caleta Bandurria ($23^{\circ}20'S$) se observó una relación estrecha entre la distribución espacial de los huevos y la del recurso, al encontrarse un alto porcentaje de lances efectivos conjuntamente con las densidades de huevos de anchoveta (**Figura 16**).

La densidad media de huevos estimada para el período 1992-2012, a través del estimador de la media de una distribución delta y la proporción de estaciones positivas (con huevos) muestra que la densidad obtenida en esta oportunidad es 19% mayor respecto al invierno de 2011, constituyéndose en el quinto registro más importante de la serie y en el tercero con respecto a la proporción de estaciones positivas (**Figura 17 a,b**).

La **Tabla 8** muestra las estimaciones del índice de huevos para la serie 1992 – 2012 y en la **Figura 18 a, b** se compara el índice de huevos con las biomasa desovante estimada con el método multinomial y Lo GLM, donde ambos indicadores siguen trayectorias similares, siendo mayor el ajuste con el modelo de Lo GLM, ya que si bien no es estadísticamente correcto en la asignación de



edades, el modelo multinomial depende demasiado de factores asociados (abundancia de huevos, número de estaciones positivas, hora de los muestreos, hora pico de desove, desviación estándar del pico de desove etc.), y es justamente por esto, que no funciona muy bien en los años con bajas abundancias de huevos.

Con respecto al invierno precedente el índice de huevos presentó una leve disminución de 2,3%, mientras que la biomasa desovante estimada por ambos métodos experimenta disminuciones de 15,5% (Lo GLM) y 36,6% (multinomial).

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

3.1 Vientos

La intensidad de los vientos predominantes durante el crucero se registró en todas las estaciones realizándose 564 mediciones (**Figura 19**). Un 65,6% de estos registros tuvo una intensidad menor a 5 m/s (débil) (**Figura 19a**), un 32,6% de 5 a 10 m/s (moderado fuerte) (**Figura 19b**) y sólo un 2,8% > 10 m/s (intensidad fuerte) (**Figura 19c**). La mayor intensidad de los vientos fue de 12 m/s y se registró a 75 mn frente a Antofagasta. Los vientos de intensidad moderada se encontraron focalizados de norte a sur en las áreas de punta Madrid a punta Junín, punta Hornos a punta Coloso y frente a punta Ballenita. El resto de la zona registró viento débil, excepto por viento fuerte que se presentó en el sector oceánico frente a Antofagasta. Las mediciones que presentaron una componente norte alcanzaron a un 15,1% de los datos (**Figura 19d**) y se agruparon entre punta Tres Picos y Tal-Tal.



El índice de surgencia (**IS**) promedio por grado de latitud, obtenido con las mismas mediciones (**Figura 20a**), señaló un rango total de -2 a 995m³/s por 1000 m de costa. Se destacan punta Camarones y Antofagasta como las dos áreas de **IS** más altos y cercanos a 1000 m³/s, seguido de Iquique y Chañaral con **IS** próximos a 500 m³/s. El área de punta Tres Picos registró un **IS** promedio negativo de 2 m/s. En lo que respecta a turbulencia (**Figura 20b**), los mayores índices se midieron frente a Antofagasta con un máximo de 528 m³/s³, seguido de Pisagua y Chañaral.

3.2 Temperatura superficial (TSM)

La temperatura superficial del mar (**Figura 21a**) presentó un rango comprendido entre 13,5° a 18,6°C. El mínimo se midió en la estación costera en los 26°S, mientras que el máximo a 20 mn de la costa en los 19°30'S. Un foco de **TSM** más altas se ubicó en el sector oceánico de Arica a punta Cobija, lo que originó la presencia de frentes térmicos superficiales más intensos en esa área. Las **TSM** mayores a 18°C formaron un foco oceánico desde Arica a punta Junín. En el área oceánica al sur de punta Cobija, la **TSM** disminuyó a menos de 16°C con mínimos en este sector hacia el límite sur de la zona (<15°C). Todo el sector costero registra bajas **TSM** y en general menores a 15°C. En el área de Antofagasta y rada Paposo se presenta una intrusión de agua oceánica, aunque de baja **TSM**, pero que deja a ambas áreas con el menor gradiente costa – océano de la zona.

La anomalía de **TSM (ATSM) (Figura 21b)** registra un rango total de -1,7° a 1,4°C. La zona muestra un amplio predominio de valores entre -1° y 1°C, destacándose en el sector oceánico de Arica a Tocopilla valores positivos inferiores a 1°C. En cambio, en el sector oceánico de Tocopilla a rada Paposo son más frecuentes las



ATSM negativas. En la franja más costera predominan las **ATSM** negativas pero que no superan el valor de 1°C , siendo sólo el área de Tocopilla a punta Gualagualla, donde éstas superan el valor de 1°C , mientras que en el sector costero de Antofagasta y punta Plata las **ATSM** son positivas.

3.3 Salinidad superficial (SSM)

La salinidad superficial (**Figura 21c**), presentó un rango total de 34,5 a 35,2. Las mayores salinidades, > 35 , formaron un amplio foco en el sector oceánico desde Arica a punta Copaca. En este foco se superan los 35,2 sólo frente a punta Patache en un sector muy reducido, mientras que destaca un foco de bajas salinidades dentro de él, con valores de 34,9 a 35,0 ubicado frente a Pisagua. Desde punta Copaca al sur las salinidades disminuyen rápidamente entre esta localidad y punta Cobija, predominando al sur de esta última localidad salinidades entre 34,6 y 34,7. En la franja más costera de Arica y punta Arenas hay un predominio de salinidades entre 34,8 a 34,9. En punta Camarones hay un aumento de la salinidad superficial en la costa respecto de las áreas adyacentes. En la franja costera de punta Arenas a Antofagasta hay una predominio de valores de 34,7 a 34,8, y al sur de Antofagasta estos valores están en el rango de 34,6 a 34,7.

La anomalía de **SSM (ASSM, Figura 21d)** registran un amplio predominio de valores en el rango de $\pm 0,1$, sin embargo, a diferencia de la **ATSM**, esta variable muestra algunos focos de anomalías tanto negativas como positivas ligeramente superiores a 0,1 pero que en general no superan los 0,2, y que se ubican principalmente en el sector más oceánico. Los focos negativos principales están ubicados frente a Arica, punta Camarones, punta Gualagualla y punta Tres Picos. Los focos de **ASSM** positivos mayores a 0,1 se localizaron frente a punta Patache



y punta Arenas. En la franja costera predominaron los valores en el rango de $\pm 0,1$.

3.4 Temperatura en el nivel de 50 m

La temperatura en este nivel (**Figura 22a**) tiene un rango de 12,6° a 16,3°C pero sin registrar gradientes horizontales en toda la zona. Desde Arica a Mejillones las temperaturas en la franja costera son menores a 14°C y los valores m1s bajos (< 13°C) se registraron en la costa de Mejillones al sur. En el 1rea oce1nica entre los 20°30'S y los 23°S se registr3 un foco de amplia 1rea con temperaturas > 15°C con s3lo un peque1o foco en el extremo este frente a Tocopilla con valores de 16°C.

3.5 Diferencia t1rmica entre superficie y nivel de 50 m

Esta variable (**Figura 22b**) tiene un valor m1ximo de 5°C. Las mayores diferencias se ubicaron en el 1rea Arica a caleta Chipana donde hay m1s de 3°C de diferencia con la **TSM** y forman un extenso y amplio foco que abarca desde la costa hasta el sector oce1nico. Desde caleta Chipana al sur el foco de 2°C es m1s bien costero y se extiende como un s3lo foco hasta punta Coloso, mientras que en el sector oce1nico y desde punta Coloso al sur los valores est1n entre 1° y 2°C. En el sector oce1nico hay solo dos focos de valores menores a 1°C que est1n centrados frente a punta Cobija y el otro frente a Tal-Tal en el extremo sur de la zona.



3.6 Salinidad en el nivel de 50 m

Entre Arica y punta Tres Picos la salinidad (**Figura 22c**) presenta un foco de amplia cobertura con valores mayores a 34,7, ubicándose dos focos de valores mayores a 34,8, el primero en la costa de Arica y en segundo en el sector oceánico entre caleta Patillos y punta Gualaguala. Las menores salinidades se focalizaron en el área sur de la zona, con valores < 34,5 entre rada Paposo y Tal-Tal desde la costa hasta las 60 mn.

3.7 Diferencia de salinidad entre superficie y nivel de 50 m

El rango de valores de diferencia entre estos dos niveles es de -0,1 a 0,5 (**Figura 22d**). Los valores negativos estuvieron focalizados en la costa entre Antofagasta y punta Plata y alcanzan un máximo de 40 mn frente a punta Tres Picos. De punta Copaca al sur hay un amplio predominio de valores entre 0 y 0,1, mientras que desde esa localidad al norte los valores superan los 0,1 con amplios y extensos focos en el sector oceánico de 0,2 y 0,3.

3.8 Densidad

La densidad superficial (**Figura 23a**) tuvo un valor mínimo de 25,2 kg/m³ en la estación de 45 mn frente a punta Tres Picos y el máximo de 26,2 kg/m³ en la estación costera (1 mn) frente a punta Ballenita, en el extremo sur de la zona. El sector costero de la zona presenta gradientes latitudinales (este-oeste) desde Arica a Antofagasta y en el área de punta Ballenita. Los mayores gradientes costeros se registran entre Arica a Pisagua y desde Iquique a punta Lobos debido a los altos valores costeros y al foco oceánico de bajas densidades relativas (< 25,5) que se ubica entre Arica y punta Copaca. Al sur de esta última localidad, la



densidad en superficie registra en general altos valores que están en el rango de 25,6 a 25,8 en el sector oceánico y mayores a 25,8 en el costero. Bajas densidades relativas se presentaron en punta Junín, caleta Chipana, Antofagasta y rada Paposo.

3.9 soterma de 15°C

La profundidad de la isoterma de 15°C (**Figura 23b**) registró un máximo de 85 m en la estación de 75 mn frente a la península de Mejillones. El área de menor profundidad corresponde al sector oceánico desde punta Tres Picos al sur, mientras que el foco de máximas profundidades se presentó por sobre las 70 mn frente a Antofagasta. Al sur de rada Paposo esta isoterma no se registró en la vertical. Entre Arica y punta Gualaguala predominan en el sector oceánico niveles de 30 a 60 m, mientras que en la costa son de 10 a 30 m. El área costera con mayor profundidad de esta isoterma es el de punta Plata. La anomalía de esta variable muestra un amplio predominio de valores en el rango de ± 10 m en gran parte de la zona (**Figura 23c**). Los focos de anomalías positivas > 10 m están aislados, son pequeños y no superan en general los 20 m. Se destaca entre estos focos el ubicado al extremo oeste frente a Antofagasta, por sobre las 70 mn de la costa, donde se superó los 30 m. Las anomalías negativas mayores a 10 m están principalmente en el sector oceánico frente a Pisagua, el de menor área, y desde Mejillones al sur el de mayor superficie y donde se superan los -30 m desde punta Tres Picos.

3.10 Capa de mezcla (CM)

La capa de mezcla (**Figura 24a**) registró un espesor máximo de 56 m en la estación de 65 mn de la costa en la latitud 25°40'S. No obstante hay un amplio rango de espesor de esta capa, la zona de estudio registra en general un amplio



predominio de **CM** de menos de 10 m, donde espesores mayores forman focos puntuales, exceptuando dos de área mayor que abarcan tanto el sector costero y oceánico entre punta Hornos y Antofagasta y frente a punta Ballenita, donde en éste último se ubica, muy focalizado, el máximo indicado.

3.11 Oxígeno superficial (OD)

El oxígeno superficial (**Figura 24b**) presentó un rango entre 3,1 y 7,4 mL/L. En la mayor parte de la zona, y principalmente en el sector oceánico, el **OD** mantuvo concentraciones cercanas a 5 mL/L, salvo por pequeños focos mayores a 6 mL/L en las 40 mn de Antofagasta y rada Paposó. En el sector costero se observan las mayores variaciones, con focos de **OD** mayor a 6 mL/L en las 20 mn de Arica, punta Copaca y dentro de las primeras 5 mn de Antofagasta, donde además se registró el máximo del crucero. En el sector costero los focos de concentraciones de **OD** menores a 5 mL/L no sobrepasaron las 5 mn en Arica, Pisagua, donde se registró el mínimo del muestreo, punta Copaca y Mejillones, punta Tres Picos y punta Ballenita.

3.12 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 24c**), presentó un rango de 12 m a más de 100 m. Un fuerte gradiente costa-océano se observó a lo largo de la zona, siendo éste más intenso en el área de punta Copaca a rada Paposó y más débil en punta Ballenita. En el sector costero predominaron profundidades entre 20 a 40 m entre Arica y punta Tres Picos, aumentando a más de 50 m hacia el sur. Las menores profundidades se observaron en Arica, con el mínimo del muestreo y en punta Copaca (17 m). En tanto que profundidades mayores a 100 m se registraron



en el sector oceánico desde las 40 mn en punta Hornos y punta Tres Picos, más dos pequeño focos entre las 10 y 20 mn de rada Paposo y en las 60 mn de punta Ballenita.

3.13 Distribución superficial de clorofila y feopigmentos

La distribución superficial de clorofila-a estimada (**clo**) (**Figura 25a**) presentó un rango de entre 0,16 y 10,25 $\mu\text{g/L}$. Dentro de este rango, la franja productiva de concentraciones mayores a 1 $\mu\text{g/L}$ se observó casi continua a lo largo del sector costero, siendo sólo interrumpida entre punta Tres Picos y rada Paposo, donde las concentraciones más costeras fueron de 0,5 $\mu\text{g/L}$. De norte a sur, la franja productiva se extendió hasta cerca de las 60 mn en Arica, registrándose dos focos mayores a 5 $\mu\text{g/L}$, uno en las 40 mn y otro de mayor tamaño dentro de las primeras 10 mn, donde además se presentó la más alta concentración superficial. Hacia el sur, en Pisagua y punta Lobos, la franja se mantuvo muy costera sin superar las 5 mn, mientras que en punta Copaca casi llegó hasta las 20 mn, lo que se mantuvo hasta Mejillones, presentando ambas localidades focos mayores a 5 $\mu\text{g/L}$, dentro de las 10 mn y hacia la punta norte de la península entre las 5 y 10 mn, respectivamente. En Antofagasta, la franja productiva sobrepasó las 10 mn con un foco mayor a 5 $\mu\text{g/L}$ en las primeras 5 mn. En el extremo sur, en punta Ballenita, la franja productiva vuelve a extenderse hacia el oeste alcanzando cerca de las 60 mn y al igual que en Arica presentó dos focos, uno en las 40 mn con valores de 4 $\mu\text{g/L}$ y el otro costero, dentro de las 10 mn, con un máximo de 7 $\mu\text{g/L}$. En general entre Pisagua y rada Paposo, fuera de las 10 mn las concentraciones descendieron a menos de 0,5 $\mu\text{g/L}$ y un mínimo de 0,2 $\mu\text{g/L}$ en el sector oceánico entre Pisagua y punta Lobos.

La distribución superficial de los feopigmentos (**feop**) (**Figura 25b**) presentó un rango de entre 0 y 3 $\mu\text{g/L}$, con una franja de valores mayores 0,5 $\mu\text{g/L}$ entre Arica



y punta Tres Picos, registrándose concentraciones mayores a $1 \mu\text{g/L}$ en Arica, en las 40 mn y dentro de las 5 mn, en la estación costera de punta Lobos, entre las 5 y 10 mn de punta Copaca, donde se registró el valor más alto del muestreo superficial, y en el sector de la punta norte de la península de Mejillones (punta Angamos). Hacia el extremo sur, un pequeño foco mayor a $1 \mu\text{g/L}$ se midió en las 5 mn de punta Ballenita, más un foco de $0,5 \mu\text{g/L}$ en las 80 mn. En general en el sector oceánico los feop fueron inferiores a $0,2 \mu\text{g/L}$.

3.14 Distribución de clorofila y feopigmentos integrados

La clorofila-a estimada integrada (cloint) (**Figura 25c**) en la columna de 100 m presentó un rango de valores entre 16 y 327 mg/m^2 , con una distribución similar a la de la clo superficial. En este sentido los valores mayores a 60 mg/m^2 , se registraron dentro de las 60 mn en Arica con un foco superior a 200 mg/m^2 en las 5 mn, mientras que hacia el sur, una franja mayor a 100 mg/m^2 se registró entre la estación costera de punta Lobos y la punta norte la península de Mejillones, con el máximo del muestreo en las 20 mn de punta Copaca y un foco mayor a 200 mg/m^2 en las 10 mn frente a Mejillones. En Antofagasta también se registró un foco costero en las primeras 5 mn mayor a 100 mg/m^2 , al igual que en las 5 mn de punta Ballenita. En este último sector, se destaca un foco de 160 mg/m^2 ubicado en las 40 mn, el que generó un gran foco de valores mayores a 60 mg/m^2 que se extendió hasta las 80 mn. En el sector costero, valores menores a 40 mg/m^2 se registraron en Pisagua y entre punta Tres Picos y rada Paposo, similar a lo observado en el sector oceánico entre Pisagua y rada Paposo. Los valores más bajos, 20 mg/m^2 , se registraron en el sector oceánico de punta Lobos.

La distribución integrada de los feopigmentos (**feopint**) (**Figura 25d**) presentó un rango de valores entre 11 y 135 mg/m^2 , con sólo dos áreas de más de 40 mg/m^2 : Arica, con un máximo de 80 mg/m^2 en las 20 mn y entre punta Lobos y Mejillones,



registrándose el máximo del muestreo en las 10 mn de punta Copaca. En el resto de la zona los feopint fluctuaron alrededor de 20 mg/m².

3.15 Distribución vertical de temperatura

La distribución vertical de temperatura se muestra en las **Figuras 26 y 27**. Esta presentó en los primeros metros de casi todas las secciones una capa de agua de mayor temperatura la que generó una termoclina dentro de los primeros 50 m. En general la temperatura descendió de norte a sur, registrándose máximos de 18°C en Arica y Pisagua y valores mayores a 14°C en punta Ballenita, por lo que el gradiente se debilitó en el mismo sentido. En todas las transectas la termoclina presentó pendiente positiva hacia la costa interceptando la superficie entre Arica y punta Hornos llegando a la superficie en esta última localidad con una temperatura de 15°C, mientras que en punta Ballenita fue la isoterma de 14°C la que llegó a la superficie. Lo anterior generó a nivel superficial un gradiente horizontal de importancia dentro de las 10 mn entre Arica y punta Copaca. Bajo los 100 m las isotermas se mantuvieron relativamente paralelas a la superficie e incluso presentaron pendiente negativa lo que se observó con mayor intensidad desde la isoterma de 12°C en Pisagua y entre punta Copaca y punta Tres Picos.

3.16 Distribución vertical de salinidad

La distribución vertical de salinidad se muestra en las **Figuras 28 y 29**. La mayor variabilidad en la salinidad se observa dentro de los 100 primeros metros, con un núcleo salino de valores mayores a 34,9 en la capa superficial oceánica registrado entre Arica y punta Copaca, el que presentó un máximo de 35,1 en las 10 mn de Pisagua, mientras que hacia el sur se observó muy disminuido y restringido hacia el sector oeste. Este núcleo se acercó a la costa en Pisagua y Punta Lobos, llegando hasta cerca de las 5 mn. Un segundo núcleo pero de baja salinidad se



registró por debajo del núcleo salino y fue intensificándose hacia el sur donde se registraron salinidades mínimas de 34,4 en punta Hornos, punta Tres Picos y rada Paposo. Este núcleo se centró en torno a los 70 m en el sector oceánico, haciéndose presente en el sector costero más claramente entre punta Tres Picos y punta Ballenita donde alcanzó la superficie con valores de 34,6, por lo que participó en la surgencia. El tercer núcleo estuvo centrado en los 150 m del sector costero principalmente, este presentó valores de 34,8 entre Arica y punta Hornos disminuyendo su presencia y valor de norte a sur, registrándose valores de 34,7 desde bahía Moreno al sur. Este núcleo participa en la surgencia entre Arica y punta Lobos con valores de 34,8. Bajo los 300 m la salinidad disminuye gradualmente hasta valores cercanos a 34,5 en los 500 m.

3.17 Distribución vertical de densidad

La distribución vertical de densidad se muestra en las **Figuras 30 y 31**. Esta variable mostró las mayores variaciones dentro de los 100 primeros metros, presentando una capa superficial de bajos valores que aumentaron gradualmente hacia el sur. En este sentido la densidad en los primeros metros alcanzó los 25,4 Kg/m^3 en Arica y Pisagua mientras que en punta Ballenita alcanzó a valores de 26 Kg/m^3 con un pequeño foco superficial de 25,8 Kg/m^3 . Esta capa variable generó un gradiente entre los 50 y 100 m, pycnoclina, que disminuyó su intensidad de norte a sur y que tuvo pendiente positiva hacia la costa en todas las secciones. Bajo los 100 m las isolíneas se mantuvieron relativamente paralelas a la superficie aumentando gradualmente con la profundidad hasta registrarse un valor de 26,8 cercano a los 400 m en todas las secciones.



3.18 Distribución vertical de las anomalías de temperatura y salinidad

En la **Figura 32** se muestran los valores de anomalía de temperatura y salinidad en la vertical de las secciones de Arica, punta Lobos y bahía Moreno. La capa de los primeros 100 m de profundidad de la sección de Arica registra valores negativos de anomalía de temperatura y salinidad, con núcleos más pequeños de un máximo -2 y -0.2 , respectivamente, ambos centrados en el nivel de 25 m y en las 30 mn de la costa. Bajo el nivel de 100 m sólo hay valores de anomalía menores a $0,5^{\circ}\text{C}$ y $0,5$ (absoluto) en temperatura y salinidad respectivamente. La sección de Punta Lobos registra en la capa de los primeros 50 m valores de anomalías positivas de ambas variables, los que en general superan 1°C y $0,1$, con núcleos pequeños de hasta 2° y $0,2$ entre las 5 y 10 mn. Bajo el nivel de 50 m, la temperatura registra valores menores a $0,5^{\circ}$, sin embargo en la salinidad las anomalías negativas son más intensas con un núcleo de $-0,1$ que abarca entre los 50 y 100 m y se extiende desde las 10 mn hasta al menos el límite oeste de la transecta. En la sección de bahía Moreno, los primeros 100 m registran valores negativos de temperatura que superan los $0,5^{\circ}\text{C}$ (absoluto) con un núcleo de -1 en el centro de la sección y un máximo de -2°C . En la misma capa de agua, las anomalías de salinidad registran una situación variada, es decir valores positivos y negativos en el rango de $-0,05$ a $0,05$, pero con algunos núcleos pequeños de valores tanto negativos y positivos pero menores a $0,1$. Bajo el nivel de 350 m se destaca en ambas variables un núcleo de valores negativos de $0,5^{\circ}\text{C}$ y $0,05$ centrado en las 40 mn.

3.19 Distribución vertical de OD

La distribución vertical de **OD** en la capa de los primeros 100 m se muestra en la **Figura 33**. Se aprecia en todas las secciones una clara elevación del gradiente óxico, concentraciones entre 1 y 5 mL/L, hacia el sector costero, llegando a



interceptar la superficie en la estación costera de la mayoría de las secciones. Las excepciones correspondieron a las secciones de punta Lobos, bahía Moreno y rada Paposo, donde el gradiente partió desde los 10 m. En relación a lo anterior, en general en las estaciones costeras, el gradiente partió desde o cercano a la superficie, observándose muy intenso dentro de los primeros 20 m entre Arica y punta Copaca y debilitándose notablemente hacia el sur, registrándose la isolínea de 1 mL/L cercana a los 60 m en las últimas dos secciones. Fuera de la costa, la isolínea de 1 mL/L tendió a profundizarse hacia el sur, no siendo detectada fuera de las 20 mn en punta Hornos, en las 40 y 80 mn de punta Tres Picos, entre las 10 y 20 mn de rada Paposo y en las 60 mn de punta Ballenita. Por otra parte, la capa superficial bien oxigenada tuvo un espesor variable que tendió a aumentar hacia el sur, con máximos oceánicos entre 30 m en la sección de Arica y hasta 75 m en Bahía Moreno, presentando focos de concentraciones de 6 mL/L en punta Copaca, punta Hornos y rada Paposo y de 7 mL/L en las 10 mn de Arica y en las 5 mn de bahía Moreno.

3.20 Distribución vertical de clorofila-a y feopigmentos

La distribución vertical de clorofila-a en la capa de los primeros 100 m se muestra en la **Figura 34**. La mayoría de las secciones presentaron núcleos de concentraciones mayores a 1 $\mu\text{g/L}$, siendo la única excepción rada Paposo, donde las concentraciones más altas fueron sólo mayores a 0,5 $\mu\text{g/L}$. Estos núcleos de **clo**, en general, se distribuyeron dentro de los primeros 20 a 35 m, siendo la excepción punta Ballenita, que presentó un núcleo oceánico de gran tamaño entre las 40 y 80 mn el que tuvo un espesor máximo de 60 m. Tanto la sección de Pisagua como la de punta Tres Picos exhibieron núcleos de sólo 1 $\mu\text{g/L}$, siendo el primero muy costero, mientras que el segundo se extendió hasta las 20 mn. Las restantes secciones presentaron concentraciones más altas, superando los 5 $\mu\text{g/L}$. De norte a sur la sección de Arica presentó el núcleo de mayor tamaño,



ocupando las 60 mn con concentraciones mayores a 2 $\mu\text{g/L}$, además de presentar un foco superficial de más de 5 $\mu\text{g/L}$ en las 40 mn y un foco costero principal donde se registraron las concentraciones más altas del crucero, superando los 15 $\mu\text{g/L}$. En punta Lobos el núcleo fue muy costero, 5 mn, presentando un máximo de 9 $\mu\text{g/L}$, mientras que en punta Copaca, punta Hornos y bahía Moreno los núcleos se extendieron hasta cerca de las 20 mn, con máximos superiores a 10 $\mu\text{g/L}$. Finalmente, punta Ballenita presentó dos núcleos, uno costero primeras 10 mn con un máximo de 7 $\mu\text{g/L}$, y un segundo núcleo oceánico de gran tamaño con un máximo de 5 $\mu\text{g/L}$.

La distribución vertical de feopigmentos (**feop**) en la capa de los primeros 100 m se muestra en la **Figura 35**. Los feop presentaron núcleos de concentraciones mayores a 1 $\mu\text{g/L}$ en seis de las transectas, siendo el de mayor tamaño el de Arica al extenderse hasta las 40 mn, con un máximo de 3 $\mu\text{g/L}$ en las 5 mn. Punta Lobos presentó un núcleo muy costero con máximos también de 3 $\mu\text{g/L}$, mientras que en punta Copaca el núcleo de 1 $\mu\text{g/L}$ se ubicó entre las 5 y 10 mn. En punta Hornos el núcleo se extendió hasta cerca de las 20 mn con un máximo de 3 $\mu\text{g/L}$ y en bahía Moreno el núcleo subsuperficial de menor tamaño llegó hasta las 10 mn con un máximo de 2 $\mu\text{g/L}$. En punta Ballenita se detectaron dos pequeños focos casi imperceptibles de 1 $\mu\text{g/L}$, mientras que en Pisagua, punta Tres Picos y rada Paposó los máximos fueron sólo mayores a 0,5 $\mu\text{g/L}$.

3.21 Serie de Transporte Ekman

La serie de transporte Ekman (**TE**) calculado a partir de los vientos registrados entre Enero y Septiembre de 2012 en los aeropuertos de Iquique y Antofagasta se muestran en la **Figura 36**. La serie de Iquique presenta entre enero y mayo valores de **TE** mayores, que pueden ser el doble o más, a lo registrado en Antofagasta. Desde julio en adelante el **TE** es similar en ambas localidades,



aunque Iquique sigue presentando eventos aislados m3s intensos. La serie de Antofagasta tiene adem3s una menor variabilidad y por lo general, el **TE** no supera los 1000 m³/s con un promedio aproximado a los 500 m³/s, mientras que en Iquique este promedio supera los 1000, con eventos que superan los 2000 y 3000 m³/s en enero-mayo y septiembre. Ambas series se3alan una tendencia a mostrar los menores valores de **TE** entre mayo y agosto. En el periodo del crucero, la 3ltima semana de agosto registra en ambas series un evento intenso de transporte hacia la costa (**TE** negativo), mientras que en septiembre la serie de Iquique registra una clara disminuci3n del **TE** hacia mediados de mes (segunda y tercera semana), con un promedio de 500 m³/s e incluso con el desarrollo de eventos d3biles de transporte hacia la costa.

3.22 Informaci3n Satelital

3.22.1 TSM y ATSM satelital

Las **TSM** satelital de las 4 semanas del crucero se muestran en la **Figura 37**. Las dos 3ltimas semanas, y en particular la tercera, tienen una cobertura nubosa importante. En las im3genes se aprecia un sector oce3nico m3s c3ldo que en la costa, aunque los gradientes costeros observados con los datos de crucero no aparecen en estas im3genes, debido a la baja resoluci3n de esta metodolog3a en las primeras millas de la costa. No obstante lo anterior, en el sector oce3nico se aprecia una distribuci3n de **TSM** similar entre ambas cartas. En general, las mayores **TSM** se presentaron en la primera semana de crucero, con valores mayores a 18°C entre Arica e Iquique, **TSM** de 17° a 18° hasta punta Gualaguala y menores a 17°C hacia el sur. Los focos c3ldos, con **TSM** > 17°C ubicados frente a punta Tres Picos y Tal-Tal s3lo se observan en esta semana, sin registrarse tampoco en la carta de datos de terreno. Hacia la segunda semana ocurre una



disminución general de las **TSM** respecto de la primera en alrededor de $0,5^{\circ}$ a 1°C . En las dos últimas semanas hay una clara disminución de las **TSM** en el sector costero desde Mejillones al sur, principalmente en la tercera semana. La carta de anomalías de **TSM** (**ATSM**) satelital se muestra en la **Figura 38** y señala un amplio predominio de valores de **ATSM** en el rango de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, aunque entre Arica y los $19^{\circ}30'S$ hay **ATSM** levemente mayores a 1°C en las cercanías de la costa.

3.22.2 Clorofila satelital

Las clorofila satelital de las 4 semanas del crucero se presentan en la **Figura 39**. En general, las imágenes de las cuatro semanas presentaron una gran cobertura nubosa, pero se puede indicar que durante la primera semana y entre los 21° y 25°S se registraron concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ con focos $> 5 \mu\text{g/L}$ en Arica, entre Mejillones y Antofagasta, con máximos hacia la punta norte de la península y un foco oceánico $> 1 \mu\text{g/L}$ al sur de los 22°S . En la segunda semana se mantuvo el foco de Arica pero desaparece el foco de la península, y visualizan numerosos focos pequeños y muy costeros $> 7,5 \mu\text{g/L}$ entre los 19° y $21^{\circ}30'S$, y dos focos oceánicos al sur de los 22°S de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ y máximos $> 2,5 \mu\text{g/L}$ centrados en los 72°W y en los $73^{\circ}30'S$. En la tercera semana sólo se logra ver un foco de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ en el área de Mejillones hasta punta Copaca, con máximos muy costeros $> 5 \mu\text{g/L}$ y otro de Antofagasta hasta el sur de los 24°S con máximos de $25 \mu\text{g/L}$ en esta última área. En la cuarta semana casi todo el borde costero presenta concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$, muy pegado a la costa al norte de los 20°S y con una máxima extensión hacia el oeste en Arica y al sur de Iquique. Las mayores concentraciones se registraron en Arica con más de $20 \mu\text{g/L}$, mientras que entre el sur de Iquique (siendo este el de mayor tamaño) y Antofagasta se registraron numerosos focos de concentraciones $> 10 \mu\text{g/L}$, con una máxima concentración $> 15 \mu\text{g/L}$ al sur de caleta Chipana.



3.22.3 Anomalía del nivel del mar

Las imágenes de anomalía del nivel del mar (**ANM**) y velocidad geostrófica superficial (**VGS**) (**Figura 40**) indican que durante todo el periodo del crucero hubo presencia de giros y estructuras de mesoescala que sólo variaron en el valor de la **ANM** y la **VGS** asociada a ellos pero no así en la ubicación. Las dos primeras semanas son relativamente similares, destacándose una intensificación de las **ANM** y de la **VGS** asociadas al giro anticiclónico centrado en los 21°S y 73°W y que se extiende hacia la costa. En las dos últimas semanas las **ANM** positivas y las **VGS** asociadas a los giros y estructuras anticiclónicas, disminuyen notoriamente respecto de las dos primeras semanas, decreciendo también las áreas asociadas a ellas. Junto a esto, los giros ciclónicos se intensifican y también las **ANM** negativas. Este conjunto de cambios provoca, en general, que en la zona haya un aumento del área con anomalías negativas en las dos últimas semanas, aunque de baja intensidad (< 4 cm) y también una disminución de la **VGS**, siendo sólo las áreas asociadas a los giros ciclónicos las únicas que la intensifican levemente.

3.23 Serie de tiempo satelitales

3.23.1 Serie de Temperatura satelital

En la **Figura 41** se entrega en forma combinada el índice ecuatorial multivariado (**MEI**), promedio de las **ATSM** en las bandas costeras y oceánicas y la serie de **ATSM** para ambas áreas entre los 18° y 28°S desde julio 2002 a septiembre de 2012.



En la serie de anomalías se destacan dos periodos de **MEI** negativos como los más intensos, los que ocurrieron en los años 2007, con anomalías negativas de 1°C en el sector costero y 2°C en el oceánico, y 2010 con anomalías > 1° en la costa y cercanas a 1°C en el sector oceánico. Hay también dos periodos de **MEI** positivos principales. El primero en el año 2006 por cobertura espacial y temporal, con anomalías positivas de **TSM** que se mantienen prácticamente todo el año con un pico en el primer semestre donde se registran **ATSM** mayores a 1°C. El segundo periodo cálido en la zona norte se presenta en los años 2009-2010, donde hubo **ATSM** en general > 1°C en la costa y > 2°C en el sector oceánico, principalmente entre los 18° y 21°S. En el periodo 2002-2006 se registró en general una situación de **ATSM** variable, tanto negativa como positiva, pero que en general no supera el valor de 1°C de anomalía, con algunas excepciones. El primer semestre de 2011, que registró condiciones “La Niña” débiles en el sector intertropical como es mostrado por el **MEI**, se presentaron en la zona de estudio **ATSM** en general positivas, tanto en la costa como en el sector oceánico, pero que no superaron el valor de 1°C.

En el periodo de transición siguiente que comenzó en mayo 2011, indicado también por el **MEI**, como de igual forma en la reactivación del periodo frío “La Niña” posterior, las **ATSM** en la zona variaron entre -0,5 y 0,5°C pero sólo hasta diciembre de 2011. Durante el 2012 (hasta septiembre), tanto en la costa como en el sector oceánico se registraron anomalías positivas en general > 0,5° y de hasta 1°C en promedio en toda la zona (18° a 28°S), pero que localmente entre Arica y Antofagasta superaron los 2°C en marzo y se mantiene sobre el valor de +1°C hasta mediados de año. Entre junio 2012 y hasta el final de la serie (septiembre), momento del crucero MPH 2012, los valores de **ATSM** se mantuvieron positivos y en promedio de 0,5°C.



3.23.2 Serie de Clorofila satelital

En la **Figura 42** se entrega en forma combinada el **MEI**, la serie promedio de las clorofilas satelitales en la banda costera de las primeras 20 mn entre los 18° y 23°S y entre los 23°S y 28°S y la serie de cloa para el sector costero y oceánico entre los 18° y 28°S. La serie costera de clorofila muestra la disminución de los focos de altas concentraciones con posterioridad al 2008 (**Figura 42b**), manteniéndose sólo el sector entre los 19 y 20°S como los focos más importantes y recurrentes. En el sentido latitudinal la franja costera productiva se ve interrumpida a la altura de la península de Mejillones, ya que hacia el sur sólo el sector 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. Cabe destacar que en el sector sur se observa una clara tendencia estacional con un mínimo entre otoño – invierno.

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 sector más recurrente en el tiempo. Desde 2009 en adelante sólo un par de focos se registraron a comienzos de 2009 y 2010, aproximadamente en los 23°40'S. En cuanto a la serie de promedios, en el sector norte una fuerte fluctuación se manifiesta desde los primeros años hasta finales de 2007, pasando a continuación a un periodo de mayor estabilidad que dura hasta finales de 2012. En este sentido, entre finales de 2008 y finales de 2011 se observa una clara tendencia negativa en la serie, en particular, prácticamente todo el año 2010, 2011 y el primer semestre del 2012, tuvo valores menores al promedio, 12,4 µg/L. En 2012 aunque en los primeros meses la clorofila se mantuvo bajo el promedio aparentemente cambió a una tendencia positiva, con un máximo de 14,9 µg/L en el mes de julio. En el sector



sur por su parte, el rango de valores es menor, fluctuando la mayoría de los datos entre 10 y 12 $\mu\text{g/L}$ con un promedio de 10,8 $\mu\text{g/L}$ y un máximo de 14,5 $\mu\text{g/L}$ en julio de 2005, sin mostrar la serie una tendencia clara. En particular el mes de septiembre de 2012 tanto en el sector norte como sur el valor estuvo bajo y levemente por debajo del promedio, similar a lo observado en años anteriores.

3.24 Condiciones regionales (Pacífico Ecuatorial)

En las series de tiempo de las **ATSM** de los sectores Niño (**Figura 43**) se observa un claro desfase en el cambio de las anomalías. En particular, el sector Niño 4 (Pacífico Ecuatorial Occidental) muestra claramente el desarrollo de las condiciones frías “La Niña” 2011-2012 y la posterior aparición de anomalías positivas desde fines de junio de 2012 asociado a la fase ENSO neutral, sin embargo, en el sector Niño 1+2 éstas comenzaron 3 meses antes con una rápida transición de $-0,5^\circ$ en enero a valores de $+1^\circ\text{C}$ en febrero, disminuyendo en marzo a $+0,5^\circ\text{C}$, pero con valores $> 1^\circ$ desde Abril hasta comienzos de julio. Las **ATSM** positivas disminuyeron en agosto y registraron cierta variabilidad, pero se mantuvieron en agosto y septiembre con valores positivos de $+0,5^\circ\text{C}$.

La serie del **MEI** en el periodo julio 2002 a septiembre de 2012 (**Figura 44a**) 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 va desde abril 2012 al último mes de la serie. Los valores **MEI** de estas fases positivas no superaron el valor de 1,5, midiéndose ese máximo en febrero de 2010. En este último periodo de **MEI** positivos el máximo se midió en el mes de julio donde fue 1,1, mientras que agosto y septiembre registraron 0,57 y 0,27, respectivamente. En esta serie, la primera fase negativa del **MEI** fue breve y se dio entre octubre de 2005 y abril de 2006 con valores máximos de -0,62. La segunda fase fue más prolongada y abarcó prácticamente



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. Finalmente, el periodo de los **MEI** más negativos en esta serie, y la segunda desde 1950, partió en junio de 2010, con un máximo de -2,1 en el mes de septiembre, y finalizó en marzo de 2012 con un **MEI** de -0,4. Los rangos de los datos **MEI** que son promedios de dos meses (**Figura 44b**), muestran que en la serie 2002-2012 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 en noviembre del mismo año. 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 pasó 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 periodo de abril a septiembre de 2012 muestra valores positivos de **MEI** y una categorización de “Niño” moderado para el mes de julio (rango 57), con un rápido descenso de los valores desde ese mes en adelante hasta octubre (rango 37).



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

4.1 Número de lances en muestreo de adultos

Los lances de pesca efectuados por las distintas embarcaciones que participaron en la recolección de los ejemplares de anchoveta fueron 108 en total, de éstos, 46 resultaron efectivos (**Tabla 9; Figura 45**).

Cabe mencionar que durante el desarrollo del proyecto situaciones externas afectaron el muestreo de los ejemplares adultos de anchoveta, una vez que se levanto la veda biológica del recurso, las empresas pesqueras dispusieron el zarpe de todas sus naves pero el 25 de septiembre los tripulantes de ambas compañías pesqueras acordaron paralizar la flota con el fin de cautelar el proceso biológico del desove. El 1 de octubre los tripulantes pesqueros solo permitieron el zarpe de un número reducido de naves, pero este acuerdo se revirtió al día siguiente, finalmente ellos dispusieron del zarpe de toda la flota a contar del 15 de octubre.

No obstante lo anterior, la estrategia utilizada permitió obtener suficientes lances con pesca de anchoveta de acuerdo a lo requerido por el Método de Producción de Huevos.

4.2 Número de anchovetas muestreadas en cada lance

En los lances con presencia de hembras hidratadas, se muestrearon 30 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 d3a 1, como de d3a 2 y la combinaci3n de ambos, seg3n lo planteado en propuesta t3cnica, las que se analizaron histol3gicamente de acuerdo a lo propuesto por Rojas y Oliva (1993), con el fin de registrar la incidencia de fol3culos postovulatorios para la determinaci3n de la frecuencia de desove.

4.3 Distribuci3n espacial de anchoveta

La distribuci3n espacial adoptada por los ejemplares adultos de anchoveta durante el periodo de estudio, se extendi3 latitudinalmente desde caleta Vitor ($18^{\circ}45'$) hasta el norte de Antofagasta ($23^{\circ}21'S$) y desde la primera hasta las 15 mn. Particularmente se detecto anchoveta en estaciones costeras, al sur del puerto de Arica en el sector comprendido entre caleta Vitor a caleta Camarones, se congregan en este sector el 37% de los lances efectivos, el resto de los lances se concentraron entre Mejillones del norte a caleta Molle (22%), el sector comprendido entre punta Lobos y el r3o Loa con un 26% y el sector comprendido entre Tocopilla y Antofagasta con un 15% (**Figura 45**).

4.4 Distribuci3n de tama3os de ejemplares de anchoveta

Durante el crucero se midieron 5.412 anchovetas, cifra 7,8 % menor respecto al a3o 2011. Del total de anchovetas medidas, 2.848 correspondieron a machos con longitudes comprendidas entre 11,5 a 16,5 cm de longitud total, con una moda en los 13,0 cm (23,4 %), mientras que las hembras (2.564 ejemplares) presentaron un rango de tama3o comprendido entre los 12,0 y 18,5 cm de longitud total, con una moda en los 13 cm (21,8 %). En comparaci3n con las tallas observadas en igual per3odo del a3o 2011, se observan diferencias en la amplitud de talla (machos: 10,0 – 17,0 cm; hembras: 10,0 – 17,5 cm) y valores modales en machos (15,0 cm) y hembras (15,0 cm) (**Figura 46**).



4.5 Proporción sexual en peso de hembras maduras

Se procesaron los 46 lances para proporción sexual, totalizando 4634 ejemplares, de los cuales 2195 correspondieron a hembras. La proporción de hembras para el total de lances analizados presentó una amplitud comprendida entre 0,12 y 0,7 (**Tabla 10**) con un promedio de 0,49, una varianza igual a 0,00042 y un coeficiente de variación de 4,2%.

4.6 Peso promedio de hembras maduras

La distribución de tallas de las hembras en el año 2012 presenta un rango amplio con moda entre 14,5 y 15 cm LT (**Figura 47**).

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

$$PT = -0,205 + 1,069*PC$$

$$r^2 = 0,99$$

$$n = 1475$$

El peso promedio del cuerpo de las hembras maduras, fluctuó de 15,0 a 28,5 gramos (**Tabla 10**). El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 20,12 gramos, con una varianza de 0,276 y un coeficiente de variación de 2,6%.



5. Objetivo específico 2.4 ***“Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos”***

Producción diaria de huevos

El número de huevos por estadio de desarrollo, indicó una mayor representación en el estadio 2, 3 y 4, observándose una disminución paulatina a partir de este, situación normal respecto del promedio histórico en que el estadio 1 y 2 se encuentran sub-representados (**Figura 48**) debido a su baja probabilidad de muestreo.

La distribución de huevos de anchoveta es costera, con expansiones hacia el océano en la zona de Arica (**Figura 13**).

5.1 Asignación de edad a Huevos

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

Estimación tradicional de Lo:

La ecuación utilizada en esta oportunidad 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). Cabe destacar que los resultados de todos los años en este informe están en base a información de *Engraulis ringens*, basado en experimentos sobre la



tasa de desarrollo de huevos en funci3n de la temperatura que fue implementado e informado en el Informe Final del Proyecto FIP 2006-38 (Claramunt *et al*, 2007). En este sentido, los datos anuales hist3ricos fueron recalculados, por lo tanto los resultados para todos los a1os provienen de la misma metodolog3a que utiliza el modelo de desarrollo-temperatura dependiente ajustado para *E. ringens*. Los par3metros de la ecuaci3n se entregan en la **Tabla 4**.

Modelo Multinomial

El modelo probabil3stico multinomial utilizado para la dataci3n de huevos de anchoveta zona norte se entrega en la **Figura 4 y Tabla 5**.

5.2 Estimaci3n de Po

En la **Tabla 11** se entregan los resultados de las estimaciones de Po y Z seg3n las dos metodolog3as contenidas en los paquetes *eggs* y *eggsplore* de R. Para el “Modelo de Lo GLM” la desviaci3n est3ndar de la edad de los huevos para el estadio es tomado de los experimentos de incubaci3n. En el caso del Modelo Multinomial se especific3 la desviaci3n est3ndar en 1,5 horas en el par3metro “Spawn.sig” dentro de “depm.control” en el paquete *eggs* de R. La producci3n diaria de huevos estimada para el modelo de Lo es de 50,69 huevos/0,05m²/d3a con un coeficiente de variaci3n de 0,22. En el modelo multinomial la estimaci3n es de 32,21 huevos/0,05m²/d3a con un coeficiente de variaci3n de 0,21. La tasa de mortalidad instant3nea para el modelo de Lo se estima en 0,027 hora⁻¹ y para el modelo Multinomial en 0,018 hora⁻¹, con errores est3ndar de 0.0077 y 0.008 respectivamente, siendo ambas mortalidades significativamente distintas de cero (P>0,05).



Una vez ponderados por la proporción que es el área positiva respecto del área total, la producción diaria de huevos (**Figura 49**), muestra una situación similar con respecto al resultado del año 2011 en el modelo de Lo. Para el Multinomial presenta una leve caída respecto del 2011.

6. Objetivo específico 2.5 “Estimar la proporción de estadios de madurez sexual microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta con su varianza asociada”

Se analizaron 1.546 hembras, correspondientes a 45 lances provenientes de la Pesca de Investigación (**Tabla 12**). El análisis histológico de los ovarios indicó que el 100% de las hembras se encontraban activas (capaces de desovar en un futuro cercano, excluyendo las en reposo o regresión). El comportamiento reproductivo de la anchoveta evidencia que el crucero se efectuó durante el máximo proceso de desove.

6.1 Fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta

La distribución horaria de los estadios ováricos y FPO obtenidos en los proyectos del 2004 al 2011 de acuerdo a la metodología seguida por Claramunt *et al* (2007) se entrega en la **Tabla 13** y es representada en la **Figura 5**. 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 14**). La **Figura 5** indica que el estadio de núcleo migrante (EMM 5) se manifiestan a partir de las 23:00 horas, máximo hacia las 8:00 h 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 hrs. 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 5 y Tabla 14**). La distribución del estadio FPO V presenta una gran amplitud, indicando un posible sobrelapso con una noche anterior de desove (i.e. > 24 horas). La evolución temporal de los estadios FPO VI y VII son casi similares, con un máximo relativo entre las 6:00 y 10:00 horas, pero que correspondería al 2º día después del desove. Al graficar las edades medias predichas por el ajuste del modelo normal (**Figura 50**) 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 un pequeña proporción del estadio IV, un 6,1% aprox. estimado según ajuste (**Tabla 14**) y 6,5% observado (**Tabla 13**), provendría de la noche anterior de desove, esto es, las hembras con FPO IV capturadas entre las 18:00 PM y 2:00 h AM provendrían de la noche anterior de desove (i.e. Tienen más de 24 horas), ya que en este lapso se está produciendo el desove (FPO I) y la degeneración no es tan rápida.

Para el año 2012, la distribución horaria de los FPO muestra la misma tendencia que la obtenida para los años 2004 al 2011 (**Figura 5**). 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 N3cleo Migrante (EMM 5) e Hidratado (EMM 6) como pertenecientes al grupo de desove que desovar3 dentro de las pr3ximas 24 horas, la fracci3n desovante se estima en 0,292, con una varianza de 0,0006 y un coeficiente de variaci3n de 8,3%. Considerando los FPO de I al IV (Excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 AM) como correspondientes hembras que desovaron la noche anterior, es decir, con edades menores a 24 horas, la fracci3n diaria de hembras desovantes se estima en 0,225 con una varianza de 0,00039 y un coeficiente de variaci3n de 8,7%. Test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones ($P > 0,05$), por tanto al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracci3n diaria de hembras desovantes de 0,258, una varianza de 0,00018 y un coeficiente de variaci3n de 5,3%.

Es necesario se3alar que los criterios de dataci3n de los FPO cambiaron desde el a3o 2007 respecto de las evaluaciones anteriores, debido a los avances ya se3alados en el proyecto FIP 2006-38 (Claramunt *et al*, 2007), por lo que no se pueden realizar comparaciones v3lidas con estimaciones de a3os anteriores al 2007. Sin embargo, la nueva clasificaci3n de los estadios para la estimaci3n de fracci3n desovante (N3cleo migrante + Hidratadas y FPO I al IV) ha mostrado bastante consistencia entre ellos (**Tabla 15**).



7. Objetivo específico 2.6 “Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación, y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas”

<

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

En el ajuste de la fecundidad parcial en función del peso corporal, para las 42 hembras que efectivamente clasificaron microscópicamente como hidratadas (**Figura 51**) 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.

$$\text{Fecundidad} = -1336,6 + 692,1 * (W)$$

$$n = 42$$

$$r^2 = 0,49$$

$$S_a = 2417,45$$

$$S_b = 111,25$$

$$S_{yx} = 2122,43$$



La regresión ajustada para el año 2012 predice fecundidades dentro del rango de la serie, (**Figura 52; Tabla 16 y 17**).

La fecundidad parcial promedio, utilizando el ajuste correspondiente a los del 2012 correspondiente a los 45 lances efectivos varió de 8.353 a 17.188 ovocitos por hembra (**Tabla 10**). La fecundidad media poblacional resulta de 11.793 ovocitos, con una varianza de 186465 y un coeficiente de variación de 3,7%.

8. Objetivo específico 2.7 *“Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos”*

La biomasa desovante estimada por el modelo tradicional de Lo resulta en 672077 ton, con una varianza de 5,188022E+10 y un coeficiente de variación de 33,9%. Por el Modelo Multinomial se estima una biomasa de 427071 ton con una varianza de 1,866095E+10 y un coeficiente de variación de 32% (**Tabla 18**). Estas diferencias se explican por los distintos ajustes de acuerdo a la datación de los huevos. Sin embargo, ambas estimaciones son similares a las del 2011, con una leve caída (**Figura 53**). Esta tendencia también se observa en el área de desove, la cual es levemente inferior al 2011 (**Figura 54**).



9. Objetivo específico 2.8 *“Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores y los resultados del presente proyecto”*

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

La cobertura espacial de la distribución geográfica de huevos, para las temporadas de invierno comprendida entre los años 1992-2012, se presenta en la **Figura 55**. De la misma manera, en las **Figuras 56 y 57** se observan las reparticiones espaciales de la temperatura y salinidad de igual período.

En los años 1992-1996, la cobertura geográfica de los huevos exhibió un moderado comportamiento territorial que reportó regulares concentraciones. El foco que exhibió las mayores densidades se emplazó entre Iquique y Tocopilla vinculado preferentemente a aguas de 14-16°C y a bordes de gradientes térmicos (**Figura 56 y 58a**). En el caso de la salinidad, éstas registraron altos valores asociados al evento “El Niño”, incluso alcanzando los 35,5 psu al norte de Iquique (**Figura 57**). La asociación entre las variables muestra que los huevos se encuentran desde los 34,3 a 34,9 psu, con una preferencia por los 34,5-34,7 psu (**Figura 58b**).

Para el 1997 se reportó una repartición espacial más desplazada hacia el sur debido a los efectos del fenómeno ENOS, detectándose tres núcleos principales: el primero se localizó frente a Arica muy pegado a la costa; el segundo se ubicó frente



a punta Lobos (latitud 21°S) a una distancia de 40-50 mn y es el más importante; y el tercero se sitió entre Mejillones y Antofagasta (**Figura 55**). Por parte de la temperatura mostró un gran aumento debido al fenómeno ENOS, destacándose que el núcleo de mayor densidad de huevos esta relacionado con el borde costero de las aguas de 18-19°C, en este año los huevos se presentaron en un rango de 15-21°C, con una predilección por las temperaturas de 17-18°C (**Figura 58a**). De igual manera la salinidad experimentó un importante incremento, en este año los huevos se distribuyen en el rango 34,7-35,2 psu, y se relacionaron mayoritariamente a salinidades superiores a los 34,8 psu.

En el período 1999-2001, la cobertura territorial de huevos disminuyó significativamente (a excepción del año 2000), sin embargo se detectaron núcleos de grandes densidades, un primer sector comprendió desde el sur de Iquique hasta las proximidades de Tocopilla en una zona que no sobrepasa las 25 mn de la costa; el segundo se observó a unas 50 mn frente a Tocopilla y el tercero se emplazó entre Mejillones-Antofagasta y se caracterizó por una altísima densidad de huevos (supera los 1.500 h/0,05m²) y por su cobertura netamente costera. Respecto a la relación con la temperatura se observó que el primer núcleo se encuentra en aguas surgentes en tanto que el último y más importante esta asociado a una masa de aguas frías de temperaturas de 13-14°C. En cuanto a las salinidades, éstas decaen considerablemente y se ubican en el estrato 34,1-35,2 psu, a su vez, estos años la ocupación espacial de los huevos es muy baja y se concentraron en el estrato 34,7-35,1 psu asociados mayoritariamente a la moda de 34,7-34,89 psu (**Figuras 57 y 58b**).



Entre los años 2002 y 2004 hubo un leve aumento en la extensión territorial, especialmente se observó una gran cantidad de estaciones positivas en el año 2002, en este período se destacaron dos grandes focos: el primero se localiza al sur de Arica y se extiende incluso hasta el oeste de los 71°W, este foco se caracterizó por presentar densidades intermedias y el segundo núcleo se ubica entre Iquique y el Loa y abarcó un área de casi 1.000 mn² y logró densidades superiores a los 1.000 h/0,05m². En cuanto a su asociación con la temperatura, los núcleos se encontraron en aguas que fluctúan entre los 13 y 17°C y en sectores de gradientes térmicos relevantes. Respecto a la salinidad, los huevos se localizaron en el estrato de 34,4-35,2 psu, con una nítida predilección por el estrato 34,7 y 34,8 psu, lo que es coincidente con lo expuesto en años anteriores.

Durante los años 2005-2007, hubo un leve crecimiento en la cobertura geográfica de los huevos, en especial en el sector ubicado al norte de Iquique. En estos años, se observaron tres focos principales: el primero se localizó frente al puerto de Arica y es un foco oceánico que registra las mayores concentraciones con densidades superiores a los 1.000 h/0,05m² y que abarcó aproximadamente 280 mn²; el segundo centro se ubicó frente a Iquique y que está restringido por el borde interno de las aguas surgentes de 15°C y cubre un área aproximada de 700 mn²; por último el tercer núcleo se situó entre Pta. Lobos y Tocopilla y también está restringido por el borde interno de las aguas de 15°C, logra densidades superiores a los 500 h/0,05m² en un área aproximada de 800 mn². En relación al temperatura, como se mencionó anteriormente, los núcleos principales quedaron restringidos por el borde interno de las aguas de 15°C y las mayores abundancias se logran en aguas de 14 y 15°C. En cuanto a la salinidad, los huevos de la especie se asentaron en el rango 34,4-35,1 psu, con una moda en el estrato 34,6-34,9 psu.



En los años 2008-2009 se volvió a registrar una disminución geográfica de los huevos, siendo la menor de la serie analizada, especialmente el año 2009 en que solo se alcanzó un Índice de Ocupación (IOC) de solo un 10% del área prospectada (**Figura 59**). En este período no se presentaron grandes densidades y solamente se obtuvieron buenos registros en el sector costero frente de Arica con registros superiores a los 500 h/0,05m² y que abarcaron un área de app 100 mn². En términos espaciales se pudo visualizar que las mayores abundancia estuvieron asociadas a los bordes que forman las aguas de 15 y 16°C y a gradientes térmicos moderados.

En el año 2011, el índice de ocupación (IOC) reveló que los huevos se distribuyeron en un 58% del área prospectada, valor que indicó un gran incremento de la cobertura espacial respecto de los años 2008 y 2009, siendo el mayor del período analizado (**Figura 59**). Al considerar las celdas positivas se apreció claramente que los huevos se presentaron mayoritariamente en categorías de bajas densidades, reflejo que no se presentaron grandes densidades y solamente se obtuvieron valores destacados en los sectores costeros frente de Arica y del río Loa. En términos geográficos se observó que las mayores densidades de huevos estuvieron asociadas a isotermas de 13 a 15°C, a isohalinas de 34,7-34,8 psu y a fuertes gradientes laterales.

El año 2012 la distribución espacial disminuyó y alcanzó un IOC 45%, este crucero presentó un núcleo relevante entre Iquique y Tocopilla en las primeras 10 mn de la costa. Respecto de la temperatura, el histograma señaló que los huevos se presentaron entre los 13 y 18,5°C, con una distribución bimodal, con una moda principal en la isoterma de 15°C (35% de las celdas) y otra secundaria en 17°C (22% de registros), el coeficiente $V(Cramer)$ alcanzó los 0,40 lo que reveló una



buena correlación (**Figura 60a**). En el caso de la salinidad, también se observó una distribución bimodal, con una moda principal en las isohalinas de 34,6-34,7 psu (40% de pixeles) y otra secundaria en 35,1 psu (20% de registros), la asociación entre las variables fue significativa ($V(Cramer)$ de 0,44), lo que da cuenta de una alta correlación (**Figura 60b**).

9.2 Análisis de los Centros de Gravedad (CG)

El estudio de los CG exhibió que éstos mostraron variaciones interanuales importantes, sin embargo se visualizaron algunos patrones en ciertos años. Así en el año 1992, el CG se localizó frente a Iquique debido a que los focos de mayor abundancia se ubicaron al norte de Iquique (**Figuras 55 y 61**). Durante 1995 el CG sufrió una gran migración superando incluso la cuadra de Tocopilla, situándose en la posición más meridional de todos los años analizados, esto se debió a que la repartición geográfica estuvo centrada mayoritariamente al sur de los 21°S no detectándose núcleos relevantes al norte de esta latitud. Por su parte, 1996 vuelve a exhibir un cambio en la distribución de los huevos ya que virtualmente no existen registros de huevos al sur de Mejillones y además se produce una gran concentración al SW de Iquique a una distancia de 40-50 mn de la costa, lo que implicó que el CG se ubicó en una región bastante oceánica a unas 40 mn de la costa (**Figura 61**).

En 1997 debido a que la zona de estudio estuvo bajo la influencia del evento ENOS los huevos varían de comportamiento espacial, este año se observó una distribución mucho más desplazada hacia el sur, por lo que el CG también se trasladó en dirección sur y se emplazó frente a Tocopilla a unas 20 mn de la costa. En el período, 1999-2001 los CG se localizaron al SW del río Loa, lo que es representativo de que en estos años las mayores agregaciones se registraron en los



alrededores de Tocopilla o en Mejillones. En este período se destacó el año 2001 que presentó un CG muy costero emplazado a unas 6-7 mn de la costa, debido a que ese año los huevos se reportaron mayoritariamente en las primeras millas de la costa.

Durante los años 2002-2003, los CG se posicionaron en la cercanías del río Loa pero más corridos hacia el norte, en estos años los CG también se situaron en posiciones bastante costeras que no sobrepasaron las 10 mn de la costa y que tienen relación con los mayores focos de abundancia que se encuentran en las primeras millas de la costa, en sectores de gradientes térmicos relevantes.

En los años 2004-2005, los CG migraron hacia sectores oceánicos a unas 40 mn de la costa debido principalmente a los focos emplazados frente al río Loa y Tocopilla los que están directamente relacionados con las grandes densidades que se registraron en esos lugares. En el año 2006 el CG se situó a unas 25 mn de la costa (al NW de punta Lobos) influenciado por las altas densidades que se presentaron en las proximidades del río Loa (**Figuras 55 y 61**).

El 2007 debido a que la zona de estudio estuvo bajo la influencia del evento “La Niña”, los huevos cambian notablemente de comportamiento geográfico respecto de años precedentes, este año se observó una distribución mucho más desplazada hacia el norte, que es coincidente con aguas de 14 y 15°C, por lo que el CG se situó frente a Pisagua a unas 30 mn de la costa. En tanto que en el 2008 el CG volvió a posicionarse en las cercanías del río Loa a unas 10 mn de la costa para que nuevamente el año 2009 el CG migrara fuertemente en dirección norte alcanzando Pisagua, debido a las altas concentraciones frente de Arica y a la virtual desaparición de huevos de la especie desde Tocopilla al sur. Además, pese a que los modelos anunciaron la llegada del fenómeno “ENOS”, la zona exhibió bajos



valores de temperatura lo que beneficia el corrimiento hacia el norte del centro de gravedad, siendo ésta la posición más septentrional de todo el período,

Finalmente, en los años 2011-2012 los huevos de la especie exhibieron una alta cobertura espacial y el CG exhibió un desplazamiento hacia el sur reportándose frente al río Loa a unas 30 mn de la costa lo que es concordante con las buenas concentraciones que se encontraron en el lugar en este período.

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

9.3.1 Análisis exploratorio de datos

En los años analizados, entre 1992 y 2012, se han monitoreado un total de 11.101 estaciones, de las cuales se registraron las variables predictoras, latitud, longitud, temperatura y salinidad superficial del mar, ésta última presenta para el año 1992 una gran cantidad de estaciones sin información (86% de un total de 542 estaciones; **Tabla 19**), hecho que repercute en el ajuste del modelo, por lo que este año se ha excluido del análisis. Además de las variables predictoras mencionadas se contabilizó el número de huevos y por consiguiente, la presencia o ausencia de éstos. Del total de estaciones analizadas, aproximadamente un 28 % de éstas registró la presencia de huevos, observándose una densidad media por estación positiva del orden de 61 huevos/0,05 m² (**Tabla 20**).

En la **Tabla 20** se detalla por año el número de estaciones totales, el número de éstas con presencia y ausencia de huevos y la densidad media para las estaciones positivas y el total. En cuanto a la presencia de huevos, los años 2000, 2002 y los últimos dos años presentaron la mayor proporción de estaciones



positivas con presencias por sobre el 35 %; mientras que el menor número de estaciones con presencia de huevos correspondió al año 2009, con solo un 5 %, disminución que representa 80 % respecto del promedio histórico (**Figura 62**).

Respecto a la densidad de huevos para las estaciones positivas, los mayores índices se registraron los años 2001 y 2009 con valores por sobre los 110 huevos/0,05 m², no obstante ambos años presentan las menores proporciones de estaciones positivas registradas. Se observa un aumento en la densidad media de huevos a partir del año 1999 y hasta el año 2006 en comparación con los años anteriores y el 2007, donde se registraron densidades medias en torno a los 40 huevos/0,05 m². Los años 2003, 2005 y 2008 presentan las segundas mayores densidades medias con valores entre los 70 y 80 huevos/0,05 m² respectivamente. Los años 1999, 2000, 2002, 2004, 2006, 2011 y 2012 presentan densidades medias que varían entre los 50 y 58 huevos/0,05 m² (**Figura 62 y Tabla 20**).

La densidad media estimada para el total de estaciones presenta los menores registros en los años 1996, 2007 y 2009, los dos primeros años producto de existir una baja presencia de estaciones con huevos y menores densidades medias para las estaciones positivas y para el año 2009 solo debido a la baja proporción de estaciones con presencia de huevos. Similar a lo observado para las estaciones positivas, a partir del año 2000 y hasta el 2006 se observa un aumento en la densidad media con valores que fluctúan entre los 15 y 30 huevos/0,05 m². Las mayores densidades medias se registran los años 2000, 2002, 2005, 2011 y 2012 producto de una mayor proporción de estaciones con registro de huevos y densidades medias de moderadas a altas (**Figura 62 y Tabla 20**).



Las estadísticas descriptivas de las variables predictoras latitud, longitud, temperatura superficial y salinidad superficial, junto a la variable de interés densidad de huevos se presentan en la **Tabla 21**. En los 17 años se cubrió un área muy similar, que abarca latitudinalmente de los 18°23' y 26°3' S y longitudinalmente de los 70°5' y 72° 12' W. El año 1997 presenta la mayor temperatura superficial del mar promedio con 18° C, mientras que el año 2007 registro las menores temperaturas fluctuando entre los 12,4° C y 16° C con una media de 14° C. El año 2012 junto a los restantes años, registran una temperatura superficial del mar promedio en torno a los 16 °C, con un rango de variación máximo de 5° C. Para la salinidad superficial del mar, históricamente se han observado promedios en el intervalo de los 34,66 y los 35 psu con un rango máximo de variación ocurrido el año 1999 de 1,4 psu.

9.3.2 Modelamiento estadístico

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, con un porcentaje total de devianza explicada del 19 %. Los predictores incorporados en el modelamiento de la densidad de huevos, presentaron un comportamiento no-lineal (valores p significativos), donde las variables de posición seguido de la salinidad, explican el 86 % 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. (**Figuras 63 y 64**).

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 temperaturas entre los 14° y 17° C tienen un efecto positivo sobre la densidad de huevos, mientras que por sobre éste último valor el efecto es negativo. Cabe destacar que temperaturas fuera del intervalo de los 14° C y los 18° C, poseen una alta incertidumbre en la estimación reflejada por las amplias bandas de confianza del suavizador. La variable salinidad (Sal) muestra una alta incertidumbre en el suavizador a salinidades inferiores a las 34,4 psu y superiores a los 35,3 psu, a consecuencia de la baja ocurrencia de éstos valores, mientras que en éste intervalo no presenta un claro efecto sobre la densidad de huevos (**Figura 63**).

La contribución parcial del factor año indica que el 2012 así como los años 1997, 2000, 2002, 2004, 2005 y el 2011 se tuvo un efecto positivo en la densidad de huevos, coincidiendo con la mayoría de los años con una mayor probabilidad de éxito de encontrar estaciones positivas.

9.3.3 Distribución espacial de huevos de anchoveta asociada a variables oceanográficas

La distribución espacial de huevos de anchoveta se presenta en la **Figura 15**, para el período 1995 - 2012. De la misma manera, en las **Figuras 56 y 57** se observan las interpolaciones espaciales para la temperatura y salinidad superficial del mar. En el año 1995, altos niveles de concentración de huevos de anchoveta (> 50 huevos por 0.05 m^2) estuvieron localizados entre Tocopilla y Antofagasta vinculados preferentemente a aguas de 14,8 a 16,4°C (**Figura 56**), los que corresponde al cuantil de 25% y 75%. En cuanto a las salinidades, los valores estuvieron en el rango de los 34,57 a 34,80 psu, los que corresponden al cuantil del 25% y 75% (**Figura 57**). Posteriormente, en el año 1996 los huevos de anchoveta estuvieron concentrados entre Iquique y el río Loa, con temperaturas en el rango de los 15,0 y 15,7°C y salinidades que van desde los 34,63 a 34,71



psu. Se destaca un descenso en los rangos en los registros para la temperatura y la salinidad durante este periodo, presentando un agrupamiento de los huevos de anchoveta.

En el año 1997 se observó una distribución más desplazada hacia el sur debido al efecto del fenómeno el ENSO, desde los 21 hasta los 23,6°S, frente a punta Lobos en el extremo superior y en el inferior a la altura de Antofagasta (**Figura 15**). En cuanto a la temperatura, mostró un gran aumento debido a las condiciones cálidas, observándose un rango entre 17,11 a los 19,66°C (**Figura 56**). De igual manera la salinidad experimentó un importante incremento en los valores registrados, en este año los huevos se distribuyeron principalmente en el rango de los 34,85 a 35,21 psu (**Figura 57**). Durante el año 1999, posterior al fenómeno el ENSO, altas densidades de huevos de anchoveta estuvieron distribuidas principalmente entre Iquique y Tocopilla, con valores de temperatura mucho más bajos a los registrados en el año 1997, en el rango de los 15,25 a los 16,97°C, y con un rango mucho mas acotado para los valores de salinidad, los cuales fueron observados entre los 34,63 y los 34,92 psu. La distribución espacial de los huevos de anchoveta durante el año 2000 fue muy similar a la registrada en el 1999, los focos de altas densidades estuvieron principalmente al sur de Iquique hasta Tocopilla, con valores de temperatura en el rango de los 15,49 a los 16,45°C y con valores de salinidades del orden de los 34,64 a los 34,86 psu. Sin embargo, durante el 2001 la distribución de huevos se desplaza más hacia el sur, abarcando desde Iquique hasta Mejillones. Además, tanto las temperaturas como las salinidades presentaron valores mas acotados e inferiores a los registrado en el año anterior, principalmente los rango de las temperaturas fueron de los 15,16 a los 16,35°C, y para la salinidad fue de 34,64 a los 34,84 psu.

Durante el año 2002, la distribución de huevos estuvo mas concentrada hacia el norte del área de estudio, entre los 21 a los 22,5°S (**Figura 15**). En cuanto a las



variables ambientales estas presentaron valores superiores a los registrados durante el a1o 2001, con un rango que va desde los 15,06 a los 17,13°C (**Figura 56**) para la temperatura y para la salinidad los valores estuvieron concentrados entre los 34,62 a los 34,92 psu (**Figura 57**). Sin embargo, durante el a1o 2003 la distribuci3n espacial de huevos de anchoveta fue mucho m1s amplia, con registros que van desde bah1a Pisagua hasta Mejillones. Esta distribuci3n espacial m1s amplia de los huevos de anchoveta estuvo asociada a valores m1s amplios observados en la temperatura superficial del mar tambi3n, que van desde los 15,5 a los 16,69°C. En cambio, la salinidad present3 valores en el rango de los 34,73 a los 34,95 psu. En el a1o 2004 fue casi similar a los a1os anteriores, con una distribuci3n espacial entre Iquique y al sur de Tocopilla, con un rango en la temperatura entre los 15,77 y 17,58°C y un rango de 34,69 y 34,96 de psu para la salinidad. Al igual que el a1o 2004, los huevos de anchoveta durante el a1o 2005 presento la misma distribuci3n espacial, entre Iquique y el sur de Tocopilla, en cambio, la temperatura presento valores diferentes a los registrados en el 2004, con un rango que va desde los 15,12 a los 16,51°C. Y la salinidad presento valores m1s altos a los observados en el a1o 2004, con un rango que va desde los 34,55 a los 34,97 psu (**Figuras 65 y 66**).

En el a1o 2006, la distribuci3n espacial de los huevos de anchoveta fue reducida, y distribuida al norte de la zona de estudio, abarcando desde la bah1a Piragua hasta caleta Lobos, con temperaturas superficiales del mar en el rango de los 15,49 a los 17,13°C y con salinidades que van desde los 34,61 a los 34,98 psu. Ya en el a1o 2007, la distribuci3n espacial de huevos se concentro m1s al norte que el a1o 2006, en el rango que va desde los 18,8 a los 19,7°S, entre Arica e Iquique. Aunque los valores registrados para la temperatura presentaron un rango menor a lo esperado, con valores que van desde los 13,55 a los 14,65°C, debido principalmente al fen3meno de "La Ni1a", donde los huevos de anchoveta cambian notablemente de comportamiento geogr1fico respecto de a1os



precedentes. Para la salinidad, esta variable presento una variabilidad acotada, con un rango que va desde los 34,58 a los 34,68 psu. En el año 2008, la distribución espacial de huevos vuelve a presentar patrones similares a años normales, presentando un rango entre los 19,6 y los 21,5°S, entre bahía Pisagua y el río Loa, una distribución hacia el sur que el año anterior. La variable temperatura presento un rango que va desde los 15,76 a los 17,07°C y la salinidad presento un rango acotado que va desde los 34,75 a los 34,93 psu. Sin embargo, durante el 2009, la distribución de los huevos de anchoveta vuelve a situarse hacia el norte de la zona de estudio, con un rango latitudinal que va desde los 18,5 hasta los 21,3°S, con temperaturas que presentaron un rango estrecho de variación, valores que oscilaron entre los 15,42 y los 16,75°C. Lo mismo sucedió para la variable salinidad, con valores que oscilaron entre los 34,61 a los 34,99 psu. En el año 2011, la distribución espacial de huevos de anchoveta presento un patrón normal, con una distribución más amplia que va desde Iquique hasta Mejillones, con valores de temperatura que oscilaron entre los 14,62 y los 16,56°C, y con valores similares a los observados el año anterior para la salinidad, entre los 34,71 y los 34,94 psu. Ya al final del periodo analizado, año 2012, la distribución espacial de huevos fue casi similar a la observada en el año 2011, con una alta densidad observada en la zona costera, y con valores de temperatura que oscilaron entre los 14,94 y los 17,22°C, y con valores de salinidad de 34,64 y los 34,96 psu.

Del total de estaciones analizadas, aproximadamente un 27,2% de éstas registró la presencia de huevos, observándose una densidad media por estación positiva del orden de los 55,73 huevos por 0,05 m² (**Figura 62**). En cuanto a la presencia de huevos de anchoveta, los años 2000, 2002 y 2011 presentaron la mayor proporción de estaciones positivas con observaciones por sobre el 40%; mientras que el número menor de estaciones con presencia de huevos correspondió al año 2009, con solo un 5%, siendo el promedio histórico de un 28% de estaciones



positivas, lo cual corresponde a una ca3da del 81%. Respecto a la densidad de huevos para las estaciones positivas, los mayores 3ndices se registraron los a3os 2001 y 2009 con valores de 124 y 114 huevos por 0,05 m², respectivamente. Sin embargo, ambos a3os presentaron las menores proporciones de estaciones positivas. Durante los a3os 1996 hasta el 2002 se observ3 un aumento de la densidad media de huevos a partir de las estaciones totales, con una ca3da durante el a3o 2001. Posteriormente, desde el 2002 hasta el a3o 2009 se observa una tendencia a la disminuci3n, con un peque3o aumento durante el 2008. Durante el 2011, se observa un aumento de la densidad media de huevos a partir de las estaciones totales, llegando a 20 huevos por 0,05 m², y una densidad media del orden de los 48 huevos para las estaciones positivas. Ya al final del periodo analizado, se observaron valores muy similares a los registrados en el a3o 2011, con una densidad media de huevos 19,07 huevos por 0,05 m² y una densidad media del orden de los 50,5 huevos para las estaciones positivas. Sin embargo, la proporci3n de estaciones con presencia de huevos fue algo menos a lo registrado en el 2011, alcanzando el 38% (**Figura 62**).

La densidad media estimada para el total de estaciones, presenta los menores registros en los a3os 1996, 2007 y 2009, los dos primeros a3os producto de existir una baja presencia de estaciones con huevos y menores densidades medias para las estaciones positivas y para el 3ltimo a3o, debido a la baja proporci3n de estaciones con presencia de huevos. Similar a lo observado para las estaciones positivas, a partir del a3o 1999 y hasta el 2005, se observa un aumento en la densidad media con valores que fluct3an entre los 12 y 31 huevos por 0,05 m², y disminuyendo hacia el 3ltimo a3o. Durante los dos 3ltimos a3os analizados, la densidad media de huevos se mantuvo en torno a los 19 huevos por 0,05 m².



Con respecto a la variabilidad espacio – temporal de la densidad media de los huevos de anchoveta, en las primeras veinte millas n3uticas de la costa se observaron las mayores densidades para todo el periodo analizado y en las diferentes secciones latitudinales (**Figura 67**). En general, el patr3n observado en todas las secciones latitudinales es a disminuir las densidades de huevos a medida que aumenta la distancia a la costa, salvo algunos a3os como el 2005, donde las mayores densidades fueron observadas en las 60 millas desde la l3nea de costa (**Figura 67**). Sin embargo, en los a3os 1996, 1997, 2000 y el 2007 se registraron los valores m3s bajos para el pol3gono que define las veinte primeras millas n3uticas. Y los valores m3s altos fueron observados para los a3os 2001, 2002, 2003, 2004, 2006, 2008, 2011 y 2012. Por otra parte, m3s all3 de las 40 a 60 millas n3uticas de la costa (hacia la zona oce3nica) se registraron valores elevados a intermedios en la densidad de huevos de anchoveta, incluso hubo a3os en que estas densidades fueron mayores a las registradas en la zona costera, como fue el a3o 1996, 2000 y 2005. Con respecto a la componente latitudinal, desde los 24°S al sur se observaron las menores densidades durante todo el periodo analizado. Cabe mencionar que en la secci3n latitudinal de los 20° - 22°S se registraron las mayores densidades del per3odo en las primeras veinte millas n3uticas. Siendo los a3os 2001, 2002, 2003, 2004, 2008 y 2012 los a3os en que la densidad de huevos de anchoveta fue mayor (**Figura 67**).

El an3lisis de frecuencia para las variables densidad de huevos de anchoveta, la longitud, la temperatura y salinidad superficial del mar son presentadas en la **Figura 68**. La variable densidad de huevos presenta un distribuci3n Poisson, que corresponde a la ocurrencia de valores discretos que ocurre en la naturaleza como es el n3mero de huevos durante un periodo definido de tiempo o en un 3rea determinada, con la presencia de muchos valores cero y muy pocos valores mayores a cero (**Figura 68a**). En cambio, la variable longitud presenta una distribuci3n casi normal, con una peque3a simetr3a negativa hacia la derecha



(**Figura 68b**), con una mayor frecuencia en los 70.7°W y con el primer y tercer quintil observados en los 71.2°W y los 70.5°W , respectivamente. La temperatura presenta una distribución normal, con un promedio en los $15,5^{\circ}\text{C}$ y el primer y tercer quintil observado en los $14,5$ y $17,0^{\circ}\text{C}$, respectivamente (**Figura 68c**). En cuanto a la salinidad, presento una distribución normal, casi similar a la temperatura, con un valor promedio de $34,8$ y el primer y tercer quintil fue observado en los $34,6$ y los $34,8$ psu, respectivamente (**Figura 68d**).

Al asignar la nueva variable polígono para la procedencia espacial de los huevos de anchoveta se observó diferencias significativas en el patrón temporal de la densidad de huevos para cada área delimitada en la zona de estudio (**Figura 69**). Para algunas áreas (1, 6, 11 y 16) como aquellas que están cerca de la costa se observan patrones disimilares pero con diferentes escalas de variación. En general, durante los últimos años analizados se observó una tendencia creciente en la densidad de huevos para las diferentes áreas cercana a la costa. Sin embargo, aquellas áreas que están más alejada de la costa, muestran una mayor variabilidad temporal, con periodos que marcan una tendencia a la disminución como es el periodo que va desde el año 1999 al 2002, y una tendencia al aumento para el periodo que va desde el 2002 hasta el 2005, para posteriormente disminuir durante el periodo 2005 al 2009. Ya al final del periodo analizado, la tendencia de la densidad de huevos de anchoveta presenta un aumento en la gran mayoría de las áreas analizadas (**Figura 69**).

El resumen de los ajustes de los modelos aditivos generalizados para cada configuración de modelo planteado (ec. 2 y 3) es presentado en las **Tablas 23 y 24**. Los principales efectos de las cuatro covariables (fecha, latitud: longitud, temperatura y salinidad) para el modelo planteado (ec. 2) fue significativo. El mismo nivel de significancia fue estimado para el modelo modificado (ec. 3) que incorpora el patrón temporal para cada polígono generado en la zona de estudio.



Los predictores del modelo (ec. 2) principal presentaron un comportamiento no-lineal, confirmado a través de la prueba *Chi* (**Tabla 23**). La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines cúbicos en la **Figura 70**. Se puede observar la existencia de un efecto positivo sobre la densidad de huevos para el periodo que va desde 1995 hasta el 2006. Posteriormente, se observó un efecto negativo en la densidad de huevos hacia el 2009, y para los últimos años del periodo analizado la tendencia se revierte con un fuerte aumento en la densidad de huevos (**Figura 70a**). El efecto suavizado para la interacción latitud y longitud muestra efectos positivos muy cercanos a la costa, ubicados principalmente al norte de los 19°S, otro foco en la latitud de los 21°S y el último en los 23°S (**Figura 70b**). Estos tres principales focos corresponden a zonas de máxima concentración de huevos de anchoveta, es decir, el proceso de desove se vincula más a la zona costera que a la oceánica. En cuanto a las variables ambientales, la temperatura presenta una típica forma de domo, para valores inferiores de temperatura los efectos fueron negativos en la densidad de huevos, y para valores superiores los efectos tienden a ser positivos (**Figura 70c**). En cambio, la salinidad presenta efectos en torno al cero para valores inferiores a los 35 psu, para valores superiores, el efecto en la densidad de huevos tienden hacer negativos (**Figura 70d**).

En la **Figura 71** se muestra las estimaciones de largo plazo suavizadas de la densidad de huevos de anchoveta (efecto temporal) para cada área geográfica delimitada para la zona de estudio (ec. 3). Algunas áreas muestran similares tendencias, como es el caso del área 7, 8, 12, 13, 17 y 18. Las cuatro últimas áreas mencionadas corresponden a la parte sur de la zona de estudio, donde la presencia de huevos es relativamente baja o casi nula. Por otra parte, algunas áreas mostraron un máximo en el año 2005, para posteriormente mostrar una caída significativa entre los años 2008 y 2009, siendo la más pronunciada en el área 18, 17, 8 y 7. En cambio, las áreas 1, 6, 11 y 16 (las áreas más cercanas a la



costa) el patr3n temporal mostr3 una tendencia moderadamente creciente durante casi todo el periodo analizado. Aplicando este mismo procedimiento de modelaci3n a las variables ambientales (temperatura y salinidad), se obtienen las tendencias en el largo plazo (**Figura 72 y 73**). Para el caso de la temperatura superficial del mar (**Figura 72**), se observaron patrones similares para algunas 3reas en particular, como es el caso de las 3reas ubicadas cercanas a la l3nea de costa, donde la tendencia de la temperatura es a disminuir durante gran parte del periodo analizado. Este patr3n observado, a disminuir las temperaturas tambi3n fue observado en las 3reas al sur de la zona de estudio. En gran parte de las 3reas analizadas se observ3 el efecto del fen3meno “El Ni3o” 1997, para posteriormente mostrar una tendencia decreciente hasta alcanzar el menor nivel entre los a3os 2006 y 2007, siendo estos a3os donde se registraron las temperaturas mas fr3as del periodo analizado - “La Ni3a”-. Las 3reas localizadas al norte de la zona de estudio (18-20°S) presentaron al final del periodo analizado aumentos en la temperatura superficial del mar, sin embargo para gran parte de las 3reas ubicadas al sur de la zona de estudio, el patr3n observado fue a disminuir la temperatura (**Figura 72**).

Para la salinidad superficial del mar (**Figura 73**), se observaron patrones similares en las diferentes 3reas analizadas, como para aquellas ubicadas al norte de la zona de estudio, donde el patr3n observado fue aumentar las salinidades hacia el final del periodo analizado. Este mismo patr3n tambi3n fue observado para aquellas 3reas que se ubican en la parte central y al sur de la zona de estudio. Sin embargo, en todas las 3reas analizadas se observ3 el aumento de las salinidades durante el fen3meno “El Ni3o” 1997, aunque algunas 3reas presentaron un efecto mayor al final del periodo analizado. En general, durante los 3ltimos a3os analizados la tendencia de largo plazo tiende a aumentar en algunas, y en las 3reas oce3nicas (18-20°S) la tendencia tiende a disminuir. En cambio, para las 3reas al



sur de la zona de estudio la tendencia de largo plazo tiende a aumentar (**Figura 73**) inversamente a como lo hace la temperatura (**Figura 72**).

Las correlaciones de las tendencias de largo plazo registradas para las variables densidad de huevos de anchoveta, la temperatura y la salinidad superficial del mar son mostradas en la **Tabla 25**. Correlaciones negativas fueron observadas en las 1reas cercanas a la costa para las variables densidad de huevos y la temperatura, es decir, cuando la temperatura disminuye la densidad de huevos tender1a aumentar. Por otro lado, para las 1reas ubicadas en la parte oce1nica de la zona de estudio se observaron correlaciones positivas. En general, las correlaciones fueron mayores para las 1reas localizadas al sur de la zona de estudio, y para aquellas 1reas que se encuentran en la parte oce1nica, con valores altos de correlaci3n. Con respecto a la salinidad, las correlaciones fueron negativas en las 1reas ubicadas en la zona costera y positivas para la zona oce1nica.



VIII. DISCUSIÓN

La anchoveta se caracteriza por presentar un comportamiento reproductivo con una marcada estacionalidad. El patrón normal de la actividad reproductiva en la Zona Norte abarca invierno-primavera, con un decrecimiento en verano y un reposo sexual relativo en otoño.

De acuerdo al análisis histórico de los indicadores reproductivos macroscópico y microscópico, el período de plena o de máxima actividad de desove en la Zona Norte se inicia durante las semanas de julio, y alcanza los mayores valores en el bimestre agosto-septiembre.

Según el seguimiento del **IGS**, la actividad presentó el descenso normal hacia otoño, sin embargo en este año se observó un periodo de baja actividad ovárica (reposo reproductivo relativo) que se prolongó inusualmente con **IGS** bajos hasta mediados de julio. A fines de julio, el indicador incrementó abruptamente señalando el inicio del evento reproductivo, pero con un **IGS** que se ubicó en el límite inferior de los registros reportados en años anteriores. En agosto y septiembre, el **IGS** se normalizó a niveles máximos históricos indicando la plena actividad de desove. En octubre, el **IGS** presentó una tendencia al descenso.

De acuerdo al análisis histológico, la anchoveta inició el periodo de máxima intensidad de desove (**MID**) a fines de julio e inicio de agosto, y se prolongó con **IAD** relativamente altos hasta la última semana de octubre, con máximos en agosto y en septiembre. La permanencia de hembras en reposo durante las semanas de junio y julio señaló en este año una condición inusual de baja actividad ovárica que significó un retraso en el inicio del evento reproductivo



principal, que se manifestó de manera abrupta a fines de julio y se mantiene hasta la última semana de octubre, respecto a lo observado en años anteriores para la anchoveta en la Zona Norte.

La condición oceanográfica en la zona intertropical desde el mes de abril a diciembre de 2012, se ha definido como ENOS neutral (NOAA, 2012a, 2013). Previo a esto, un periodo frío “La Niña” débil se hizo presente en la zona entre agosto de 2011 y marzo de 2012, y como ha sido habitual ya desde el año 2007, el periodo de transición a la condición neutral posterior fue breve y, más aun, los indicadores durante el primer semestre de 2012 marcaron una rápida tendencia hacia una condición cálida “El Niño”. Este evento cálido no se concretó, aun cuando el **MEI** y los rangos de éste lo sugirieron entre mayo y julio (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/rank.html>). Sin embargo, tal situación no fue suficiente ya que en agosto hubo una rápida disminución del **MEI** para quedar en el mes de octubre en sólo 0,27, valor que lo deja fuera de la categoría “El Niño”.

Siempre en un contexto regional, a comienzos de febrero de 2012, las anomalías de temperatura superficial (**ATSM**) de los cuatro regiones Niño comenzaron una rápida transición hacia valores neutros y positivos, siendo los primeros en presentar valores sobre el cero, la Región Niño 1+2 (costa ecuatorial sudamericana) y la Niño 3 dentro del mismo mes de febrero, mientras que las regiones 3.4 y 4 lo hicieron en mayo y junio, respectivamente. En la Región Niño 1+2 las anomalías positivas se mantuvieron hasta el mes de agosto con valores máximos de +1,5°C en abril y junio, pero en septiembre se mantuvieron positivas con valores que no superaron los 0,5°C. En la última semana del mes de septiembre se midieron valores de **ATSM** positivos pero menores a 0,5°C en la costa peruana al sur de los 15°S (NOAA, 2012b).



En este contexto ambiental regional se desarrolló el crucero MPH 2012, por lo que las condiciones oceanográficas normales encontradas en la zona son consistentes con la situación regional indicada. En este sentido, la zona norte de Chile ha registrado un calentamiento o enfriamiento asociado a los procesos ENOS (Blanco *et al.*, 2002). La observación de las **ATSM** y anomalías de salinidad superficial (**ASSM**) en este crucero, como también la **ATSM** satelital y la anomalía de la profundidad de la isoterma de 15°C (**AI15**), muestran un amplio predominio de valores en el rango de $\pm 1^\circ\text{C}$, $\pm 0,1$ y ± 10 m, respectivamente, los que no son significativos tanto en el sector costero como oceánico. En la vertical, las anomalías de temperatura y salinidad de las tres secciones analizadas no muestran en superficie ni en el la columna de agua valores que señalen una condición atípica, ya que los focos de máximos valores de anomalías son de área reducida y se encuentran en el nivel de 25 m, que es el nivel de mayor variación en la vertical.

Las bajas intensidades del viento que predominaron en algunas áreas de la zona favorecieron la presencia de una capa de mezcla reducida y la formación de focos superficiales de **ATSM** y/o **ASSM** de tipo positivas, tal como se observa frente a Arica, de Iquique a Mejillones, y entre los 24° y 25°S de latitud. Por el contrario, las intensidades del viento moderado que se presentaron en las áreas frente a Pisagua, de Mejillones a Antofagasta, y Chañaral, originaron una turbulencia y capa de mezcla levemente mayor que se tradujo en una disminución de los valores superficiales, incluso formando algunos focos de anomalías de salinidad levemente significativos pero que por su valor y extensión en área no caracterizan a la zona de estudio. Se destaca no obstante el foco de **AI15** negativo que supera los 10 m con máximos > 30 m (absoluto).



El viento de intensidad mayoritariamente débil, como ha sido caracterizado para el periodo de invierno (Bakun & Nelson, 1991), pero con un alto porcentaje de viento con componente favorable a la surgencia, originaron como es habitual para la zona norte de Chile el desarrollo de procesos de afloramiento costero (Strub *et al.*, 1998). Los valores de la serie de transporte Ekman (TE) confirman lo anterior para todo el periodo enero-septiembre 2012, aun cuando hay una disminución del **TE** entre mayo y agosto. En septiembre se aprecia un aumento del **TE** respecto de los meses anteriores pero la disminución de éste a mediados de septiembre, e incluso algunos días con transporte hacia la costa en la última semana de agosto y a mediados de septiembre, lo que favoreció el acercamiento de agua subtropical (**AST**) hacia la costa. En este sentido, los focos de surgencia se presentaron a lo largo de toda la zona, pero con una disminución considerable en el área de, punta Junín a Iquique, caleta Chipana y desde punta Tres Picos a Tal-Tal. En todas estas áreas señaladas los frentes térmicos son débiles y se observa una intrusión de agua oceánica más cálida de tipo **AST** hacia la costa, la que al ser pobre en nutrientes origina la baja concentración de clorofila en la costa al norte de Iquique y entre punta Tres Picos y rada Paposo. Por el contrario, se destacan como focos de mayor intensidad de surgencia las áreas de Pisagua, caleta Ligate, Antofagasta y punta Ballenita, donde los índices de surgencia fueron los mayores y la distribución de **TSM** y densidad superficial así también lo confirman.

La distribución de oxígeno disuelto (**OD**) superficial muestra en general una capa bien oxigenada en el sector oceánico característico del **AST** en la mitad norte de la zona y del Agua Subantártica de Antofagasta al sur (Silva, N y Konow, 1975), pero diferenciadas por los valores de **TSM** y salinidad. Por otro lado, en la costa se observan algunas áreas donde las menores concentraciones de **OD** señalan



una mayor participación de Agua Ecuatorial Subsuperficial (**AESS**) en los procesos de surgencia en comparación con el resto de la zona (Sievers y Silva, 1982; Silva, 1983; Morales *et al.*, 1999). Estas áreas, donde los valores de superficie están en general en el rango de 4 a 5 mL/L, son las de Arica a Iquique, Punta Arenas a Mejillones, punta Tres Picos y desde Tal-Tal al sur, lo que coincide con los mayores **IS**.

La información vertical de las distintas variables indica que en todas las secciones hubo surgencia aunque con distinta intensidad. En este punto la distribución de oxígeno estaría señalando que el **AESS** está muy presente en el sector costero, ubicándose en forma importante dentro de los 40 m al menos hasta punta Tres Picos, mientras que en las últimas dos secciones se encontraría un poco más profunda, cercana a los 60 m. Sin embargo, la fuerte pendiente positiva en temperatura, densidad, oxígeno y los valores de salinidad indicarían también la presencia de **ASSA** en el agua surgente, principalmente en el sector de Antofagasta al sur.

La profundidad de la mínima de oxígeno (1 mL/L) (**PMO**) muestra una distribución similar a la observada en otros cruceros en la misma época, con valores menores hacia la costa y hacia la mitad Norte de la zona, sin embargo se destaca el foco de máximas profundidades (> 100 m) en el área oceánica de Mejillones a rada Paposos el que coincide además con el foco de anomalías negativas de hasta -30m de la profundidad de la isoterma de 15°C. Así también este foco de mayores profundidades de **PMO** se extiende hacia la costa frente a rada Paposos donde supera los 100 m. Este foco de amplia extensión en la parte sur de la zona indica que el núcleo de **AESS** se posiciona en esta área más profunda en la vertical que en el resto de la zona. En relación a otros periodos considerados neutrales para la zona de estudio, como lo fueron los periodos de cruceros 2008 y 2009 no hay un



comportamiento claro de la variable **PMO**, como si ha sido observado en eventos cálidos regionales y locales cuando ocurre una notoria profundización (Morales *et al.* 1999, Blanco *et al.*, 2002). En este sentido, la distribución de la **PMO** del crucero realizado en invierno de 2008, fue notoriamente más profunda que el de 2009 y 2012, en tanto que estos dos últimos presentaron una menor diferencia sólo entre punta Camarones y punta Copaca. Por lo tanto, esta variable estaría fuertemente determinada por procesos locales y no regionales durante condiciones ambientales frías y neutras.

En las series de **ATSM** satelital (2002-2012) se observa que durante la etapa de declinación de los eventos “La Niña” en la región ecuatorial, ocurre en la zona norte de Chile un rápido e intenso efecto “rebote” en las condiciones locales que pasan de frías a cálidas. Esto se observa en los eventos fríos de los años 2007-2008, 2008-2009, 2010-2011 y también en el último periodo frío 2011-2012 que finalizó en abril de 2012. En el caso del último periodo indicado, catalogado como débil, la zona de estudio mostró condiciones levemente frías durante el segundo semestre de 2012. Observaciones *in situ* indican que en septiembre de 2011 hubo anomalías de **ATSM** negativas no significativas pero si lo fueron en las **ASSM** negativas, (Reyes & Pizarro, 2012a), pero ya en diciembre siguiente hubo una situación neutral (Reyes & Pizarro, 2012b). En cambio en marzo-abril 2012, periodo de declinación y término de “La Niña”, hubo claras condiciones cálidas y salinas en la zona (Reyes & Pizarro, 2013). Las series de **ATSM** satelitales son consistentes con lo indicado, pues muestran condiciones cálidas en toda la zona a partir del mes de enero con valores $> 1^{\circ}\text{C}$, principalmente entre los 18° y 24°S , y que se extendieron hasta el final de la serie en septiembre pero con declinación de las anomalías desde agosto a valores neutrales ($< 1^{\circ}\text{C}$). Esto significa que si bien la zona registró condiciones neutrales en el mes de realización del crucero (septiembre), hubo un intenso periodo cálido previo entre febrero y julio. Una explicación a lo anterior puede estar en la respuesta que presenta la Región Niño



1+2 (costa sudamericana ecuatorial) a los eventos fríos y cálidos. Esta región muestra un enfriamiento mucho más intenso en los meses posteriores a un evento cálido en comparación a las otras regiones, y en forma inversa a los eventos fríos.

En el caso del último periodo “La Niña”, la región Niño 1+2 tuvo **ATSM** negativas entre agosto 2011 y enero 2012, pero a partir de febrero éstas fueron positivas e intensas (+1°C), esto es 4 meses antes que aparecieran **ATSM** positivas en la región Niño 4 y 2 meses antes que se diera por finalizado el evento frío. Entre abril y junio las **ATSM** de la Región Niño 1+2 alcanzaron los +2°C, para luego mantenerse en un rango de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ entre agosto y octubre. Las **ATSM** positivas medidas en esta área para el periodo de tiempo indicado son prácticamente el doble de las medidas en la región Niño 4. Un similar comportamiento de las **ATSM** del sector Niño 1+2 se observa para los periodos fríos 2007-2008, 2008-2009, 2010-2011, siempre a partir del mes de febrero y antes del término del evento, sin embargo, éste es el periodo que presenta la mayor magnitud de las anomalías positivas. Por lo tanto, las condiciones cálidas y salinas previas al cruce MPH en la zona de estudio, estarían temporalmente acopladas a una condición cálida en la región Niño 1+2, y que se repite en los eventos fríos ocurridos desde el año 2002.

Al comparar las series de tiempo de transporte Ekman (**TE**) con años anteriores, se observa que esta variable tiene en la localidad de Iquique durante abril, marzo y septiembre de 2012 valores mayores en relación a los mismos meses de 2011, mientras que en Antofagasta no se observaron diferencias entre ambos periodos. Cabe señalar que el periodo de septiembre de 2011 (MPH 2011) se definió como tendencia a condición fría superficial y fría a nivel subsuperficial (capa de los primeros 50 m) en momentos que se desarrollaba una condición fría “La Niña” a nivel regional (Reyes & Pizarro, 2012a), a pesar de lo anterior, en Iquique se midió un mayor **TE** en septiembre de 2012 estando en condiciones neutrales tanto a



nivel regional como local. Lo anterior permite suponer, que los vientos fueron más intensos y/o más favorables a la surgencia durante el periodo MPH 2012 respecto al de 2011. En la comparación con septiembre de 2009, catalogado localmente como normal (Reyes *et al*, 2010), septiembre de 2012 registra un **TE** levemente mayor, en Iquique pero notoriamente mayor en Antofagasta. En resumen, el **TE** en septiembre de 2012 fue mayor que en el mismo mes de 2009 y 2011.

En relación a la distribución pigmentaria, en esta oportunidad se observaron altas concentraciones, con una amplia distribución longitudinal interrumpida solo entre punta Tres picos y rada Paposo. Se registró un máximo superficial del orden de 10 $\mu\text{g/L}$ en Arica aunque fue más característica la presencia de máximos subsuperficiales. El espesor de los núcleos productivos fluctuó en general entre 20 y 35 m, con una alta frecuencia de focos de concentraciones mayores a 5 $\mu\text{g/L}$, lo que se tradujo en focos de clorofila integrada de importancia, mayores a 100 mg/m^2 , en Arica, punta Lobos, punta Copaca, Mejillones, Antofagasta y punta Ballenita, con un máximo de 327 mg/m^2 en el área de punta Copaca, sector que ha sido recurrente en la serie de cruceros MPH, junto con Mejillones y Antofagasta. Este año destaca como situación poco frecuente, la amplia distribución hacia el oeste observada en Arica y punta Ballenita, con núcleos que prácticamente se extendieron hasta las 60 y 80 mn respectivamente. Los feopigmentos por otra parte, se mantuvieron en concentraciones muy inferiores a la clorofila, indicando un buen estado fisiológico para el fitoplancton. En los cruceros MPH ha sido habitual registrar altas concentraciones de clorofila y amplias distribuciones, registrándose los valores más altos de la serie en los años 2004 (periodo neutro), 2005 (periodo frío) y 2011 (periodo frío), mientras que las relativamente menores corresponden a los años 2006 (periodo neutro) y 2007 (periodo frío), quedando en una situación intermedia los cruceros de 2008, 2009 y 2012, periodos considerados con situación local neutral. Se puede decir, por lo tanto, que la información de clorofila recolectada en los cruceros MPH no presenta



hasta el momento un patr3n definido respecto de las condiciones locales. Esto no concuerda con lo indicado por Montecino *et al.* (2006) quienes se~alan que los periodos neutros son los que tienden a favorecer las altas concentraciones de clorofila, diferencia que podr3a estar influenciado por la metodolog3a de trabajo en la identificaci3n de los periodos entre normales y fr3os.

Con respecto a las cartas de **TSM** satelital, 3stas dan cuenta de una leve disminuci3n de los valores de esta variable en el tiempo considerado, siendo mayores en la parte norte de la zona en la primera semana. Tal disminuci3n puede estar originada en la alta nubosidad experimentada durante el crucero, donde en m3s del 80% del tiempo se registraron condiciones de cielo cubierto en m3s de un 70%, mientras que un 64% del tiempo lo estuvo totalmente. Esta condici3n nubosa disminuye la radiaci3n solar sobre la superficie del mar y afecta el calentamiento de la capa superficial, aun cuando las intensidades del viento fueron bajas durante las tres 3ltimas semanas y ello favorece la estratificaci3n vertical.

Las cartas satelitales de distribuci3n de clorofila muestran concentraciones altas de este pigmento en la franja m3s costera durante todo el periodo del crucero, destac3ndose las 3reas de Arica, Iquique y principalmente la pen3nsula de Mejillones en la primera semana, con un foco de gran tama~o. Una caracter3stica de este periodo fue la presencia de una prolongaci3n del n3cleo costero hacia el oeste en el sector oce3nico de punta Copaca, lo que se observa en las dos primeras semanas.

Finalmente, con respecto a la informaci3n satelital hist3rica de clorofila se destaca un cambio en las concentraciones desde fines de 2007 principalmente para el sector norte, entre los 18° y 23°S, ya que hacia el sur las magnitudes han variado dentro de un rango menor. Previo a esta fecha las concentraciones promedio en



el sector costero norte fueron en general más altas y variables que en los años posteriores, manteniéndose el sector entre los 18° y 19°S como el más productivo a través de la serie. En el sector oceánico igualmente, aunque en otra escala, se observa la misma tendencia con las mayores concentraciones en el periodo 2002-2007, mientras que en el periodo posterior esporádicamente se han registrado focos de importancia. Lo anterior queda de manifiesto en la pendiente negativa de la serie de promedios costeros de clorofila satelital que ocurre entre 2008 y comienzos de 2012, coincidiendo también para el mismo periodo con una menor variabilidad en las concentraciones. En relación al índice **MEI**, entre los años 2008 a 2012, es destacable que el tiempo de fase normal o transición de los eventos ENOS han sido más breves (menor a 3 meses) en comparación a lo que ocurrió entre el 2002 y 2007. Por lo tanto, una mayor concentración de clorofila se ha dado en general, en los periodos de transición más largos, lo que se ajusta a lo descrito por Montecino *et al.* (2006). Lo anterior, aparentemente contradice lo observado con los datos de crucero, sin embargo hay que tomar en cuenta la resolución costera satelital, que es menor en la costa, primera milla, lugar donde tradicionalmente se registran las mayores concentraciones en los muestreos.

En términos de las temperaturas a 10 m promedio del crucero, que son las utilizadas en los cálculos de edad de los huevos, el año 2012 se encuentra dentro de los rangos considerados como normales (**Figura 74**). El área de desove presentó una distribución bastante amplia.

La frecuencia de desove de anchoveta estimada para el invierno de 2012 es muy similar a la encontrada durante el año 2007 al 2011. 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



clasificaci3n de los estadios para la estimaci3n de fracci3n desovante (Núcleo migrante + Hidratadas y FPO I al IV) ha mostrado bastante consistencia entre ellos (**Tabla 15**). La sucesi3n de los estadios de degeneraci3n de los FPO es un proceso continuo con un solapamiento entre los estadios contiguos, lo cual es indicador de la variabilidad natural en el proceso degenerativo y probablemente en la variabilidad de la hora de desove. De acuerdo a los resultados para anchoveta de la zona norte, los primeros cuatro estadios tienen una duraci3n 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 mas objetivo y confiable para la estimaci3n de fracci3n desovante. Un avance ha sido la utilizaci3n de los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5), Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM 7) como pertenecientes a el grupo de hembras que desovar3 dentro de las pr3ximas 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).

No se observa una relaci3n entre la fecundidad específica, esto es el resultado de los parámetros de adultos del modelo de estimaci3n de biomasa ($F \cdot E \cdot R / W$; N° huevos por gramo de poblaci3n) y la producci3n diaria de huevos, de acuerdo a lo señalado por Somarakis *et al* (2004) para anchovetas europeas. Seg3n estos autores, esto se debería principalmente a que en áreas de upwelling, la producci3n diaria de huevos es generalmente mucho más alta para un estrecho rango de valores de fecundidad específica. Probablemente, la condici3n tr3fica y la capacidad de carga de las áreas de upwelling es mucho mayor que en los mares oligotr3ficos europeos, soportando mucha más alta biomasa por unidad de área de mar (Somarakis *et al*, 2004)



Somarakis *et al* (2004) encuentra una relación lineal entre el área de desove y la biomasa desovante estimada, que en el caso de la zona norte de Chile también se verifica, mostrando sin embargo mayor dispersión. El año 2012 se encuentra dentro de la tendencia general (**Figura 75**). Esta relación implica un uso denso-dependiente del hábitat de desove por parte de la anchoveta, es decir, es probable que cuando la biomasa por unidad de área en la zona de desove excede cierto umbral, los peces tienden a esparcirse sobre una mayor área, para evitar interacciones intraespecíficas como competición trófica y/o canibalismo de huevos (Somarakis *et al.*, 2004).

El coeficiente de variación asociada a la biomasa estimada es de las más bajas de la serie histórica, lo que se transmite desde la varianza asociada a la producción diaria de huevos (P_o), producto de un número mayor número de puntos para el ajuste, debido a un alto número de huevos distribuidos en una gran área.

La extensión de las áreas de desove (en términos de millas náuticas cuadradas) presenta una estrecha relación con las capturas totales del año (**Figura 76**), estando el año 2012 en la tendencia general. Esta relación se explicaría por los cambios en las áreas de desove en función de la disponibilidad o abundancia de anchoveta en la zona norte, asumiendo que la captura total del año es un buen indicador de la abundancia/disponibilidad. Es decir, cuando la abundancia/disponibilidad es alta, la anchoveta tiende a desovar en una zona más amplia en comparación a años de menor abundancia/disponibilidad, lo que implica una utilización denso-dependiente del hábitat de desove por la anchoveta.

Del análisis de los coeficientes $V(Cramer)$ se debe considerar que para una asociación entre los recursos y las variables ambientales existe la presunción de que los huevos de la especie poseen una adecuada cobertura espacial y que se distribuyeron en un amplio rango de las variables ambientales, en este sentido tanto



la temperatura como la salinidad exhibieron buenas correlaciones con los huevos de anchoveta. Específicamente, la salinidad del agua alcanzó un índice $V(Cramer)$ de 0,44. Por otra parte, cabe considerar que los mecanismos que controlan la distribución y abundancia de los peces son complejos, en este contexto los recursos pelágicos presentan variaciones espaciales vinculadas a procesos biológicos y fluctuaciones del medio ambiente, así Yáñez *et al.*, (2005) señalan que las variables oceanográficas más importante serían temperatura, salinidad, profundidad de la capa de mezcla, entre otros. En este sentido se destaca que los huevos de la especie presentaron una moda principal en la isoterma de 15°C (35% de las celdas) y la salinidad reportó una moda principal en las isohalinas de 34,6 y 34,7 psu.

El patrón de distribución de los centros de gravedad indicó que se posicionaron mayoritariamente en las primeras millas de la costa. En los años 2011-2012 los CG exhibieron un desplazamiento hacia el sur reportándose frente al río Loa a unas 20 mn de la costa lo que es concordante con las buenas concentraciones que se encontraron en el lugar en este período. Cabe destacar que 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 la especie.

Es importante destacar que en los años 2009 y 2007, años en que la zona exhibió condiciones frías, los CG registraron un importante corrimiento hacia el norte, siendo éstas las posiciones más septentrionales de todo el período, Al contrario, los años 1997 y 2001, años en que la zona estuvo influenciada por “El Niño” los CG se desplazaron hacia el sur, lo que concuerda con Yáñez *et al.*, (1993) que al analizar la distribución de anchoveta y sardina española en la zona mencionaron un corrimiento de las especies en dirección sur cuando la zona de estudio se ve influenciada por el evento ENOS.



Al emplear modelos aditivos generalizados quedó en evidencia la relación no lineal entre los factores de localización y oceanográficos y la presencia y densidad de huevos de anchoveta en la zona norte del país. El modelo propuesto permiten explicar una fracción de la variabilidad en los datos, vale decir existe una ganancia en el modelo que incorpora las covariables latitud, longitud, salinidad y temperatura superficial del mar frente a uno sin incorporar dichas variables explicatorias. No obstante el índice de calidad del ajuste, total de devianza explicada, en general es bajo, situación esperable debido a la alta variabilidad entre la variable modelada y sus covariables. Sin embargo y aún con niveles bajos de ajuste, el modelo desarrollado permite describir el comportamiento de la densidad de huevos en función de las covariables incorporadas en el análisis y ratificadas por la significancia estadística, además de incorporar de forma conjunta en el modelamiento la densidad de huevos en las estaciones positivas y la presencia recurrente de estaciones con densidades cero.

El efecto de las funciones suavizadas indica que si bien el desove se produce en todo el rango latitudinal analizado, el área al norte de los 23° S presenta condiciones más favorables para la densidad de huevos. Respecto de la longitud, se observa que éste es un proceso costero, en efecto longitudes localizadas al este de los 71° W tienen un impacto positivo gradual en la densidad de huevos. En cuanto a las condiciones oceanográficas, temperaturas entre los 15° y 17° C presentan un efecto positivo sobre éstas; mientras que salinidades en el intervalo entre los 34,4 y los 35,3 psu no presentan un claro efecto sobre la densidad de huevos. Asimismo, 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, este último año con una alta proporción de estaciones con huevos, comparada con el promedio histórico.



IX. BASE DE DATOS FIP N° 2012-06

La estructura de las bases de datos, con toda la información básica que se obtuvo durante la ejecución del crucero correspondiente al proyecto FIP 2012 – 06, “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II regiones, año 2012” 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: **CRUCE552.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) definici3n de las columnas en el archivo y unidades

Columna	descripci3n	Unidades
Crucero	n3mero de crucero de IFOP	
pa3s	pa3s	
buque	nombre del buque	
n3 Est	n3mero de la estaci3n	
lat(g)(3S)	latitud	grados Sur
lat(m)	minutos de latitud	
long(g)(3W)	longitud	grados Oeste
long(m)	minutos de longitud	
A3o	a3o	
Mes	mes	
d3a	d3a	
Hora	hora local	
Minuto	minuto de la hora	
Profeco	profundidad de ecosonda	metros
Dir Olas	direcci3n de las olas	grados
Olasalt	altura de olas	ver c3digos
Olasper	per3odo olas	ver codigos
Dir Viento	direcci3n del viento	grados
int Viento	velocidad del viento	nudos
Pres atmof	presi3n barom3trica	milibar
T seco	Temp del Aire	3C
% hum rel	Humedad relativa	(%)
Tiempo Pres	tiempo presente	ver c3digo
Tipo nube	tipo de nubes observadas	ver c3digos
Cant nube	cantidad de nubes	ver c3digos



Continuación

Campo	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- <i>a</i> sensor	µg/L
OxigW	Oxígeno disuelto discreto Winkler	mL/L
Cloa	Clorofila- <i>a</i> 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 2012.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	



3. 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 2012.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)
	Peso Corporal (PT-PG)
PC	(g)
Fecundidad	Número de ovocitos hidratados en el ovario



X. CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis histológico, la anchoveta inició el periodo de máxima intensidad de desove (MID) a fines de julio e inicios de agosto, y se prolongó con IAD relativamente altos hasta la última semana de octubre, con máximos en agosto y en septiembre.

La permanencia de hembras en reposo durante las semanas de junio y julio señaló en este año una condición inusual de baja actividad ovárica que significó un retraso en el inicio del evento reproductivo principal, que se manifestó de manera abrupta a fines de julio y se mantiene hasta la última semana de octubre, respecto a lo observado en años anteriores para la anchoveta en la Zona Norte.

El área prospectada fue de 32291 mn². El área de desove estimada correspondió a 14356 mn², la cual está dentro de las más altas de la serie histórica para anchoveta.

La zona intertropical registró durante el periodo del crucero condiciones ENOS neutrales.

Las variables analizadas tanto del crucero como satelitales señalan que durante el periodo de estudio la zona norte de Chile registró condiciones oceanográficas normales.

Los vientos observados durante el crucero fueron principalmente débiles pero con componente favorable a la surgencia, proceso de afloramiento que se registró en gran parte de la franja costera con intensidad variable.



Los focos de menor surgencia fueron el área de punta Tres Picos a Tal Tal, de punta Junín a Iquique, en caleta Chipana y rada Paposo y los de mayor intensidad de surgencia se localizaron frente a Pisagua, caleta Ligate, Antofagasta y punta Ballenita, presentando participación de agua Ecuatorial Subsuperficial (**AESS**) en mayor proporción que en el resto del sector costero.

La distribución vertical de oxígeno estaría indicando que el AESS está presente en el sector costero a nivel subsuperficial cercano a los 50 m. El núcleo de Agua Ecuatorial Subsuperficial se posicionó más profundo en la vertical del área oceánica entre Mejillones y Rada Paposo que en el resto de la zona.

Los sectores de mayor riqueza pigmentaria fueron Arica, punta Lobos, punta Copaca, Mejillones, Antofagasta y punta Ballenita, siendo recurrentes por sus altas concentraciones de clorofila punta Copaca, Mejillones y Antofagasta.

Durante la etapa de declinación de los procesos fríos La Niña en la región ecuatorial, ocurre en la zona norte de Chile un rápido e intenso efecto “rebote” en las condiciones locales que pasan de frías a cálidas.

Durante el periodo febrero – julio 2012 hubo una condición cálida en la zona de estudio, lo cual parece estar conectado directamente con las condiciones cálidas de la región Niño 1+2.

La profundidad del límite superior de la capa de mínimo oxígeno (1 mL/L) en la serie de cruceros MPH no muestra para la zona un patrón asociado a condiciones cálidas, frías o neutras, tanto locales como regionales, por lo que esta variable estaría fuertemente determinada por procesos locales.



Del total de 564 estaciones de la grilla realizada este año 2012, en que se realizó muestreo con red CalVET (California Vertical Tow) en su versión doble PAIROVET (Smith et al, 1985), 211 estaciones presentaron huevos de anchoveta lo que corresponde a un 37,41% del total de estaciones muestreadas. Comparativamente, con el año 2011 hay un número menor de estaciones positivas para anchoveta, similar a los años 1992, 2000 y 2005.

Un total de 10.779 huevos/ 0,05 m² de anchoveta (13.906 en el año 2011 y 4.703 en el 2009) fueron cuantificados en el área comprendida entre punta Carrizalillo (26°00´S) y Arica (18°25´S). La media de huevos por estación positiva alcanzó a 51 ejemplares (DS = 124,3) y la media por estaciones totales fue igual a 19, situación que señala una importante y significativa actividad reproductiva en la zona de estudio.

En relación a la intensidad y extensión espacial del desove, las densidades promedio por estaciones positivas y totales, muestran una situación diferente para ambos índices. La intensidad del desove con respecto al invierno de 2011 experimenta un leve incremento de 6,3%, exhibiendo prácticamente la misma cobertura geográfica del año 2011.

El patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta en el área de estudio, señala que el desove fue costero con expansiones hacia el océano en la zona de Arica, y se verificó en el rango latitudinal comprendido entre islote Blanco-Taltal (25°20´S) y Arica (18°25´S) y longitudinalmente hasta las 65 mn al oeste de caleta Bandurria (23°20´S). En términos generales, la densidad promedio de las estaciones positivas por transecta para los huevos de anchoveta, tendió a disminuir de costa a mar afuera



Los focos de desove más importantes (>300 huevos/ $0,05\text{m}^2$) se localizaron en el sector costero frente a bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$), a 20 mn de caleta Herradura de Mejillones ($23^{\circ}10'S$), a 1mn al oeste de caleta Atala ($22^{\circ}15'S$) y punta Urco ($21^{\circ}45'S$), a 5 mn de punta Patillo ($20^{\circ}45'S$) y a 1 mn frente a Caleta Ligata ($20^{\circ}30'S$) y Ensenada San Martín ($18^{\circ}30'S$), respectivamente; cuyas abundancias en conjunto representaron el 38,4% respecto del total de huevos de anchoveta cuantificados.

En relación al número de huevos el invierno de 2012 presentó un porcentaje de cambio negativo de -22,5% con respecto al crucero MPH precedente (2011), constituyéndose en el séptimo registro más alto de la serie 1992 – 2012

Del análisis integrado de los coeficientes $V(Cramer)$ se señala que la temperatura y la salinidad presentaron correlaciones similares con los huevos de la especie, específicamente, la salinidad alcanzó un índice $V(Cramer)$ de 0,44 y la temperatura un $V(Cramer)$ de 0,40.

Los CG se ubicaron preferentemente en sectores costeros en las primeras 10 mn de la costa, en el caso del CG del año 2012 el análisis indicó un desplazamiento hacia el sur localizándose frente a punta Arenas. Cabe destacar los desplazamientos de los CG hacia el sur cuando la zona se encuentra influenciada por evento “El Niño”.

La producción diaria de huevos estimada para el modelo de Lo es de 50,69 huevos/ $0,05\text{m}^2/\text{día}$ con un coeficiente de variación de 22%. En el modelo multinomial la estimación es de 32,21 huevos/ $0,05\text{m}^2/\text{día}$ con un coeficiente de variación de 21%.



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

Combinando el grupo de hembras que desovarán dentro de las próximas 24 horas, con el grupo de desove de la noche anterior, la fracción diaria de hembras desovantes se estima en 0,26 con una varianza de 0,00018 y un coeficiente de variación de 5,3%.

La fecundidad media poblacional resulta de 11794 ovocitos, con una varianza de 186466 y un coeficiente de variación de 3,7%.

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó un promedio de 0,49, una varianza igual a 0,00042 y un coeficiente de variación de 4,2%.

El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 20,12 gramos, con una varianza de 0,276 y un coeficiente de variación de 2,6%.

La biomasa desovante estimada por el modelo tradicional de Lo resulta en 672077 ton, con una varianza de 5,18802E+10 y un coeficiente de variación de 33,9%. Por el Modelo Multinomial se estima una biomasa de 427070 ton con una varianza de 1,86661E+10 y un coeficiente de variación de 32%.



XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aitchison, J., & J. A.C. Brown. 1957. The lognormal distribution. Cambridge University Press, Cambridge, MA. 387 p.
- Alday, A; A. Uriarte; M. Santos; I. Martín; A. Martínez and L. Motos. 2008. Degeneration of postovulatory follicles of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.). *Scientia marina* 72(3): 565-575.
- Alheit, J. V.H. Alarcón and B. J. Macewicz. 1984. Spawning frequency and sex ratio in the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*. *CalCOFI Rep.* Vol. XXV, 1984.
- Alheit, J. 1988. Reproductive biology of sprat (*Sprattus sprattus*): factors determining annual egg production. *Journal de Conseil International pour l'Exploration de la Mer.* 44:162-168.
- Aguilera, A. 2001. Cuadernos de Estadística. Tablas de Contingencia Bidimensionales. Edit., La Muralla, Madrid, España. 212 pág.
- 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.
- Armstrong, M., A., P. Shelton; I. Hampton; G. Jolly; and y. Melo. 1988. Egg production estimates of anchovy biomass in the southern Benguela system. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 29: 137-157.



- 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., y C.S. Nelson. 1991. the seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions. Journal of Physical Oceanography, 21: 1815-1834.
- 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.



- 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. 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., Stratoudakis, Y., Coombs, S., Angelico, M., Lago de Lanzos, A., Porteiro, C., Sagarminaga, Y., Santos, M., Uriarte, A., Cunha, E., Valdez, 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., Hernández, 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 hidrographics 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.
- Borchers, D.L., S.T. Buckland, I.G. Priede and S. Ahmadi. 1997. Improving the precision of the daily egg production method using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 2727 –2742.
- Braun, M.; H. Reyes; J. Osses, J. Castillo y V. Catasti. 2002. Monitoreo de las condiciones bioceanográficas en la I y II Regiones, año 2001. Informe Final FIP N°2001-01. Instituto de Fomento Pesquero, (Valparaíso, Chile).
- Braun, M., H. Reyes, V. Valenzuela, E. Pizarro, J. Castillo y V. Catasti. 2004a. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2002. Informe Final FIP N°2002-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 183 p + Anexos.
- Braun, M., G. Claramunt, V. Valenzuela, G. Herrera, H. Reyes, M. Pizarro, J. Saavedra, V. Catasti, Z. Young y R. Serra. 2005. Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, año 2004. Informe Final Consolidado FIP N°2004-04, Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 154 p + Tablas, figuras y anexo.
- 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.
- Claramunt, G.; G. Herrera y P. Pizarro. 1994. Producción potencial anual de huevos por tallas en *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) del norte de Chile. *Rev. Biol. Mar.* 29(2):211-233.
- 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.

Cochran, W.G. 1977. Sampling techniques. 3rd edition. Wiley and Sons. New-York, 413 p.

Cressie, N.A.C. 1991. Statistics for spatial data. John Wiley & Sons. New York, 920p.

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.

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.



- Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation (Applied Geostatistics Series)*. Oxford University Press. New York.
- Gordon, S., H. Chisheng & K. Stephen. 1992. Spatial analysis of Bearing Sea groundfish survey data using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1366-1378.
- Hastie, T. J. and Tibshirani, R.J. 1990. *Generalized Additive Models*, Chapman & Hall, London.
- 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. 1985. Preservation of northern anchovy in formaldehyde solution. In: R. Lasker (ed.), *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax**. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 63-65.
- Hunter, J.R. and B.J. Macewicz. 1985. Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin*: Vol 83 N° 2. 119-136.



- Hunter, J. R. 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. and R.J. Leon. 1981. The spawning energetics of female northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fishery Bulletin, U.S. 79(2):215-230.
- Hunter, J.R. & B.J. Macewicz. 1985. Measurement of Spawning frequency in Multiple Spawning Fishes. *In: An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern Anchovy, Engraulis mordax*. R. Lasker (Ed), NOAA-NMFS, Tech. Rep., 36: 79-94.
- 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, Engraulis mordax*. R. Lasker (Ed), NOAA-NMFS, Tech. Rep., 36: 67-77.
- NOAA, 2012a. Boletín de Discusión Diagnóstica El Niño/Oscilación del Sur mayo de 2012. (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/).
- NOAA, 2012b. Boletín de Discusión Diagnóstica El Niño/Oscilación del Sur Octubre de 2012. (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/).
- NOAA, 2013. Boletín de Discusión Diagnóstica El Niño/Oscilación del Sur enero de 2013. (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/).



- 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.
- 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
- Lasker, R. (ed.). 1985. An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36. 99 p.
- Lo, N.C.H. 1997. Empirical analyses of the precision of regression estimates of daily egg production and egg mortality of pelagic fish for daily egg production method. *Oceanografika*. 2: 71-89.
- Lo, N. 1985. A model for temperature – dependent northern anchovy egg development an automatic procedure for the assignment of egg to staged eggs. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 43 – 50.
- Lo, N., J. Hunter, and A. Charter. 2001. Use of a continuous egg sampler for ichthyoplankton surveys: application to the estimation of daily egg production of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off California. Fishery Bulletin 99: 554-571.



- Lohrenz, S. E., D. Wiesenburg, I. P. Depalma, K. S. Jhonson y D. E. Gustafson, Jr. 1988. Interrelationships among primary production, chlorophyll, and environmental conditions in frontal regions of the western Mediterranean Sea. *Deep-Sea. Res.* 35(5):793-810.
- Macewicz, B. J.; J.J. Castro; C. E. Coteró and J.R.Hunter. 1996. Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. *CALCOFI-REP*, 1996, vol 37, pp. 140-151.
- 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.
- 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.
- Millero, F. & A. Poisson. 1981. International one atmosphere equation of state of seawater. *Deep Sea Res.*, 28A, 625-629.
- 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.
- 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.
- 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.



- 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., M. Braun, J. Córdova, J. Castillo, V. Cataste, 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., 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., 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. 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. Informe final. FIP N° 2002-10. 87 p + anexos.



- 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., 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.
- 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. Pergamon Press 173 pp.
- Pennington, M. 1986. Some statistical techniques for estimating abundance indices from trawl surveys. Fish. Bull. (U.S.) 84:519-525.
- Pennington, M. 1983. Efficient estimators of abundance for fish and plankton surveys. Biometrics 39:281-286.



- 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.
- 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.
- Pizarro J., W. Palma y Claudio Flores. 1998. Validaci3n de la hip3tesis de mortalidad por inanici3n en larvas de *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 (Pisces: Engraulidae), utilizando el criterio histol3gico en un 3rea de surgencia costera en el norte de Chile. En: Invest. Mar., Valpara3so, 26: 97-108.
- Reyes H. ,J. Letelier, M. Pizarro & M. Braun. 2010. Condiciones Oceanogr3ficas. En: Evaluaci3n del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, a3o 2009. Informe Final Proyecto FIP 2009-01.
- Reyes H. & M. Pizarro. 2012a. Condiciones Oceanogr3ficas. En: Evaluaci3n del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, a3o 2011. Informe Final Proyecto FIP 2011-08.
- Reyes H. & M. Pizarro. 2012b. Condiciones hidrogr3ficas, distribuci3n y abundancia de pigmentos entre la XV y II regiones durante la primavera de 2011. En: Evaluaci3n hidroac3stica del reclutamiento de anchoveta en la XV, I y II regiones, a3o 2012. Informe Final SUBPESCA. Instituto de Fomento Pesquero (Valpara3so, Chile).



- Reyes H. & M. Pizarro. 2013. Oceanografía física y química. En: Evaluación hidroacústica de Jurel entre la XV y III regiones, año 2012. Informe Final Proyecto FIP 2012-01. Inst., Fom., Pesq., Valparaíso, Chile.
- Reynolds, R. 1982. A monthly averaged climatology of Sea Surface Temperature. Technical Report NNS-31, National Meteorological Center, NOAA, Silver Springs, Md.
- Rojas, O. y J. Oliva. 1993. Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta de la Zona Norte por el Método de Producción de Huevos. Programa de evaluación directa de recursos pelágicos de la zona Norte. Convenio Empresas Pesqueras del Norte e Instituto de Fomento Pesquero. 50 p.
- Rojas, R. y N. Silva. 1996. Atlas Oceanográfico de Chile. (18°21'S – 50°00'S). Volumen I. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. 234 pág.
- 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.
- Sánchez, R., M. Pajaro AND G. Macchi. 1996. The application of the daily egg production method to the assessment of the SW Atlantic anchovy (*Engraulis anchoita*) spawning biomass off Argentina. International Council for the exploration of the Sea. Pelagic Fish Committee, CM 1996/h: 29 p.



- Santander, H., J. Alheit y P. Smith. 1984. Estimación de la biomasa de la población desovante de anchoveta peruana *Engraulis ringens* en 1981 por aplicación del Método de producción de huevos. Bol. IMARPE 8(6): 213-248.
- 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.
- Seabird. 2004. Manual de Proceso de datos de CTD Sea Bird. http://www.seabird.com/pdf_documents/manuals/SBEDataProcessing_5.32a.pdf
- Selman, K. and R. Wallace. 1989. Cellular aspects of oocyte growth in teleosts. Zoological Science. 6: 211-231.
- Sepúlveda, A., L. Cubillos, S. Núñez, T. Canales, D. Bucarey, A. Rojas, J. Oliva, P. Barría, E. Díaz, V. Baros y H. Miranda. 2000. Antecedentes biológicos del stock desovante de anchoveta y sardina común de la V a IX Regiones. Informe Final FIP 97-04. Informes Técnicas FIP-IT/97-04, 199p.
- Seber, G.H.F. 1973. The estimation of animal abundance and related parameters. Hafner Press, N.Y. 506 p.
- Shono, H. 2008. Application of the Tweedie distribution to zero-catch in CPUE análisis. Fisheries Research 93: 154-162.



- Silva, C., E. Yáñez. M. A. Barbieri y K. Nieto. 2003. Asociaciones entre la pesquería de pequeños pelágicos, la clorofila a y la temperatura superficial del mar en la zona norte de Chile. *In: Actividad pesquera y de acuicultura en Chile*. Valparaíso, 157-162.
- Sievers, H., y N. Silva. 1982. Masas de agua y circulación frente a la costa de Chile entre Latitudes 18 a 33°S. Operación Oceanográfica Marchile VII. Cona 6.
- Silva, N y D. Konow . 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición Krill. Crucero 3-4. julio agosto 1974. *Cienc. y Tec. del Mar, Cona 3: 37 – 42. CONA 3.*
- Silva, N. 1983. Masas de agua y circulación de la región norte de Chile. Latitudes 18°S-32°S. (Operación Oceanográfica MARCHILE XI - ERFEN II). *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA. 7: 47-84.*
- Simpson, J y E. Gil. 1967. Maduración y desove de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en Chile. *Bol. Cient. Instituto de Fomento Pesquero. Santiago-Chile. 4: 55 p.*
- Smith, P. E., W. Flerx and R. P. Hewitt. 1985. The CalCOFI vertical egg tow (CalVET) net. *In: R. Lasker (ed.). An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, Engraulis mordax. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 27-32.*
- 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.

Smith, P.E. y S.L. Richardson. 1979. Técnicas modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO, Doc. Téc. Pesca (175):107p.

Somarakis, S.; I. Palomera; A. García; L. Quintanilla, C. Koutsikopoulos; A. Uriarte and L. Motos. 2004. Daily egg production of anchovy in European waters. ICES Journal of Marine Sciences, 61:944-958.

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. and S.J. Picquelle. 1980. Estimates of the 1980 spawning biomass of the central subpopulation of northern anchovy. Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA, Southw. Fish. Cent. Admin. Rep. LJ - 80-09. 41 p.

Stauffer, G.D. and S.J. Picquelle. 1985. Procedures for sorting, staging, and ageing eggs. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 33-35.

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

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 (*Macrurus magellanicus*) off Southern Chile. Fisheries Research, Vol. 105.
- Thompson, S.K. 1992. "Sampling". John Wiley & Sons, Inc. 343 pp.
- UNESCO, 1981a. The practical salinity scale 1978 and the international Equation of State of Seawater 1980. UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci., N°36.
- UNESCO, 1981b. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater. UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci. N°38.
- Wallace, R. and k. Selman. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Amer. Zool. 21:325-343.
- Wood, S.N., 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. CRC/Chapman & Hall, 416pp.
- 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., 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.
- 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.; C. Canales; M. A. Barbieri; A. González y V. Catasti. 1993. Estandarización del esfuerzo de pesca y distribución espacial e interanual de la CPUE de anchoveta y sardina en la zona norte de Chile entre 1987 y 1992. En: Invest. Mar., Valparaíso, 21: 111-132.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A. & Smith, G.M. 2009. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Statistics for Biology and Health. Springer.

FIGURAS

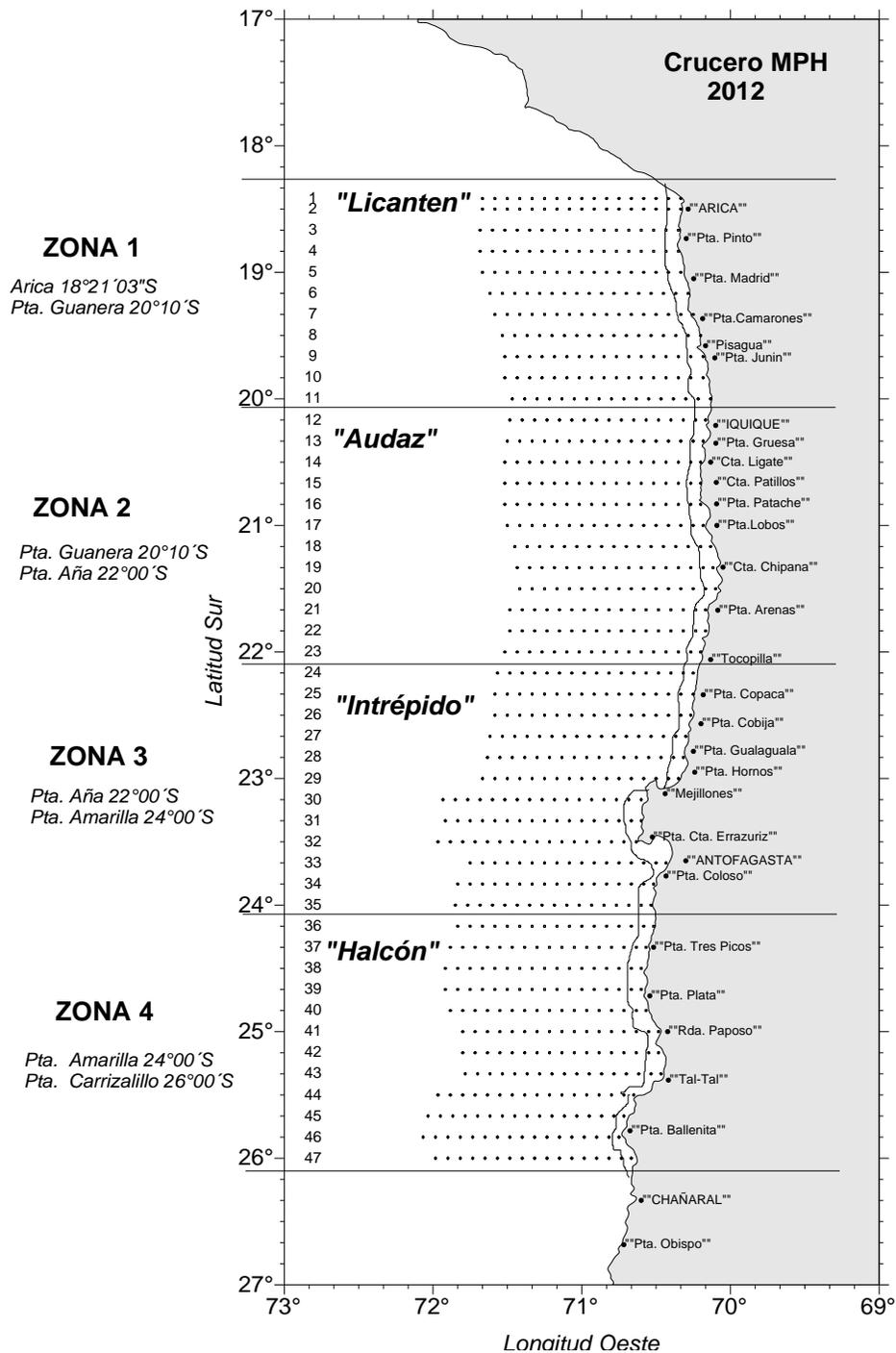


Figura 1. Rango latitudinal de operaci3n de los barcos cerqueros industriales que trabajaron en forma conjunta, en la recolecci3n de adultos de anchoveta. Crucero MPH – Invierno 2012.

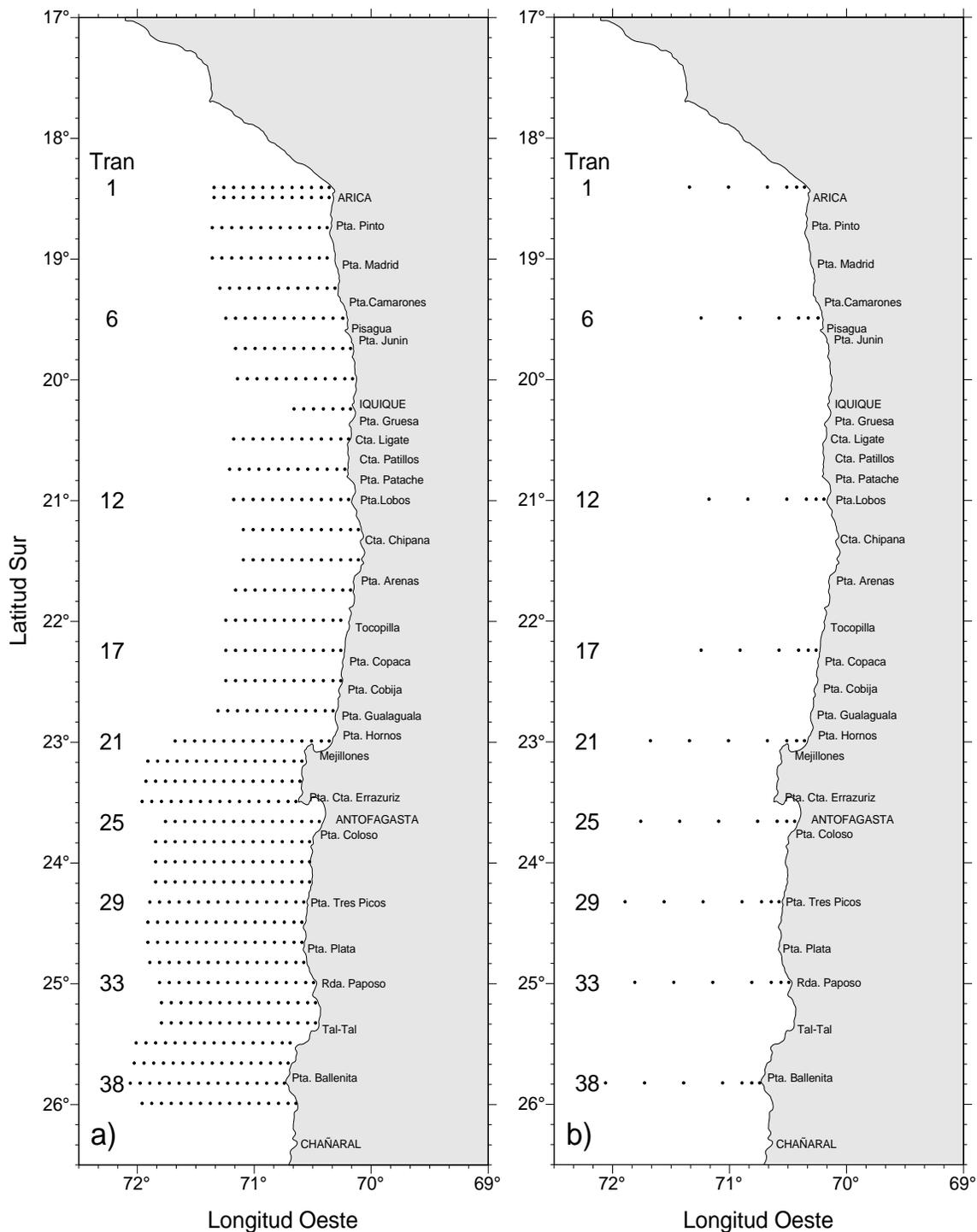


Figura 2. Ubicación geográfica de a) estaciones oceanográficas y b) estaciones con muestreo de clorofila y oxígeno (estaciones oceanográficas profundas). Crucero MPH - Invierno 2012.

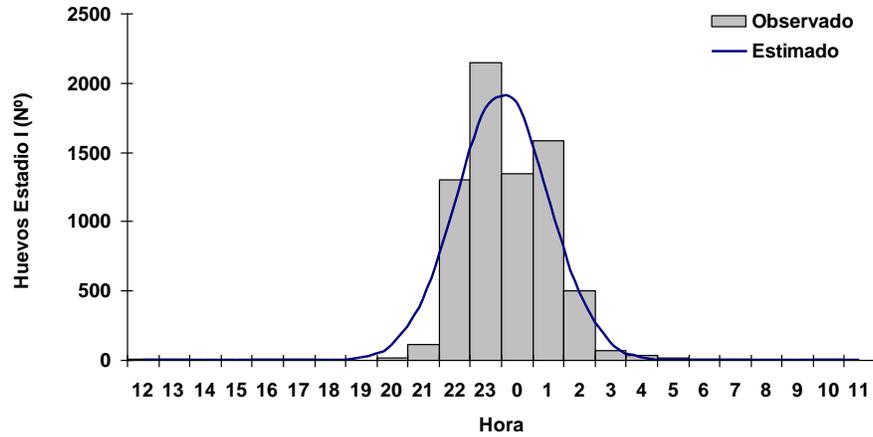


Figura 3. Distribución de frecuencia, N° de huevos de anchoveta en el estadio I de desarrollo (Recientemente desovados y fertilizados) según hora de recolecta para el total de cruceros realizados en la zona norte.

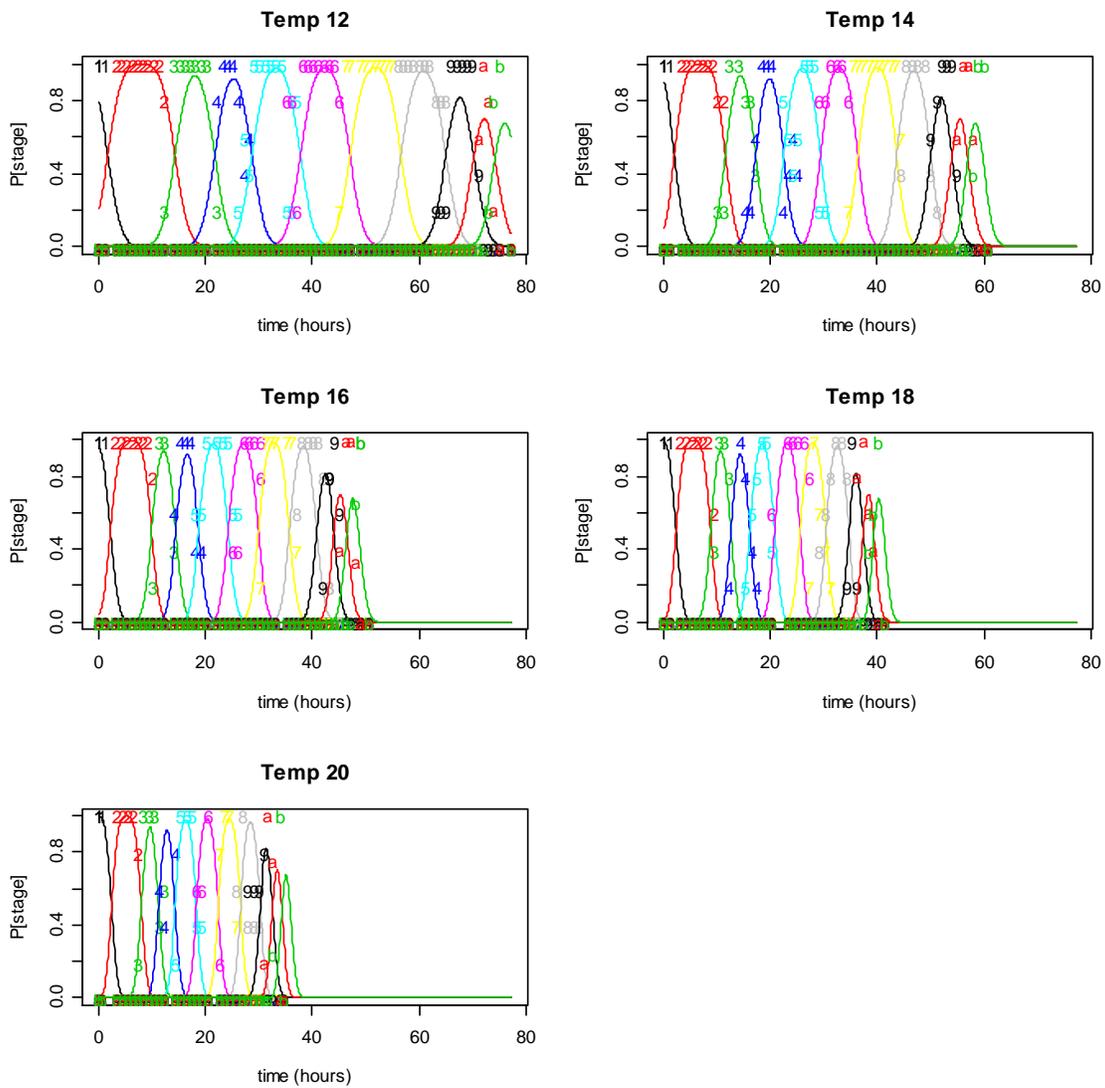


Figura 4. Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubación.

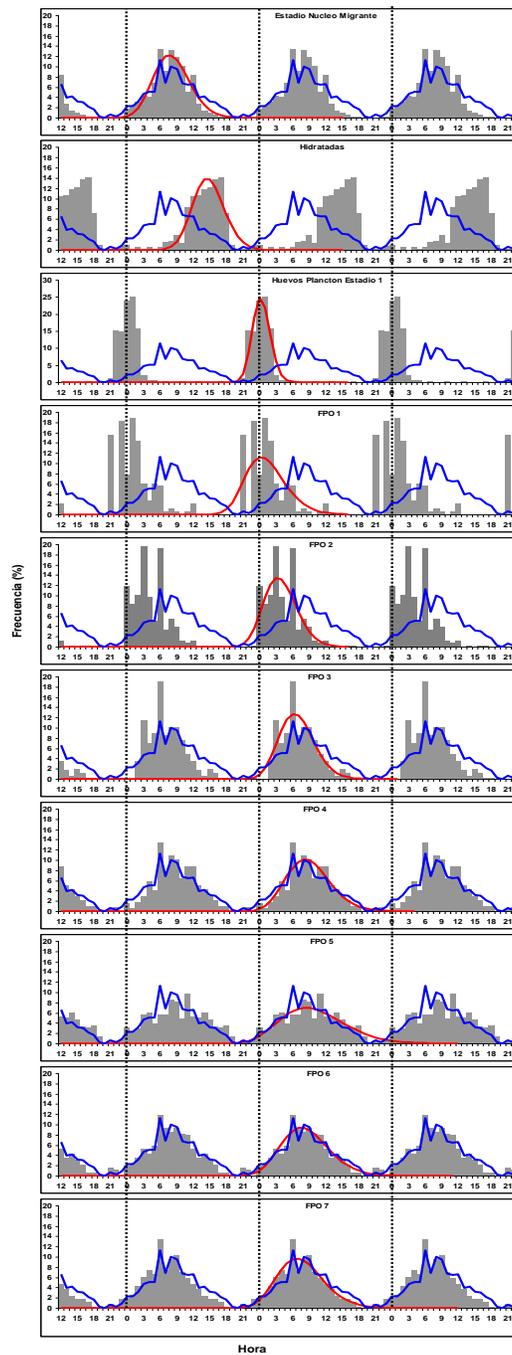


Figura 5. Distribución temporal de los estadios madurez microscópica y FPO de la zona norte de Chile. Líneas azules verticales representan la distribución horaria de los lances de pesca. Líneas segmentadas verticales las 24:00 h. Línea roja representa un ajuste de distribución Gamma (Con hora acumulada a partir de las 12:00). Información acumulada del 2004 al 2011 (Claramunt *et al*, 2007).

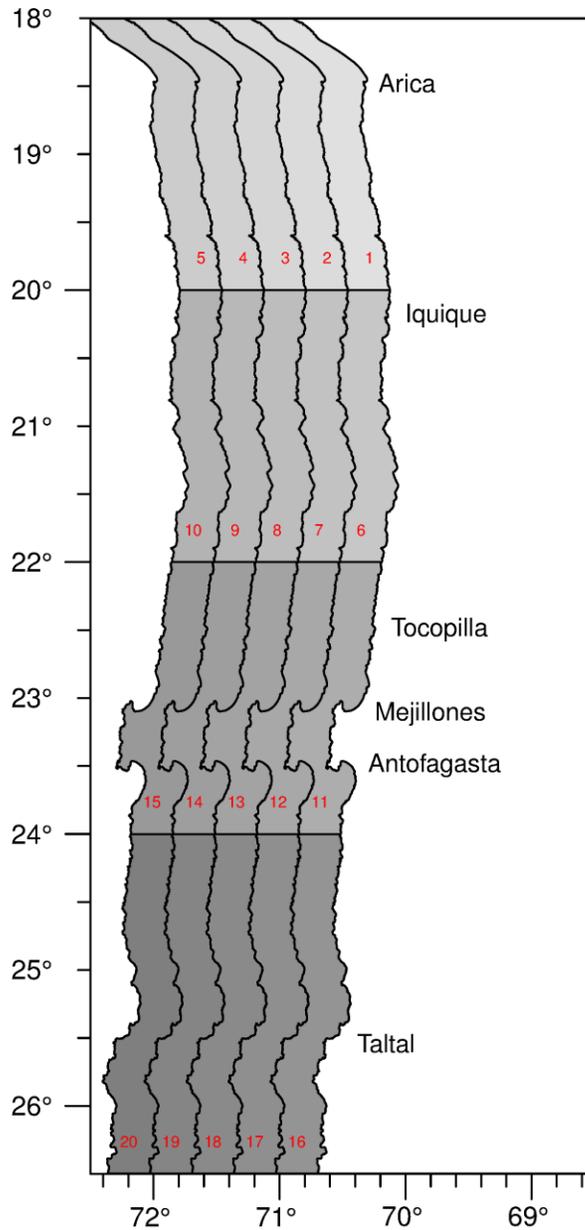


Figura 6. Zona de estudio y las veinte áreas (polígonos) de 20 millas náuticas de longitud proyectado desde la línea de costa.

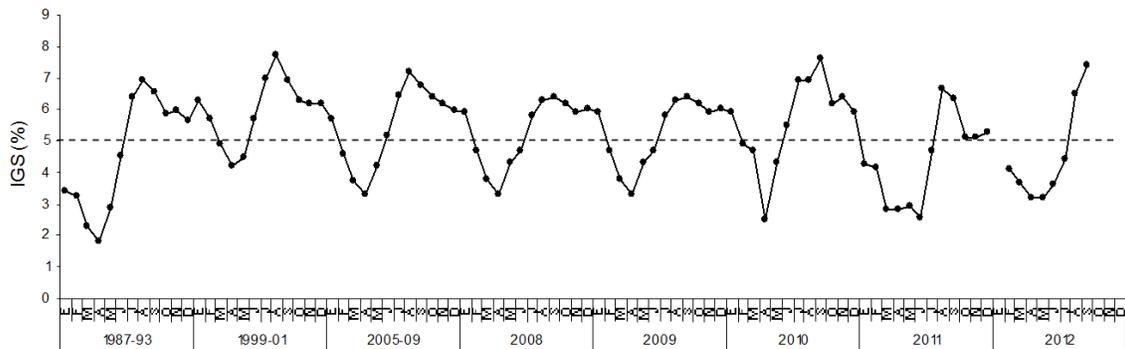


Figura 7. Variaci3n mensual del Índice Gonadosomático de la anchoveta en la zona Arica - Antofagasta. Series históricas 1987-1993; 1999-2001; 2005-2009 y años 2008 al 2012. La línea horizontal representa el valor referencial de actividad reproductiva.

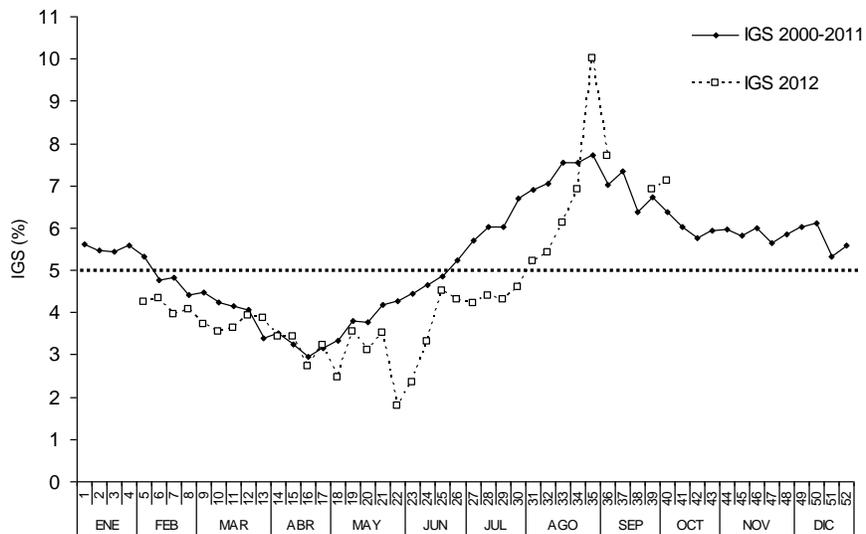


Figura 8. Variaci3n semanal del IGS promedio histórico 2000-2011 y en el 2012. La línea indica el valor referencial de actividad reproductiva.

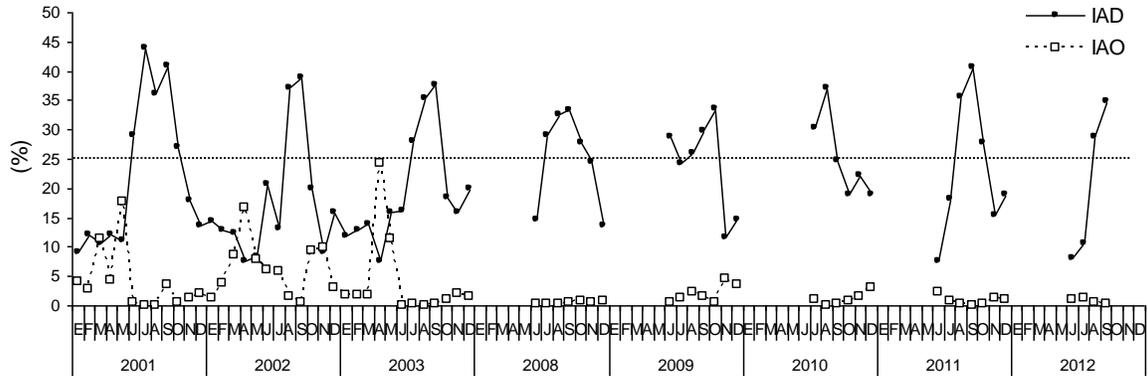


Figura 9. Variación mensual del Índice de Actividad de Desove (IAD) y del Índice de Atrésia Ovárica (IAO). Ciclo anual 2001 al 2003, y entre junio de 2008 y septiembre de 2012. La línea horizontal representa el IAD referencial ($\geq 25\%$) que define el periodo de la máxima intensidad de desove (MID).

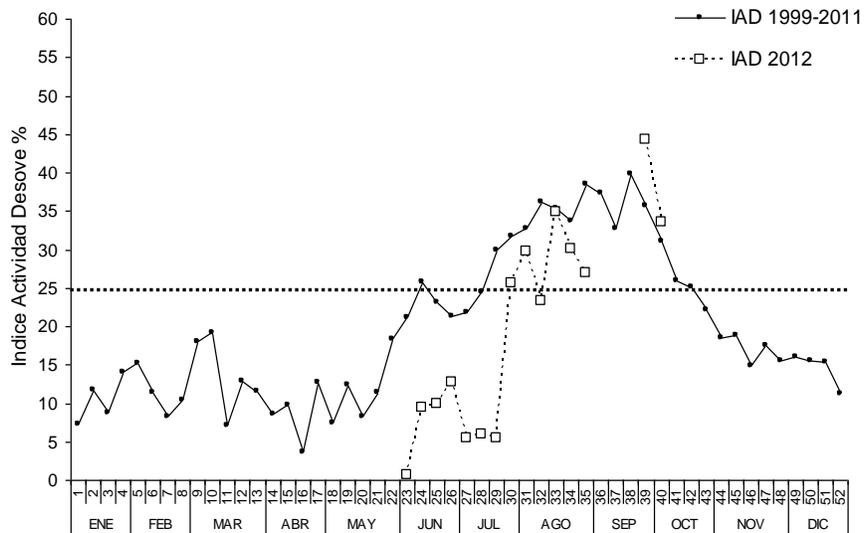


Figura 10. Variación semanal del IAD promedio histórico 1999-2011 y en el 2012. La línea horizontal representa el IAD referencial ($\geq 25\%$) que define el periodo de la máxima intensidad de desove (MID).

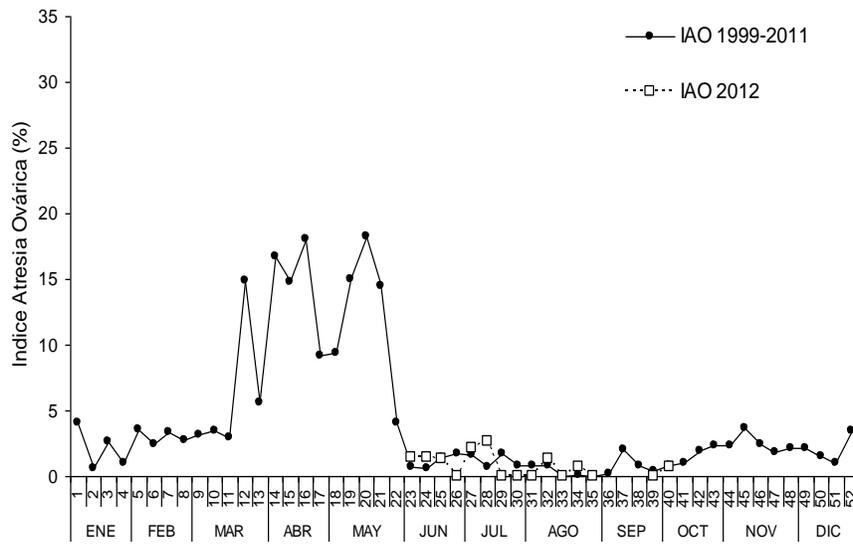


Figura 11. Variación semanal del IAO promedio histórico 1999-2011 y en el 2012.

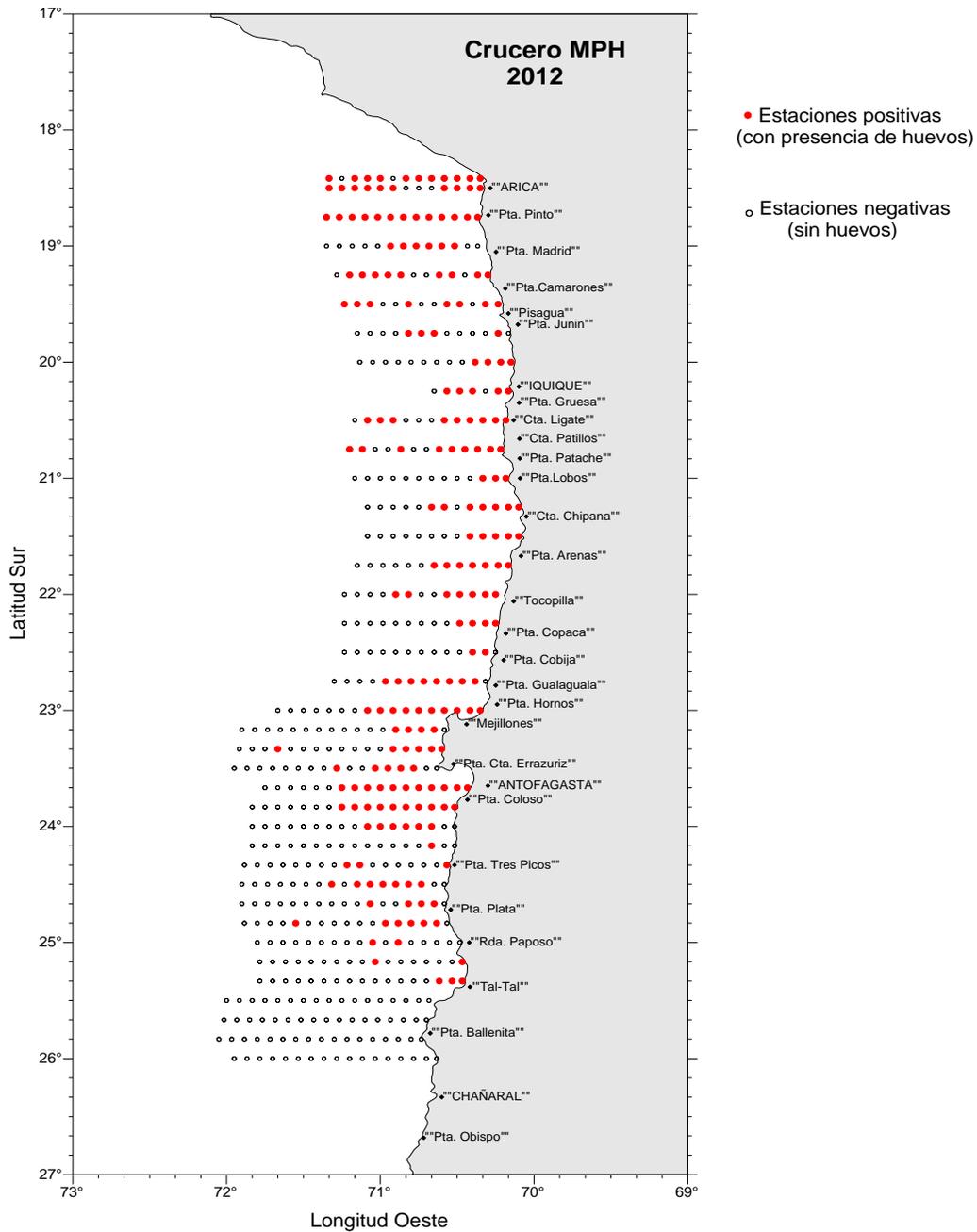


Figura 12. Distribución geográfica de las estaciones positivas y negativas a huevos de anchoveta. Crucero MPH 552(3)12 Eperva 57 – Invierno 2012.

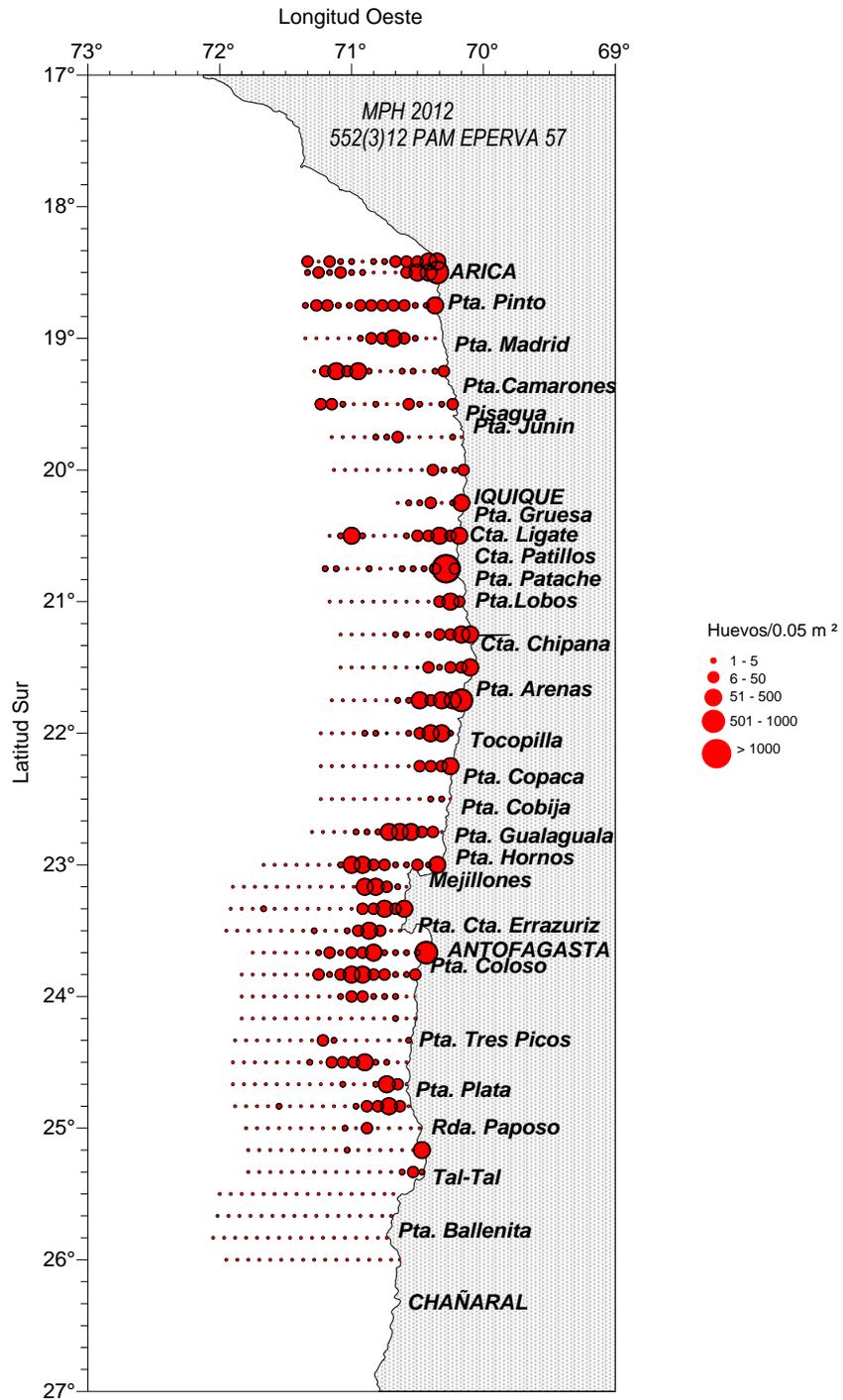


Figura 13. Distribución y abundancia de huevos de Anchoveta. Crucero MPH - Invierno 2012.

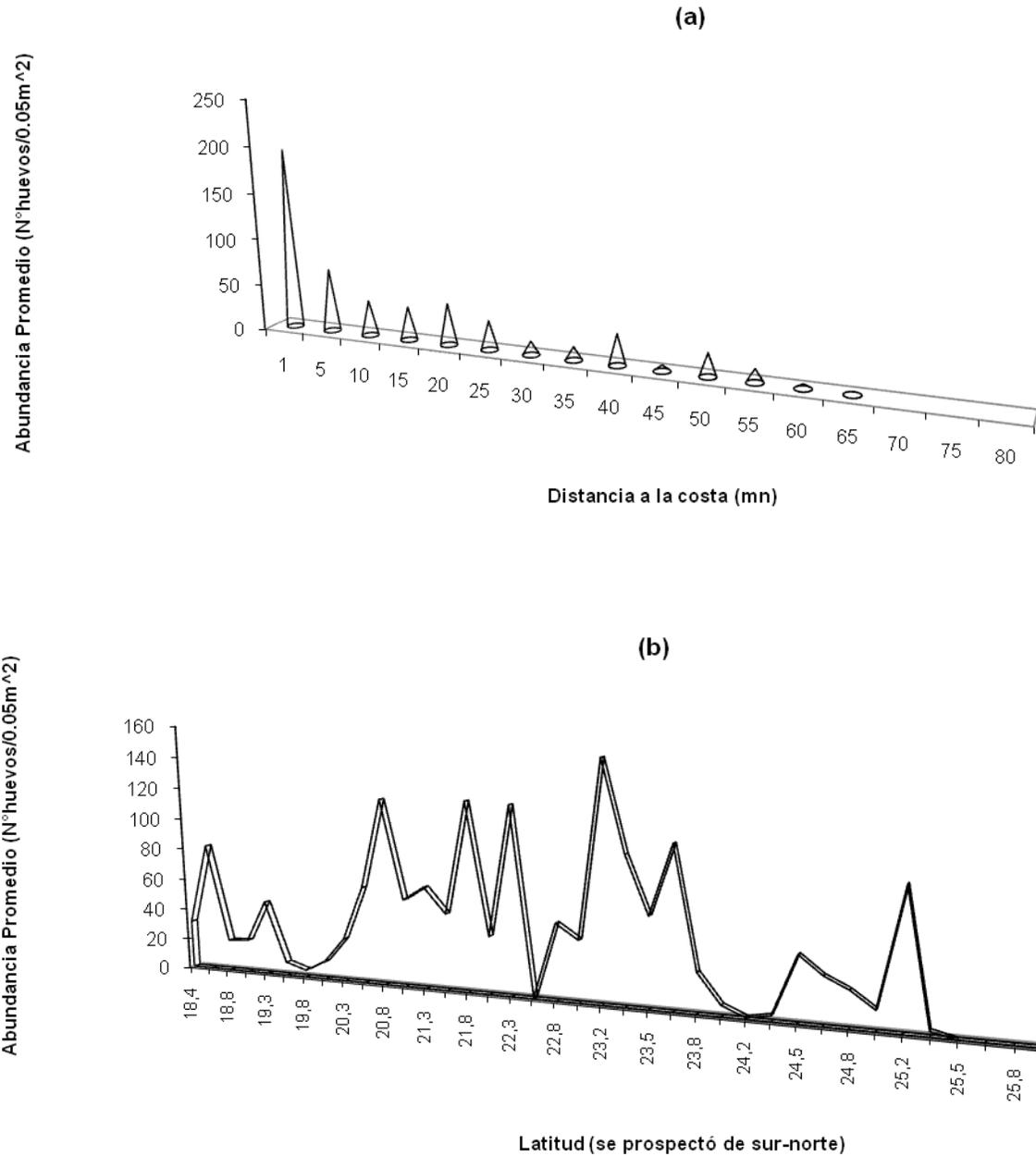


Figura 14. Distribuci3n de la abundancia promedio de huevos de anchoveta con respecto a la distancia de la costa (a) y con respecto a la latitud (b). Crucero MPH – Invierno 2012.

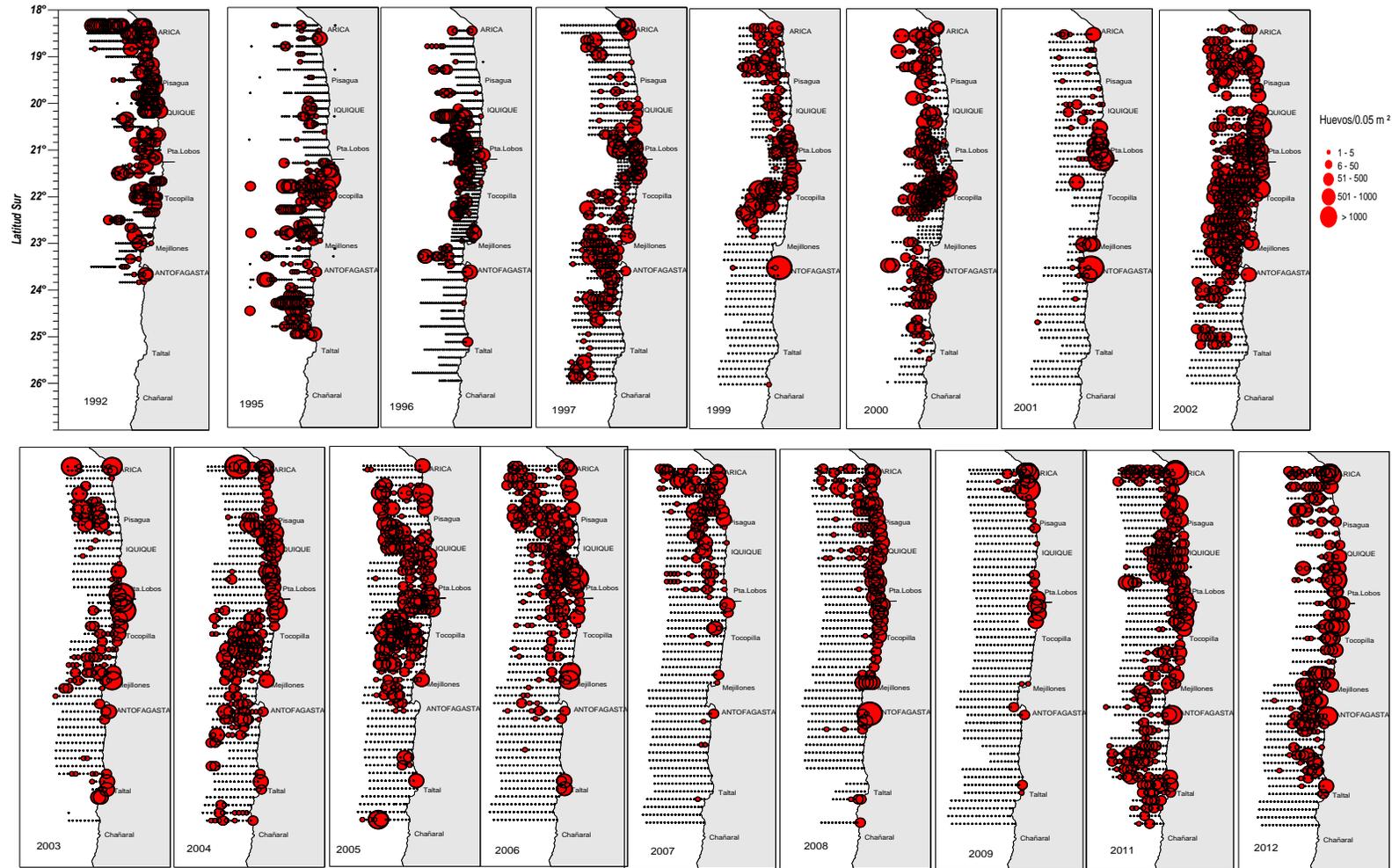


Figura 15. Distribuci3n espacial y abundancia de huevos de Anchoqueta. Cruceros MPH Inviernos 1992 - 2012.

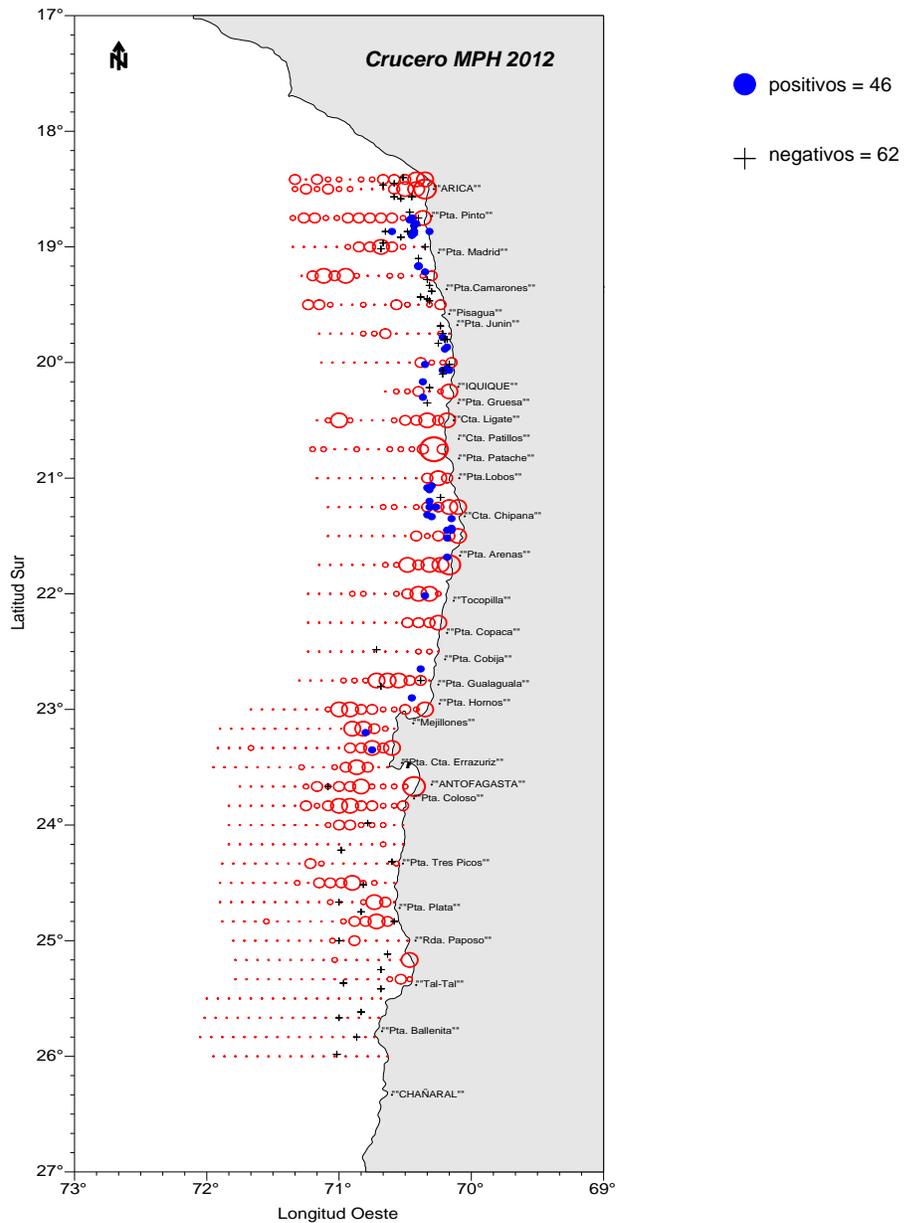


Figura 16. Distribución espacial de los lances de pesca v/s los huevos de anchoveta. Crucero MPH Invierno 2012.

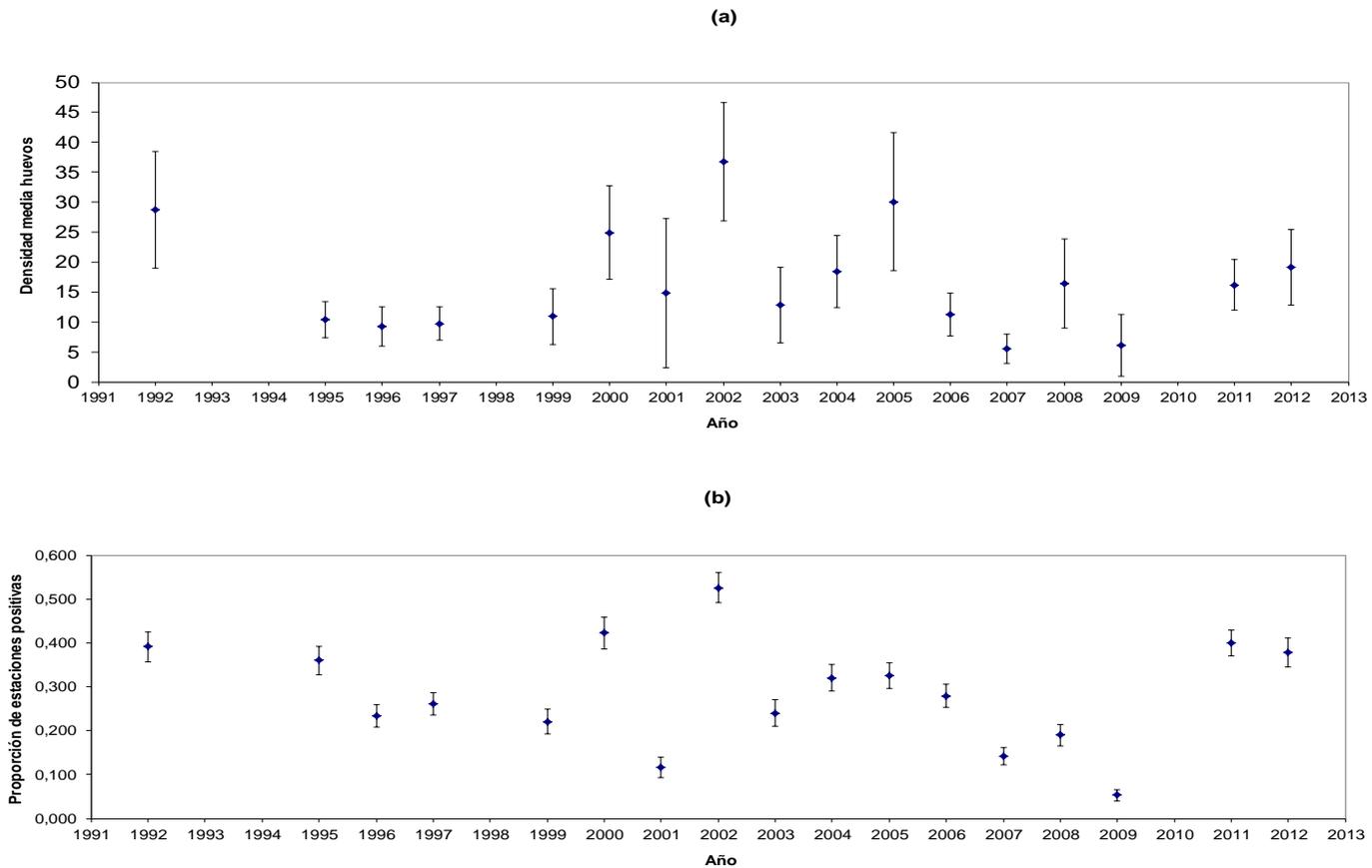
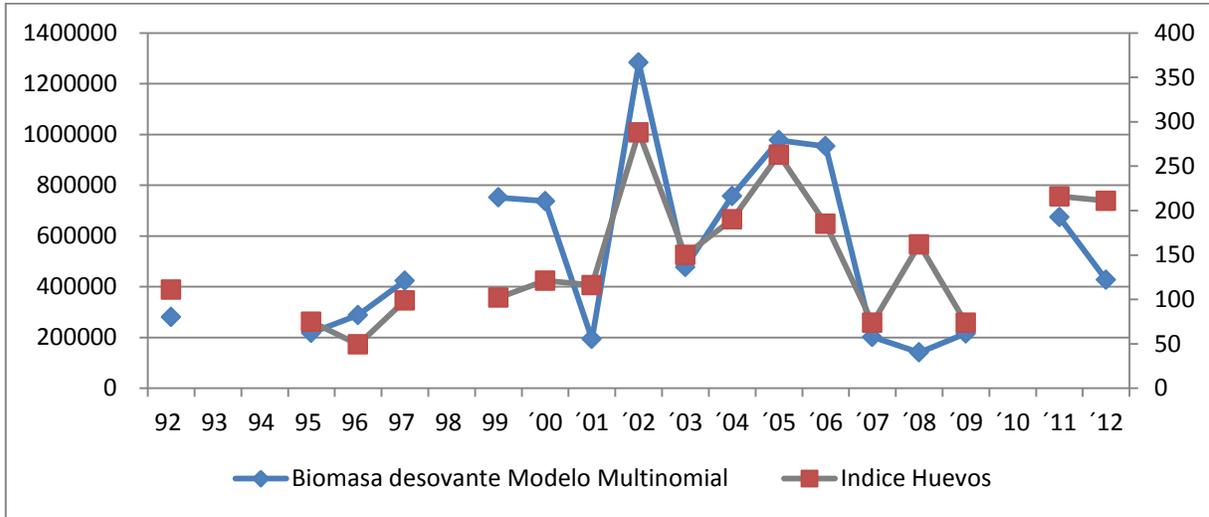


Figura 17. (a) Densidad media de huevos de anchoveta estimada para el período 1992 - 2012, a través del estimador de la media de una distribución delta y (b) proporción de estaciones positivas (con huevos), período 1992 – 2012.



(a)



(b)

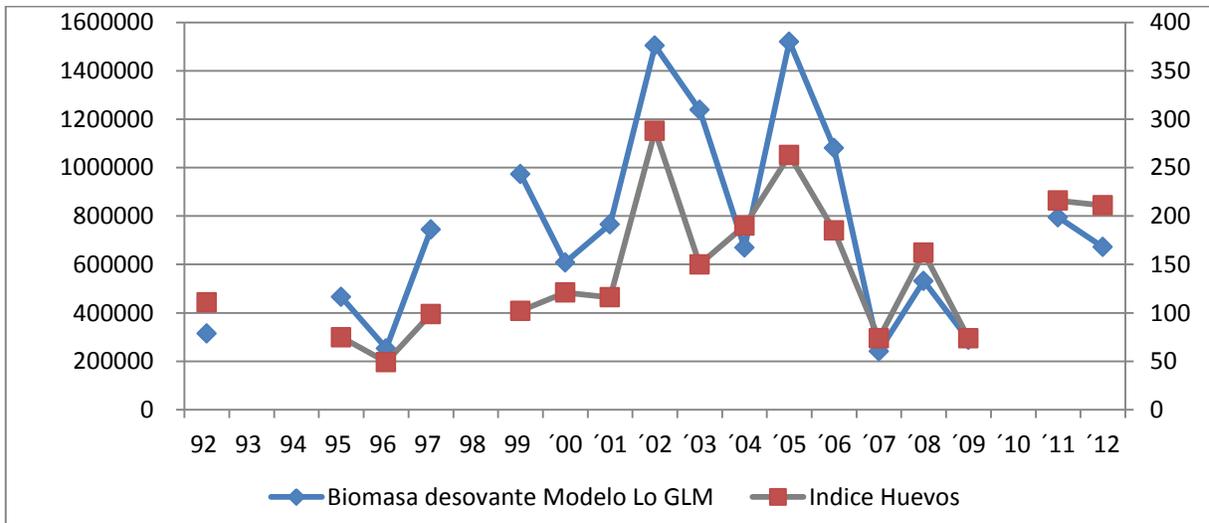


Figura 18. Comparación del índice de huevos y la biomasa desovante estimada con el modelo multinomial (a) y con el modelo de Lo GLM (b).

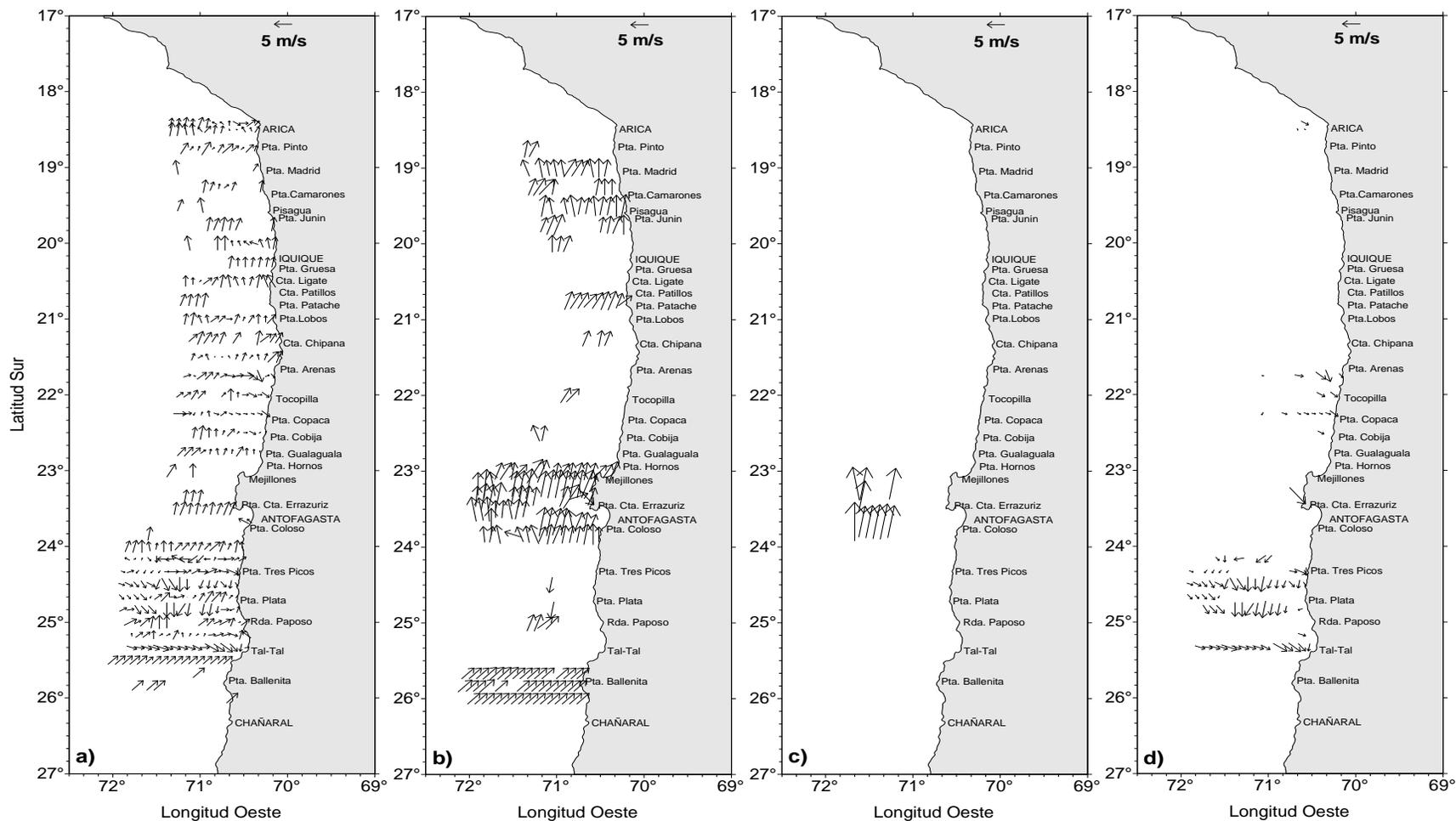


Figura 19. Cartas del viento horario de intensidad a) menor a 5 m/s, b) 5 a 10 m/s, c) mayor a 5 m/s, d) viento con componente norte. Crucero MPH - Invierno 2012.

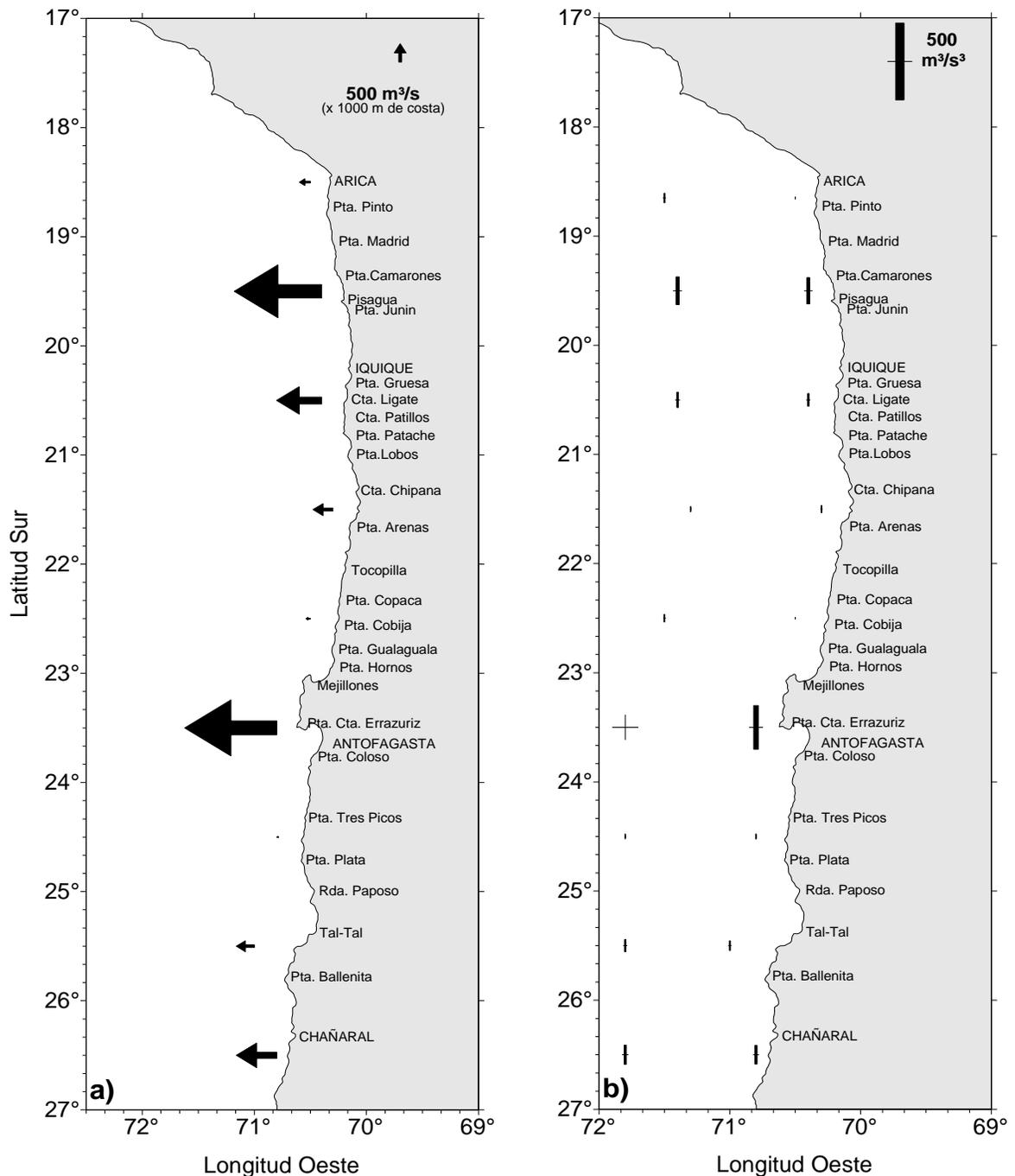


Figura 20. Cartas de a) promedios del índice de surgencia y b) promedios de turbulencia. Los promedios se obtuvieron de mediciones del viento de las estaciones dentro de 1° de latitud. Crucero MPH - Invierno 2012.

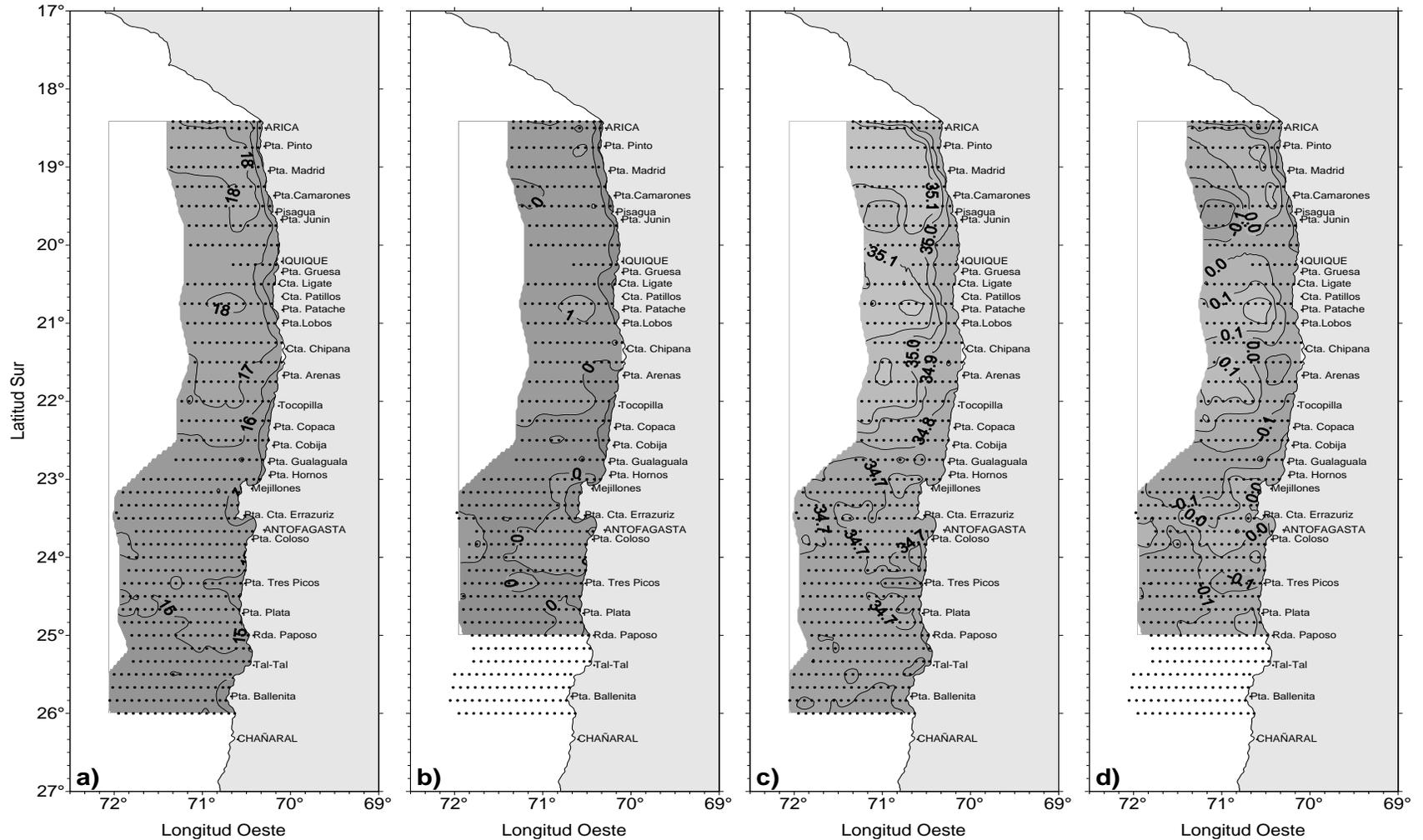


Figura 21. Distribuci3n superficial de a) temperatura (°C), b) anomalia de temperatura (°C), c) salinidad (psu) y d) anomalia de salinidad (psu). Crucero MPH - Invierno 2012.

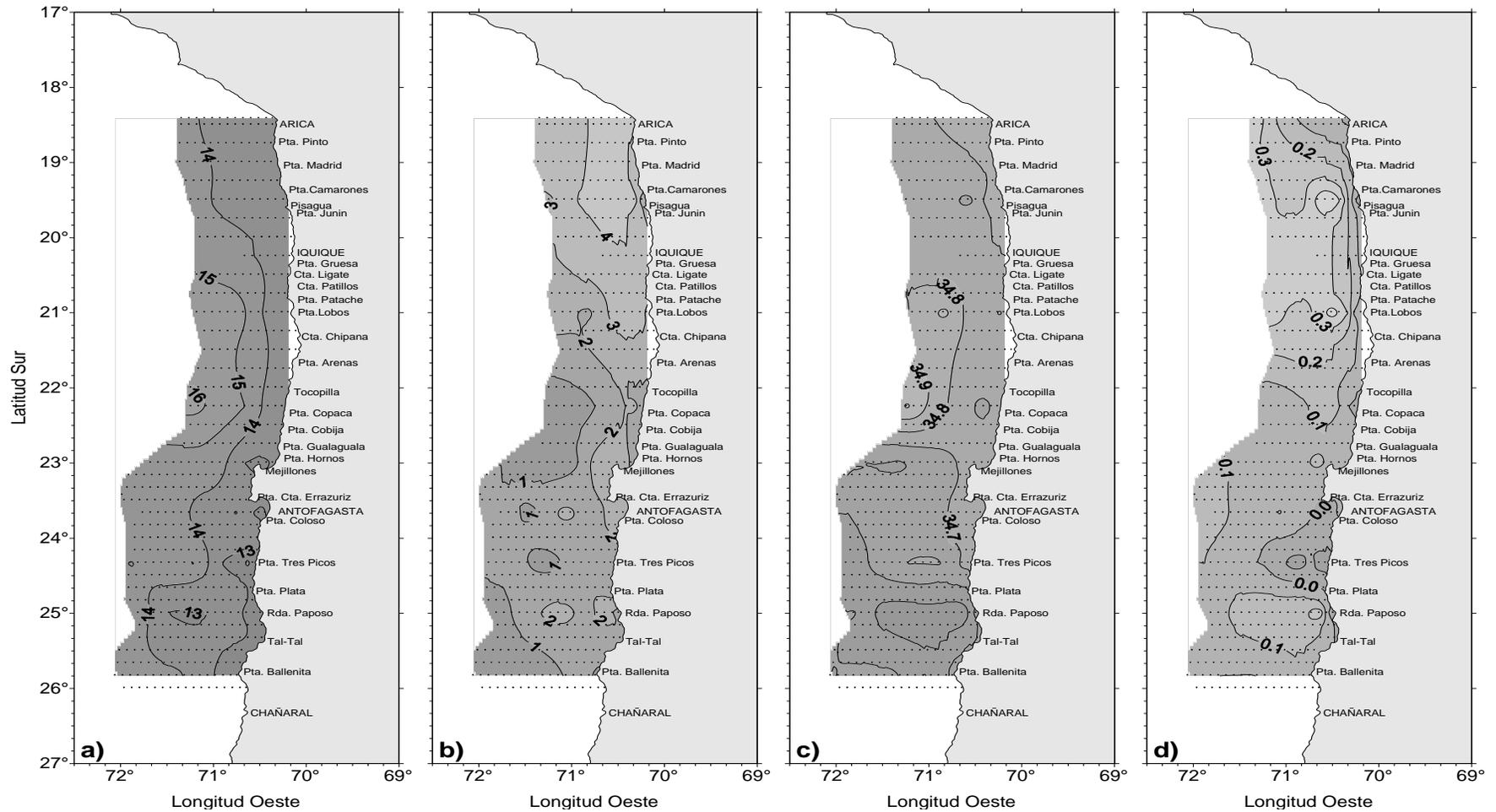


Figura 22. Distribuci3n de a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en el nivel de 50 m de profundidad, b) diferencia t3rmica ($^{\circ}\text{C}$) entre superficie y el nivel de 50 m, c) salinidad (psu) en el nivel de 50 m de profundidad y d) diferencia de salinidad (psu) entre superficie y el nivel de 50 m. Crucero MPH - Invierno 2012.

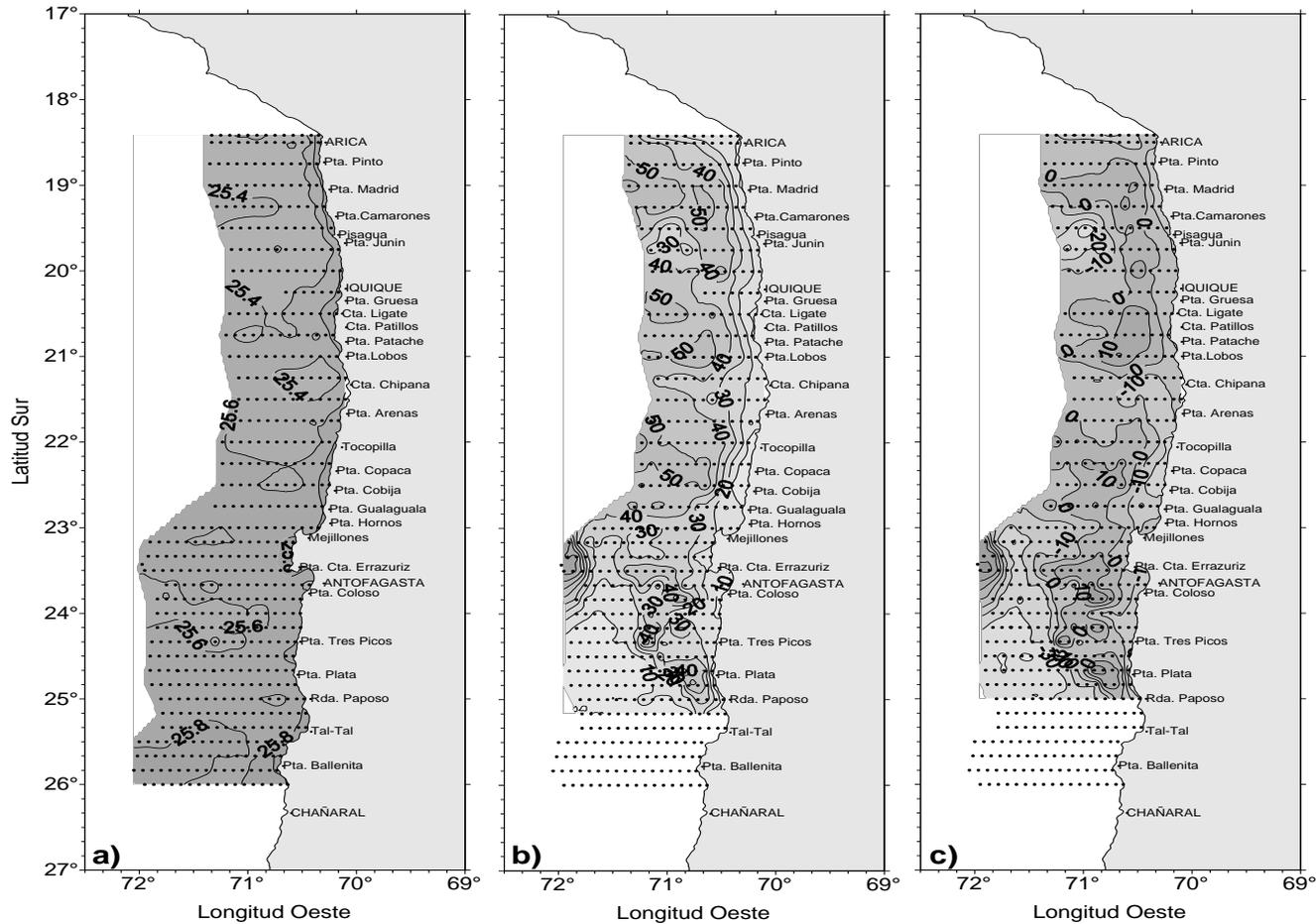


Figura 23. Distribuci3n de a) Densidad superficial ($\sigma\text{-t}$) kg/m^3 , b) profundidad de la isoterma de 15°C (m) y c) anomala de profundidad de la isoterma 15°C (m). Crucero MPH - Invierno 2012.

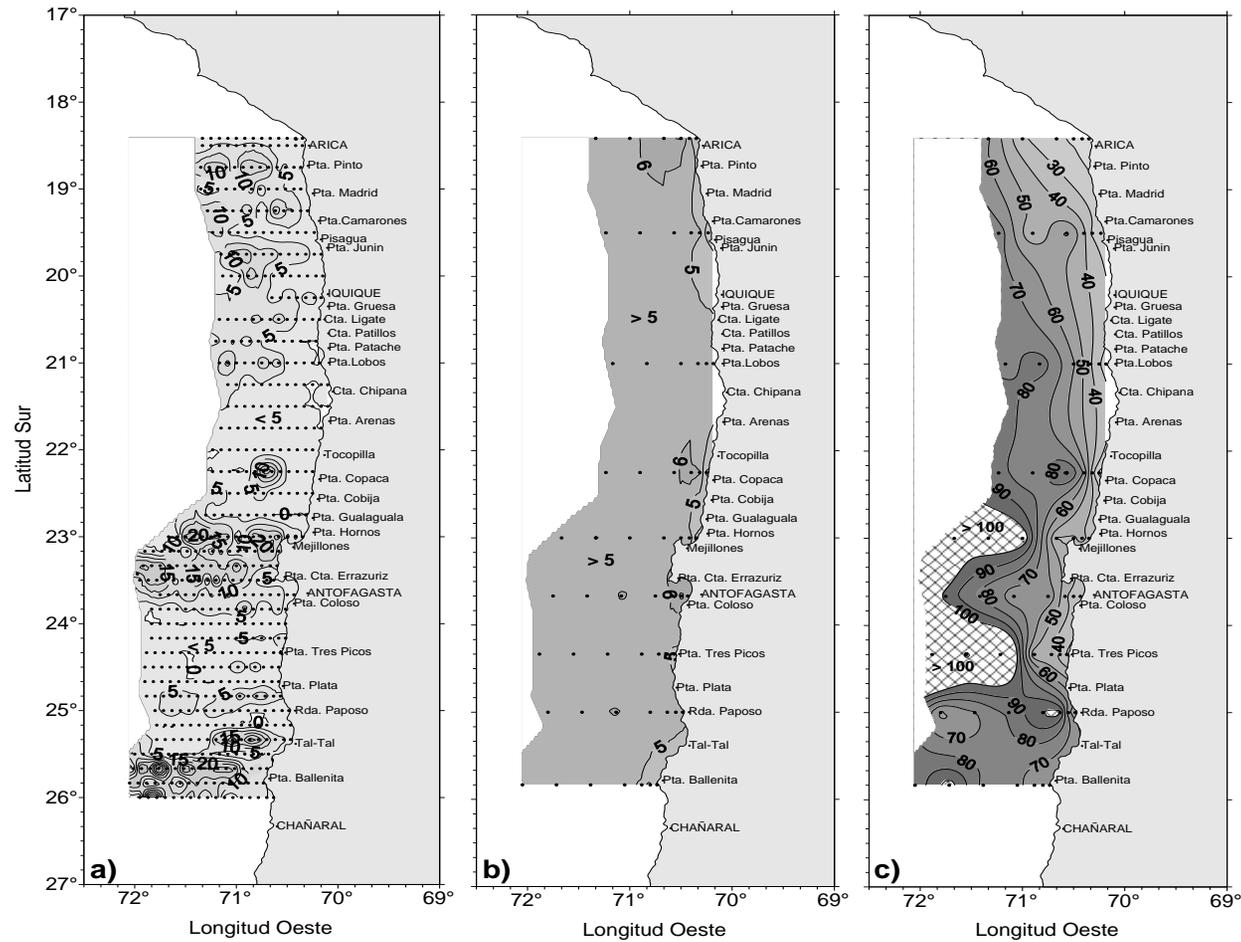


Figura 24. Distribuci3n de a) espesor de la capa de mezcla (m), b) concentraci3n de oxigeno disuelto superficial (mL/L) y c) profundidad de la isolinea de 1 mL/L de OD. Crucero MPH - Invierno 2012.

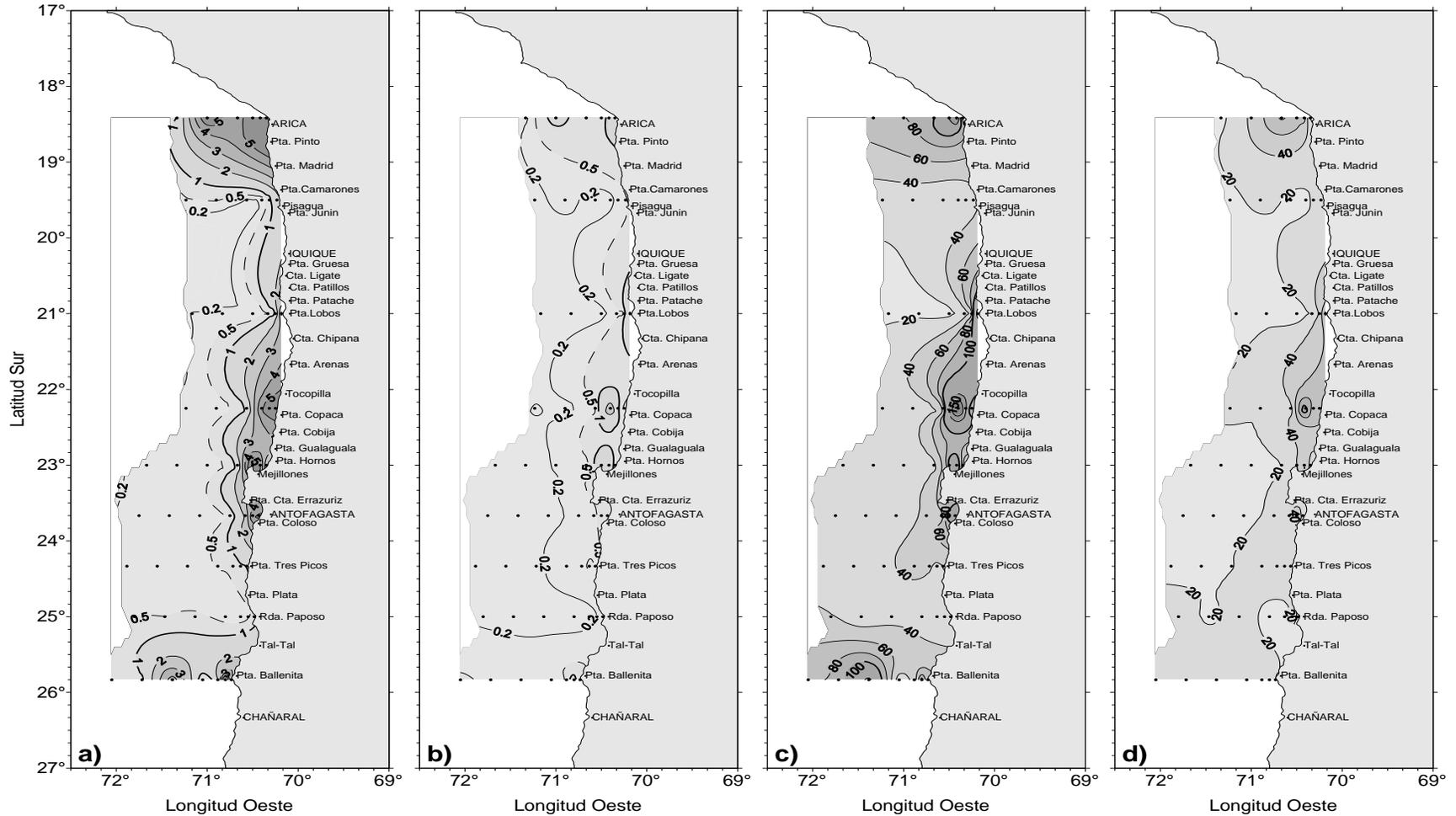


Figura 25. Distribuci3n de a) clorofila a superficial ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmento superficial ($\mu\text{g/L}$), c) clorofila integrada (mg/m^2) y d) feopigmentos integrados (mg/m^2) Crucero MPH - Invierno 2012.

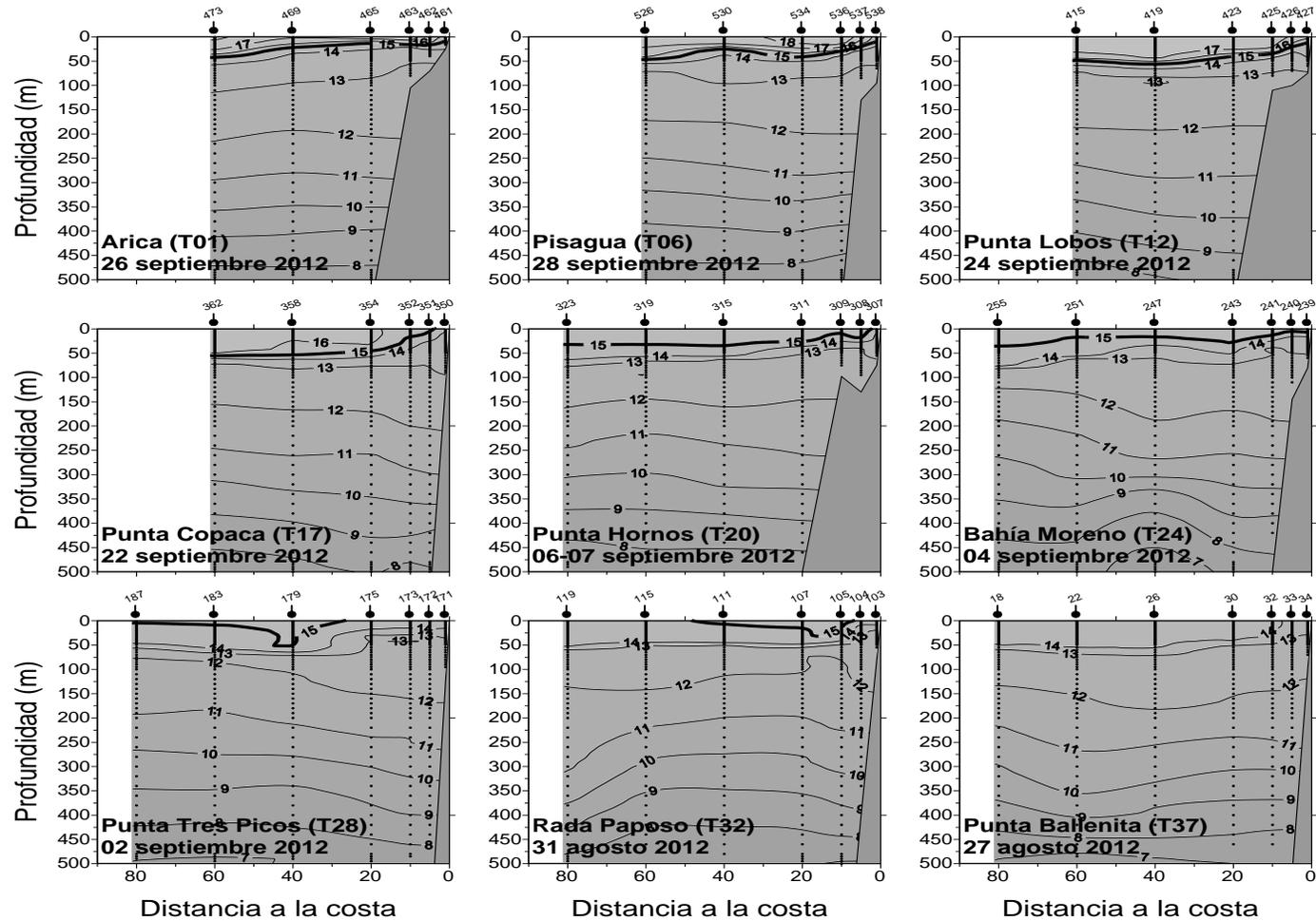


Figura 26. Distribuci3n vertical de temperatura (°C) en las transectas oceanográficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.

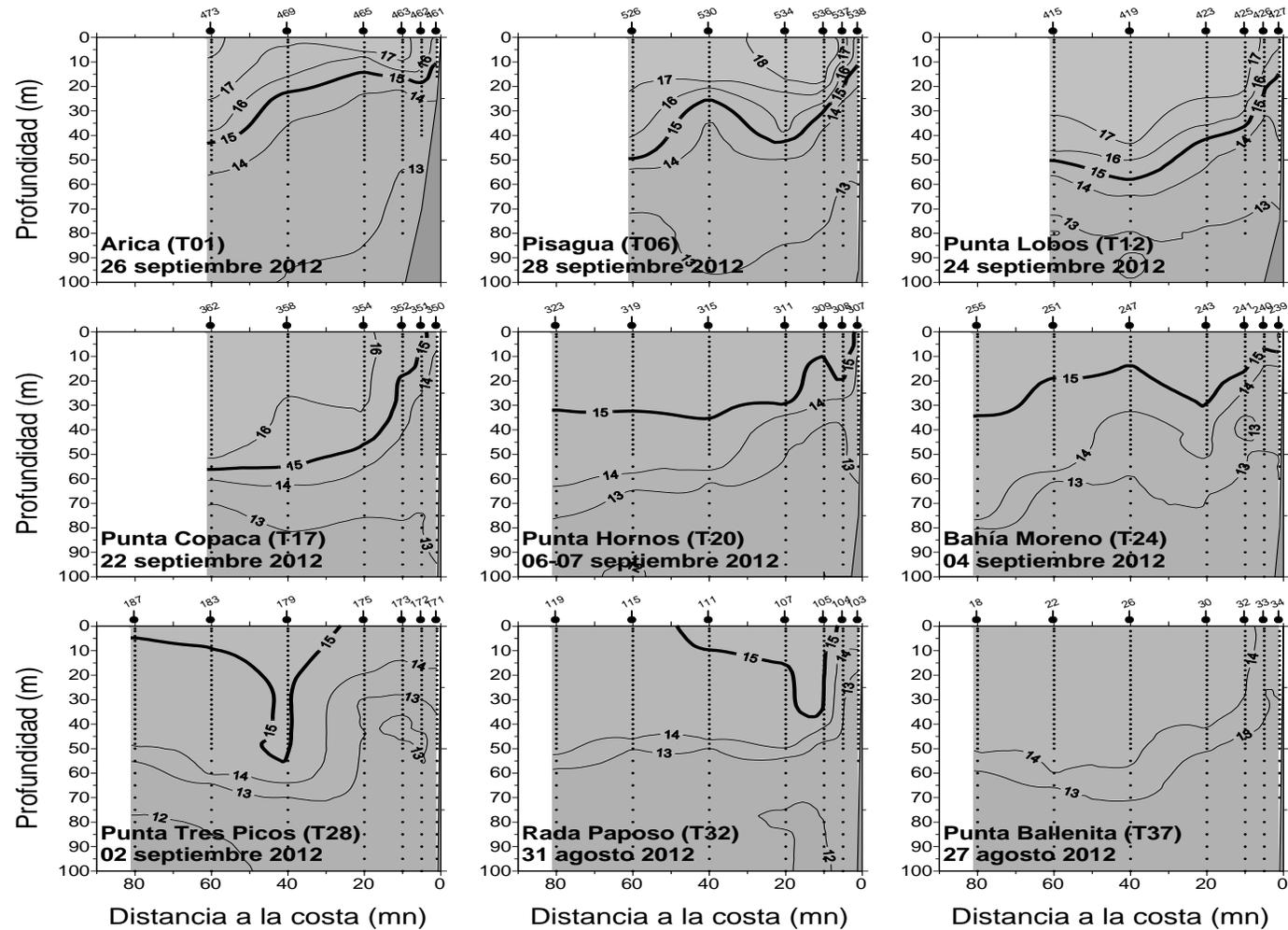


Figura 27. Distribuci3n vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de los primeros 100 m en las transectas oceanogr3ficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.

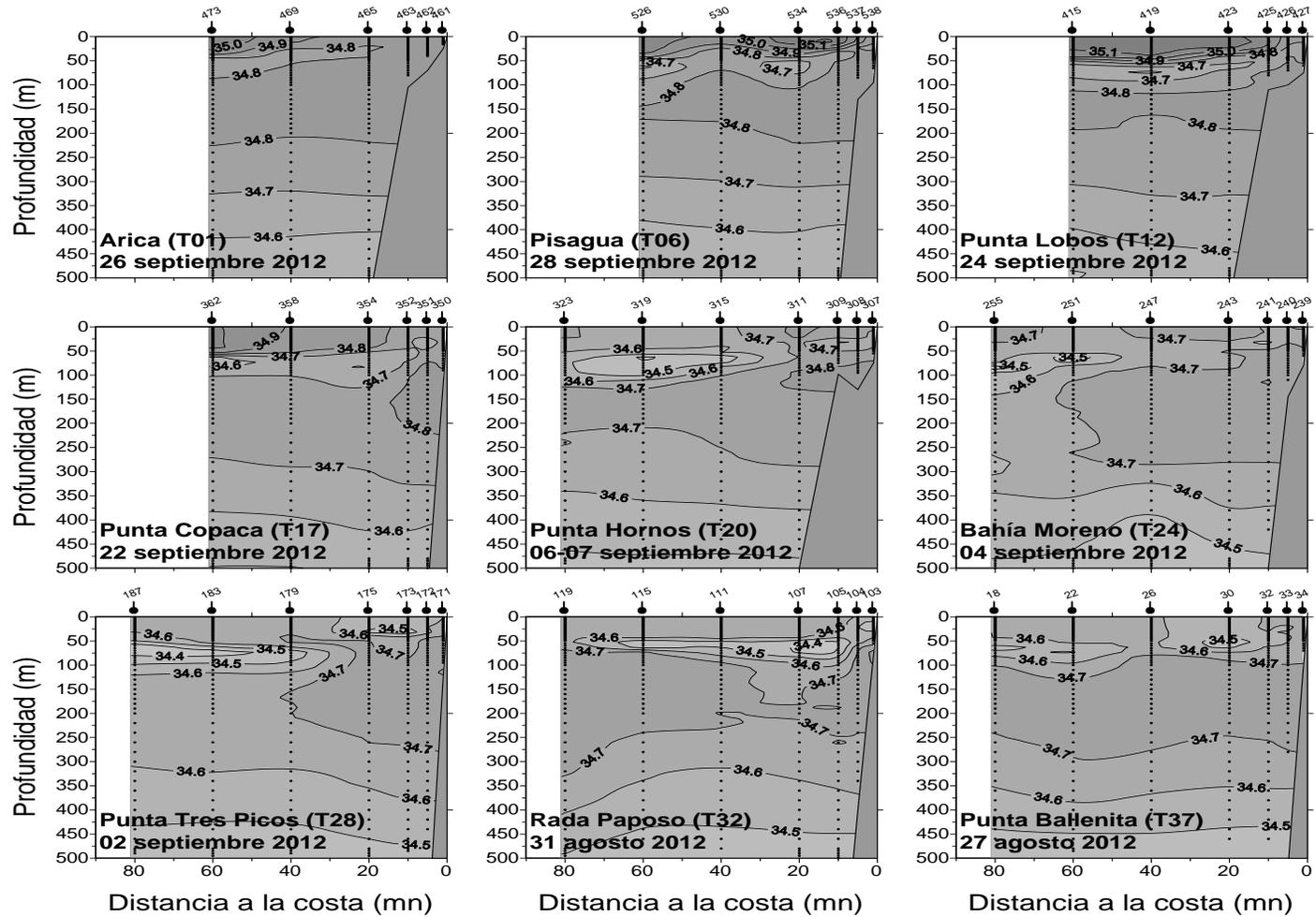


Figura 28. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas oceanogr3ficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.

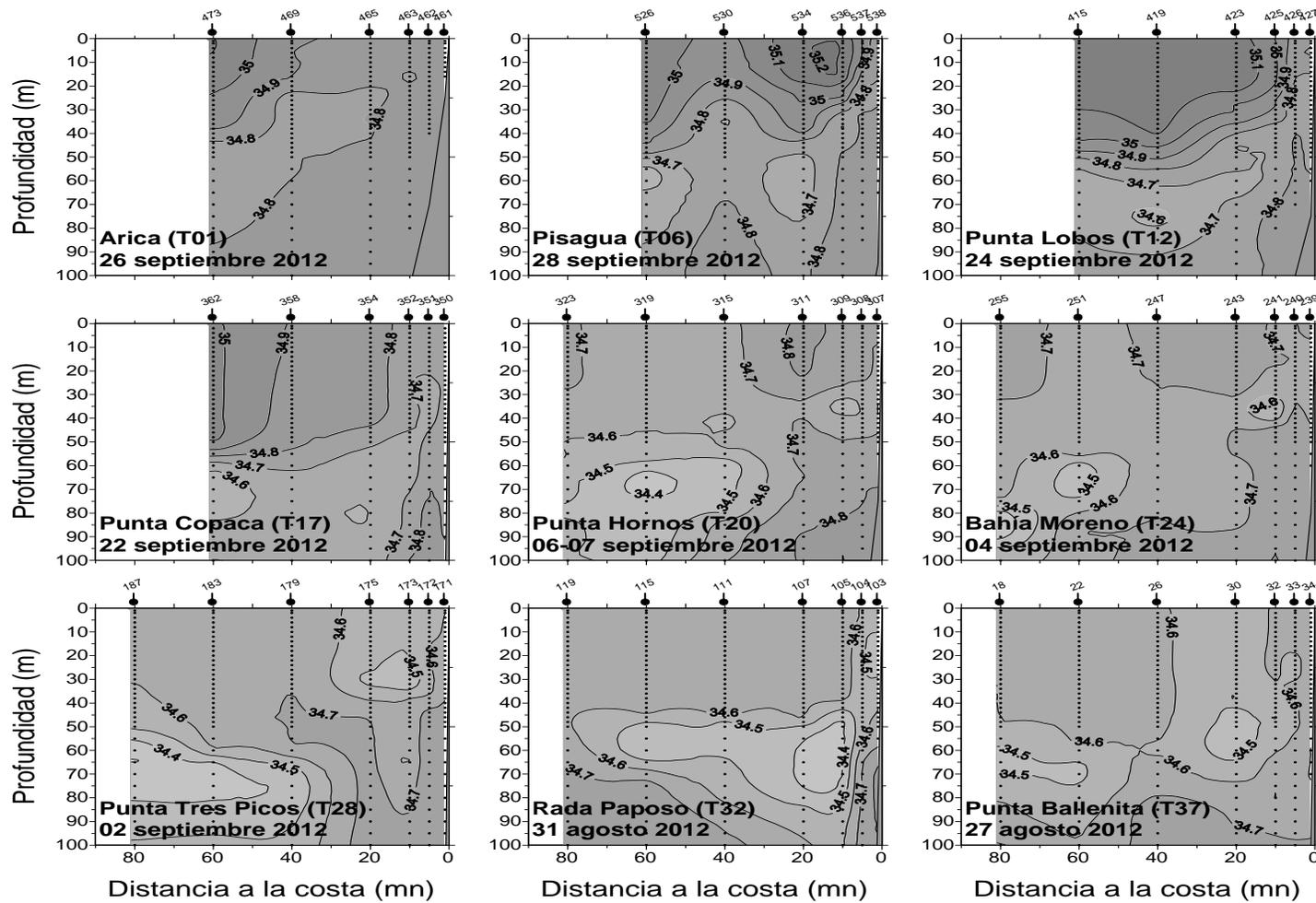


Figura 29. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) de los primeros 100 m en las transectas oceanogr3ficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.

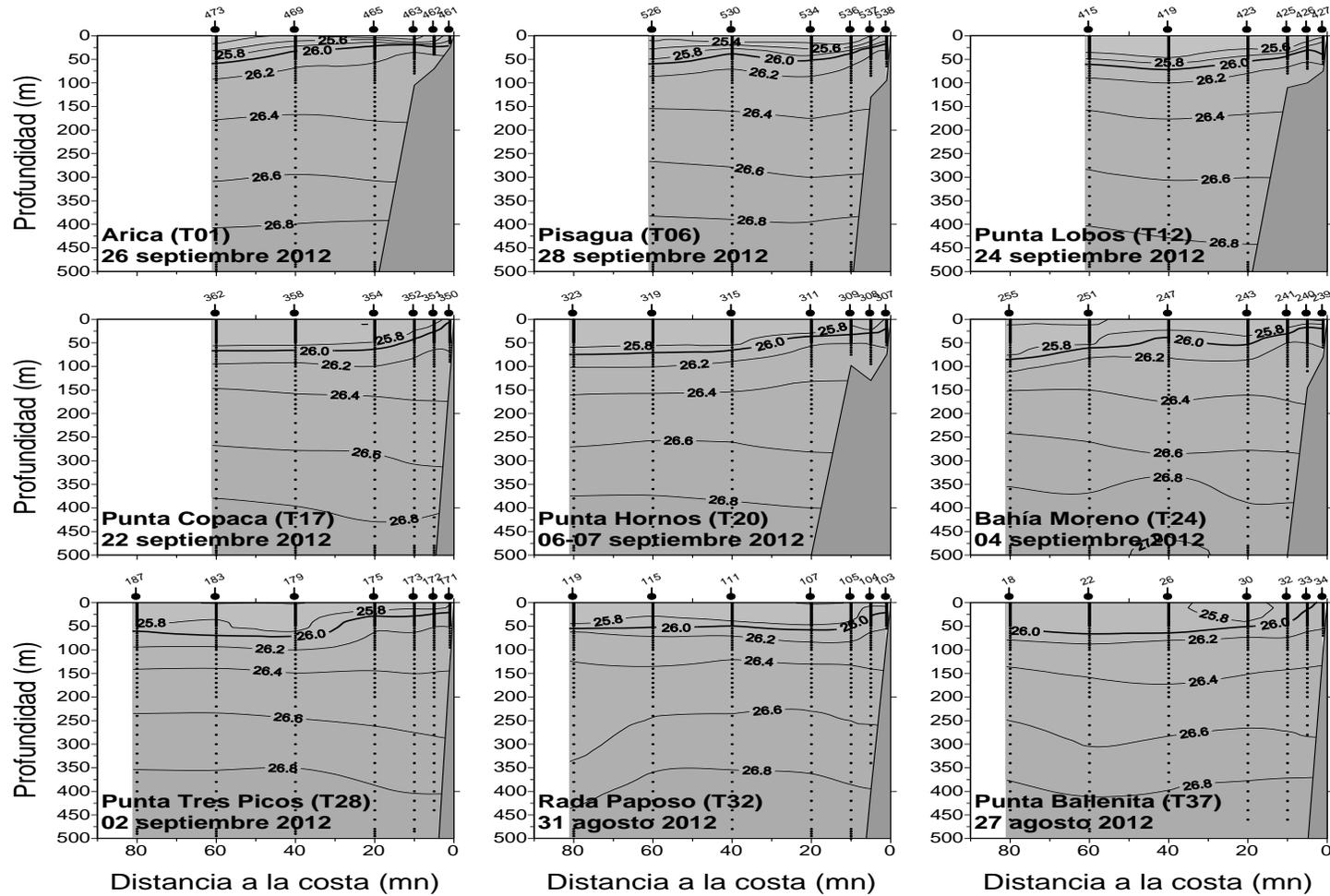


Figura 30. Distribuci3n vertical de densidad (σ -t) en las transectas oceanogr1ficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.

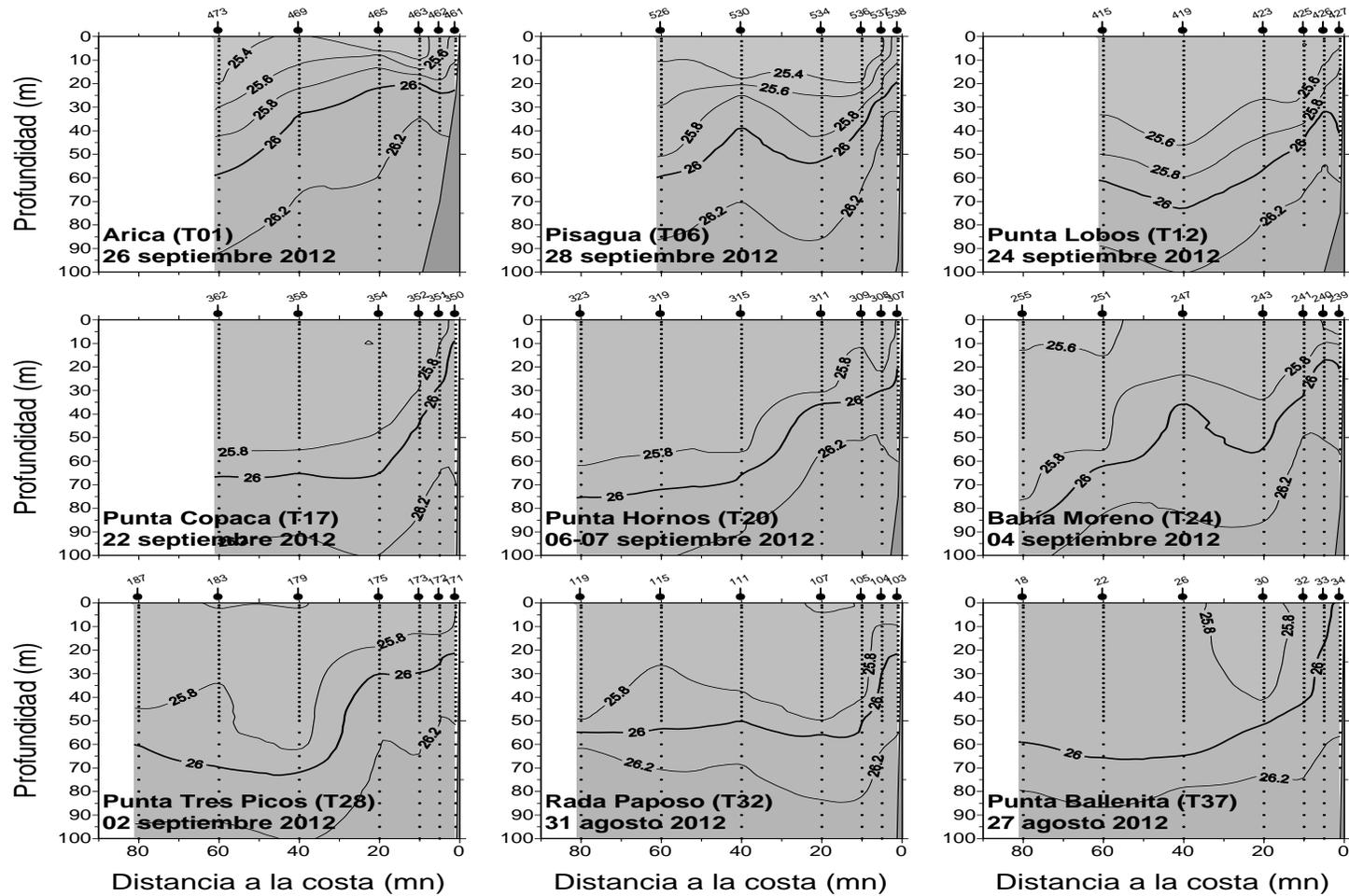


Figura 31. Distribuci3n vertical de densidad (σ_t) de los primeros 100 m en las transectas oceanogr3ficas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.

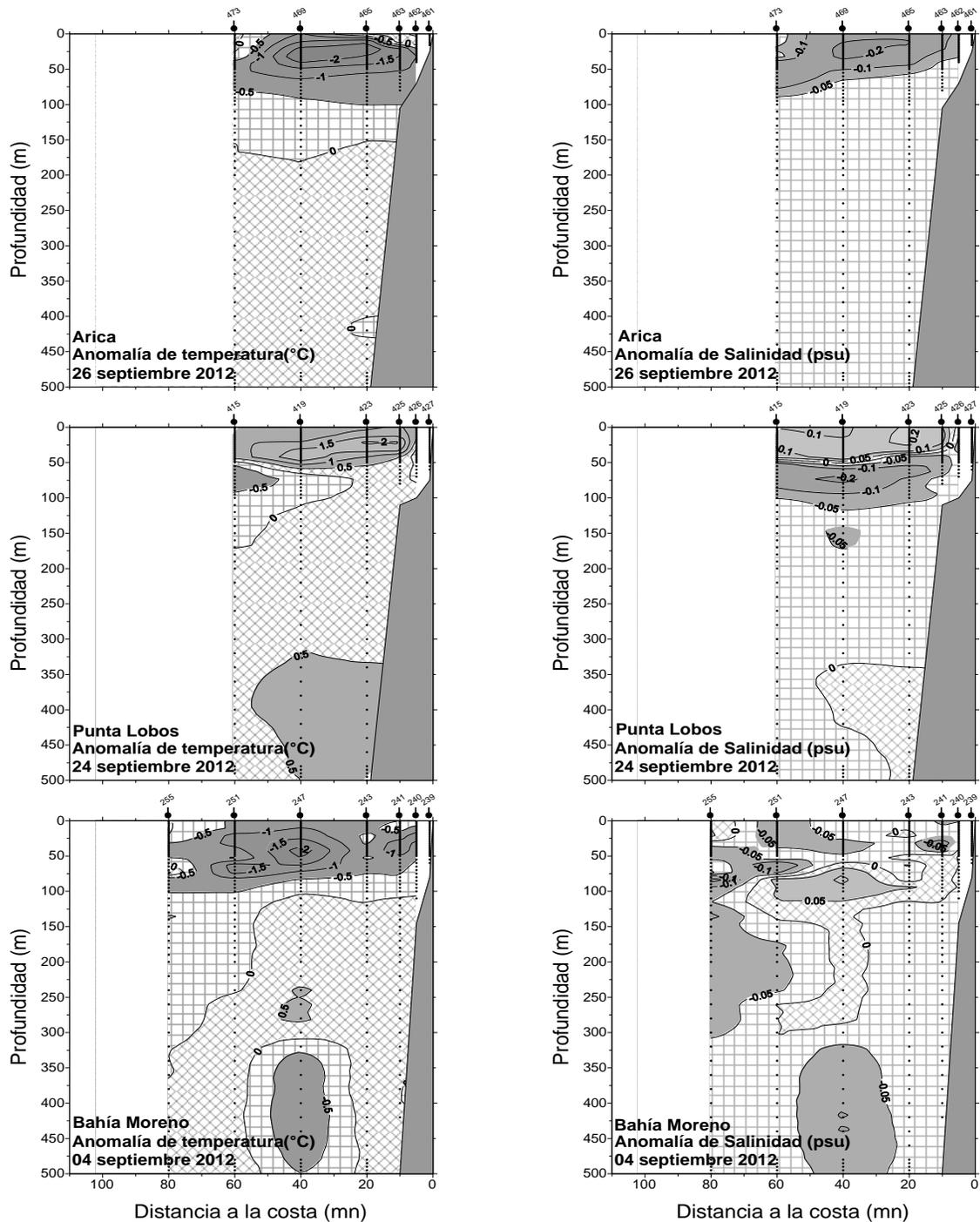


Figura 32. Anomalia vertical de temperatura (°C) y salinidad (psu) en las transectas: de Arica (18°25'S) (T1), punta Lobos (21°00'S) (T17) y Bahía Moreno (23°40'S) (T33). Crucero MPH - invierno 2012.

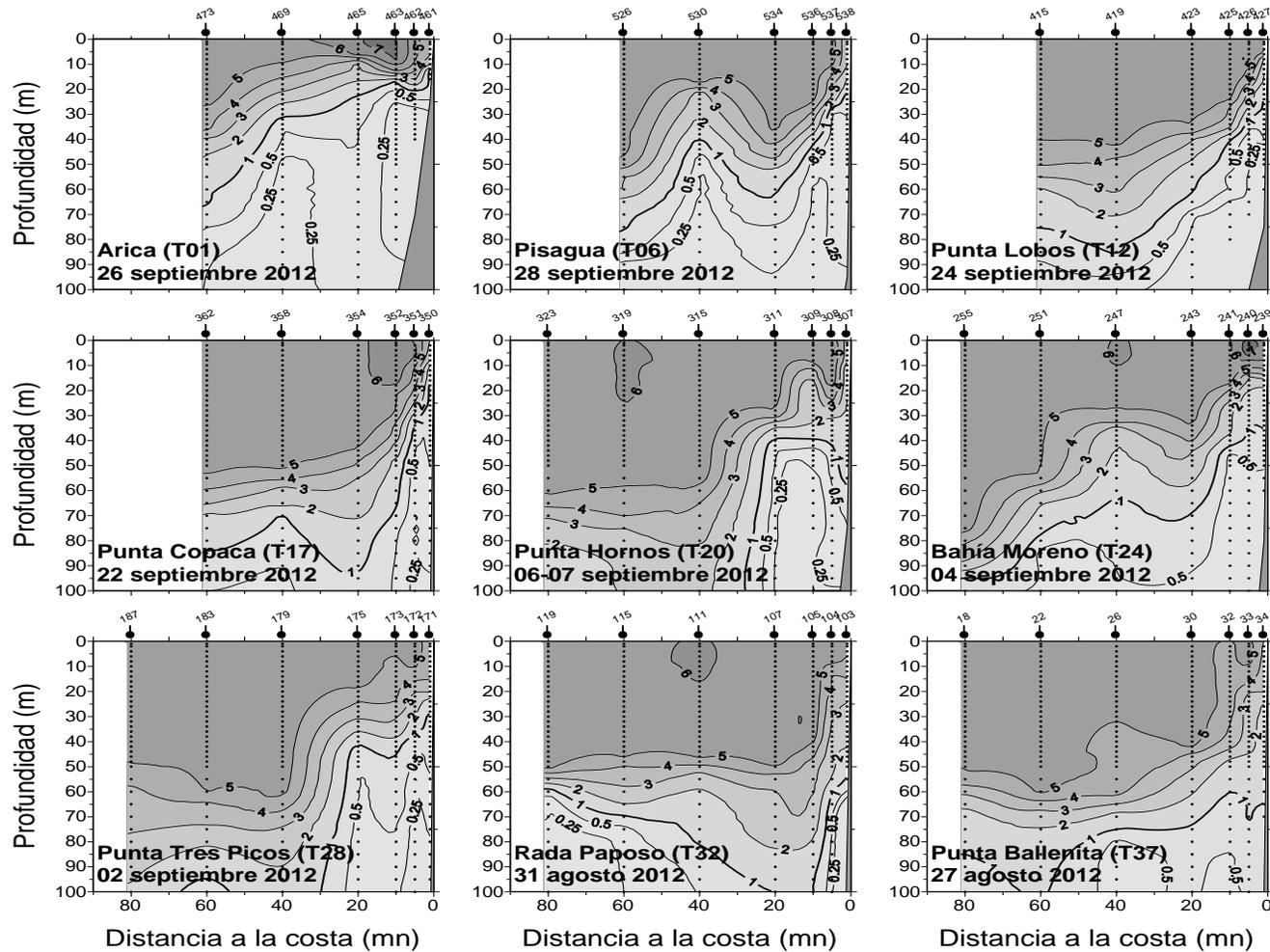


Figura 33. Distribuci3n vertical de oxígeno disuelto (mL/L), transectas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.

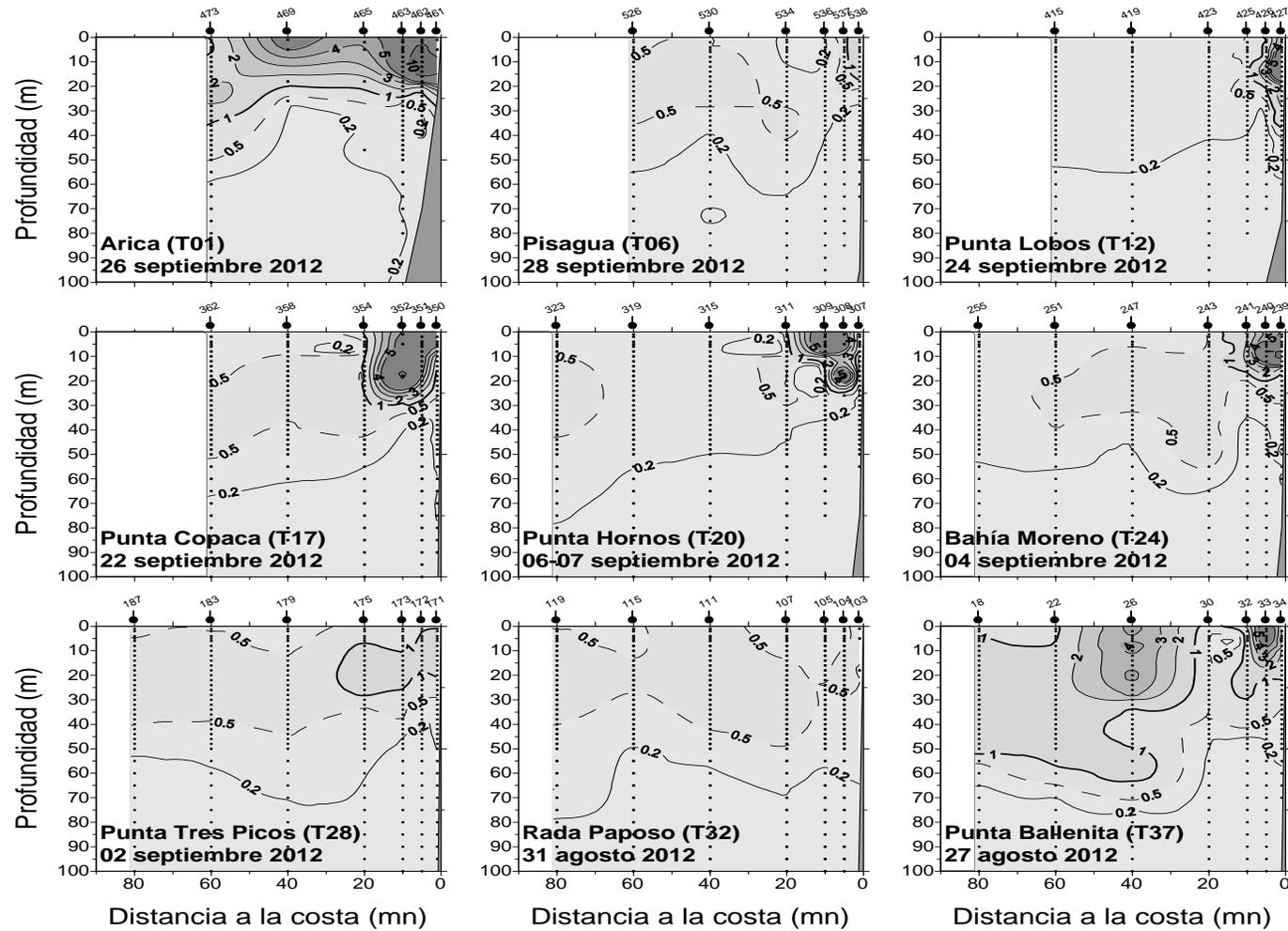


Figura 34. Distribuci3n vertical clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), transectas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.

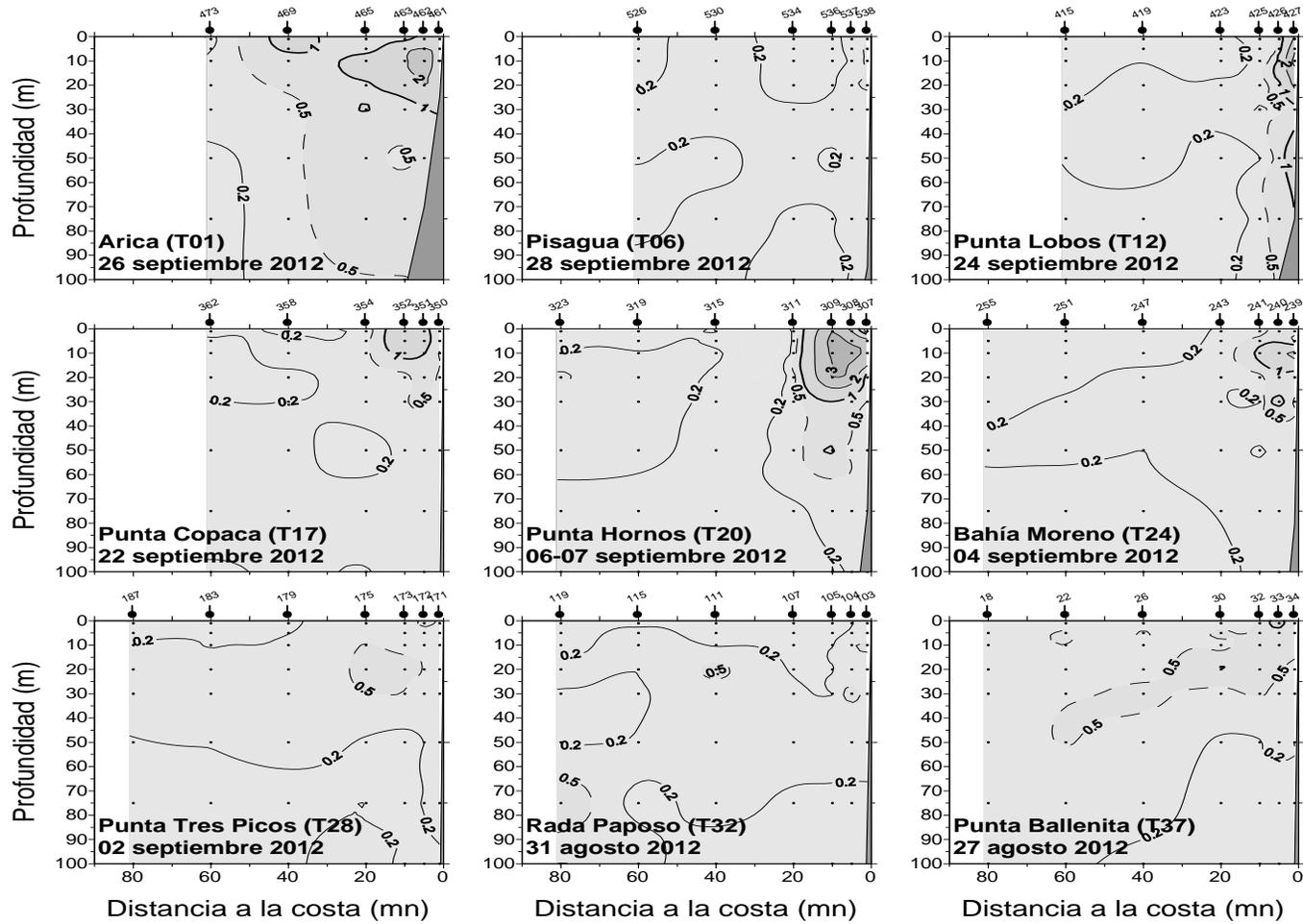


Figura 35. Distribuci3n vertical feopigmentos ($\mu\text{g/L}$), transectas 1 a 37. Crucero MPH - invierno 2012.

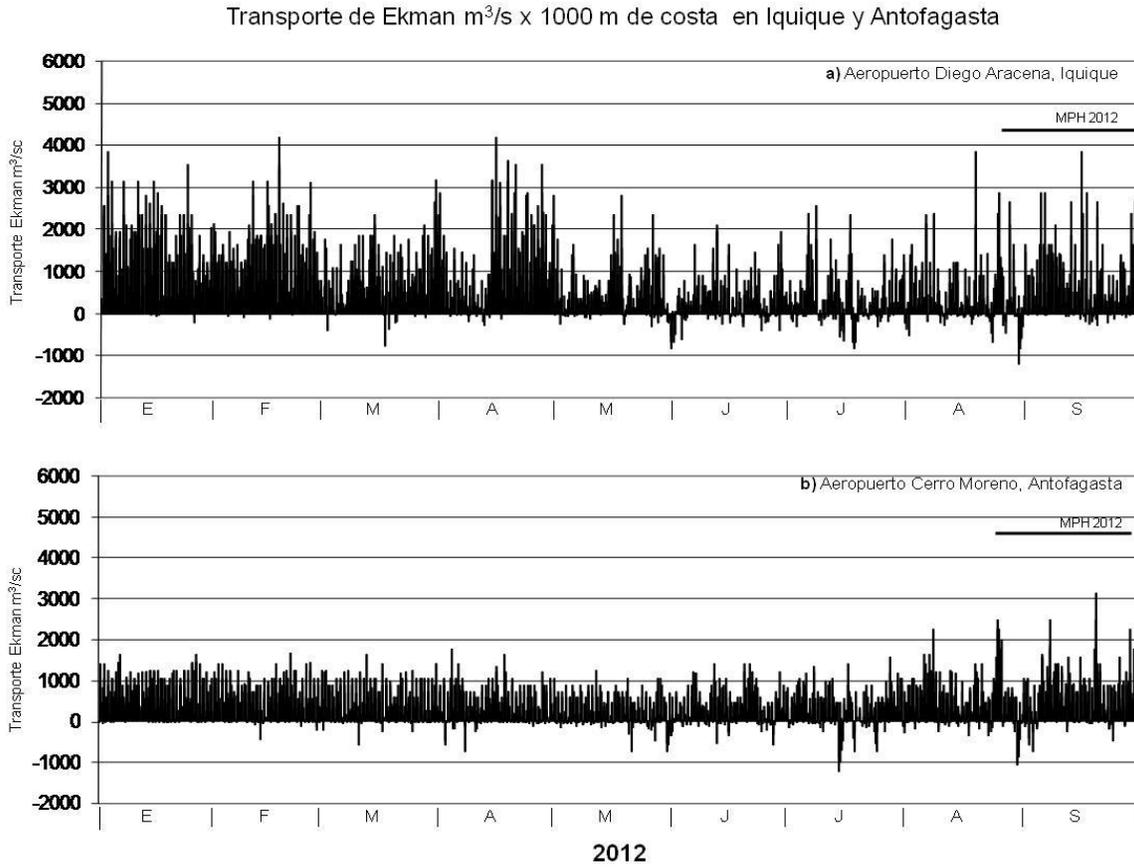


Figura 36. Transporte de Ekman cada 3 horas calculado en base a los datos de viento de los aeropuertos a) Diego Aracena de Iquique y b) Cerro Moreno de Antofagasta entre enero y septiembre de 2012 (Fuente: Direcci3n Meteorol3gica de Chile).

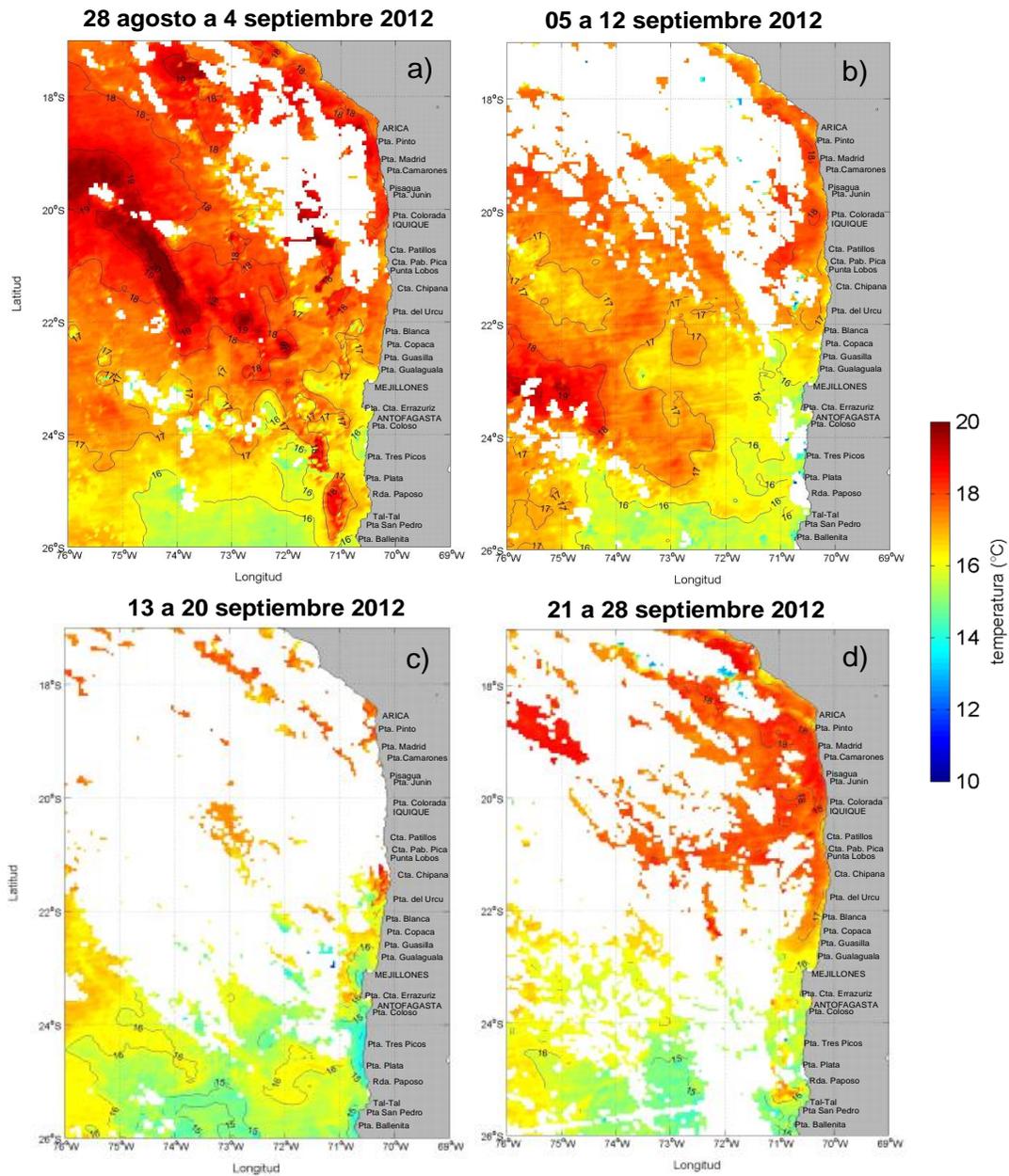


Figura 37. Temperatura superficial del mar (°C) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales entre los días a) 28 de agosto y 4 de septiembre, b) 5 y 12 septiembre, c) 13 y 20 de septiembre y d) 21 y 28 de septiembre de 2012.

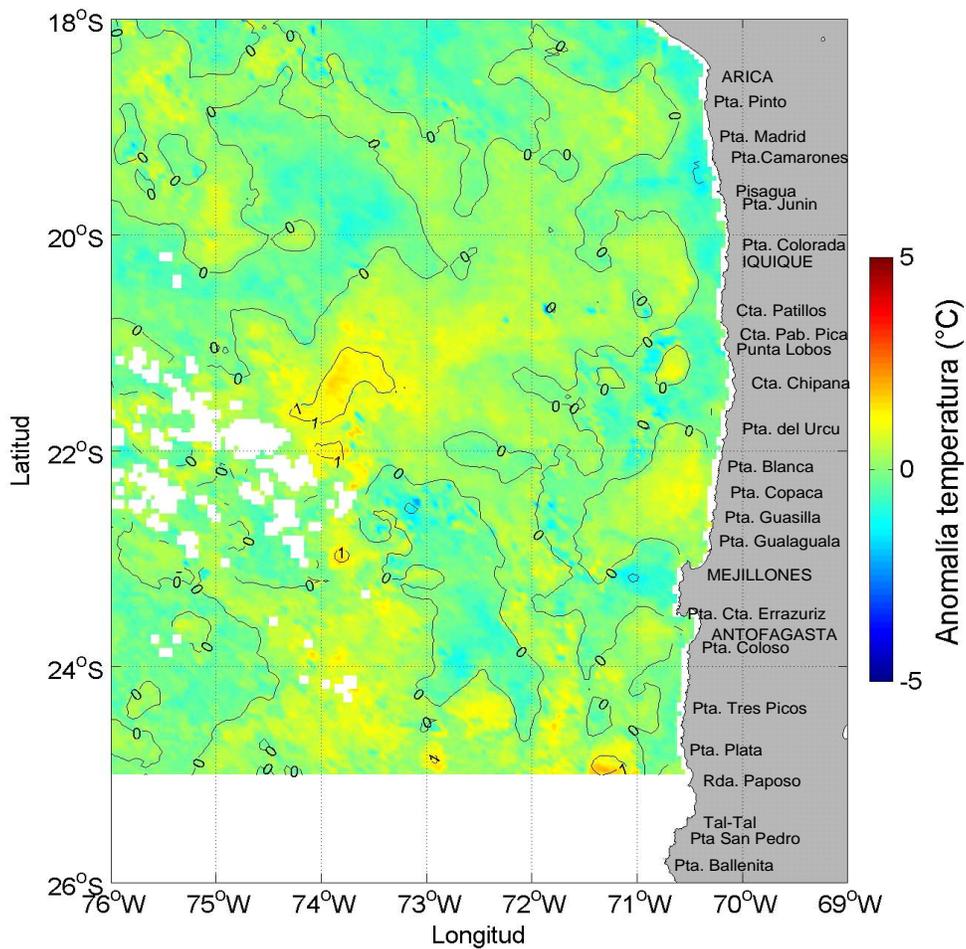


Figura 38. Anomalía de la temperatura superficial del mar (°C) de la imagen del satélite MODIS-A correspondiente al promedio del mes de septiembre de 2012.

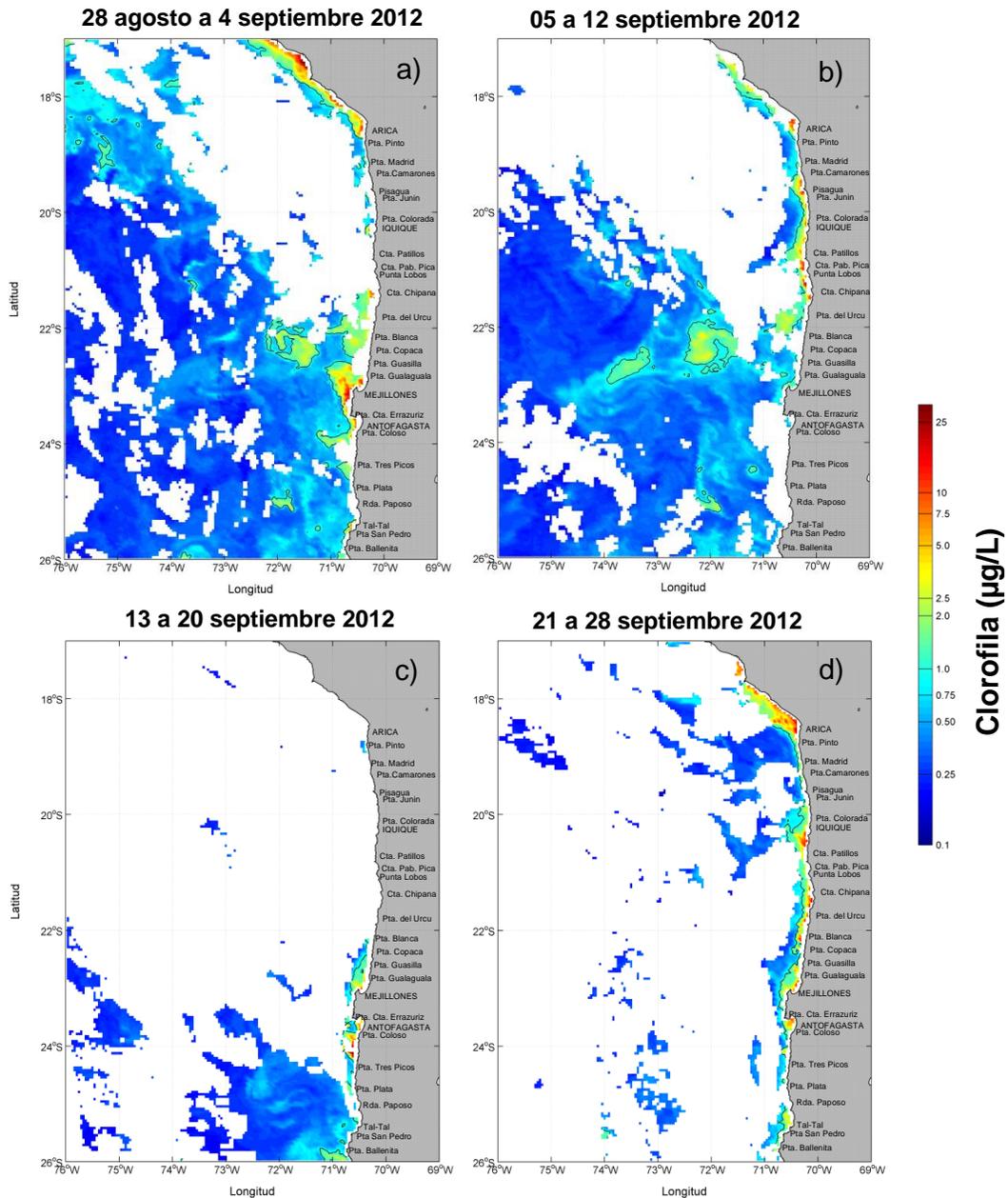


Figura 39. Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a los promedios semanales entre los días a) 28 de agosto y 4 de septiembre, b) 5 y 12 septiembre, c) 13 y 20 de septiembre y d) 21 y 28 de septiembre de 2012. La línea negra marca la isolínea de 1 $\mu\text{g/L}$.

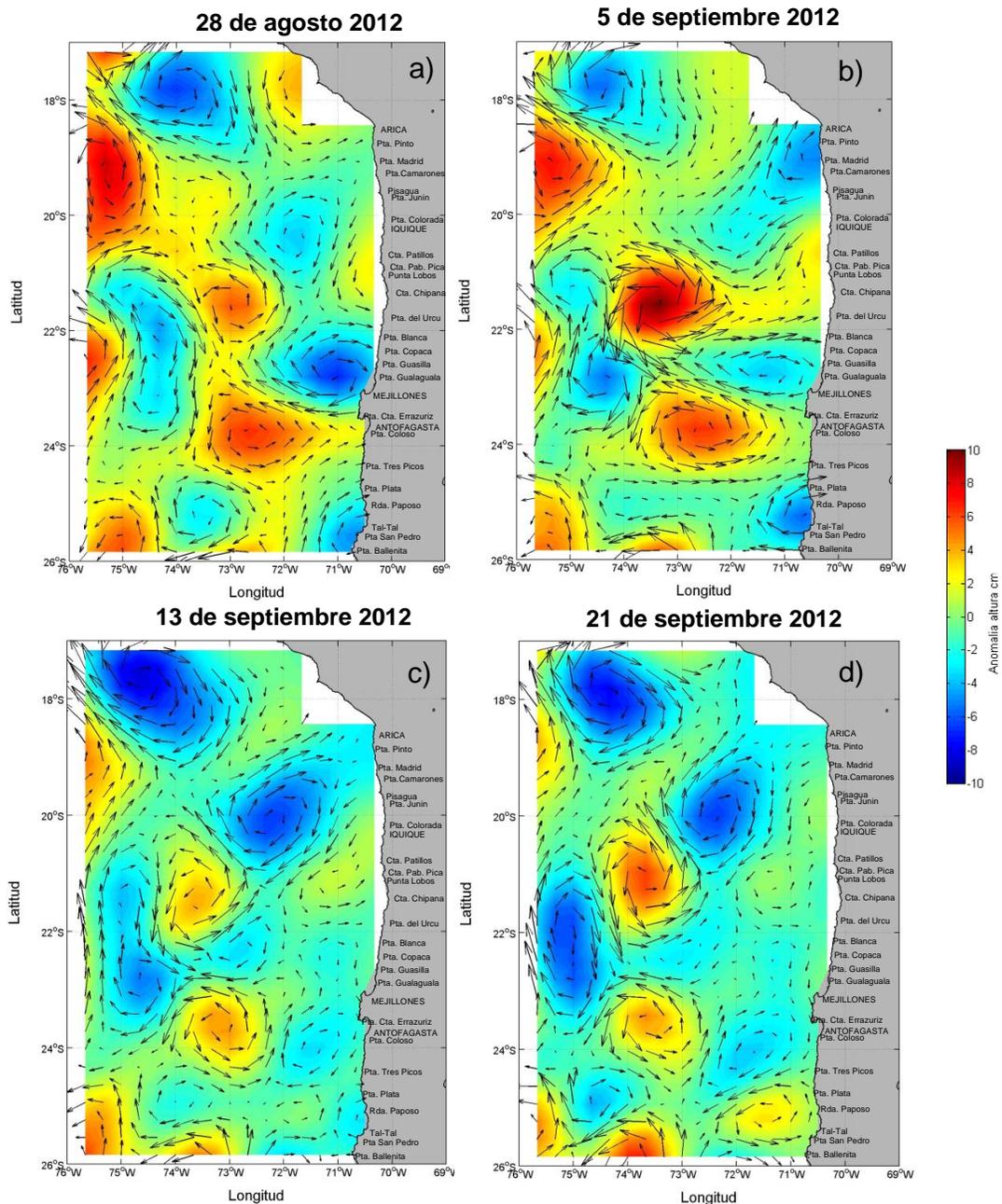


Figura 40. Anomalía del nivel del mar (cm) y velocidad geostrofica (cm/s) provenientes de la combinación de los satélites ERS, Topex y Jason, correspondientes a los días 28 de agosto y 5, 13 y 21 de septiembre de 2012.

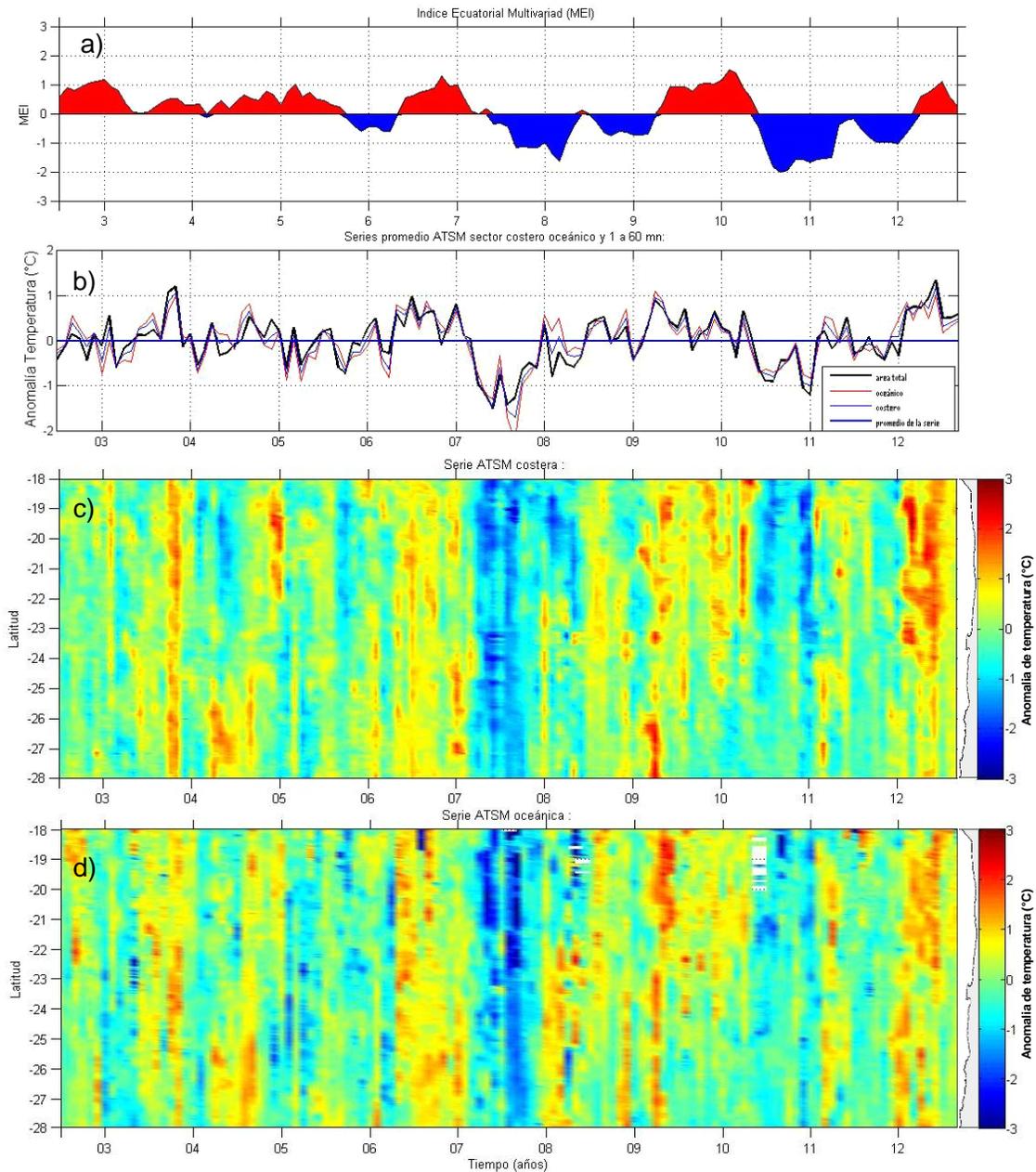


Figura 41. Series de tiempo para el período julio 2002- octubre 2012 de a) Índice Multivariado Ecuatorial (MEI), b) promedio de las anomalías de temperatura (°C) por fecha entre las latitudes 18° a 28°S en el sector costero y oceánico; Diagramas Hovmöller para el mismo período y área de la anomalía de temperatura (°C) superficial del mar (satelital) c) costera y d) oceánica.

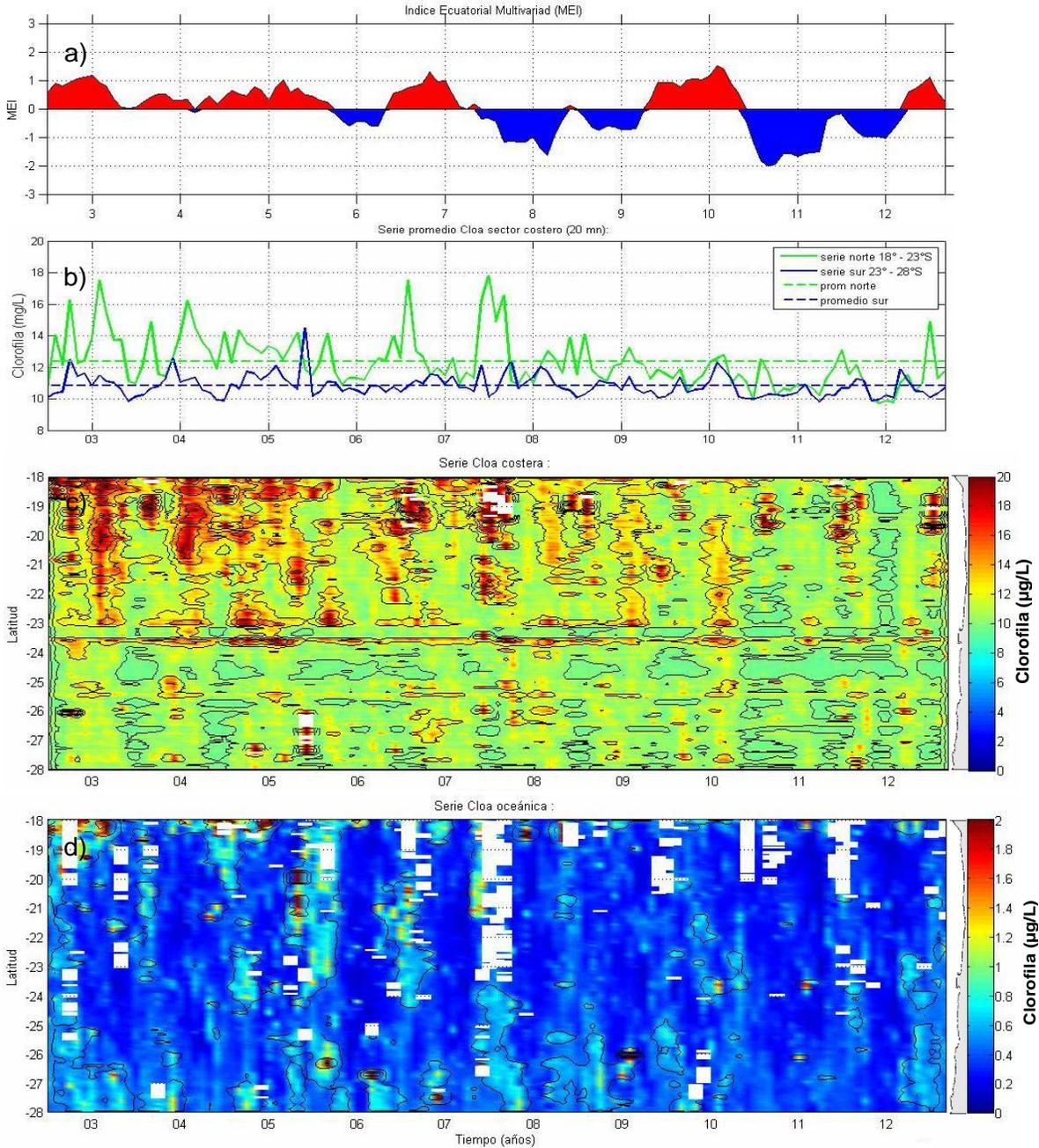


Figura 42. Series de tiempo para el período julio 2002- octubre 2012 de a) Índice Multivariado Ecuatorial (MEI), b) promedio de la concentración de clorofila satelital ($\mu\text{g/L}$) por fecha entre las latitudes 18° a 23°S y de 23°S a 28°S en el sector costero; Diagramas Hovmöller para el mismo período y área de la concentración de clorofila satelital (promedio mensual) ($\mu\text{g/L}$) c) costera y d) oceánica.

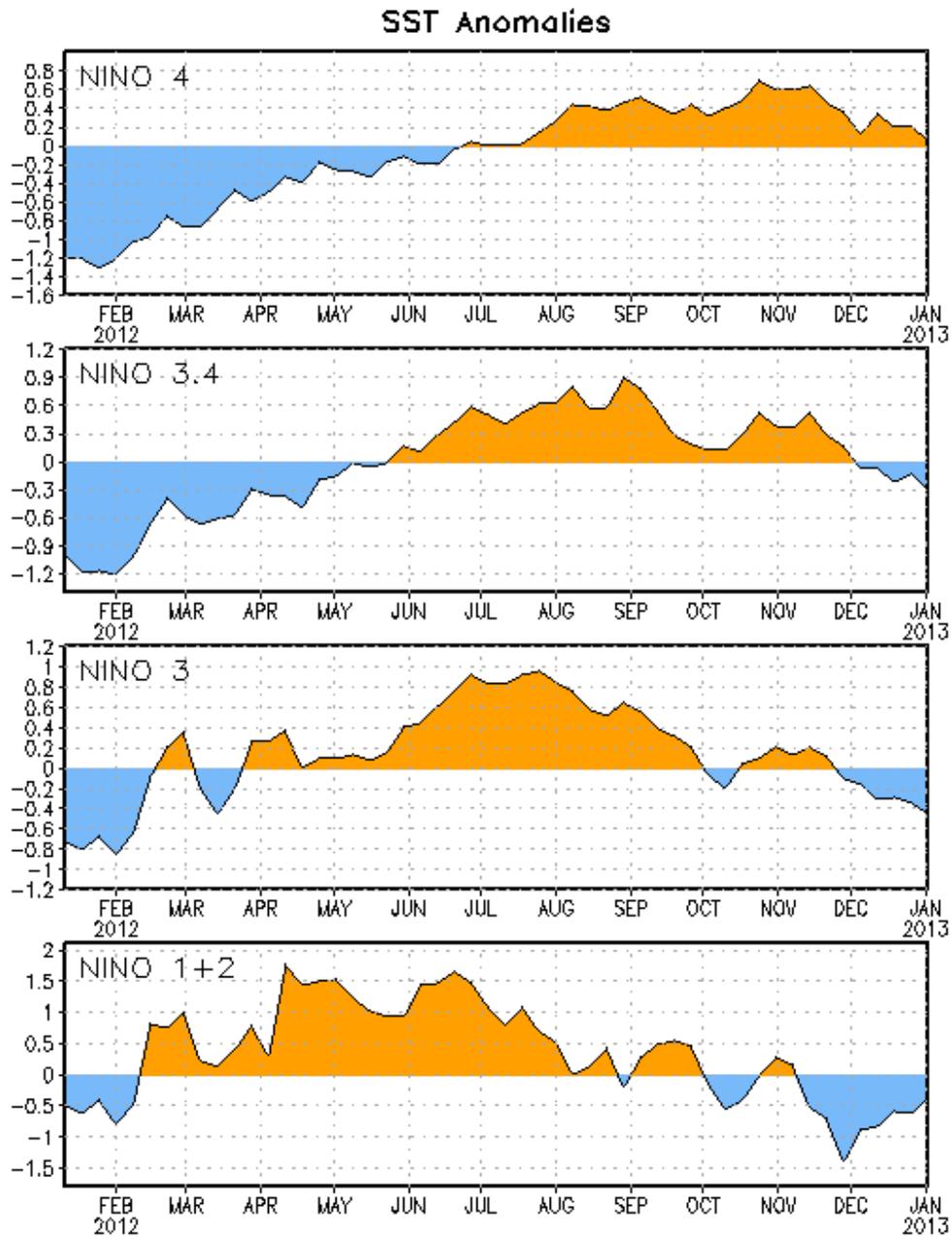


Figura 43. Serie de Tiempo de áreas promediadas para las anomalías en la temperatura (°C) de la superficie del océano (SST) en las regiones de El Niño [Niño-1+2 (0°-10°S, 90°W-80°W), Niño 3 (5°N-5°S, 150°W-90°W), Niño-3.4 (5°N-5°S, 170°W-120°W), Niño-4 (150°W-160°E and 5°N-5°S)]. Las anomalías de TSM son variaciones de los promedios semanales del período base de 1981-2010.

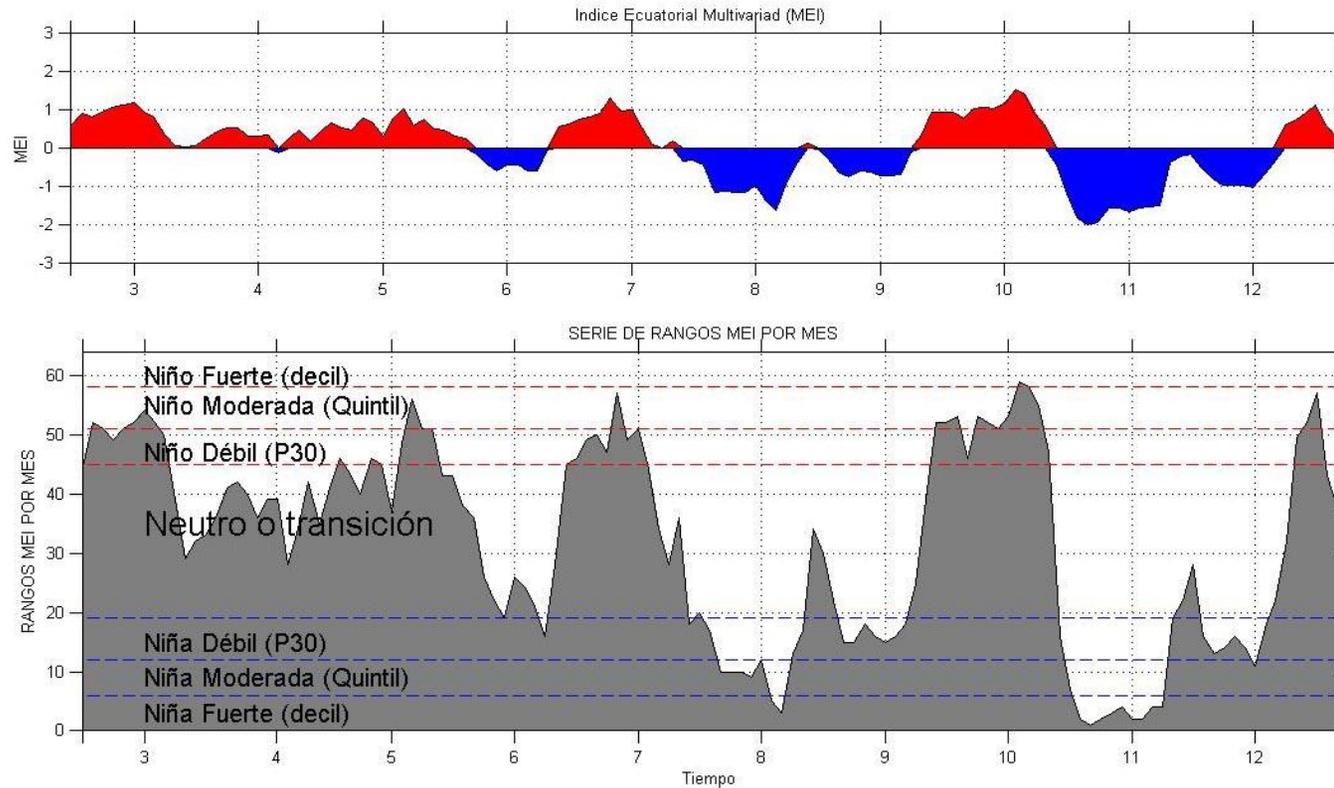


Figura 44. a) Serie de tiempo del Indice Ecuatorial Multivariado (MEI) y b) serie de rangos de intensidad de los periodos cálidos y fríos asociados al valor MEI para el periodo Julio 2002 – septiembre 2012.
Fuente: NOAA (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>).

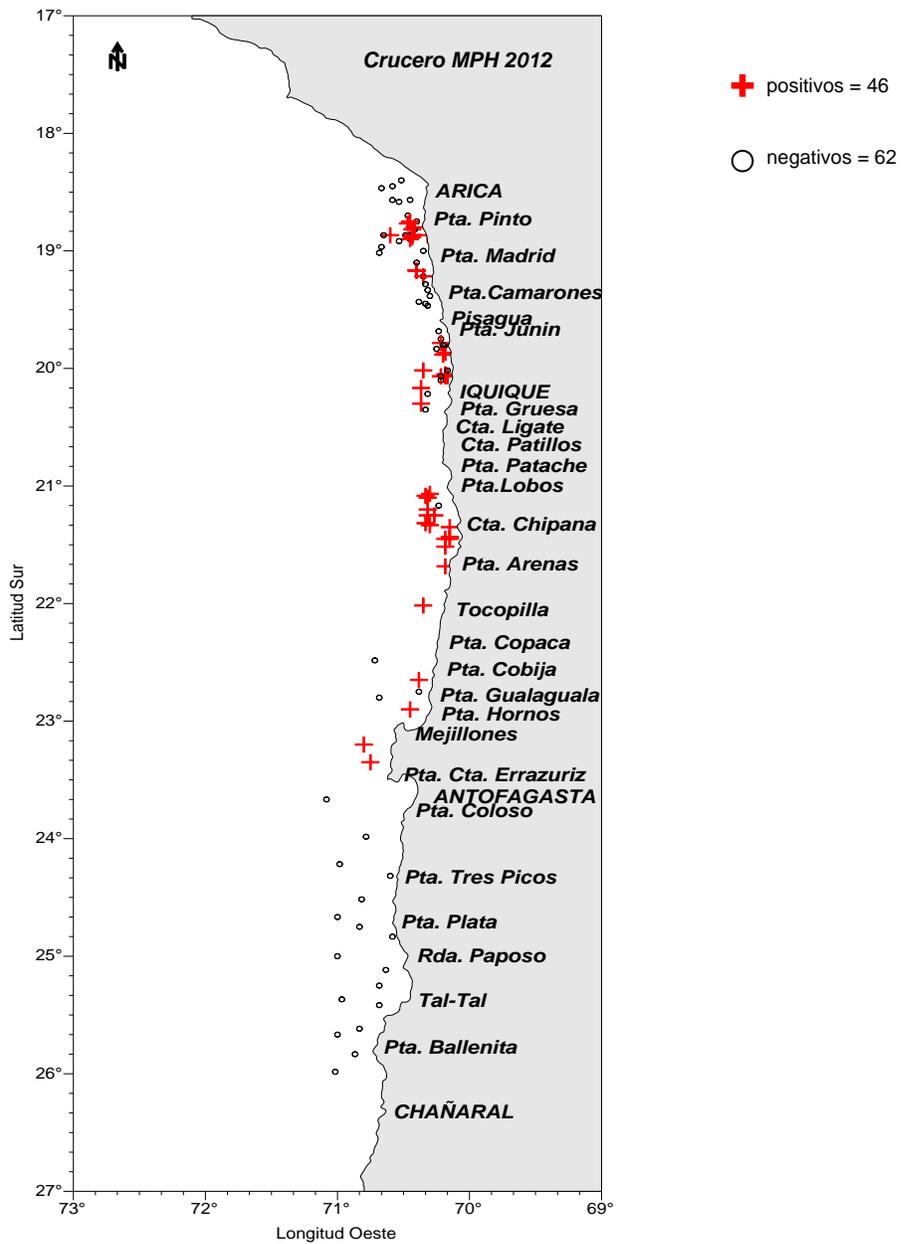


Figura 45. Distribuci3n espacial de los lances de pesca. Crucero MPH Invierno 2012.

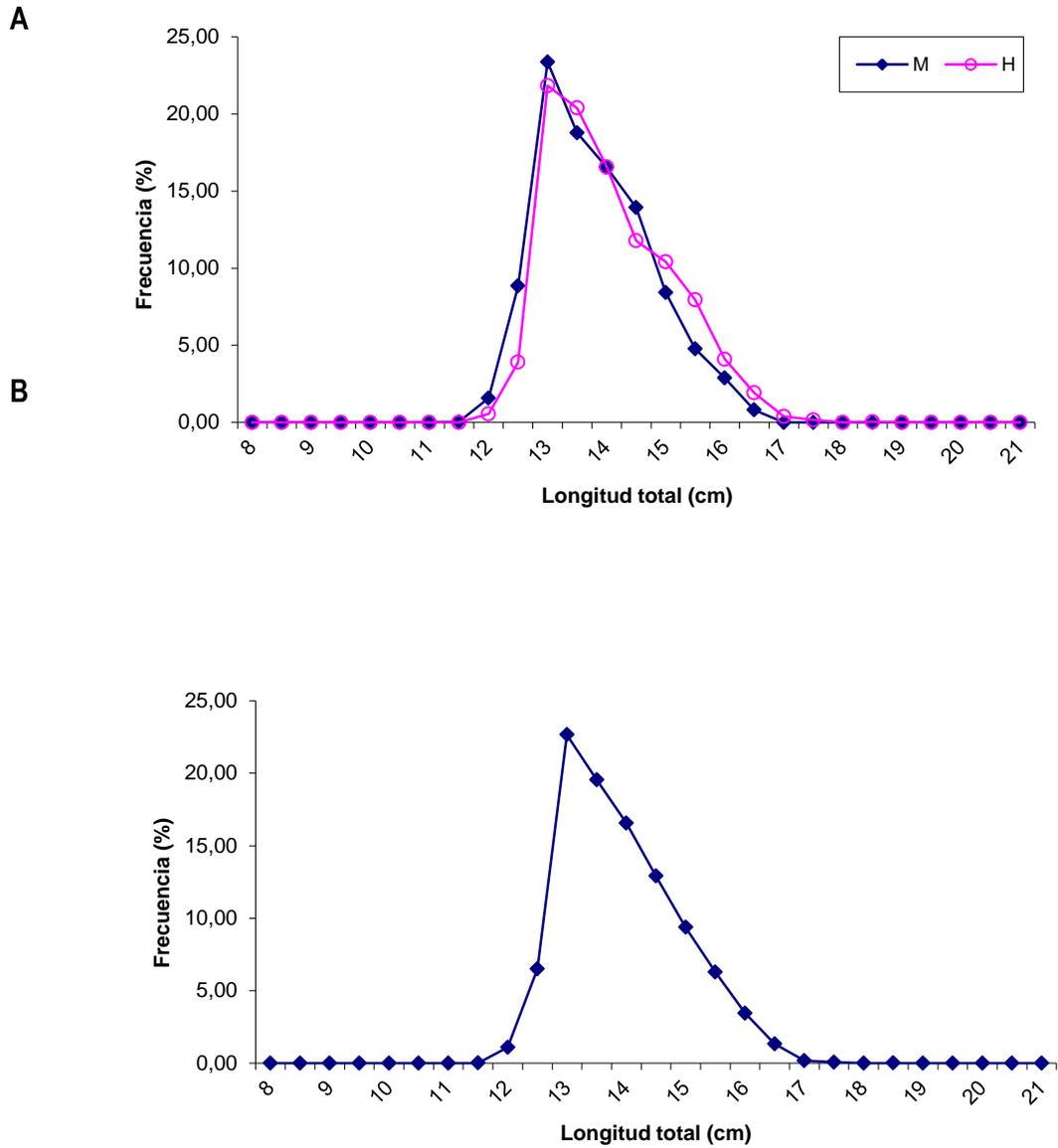


Figura 46. Distribuci3n de tama1os de anchoveta capturadas entre las XV, I y II Regiones. A: por sexo (M: machos, H: hembras), B: total. Crucero MPH 2012.

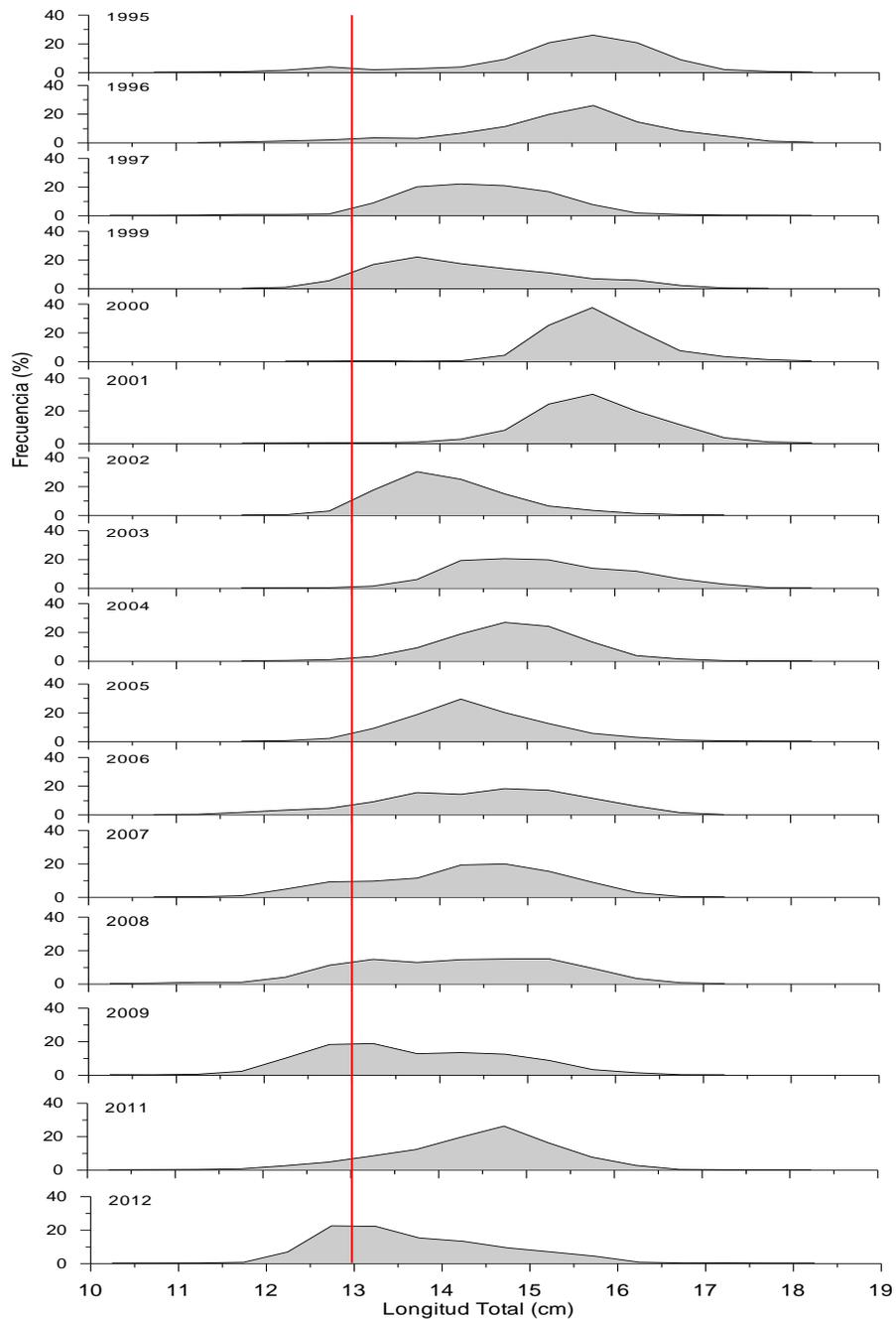


Figura 47. Distribución de tallas de las hembras muestreadas en cada año de aplicación del método de producción de huevos en la zona norte. Línea roja vertical es solo referencial (13 cm).

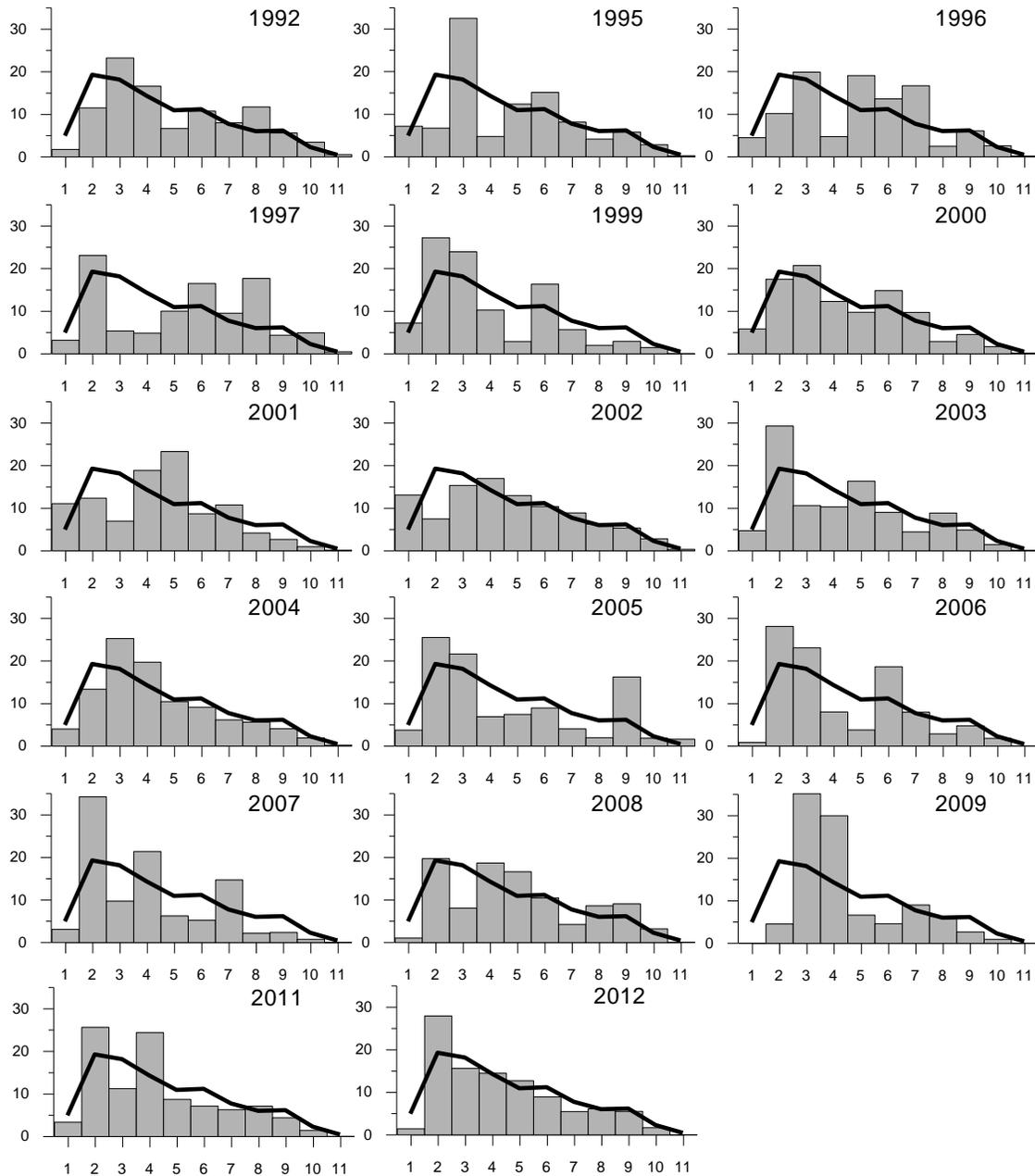


Figura 48. Frecuencia (N°) de huevos de anchoveta por estadio de desarrollo para cada a#o de cruceo ictioplanct3nico. Barras: Frecuencia (%) del a#o. L#nea: Frecuencia (%) considerando todos los cruceos.

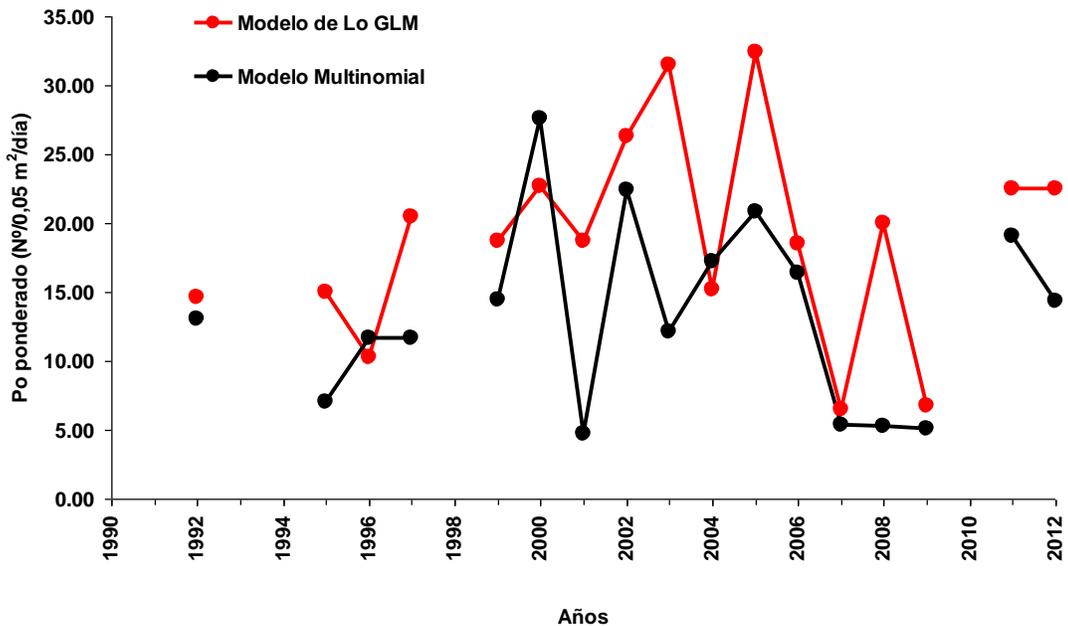


Figura 49. Estimaciones de Producci3n diaria de huevos (Nº/0,05 m²/día), ponderado por el área, para anchoveta de la zona norte, en base a las dos metodol3gías aplicadas

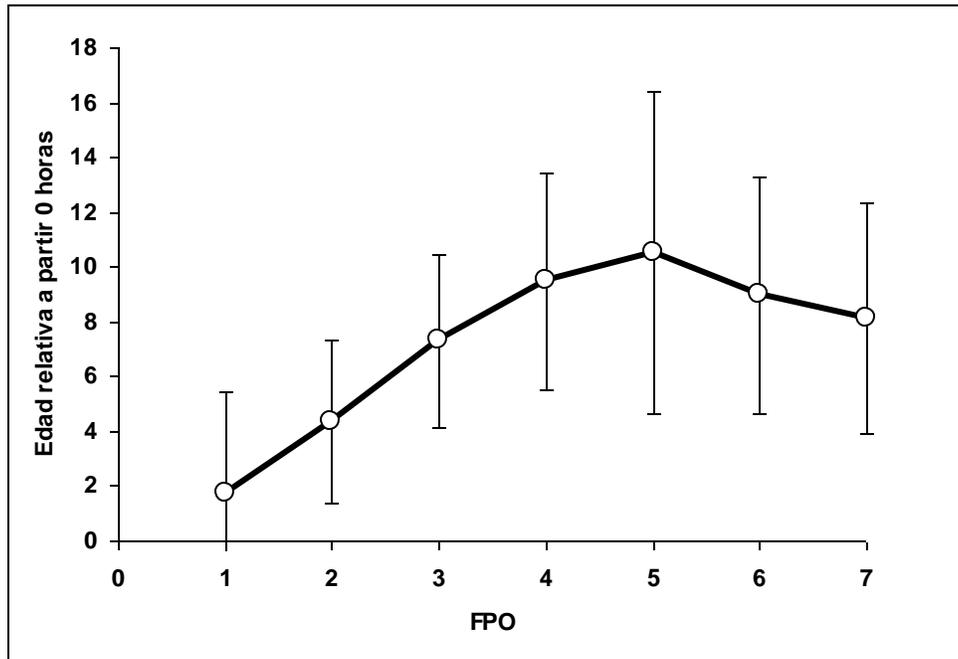


Figura 50. Edades medias de los estadios de FPO segun ajuste por modelo de tipo Gamma en base a la hora acumulada a partir de las 00:00. C6rculos: Edades medias. L6neas verticales: Desviaci3n estandar.

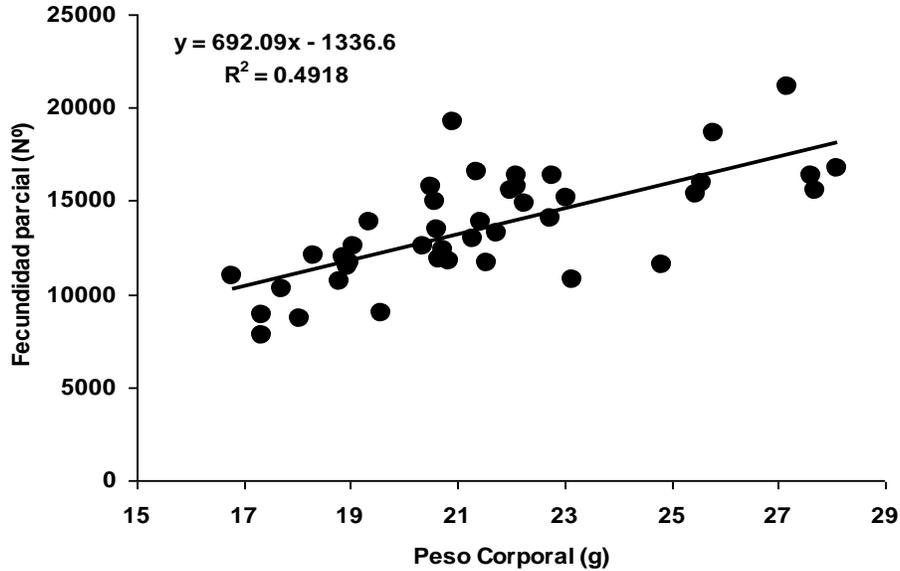


Figura 51. Fecundidad parcial en función del peso corporal para el año 2012

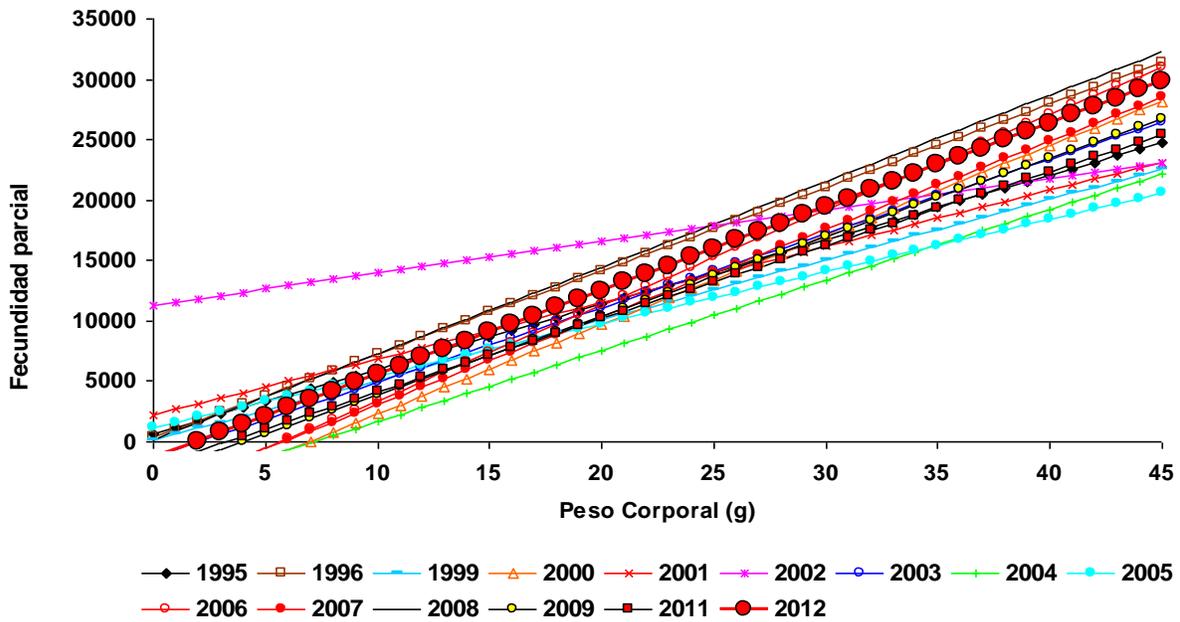


Figura 52. Regresiones de Fecundidad parcial en función del Peso Corporal para distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.

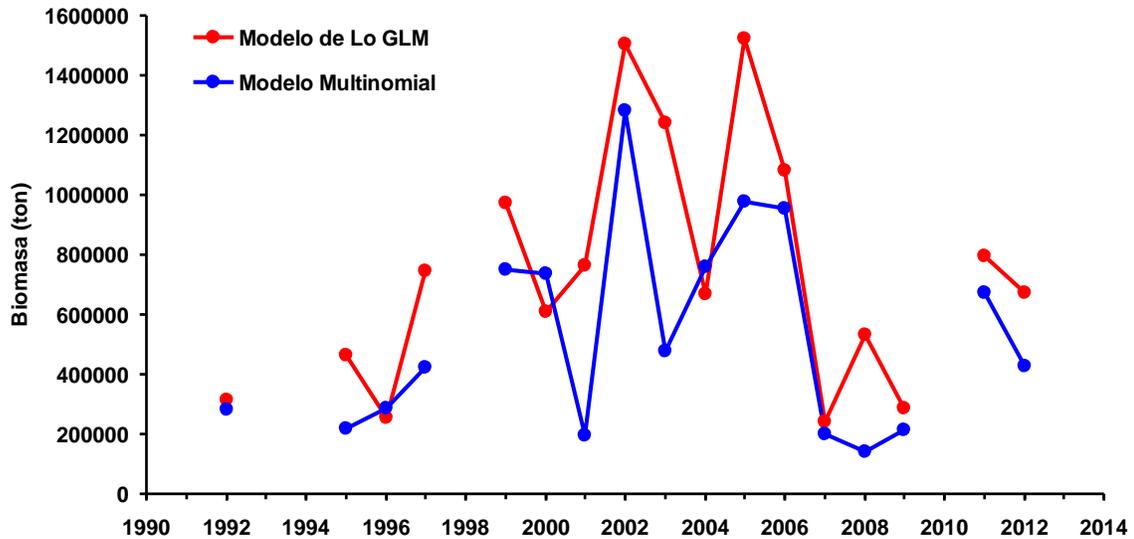


Figura 53. Biomosas desovantes estimadas en cada año de aplicación del Método de producción Diaria de Huevos.

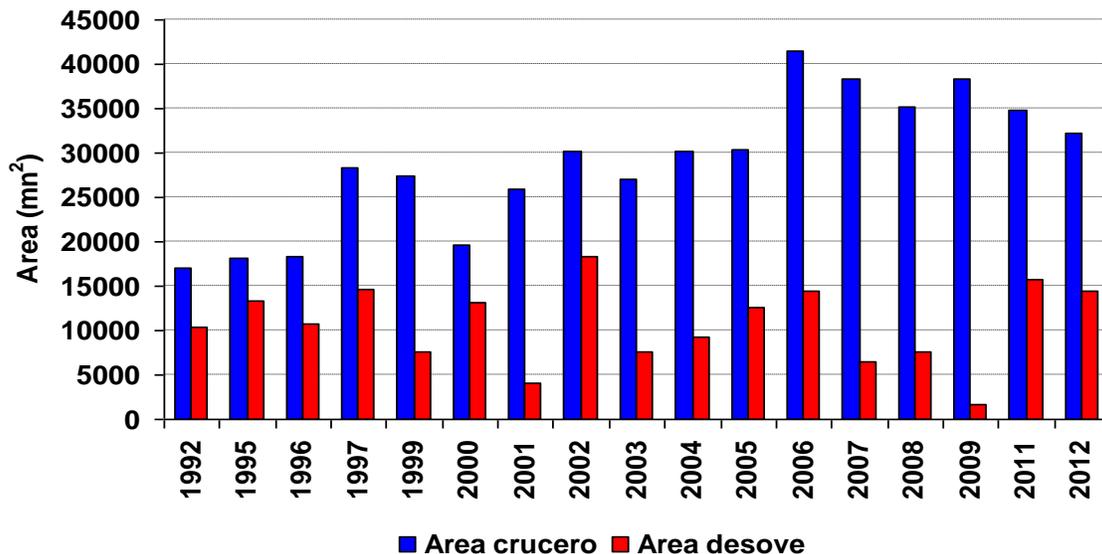


Figura 54. Áreas de cruceo y de desove para cada año de aplicación del Método de producción Diaria de Huevos.

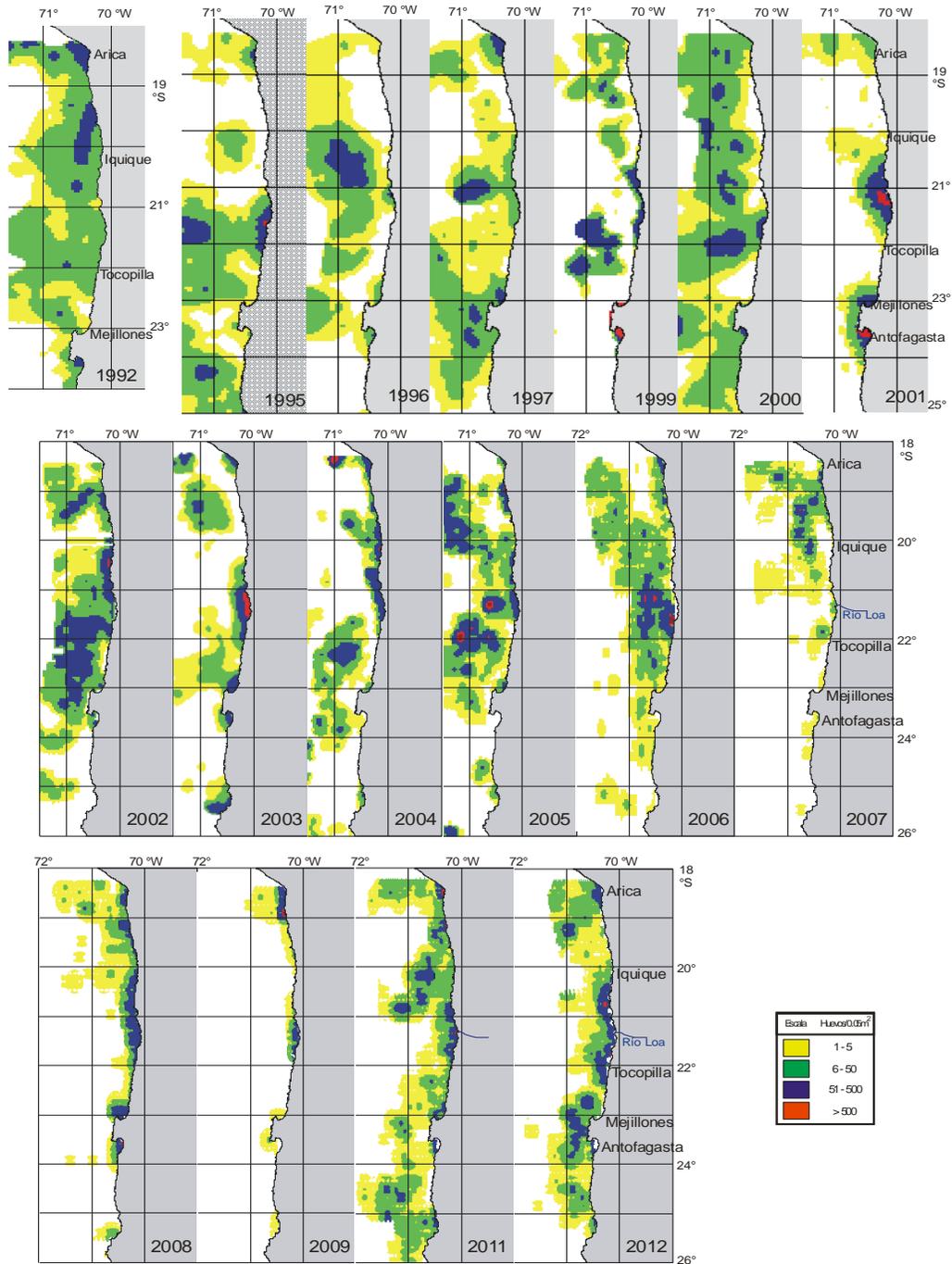


Figura 55. Distribución espacial y temporal de los huevos de anchoveta. Período 1992-2012.

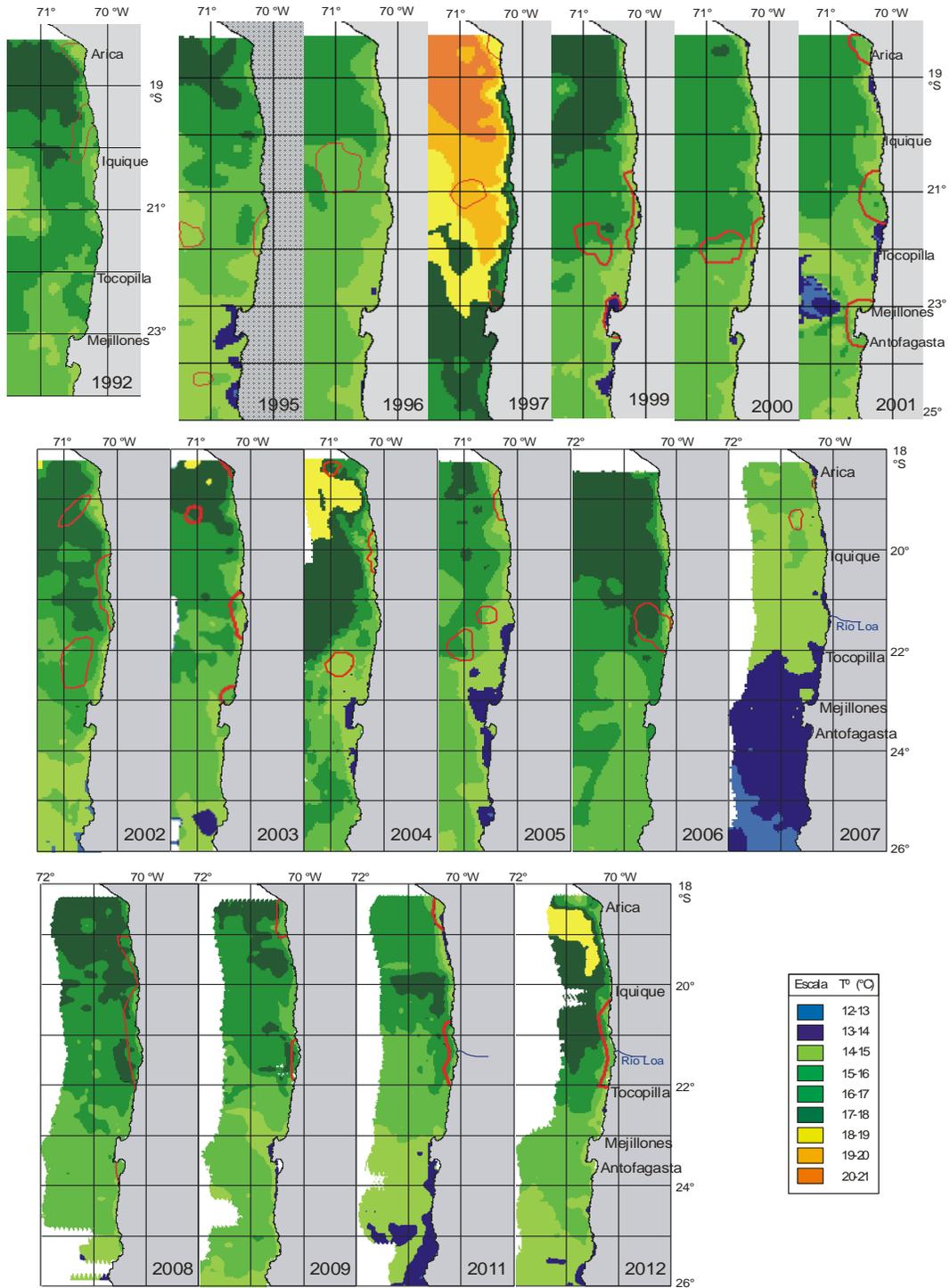


Figura 56. Distribución espacial y temporal de la temperatura a 10 m. Período 1992-2012.

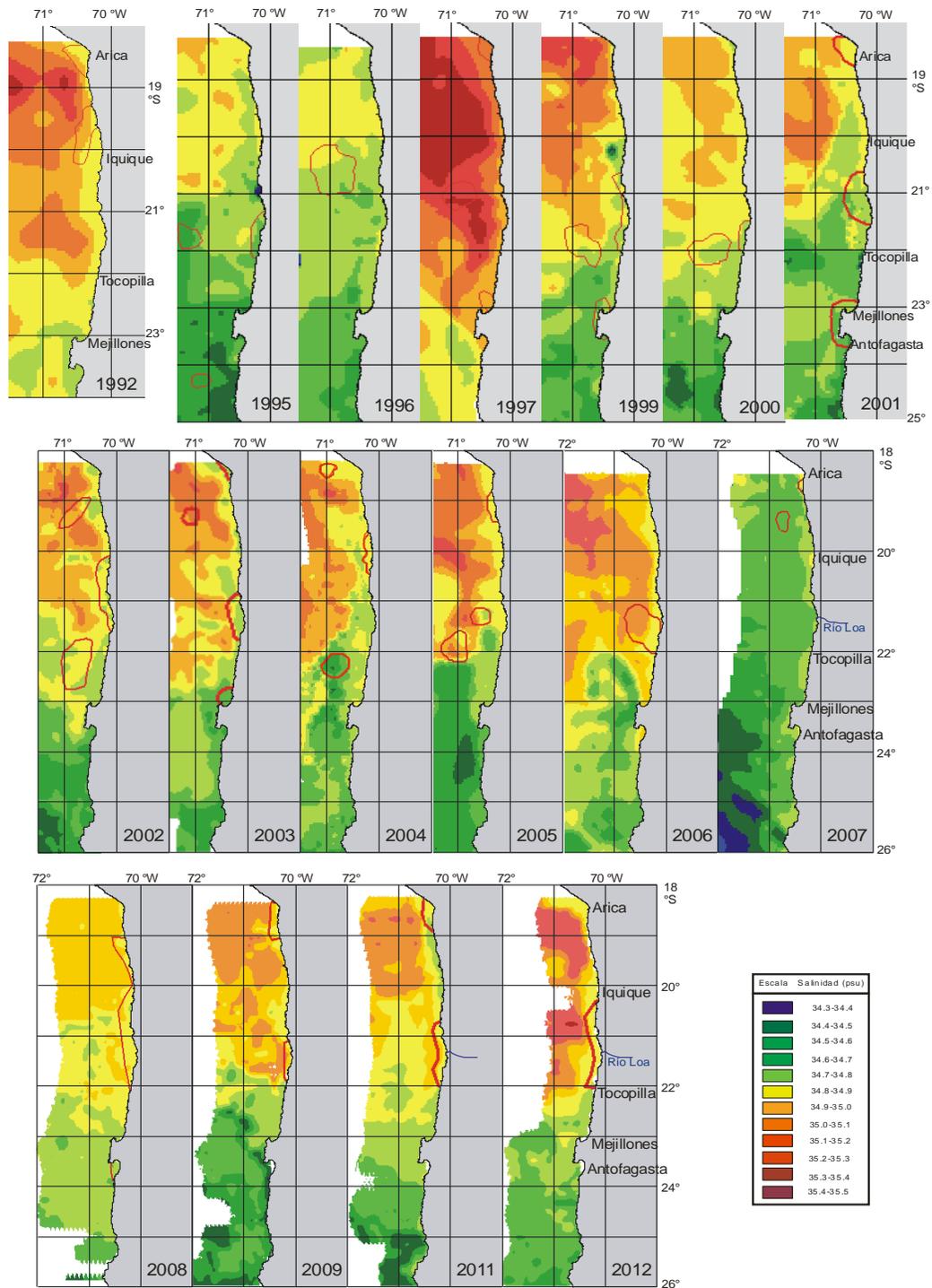


Figura 57. Distribución espacial y temporal de la salinidad superficial. Período 1992-2012.

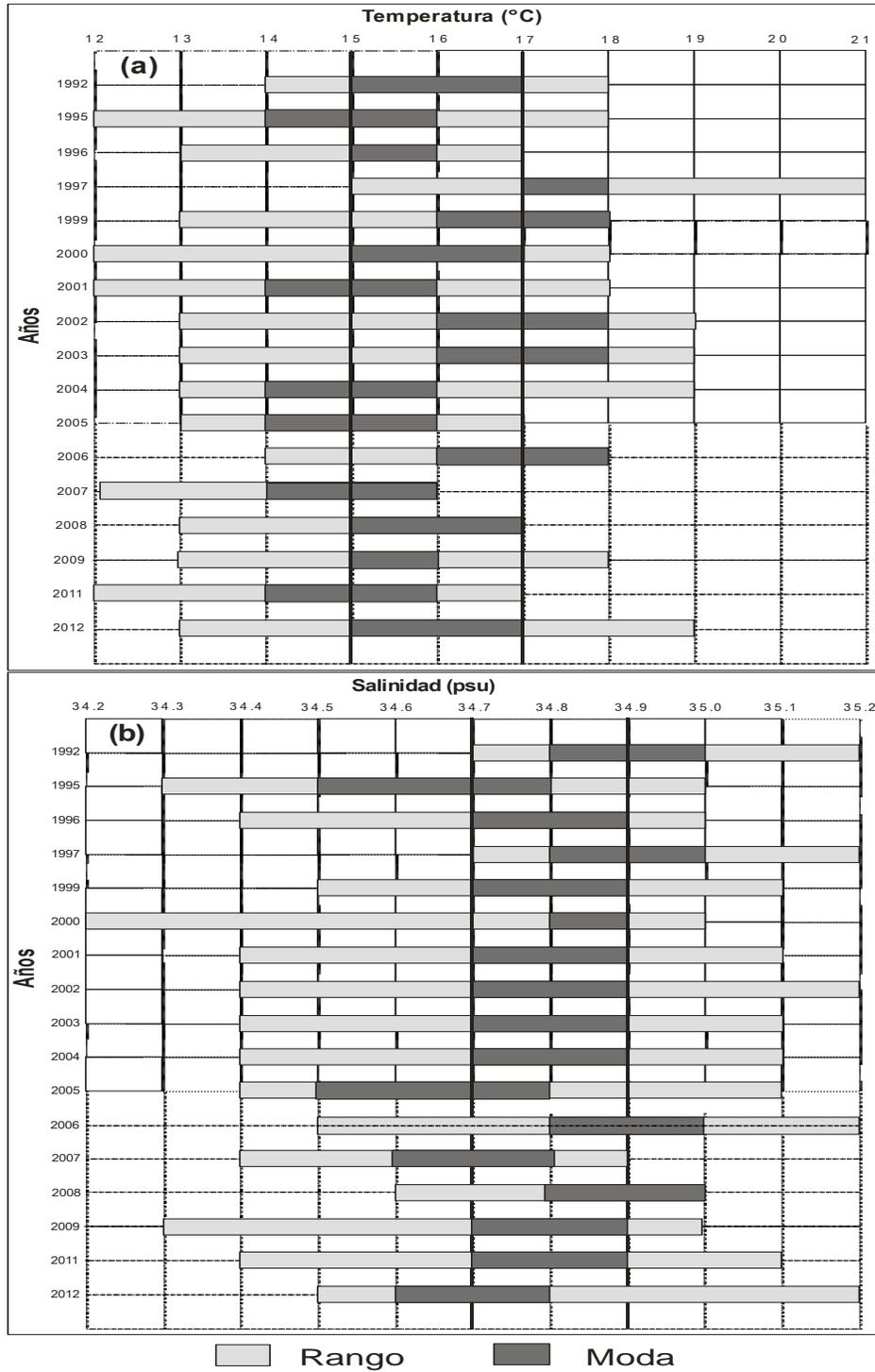


Figura 58. Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de: a) temperatura (°C) y b) salinidad (psu). Período 1992-2012.

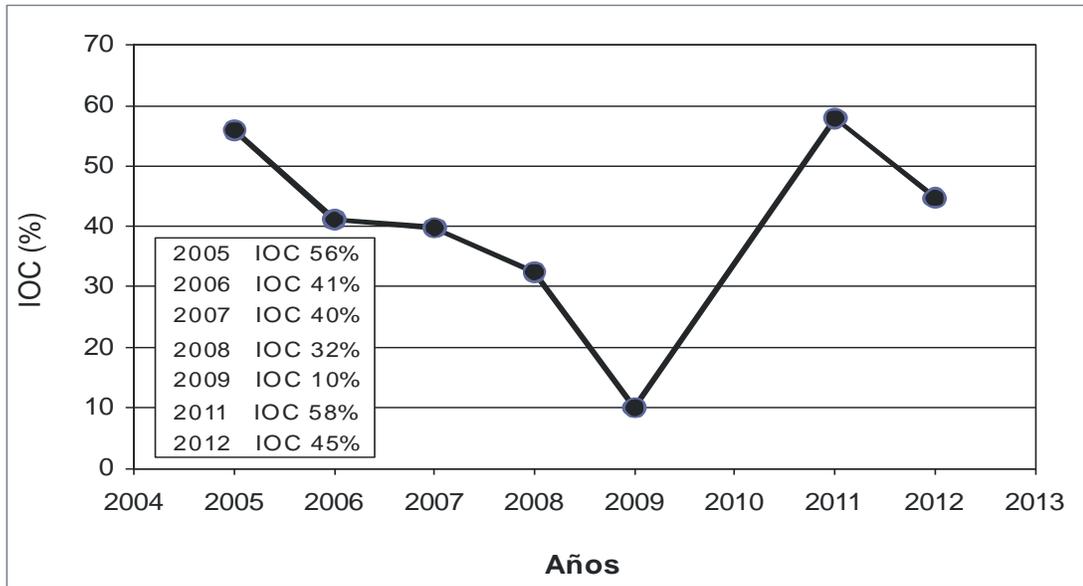


Figura 59. Indices de ocupaci3n (IOC) de las distribuciones de huevos de anchoveta. Per3odo 2005-2012.

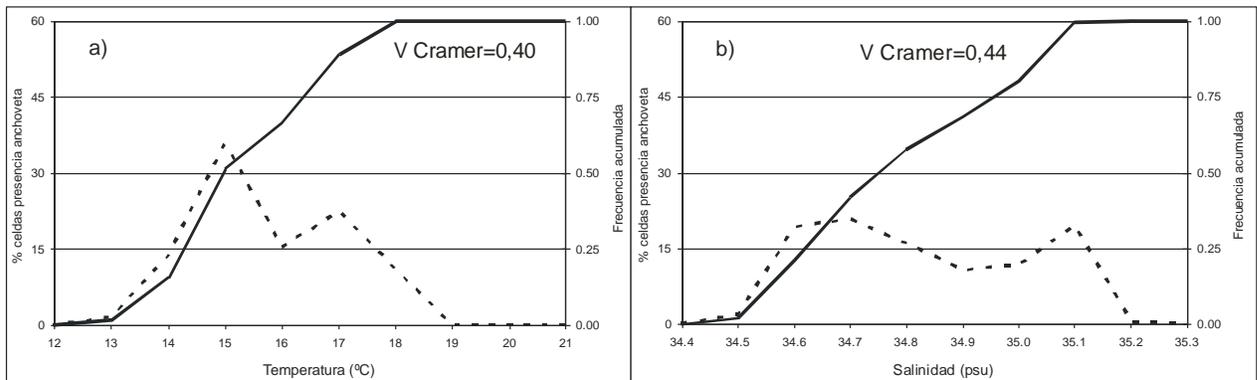


Figura 60. Frecuencia acumulada y rangos de preferencia de anchoveta en relaci3n a a) temperatura y b) salinidad. Crucero 2012.

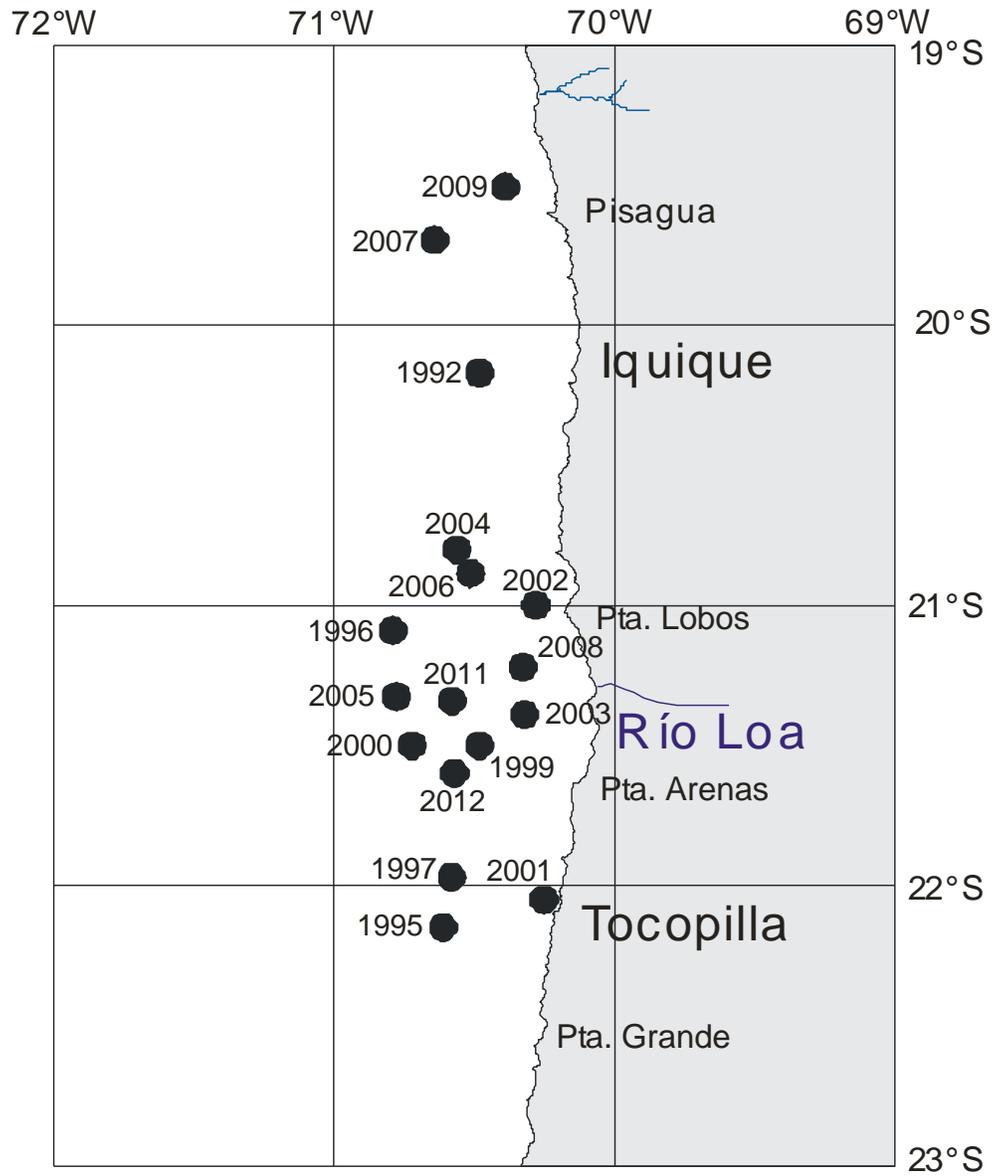


Figura 61. Distribuci3n espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de huevos de anchoveta. Per3odo 1992-2012.

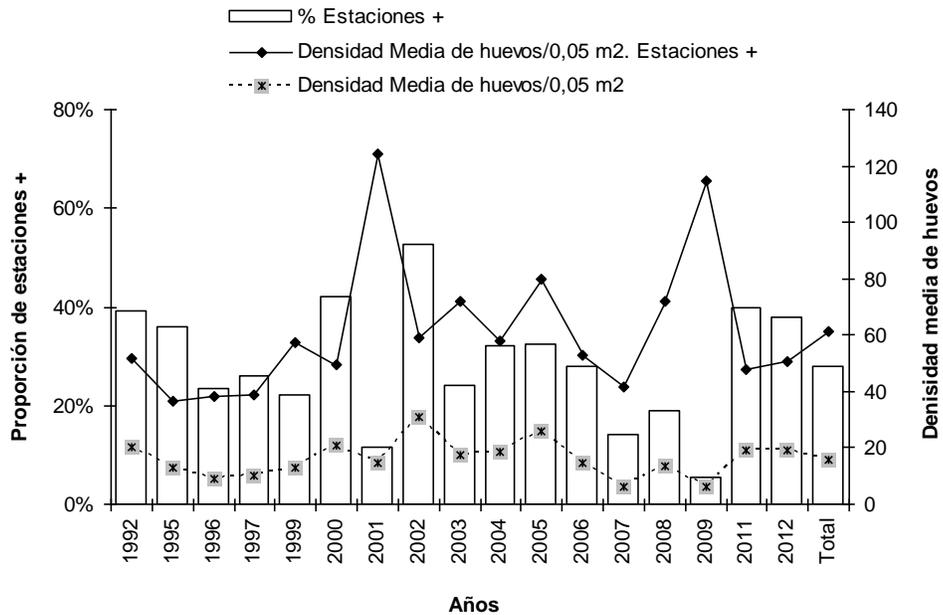


Figura 62. Densidad media de huevos para el total de estaciones y estaciones positivas y proporción de estaciones con presencia de huevos de anchoveta, por año y total. Cruceos realizados en la XV y entre la I y II Regi3n.

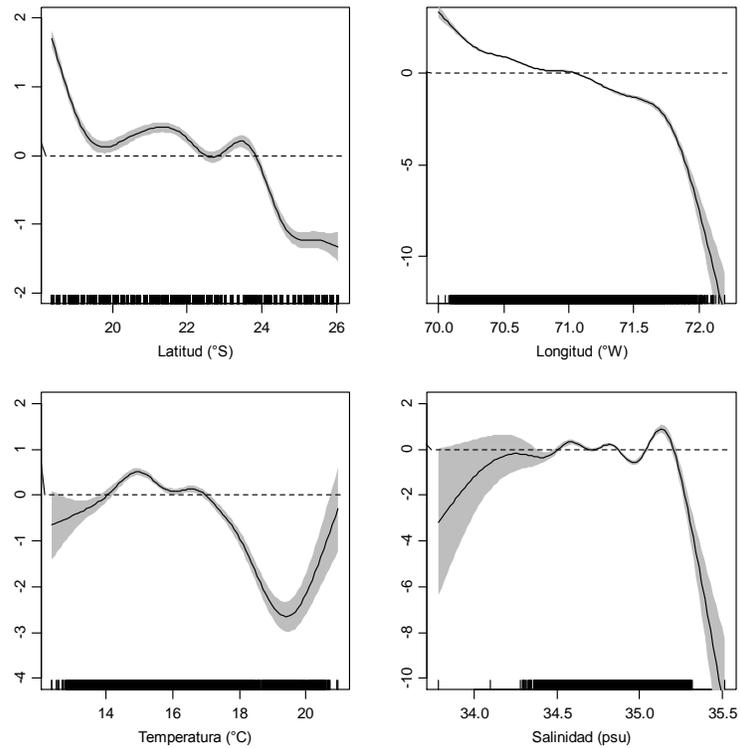


Figura 63. Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura y salinidad superficial sobre la variable densidad de huevos de anchoveta, ajustado un modelo poisson-compuesto (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta y zonas achuradas corresponden a las bandas de confianza.

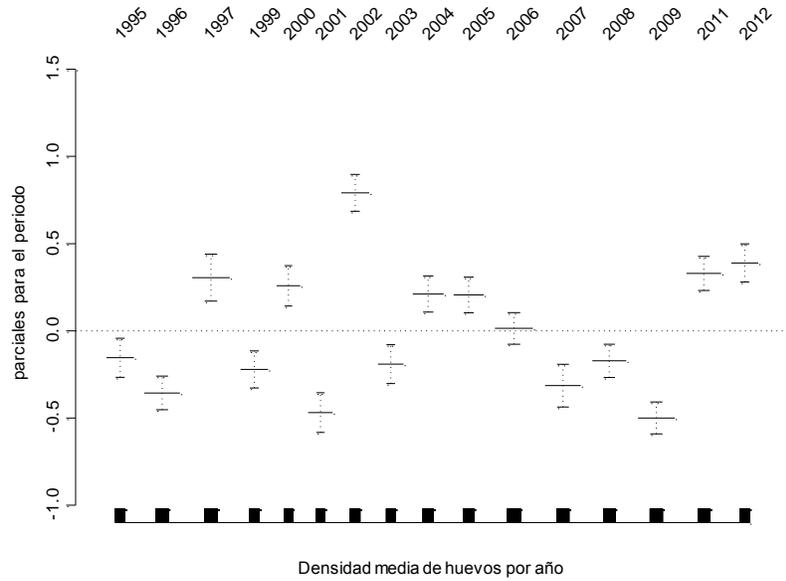


Figura 64. Tendencias de los 1ndices por a1o obtenidos del ajuste del modelo GAM para la densidad de huevos de anchoveta. L1neas segmentadas corresponden a las bandas de confianza.

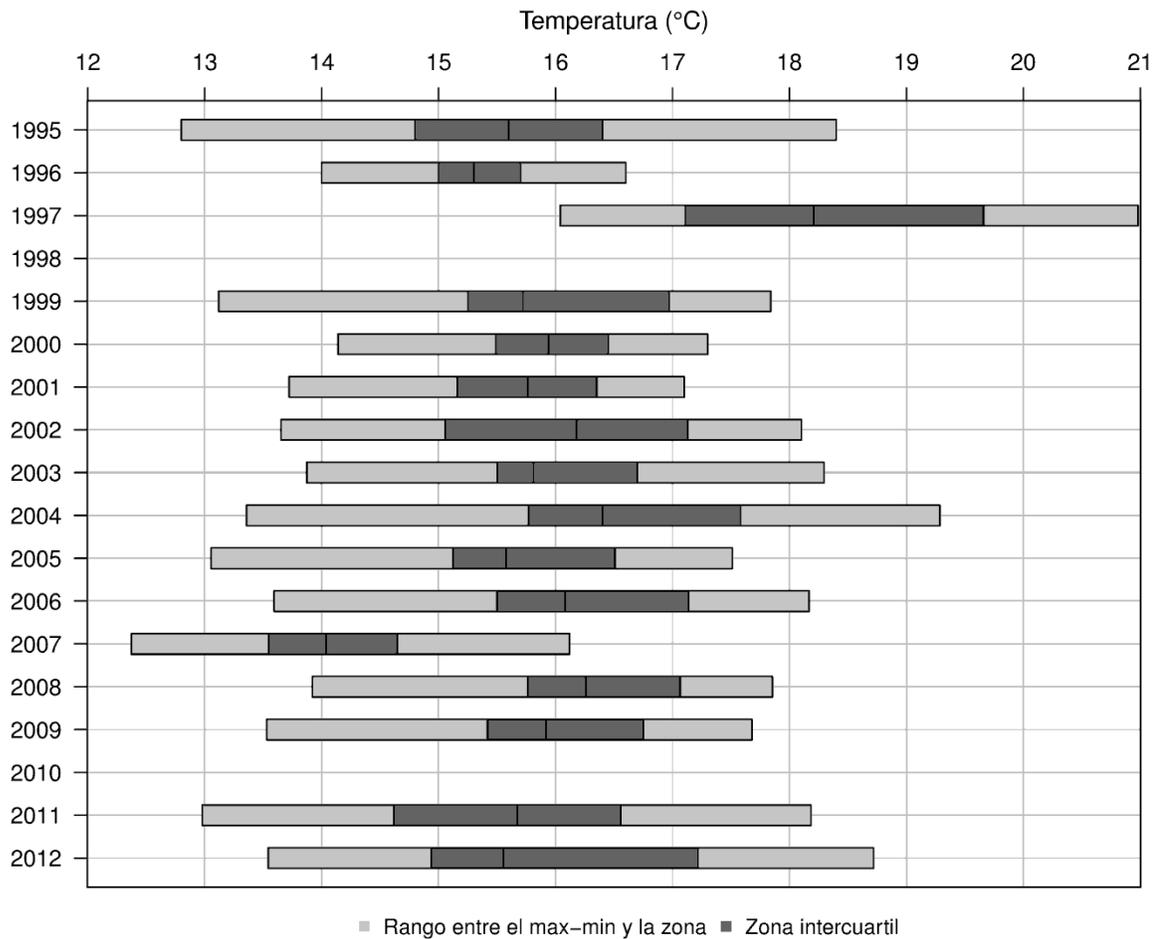


Figura 65. Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la temperatura superficial del mar para el periodo 1995 – 2012.

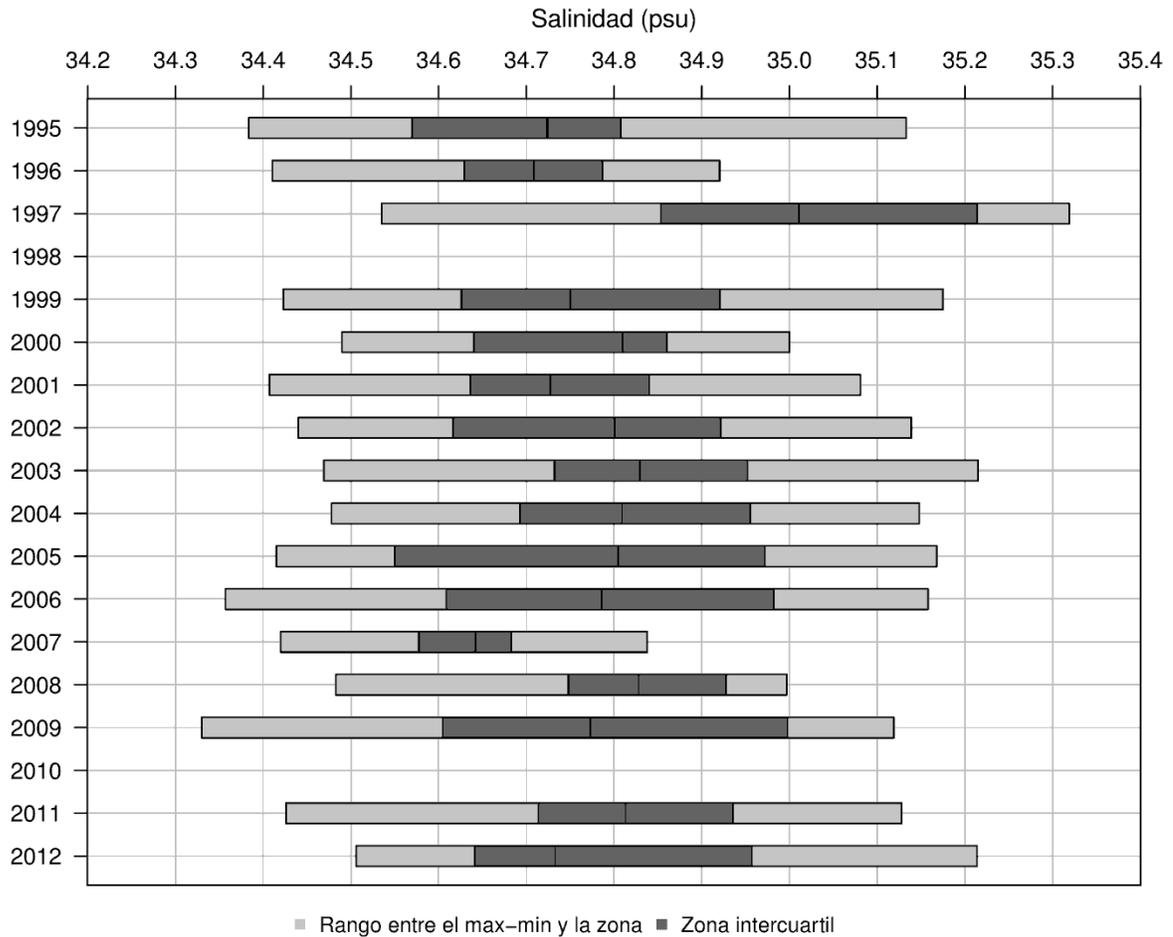


Figura 66. Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la salinidad superficial del mar para el periodo 1995 – 2012.

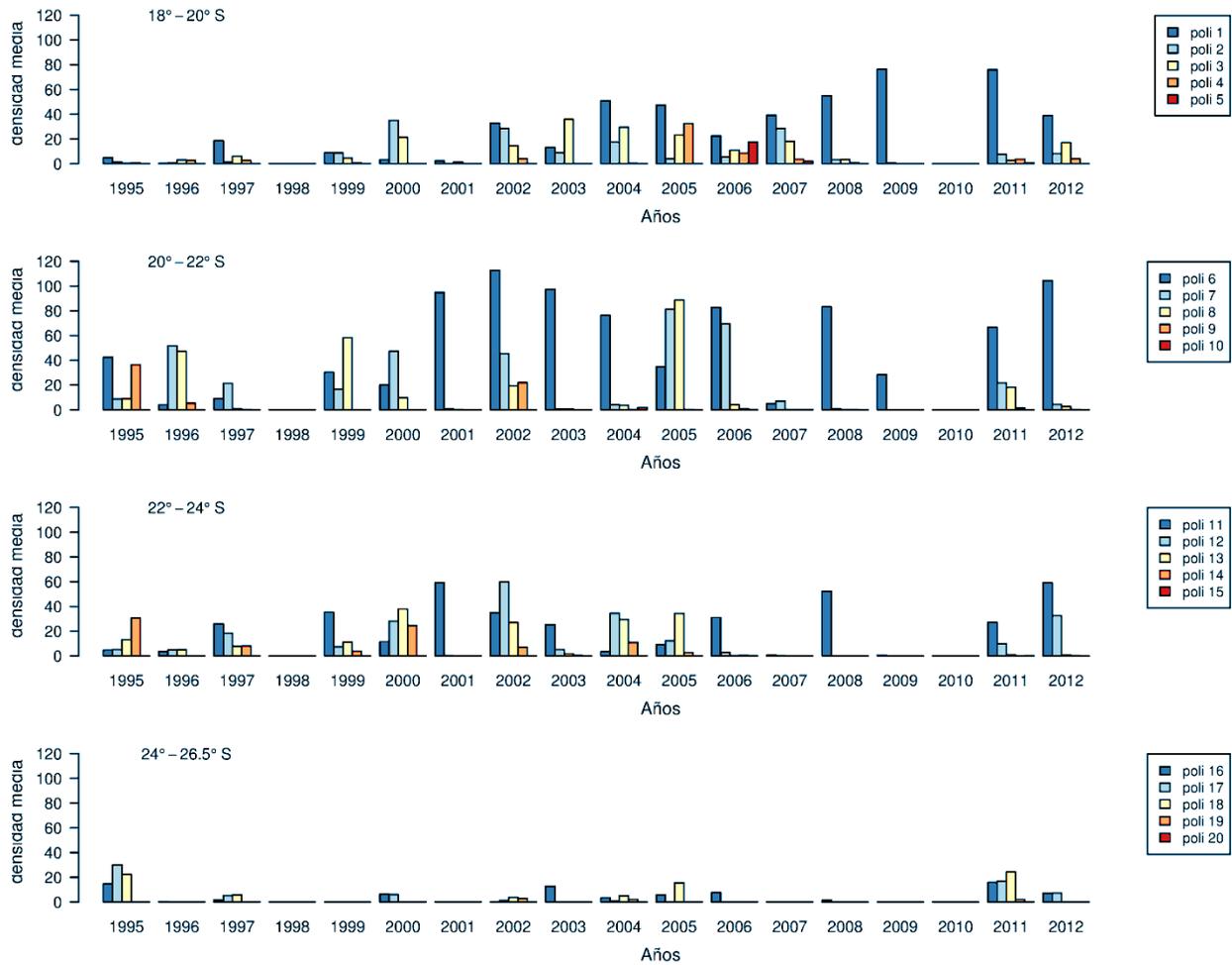


Figura 67. Densidad media de huevos de anchoveta por año y polígono paralelo a la costa, y delimitado en cuatro segmentos latitudinalmente (18-20°S, 20-22°S, 22-24°S y 24-26.5°S).

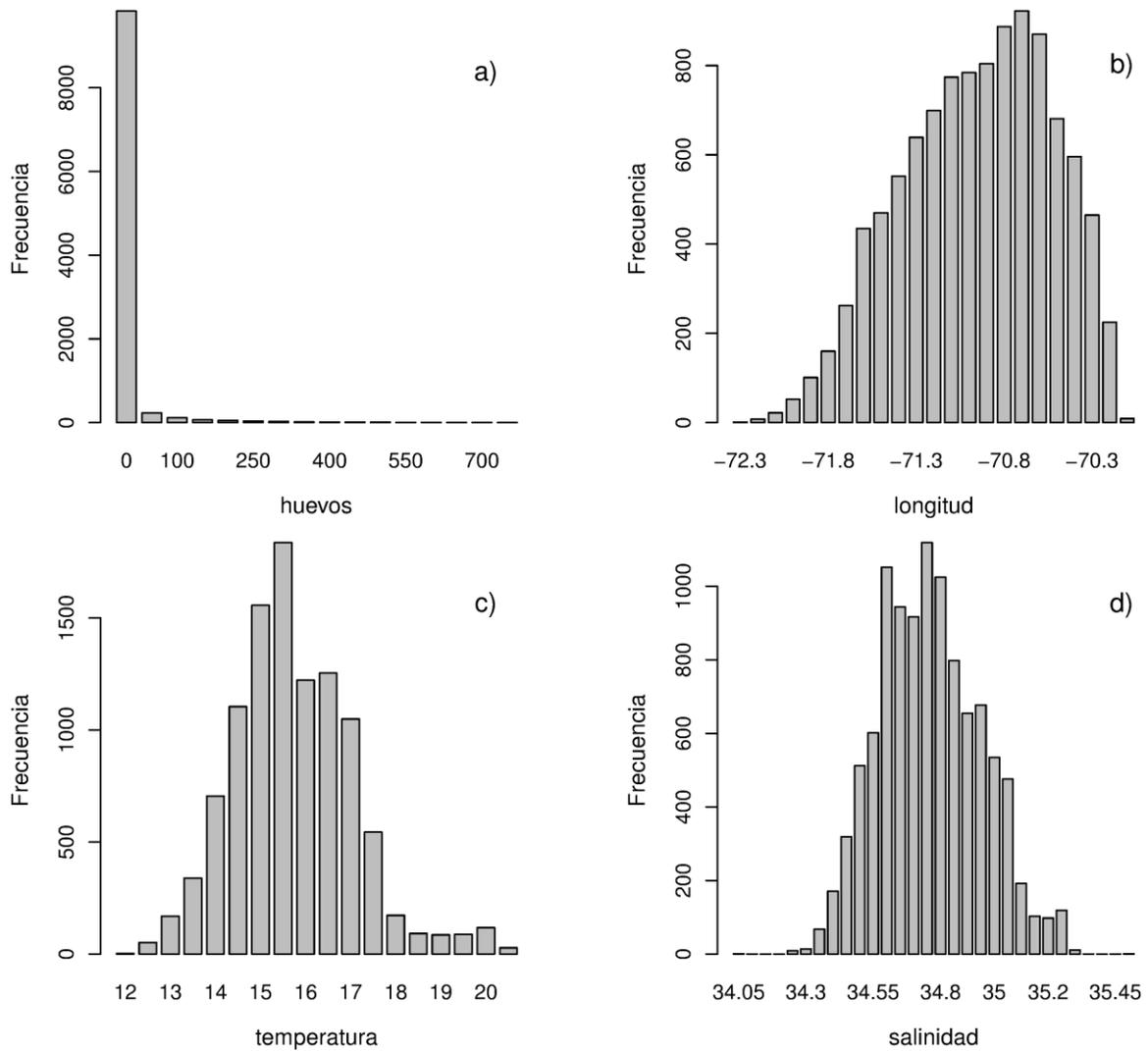


Figura 68. Estadísticas descriptivas para las variables densidad de huevos de anchoveta (a), la longitud (b), la temperatura (c) y la salinidad superficial del mar (d). Cruceros realizados en la I y II Región desde los años 1995 al año 2012.

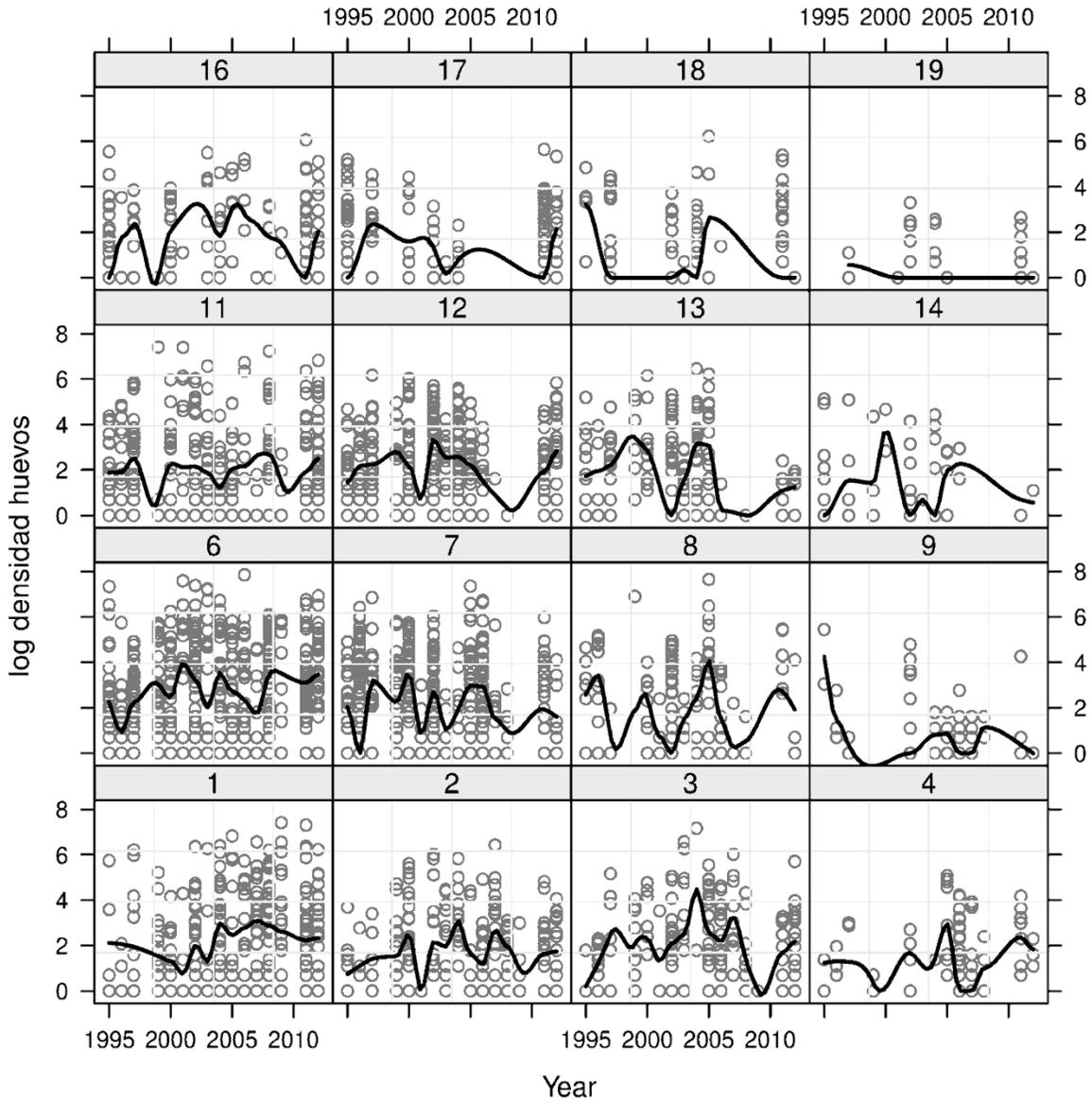


Figura 69. Patrón temporal de la densidad de huevos de anchoveta (escala logarítmica) para cada área (20 mn) paralela a la costa. La línea negra representa la tendencia suavizada y los círculos los datos observados.

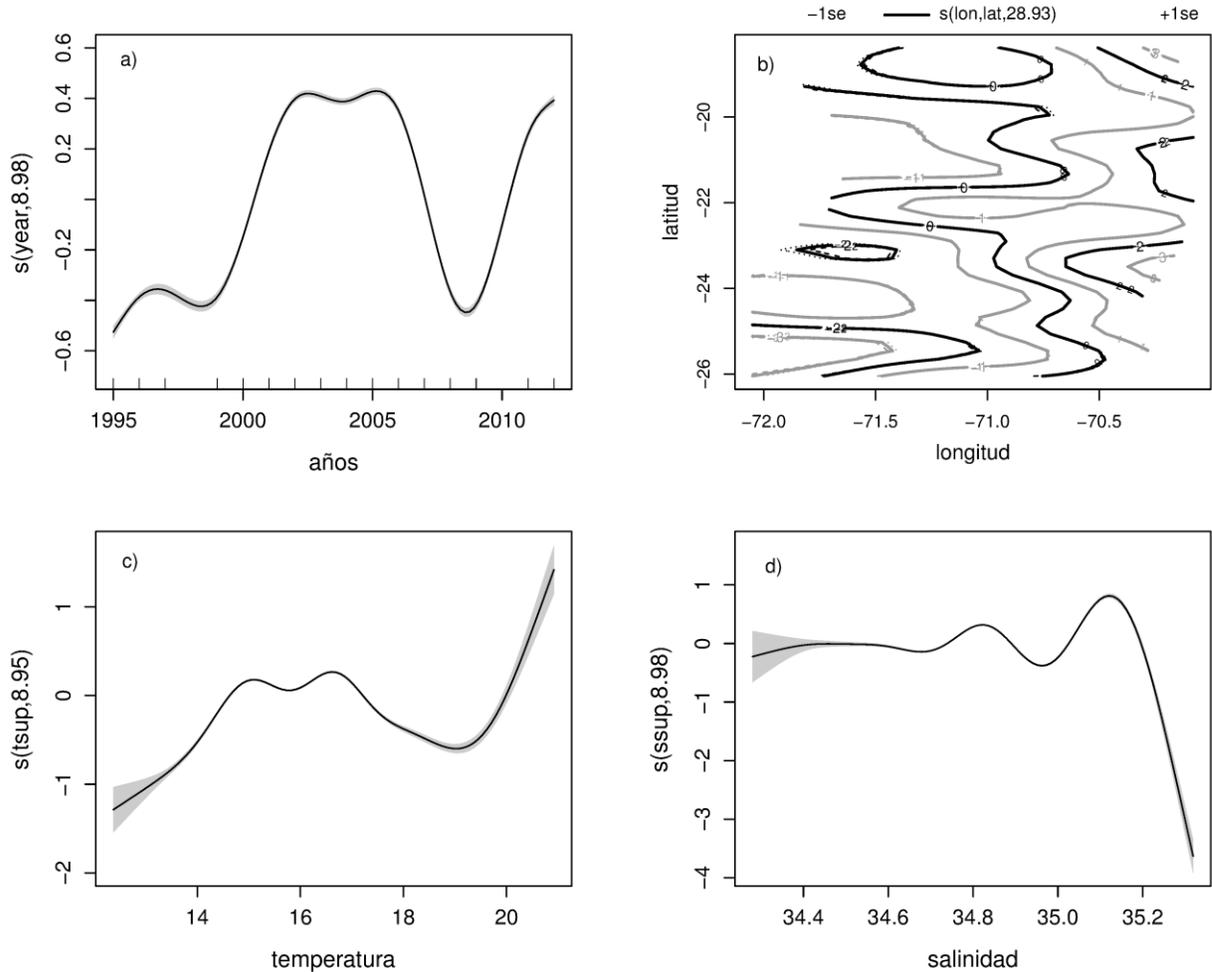


Figura 70. Efectos de los predictores fecha, latitud:longitud, temperatura y salinidad sobre la variable conteo de huevos de anchoveta por estación, ajustado un modelo MAG con una distribución Poisson para la variable respuesta. Las líneas segmentadas corresponden a los intervalos de confianza y $s(X,P)$ corresponde a la función suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad.

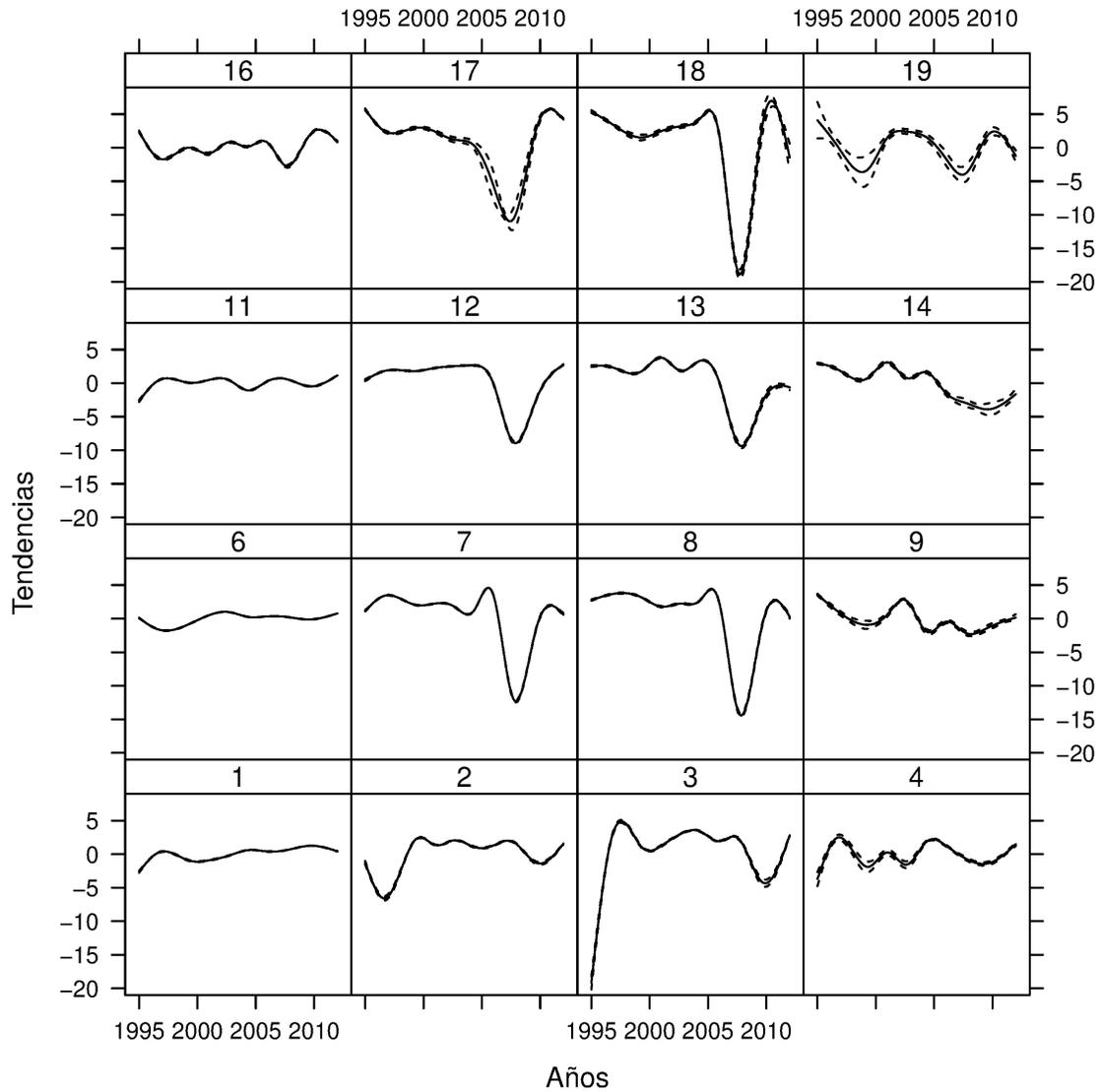


Figura 71. Estimaciones suavizadas del patrón temporal de la densidad de huevos para cada área paralela a la costa y delimitada latitudinalmente, obtenidos del MAG.

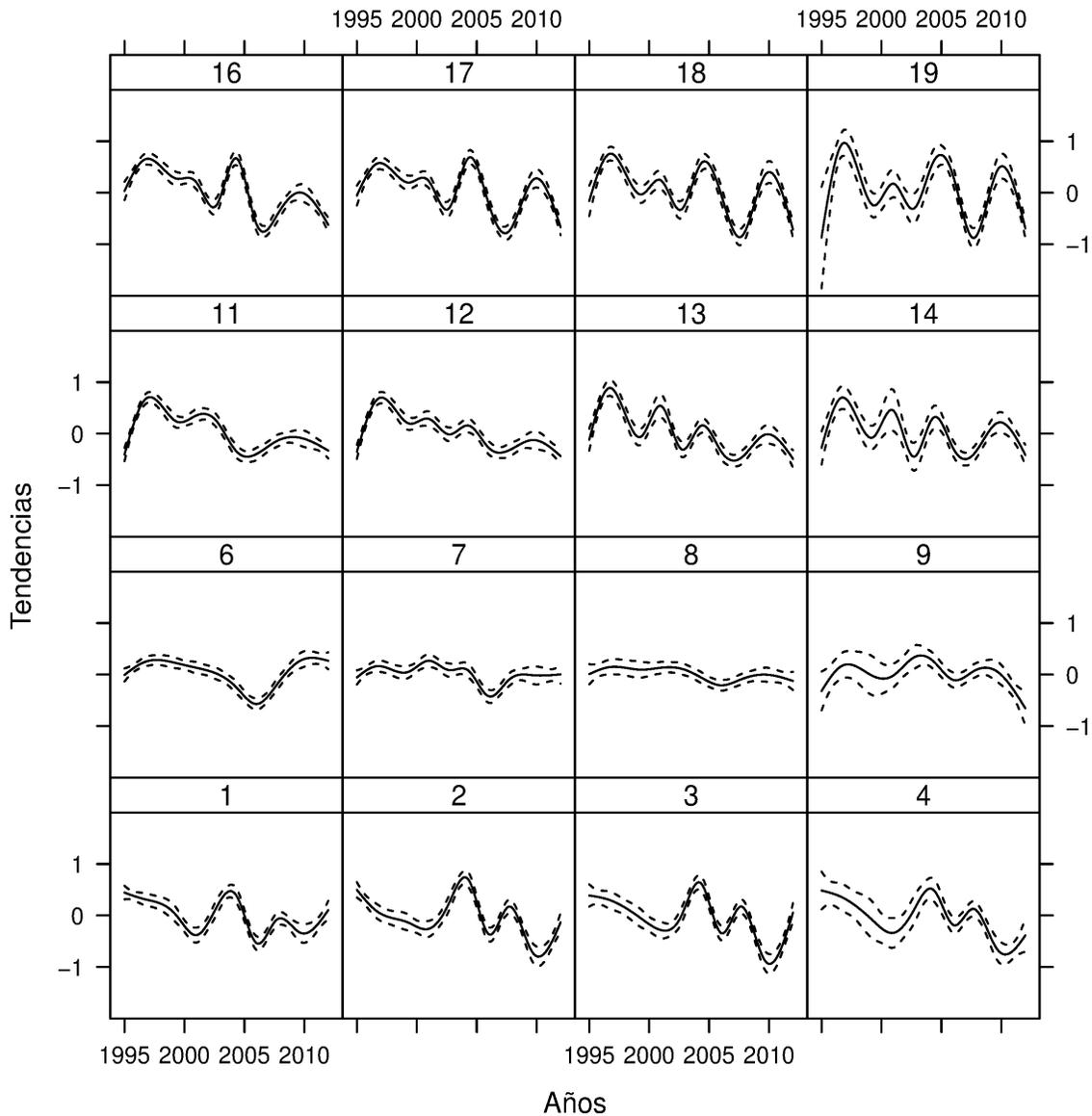


Figura 72. Estimaciones suavizadas del patrón temporal de la temperatura superficial del mar para cada área paralela a la costa y delimitada latitudinalmente, obtenidos del MAG.

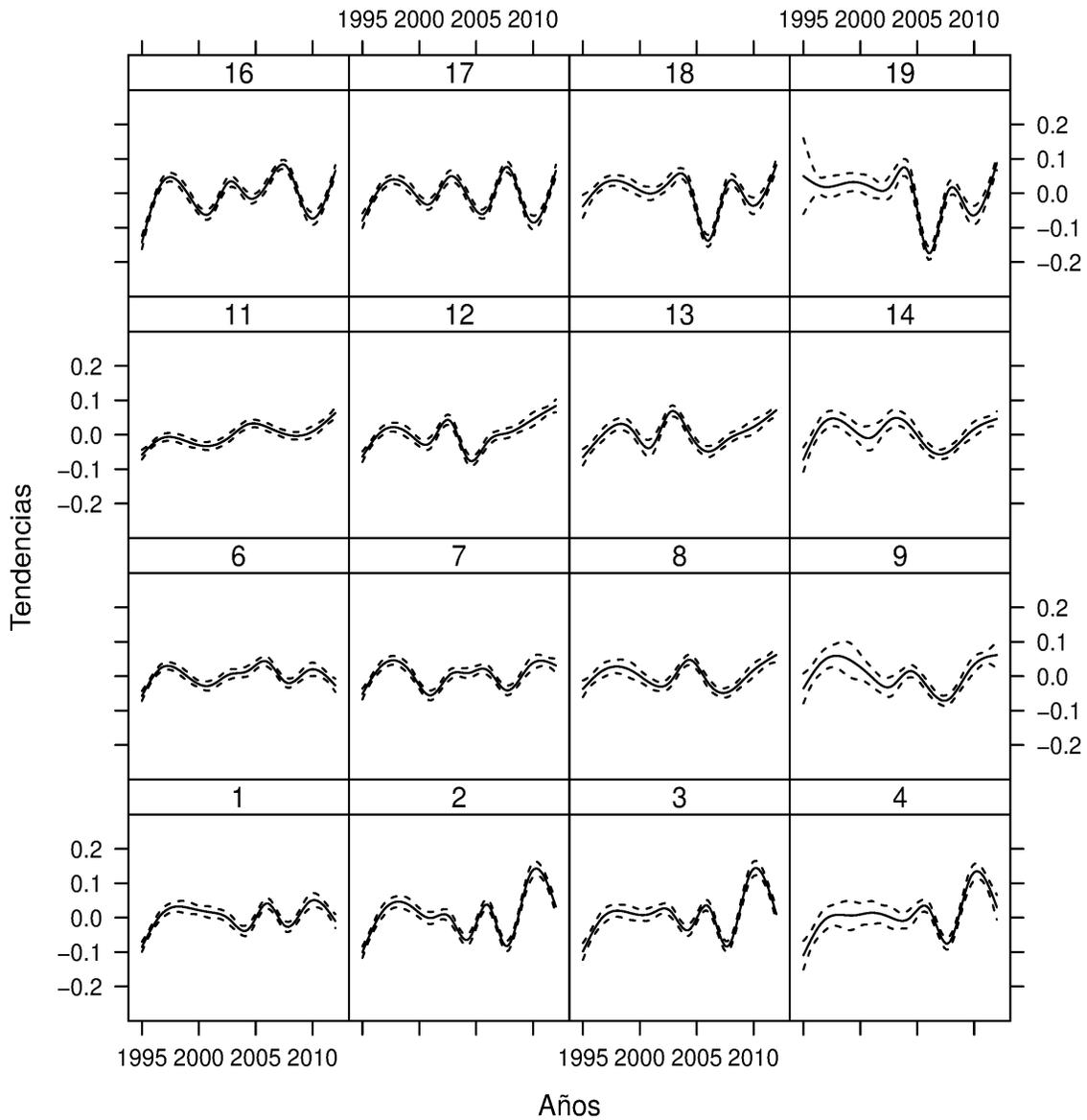


Figura 73. Estimaciones suavizadas del patr3n temporal de la salinidad superficial del mar para cada 3rea paralela a la costa y delimitada latitudinalmente, obtenidos del MAG.

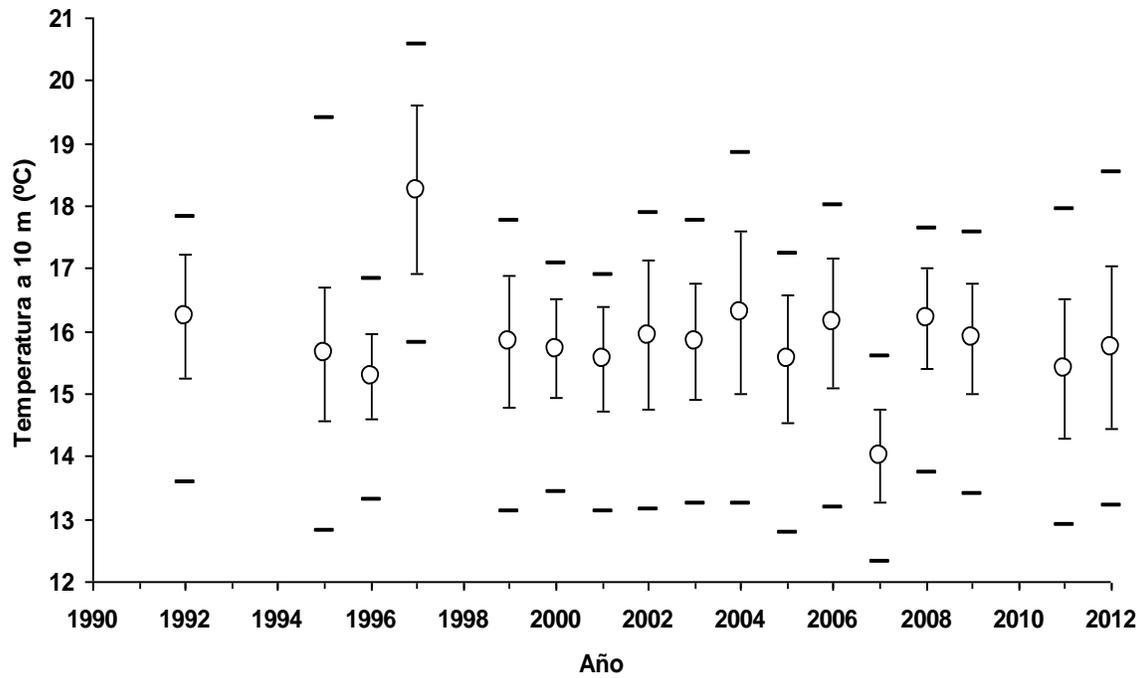


Figura 74. Temperaturas promedio a 10 metros (°C) de profundidad de los cruceros del MPH en la zona norte de Chile. L3neas verticales representan la desviaci3n estandar y l3neas horizontales los valores m3nimos y m3ximos.

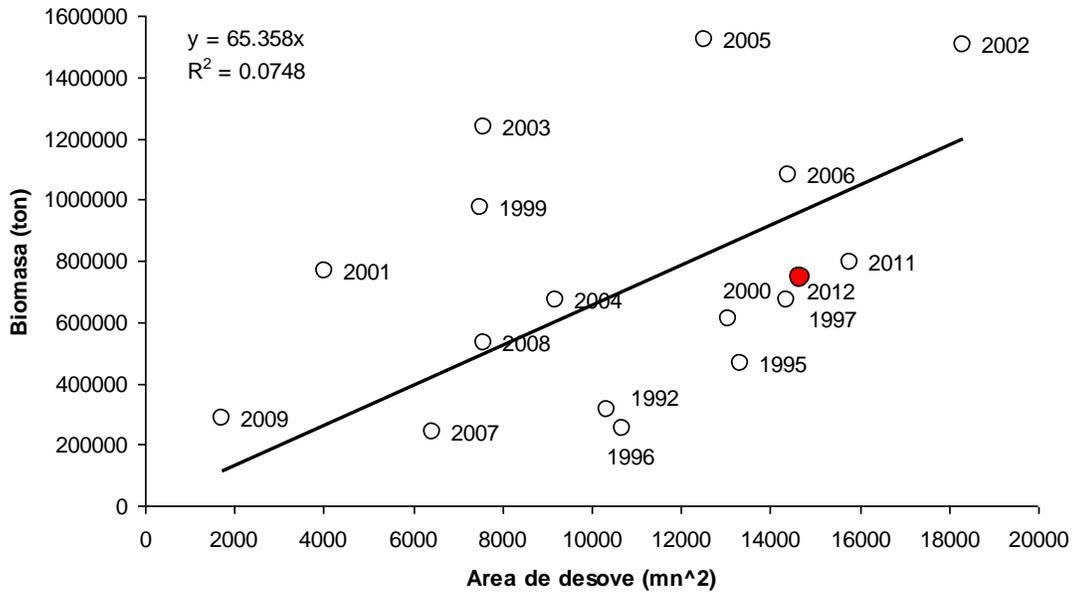


Figura 75. Relaci3n entre 3rea de desove (mn²) y la Biomasa desovante (ton) segun modelo de Lo.

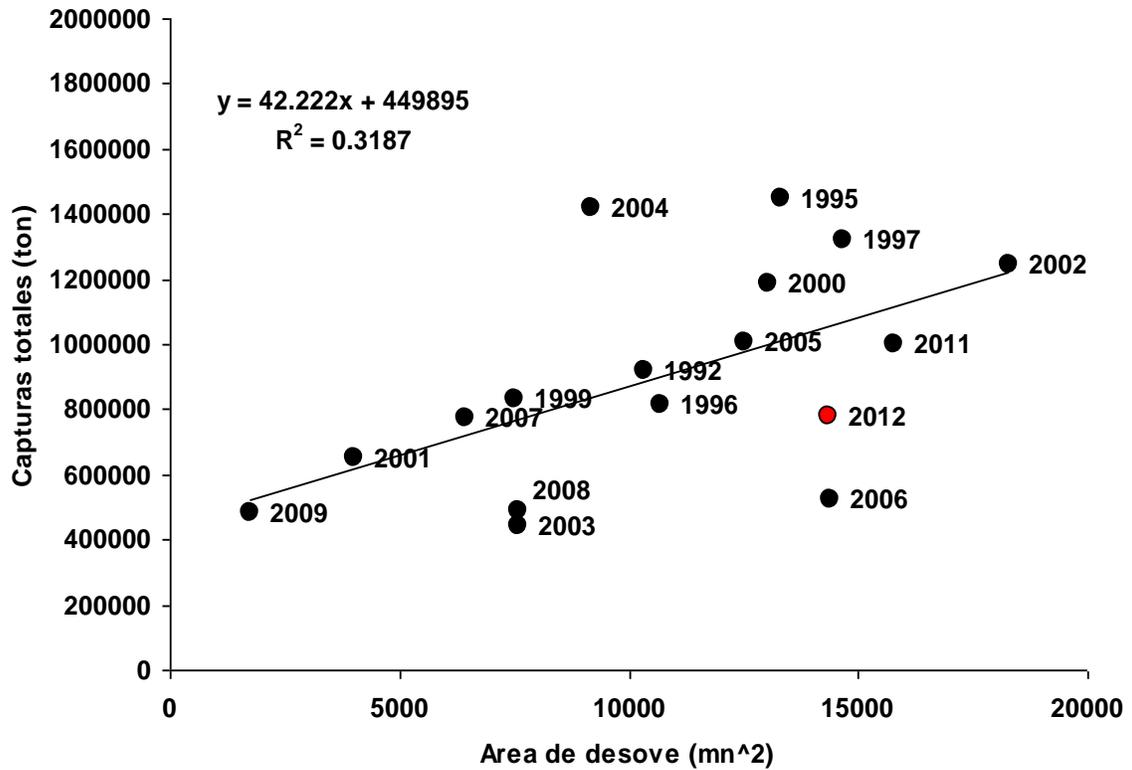


Figura 76. Relaci3n entre el 1rea de desove (mn²) y la captura total del a1o (ton). Captura para el a1o 2012 es una cifra preliminar.

T A B L A S



Tabla 1.
Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos
(Wallace y Selman, 1981; Hunter y Macewicz, 1985).

ESTADIO OVARICO	CITOLOGIA E HISTOMORFOLOGIA OVARICA
Estadio I: Virginal	Ovario con numerosos nidos ovogoniales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo intersticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos.
Estadio II: Inmaduro (reincidente)	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas 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 rodeados 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: Desovado	Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia abundante atresia folicular, tanto alfa como beta. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente folículos postovulatorios viejos.



Tabla 2.
Clasificaci3n histol3gica de los fol3culos postovulatorios (FPO) de anchoveta,
seg3n grado de degeneraci3n (Claramunt *et al.*, 2007).

Estadios del FPO		I	II	III	IV	V	VI	VII
Tama1o		Grande	Grande	Mediano	Mediano	Peque1o	Muy peque1o	Remanente
Forma del FPO y relaci3n con el lumen		Forma estrellada con grandes pliegues, lumen con gr3nulos eosin3filos	Forma estrellada Pliegues m3s pr3ximos entre si lumen con gr3nulos	Tendencia a perder los pliegues, forma alargada , lumen en reducci3n sin gr3nulos	Escaso lumen, pared folicular en estrecho contacto	Sin lumen, laminas foliculares en estrecho contacto	Sin lumen, aspecto poligonal l3minas deterioradas	Aspecto poligonal deteriorado
Folicular	C3lulas	C3lulas cilindroides, poco hipertrofiadas forma una banda celular de l3mites claros	Idem	Idem	P3rdida de ordenamiento, l3mites visibles aislados	Desorden celular, pocas c3lulas reconocibles	Escasas c3lulas reconocibles	No se reconocen c3lulas individuales
Folicular	N3cleo	Redondeado a el3ptico	Pocos n3cleos alargados picn3ticos	Predominio de n3cleos picn3ticos	Idem	Idem	Escasos y picn3ticos	Idem
Folicular	Vacuolas	No se reconocen	Escasas y muy peque1as	De menor o igual tama1o al n3cleo, poco numerosas	De igual o mayor tama1o al n3cleo, numerosas	Grandes y dominan en las l3minas celulares	Idem	No se reconocen
Teca		Fuertemente adherida y con c3lulas alargadas	Adheridas a la folicular, con alguna picnosis	Incidencia de c3lulas sangu3neas y capilares entre la teca y la folicular	Separada de la folicular por invasi3n de estroma ov3rico a tramos	Completamente separada por invasi3n del estroma ov3rico	Poco reconocible	No se reconoce



Tabla 3
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 torsión 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 4.

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

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 5.
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 6.
Evolución semanal de los indicadores reproductivos (IGS, IAD e IAO) de la anchoveta en la Zona Arica-Antofagasta, enero-primer semana de octubre, 2012.

Semana (N°)	Fecha 2012	Macroscópico		Microscópico		
		N	IGS (%)	IAD (%)	IAO (%)	N
1	02/01 - 08/01					
2	09/01 - 15/01					
3	16/01 - 22/01					
4	23/01 - 29/01					
5	30/01 - 05/02	283	4,2			
6	06/02 - 12/02	369	4,3			
7	13/02 - 19/02	599	4,0			
8	20/02 - 26/02	289	4,1			
9	27/02 - 04/03	407	3,7			
10	05/03 - 11/03	244	3,5			
11	12/03 - 18/03	280	3,6			
12	19/03 - 25/03	185	3,9			
13	26/03 - 01/04	138	3,9			
14	02/04 - 08/04	73	3,4			
15	09/04 - 15/04	250	3,4			
16	16/04 - 22/04	212	2,7			
17	23/04 - 29/04	403	3,2			
18	30/04 - 06/05	105	2,5			
19	07/05 - 13/05	394	3,6			
20	14/05 - 20/05	237	3,1			
21	21/05 - 27/05	178	3,5			
22	28/05 - 03/06	94	1,8			
23	04/06 - 10/06	533	2,3	0,7	1,4	148
24	11/06 - 17/06	457	3,3	9,5	1,4	148
25	18/06 - 24/06	516	4,5	10,0	1,3	150
26	25/06 - 01/07	397	4,3	12,7	0,0	150
27	02/07 - 08/07	163	4,2	5,5	2,1	145
28	09/07 - 15/07	476	4,4	6,0	2,7	149
29	16/07 - 22/07	143	4,3	5,4	0,0	166
30	23/07 - 29/07	386	4,6	25,7	0,0	148
31	30/07 - 05/08	329	5,2	29,7	0,0	229
32	06/08 - 12/08	247	5,4	23,3	1,3	150
33	13/08 - 19/08	111	6,1	34,8	0,0	115
34	20/08 - 26/08	281	6,9	30,1	0,7	100
35	27/08 - 02/09	151	10,0	27,0	0,0	148
36	03/09 - 09/09	242	7,7	26,5	0,6	155
37	10/09 - 16/09					
38	17/09 - 23/09					
39	24/09 - 30/09	179	6,9	44,3	0,0	140
40	01/10 - 07/10	257	7,0	33,6	0,7	143



Tabla 7.
Densidad promedio, frecuencia y rangos de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*, en invierno de los a1os 1992 - 2012.

	1992	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012
N°Total Estaciones	542	578	752	800	598	502	514	588	537	649	658	799	799	717	773	730	564
N° Estaciones positivas	212	208	176	209	132	212	60	309	129	208	214	223	113	136	41	292	211
Abundancia (H/0,05m^2)	10974	7555	6718	8054	7582	10473	7586	18305	9264	12079	17066	11812	4719	9761	4703	13906	10779
Mínimo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Máximo	331	1536	611	947	1649	518	1987	1607	1386	1288	2100	2563	705	1387	1658	1484	1010
DS	73,61	126,38	79,83	96,54	175,98	86,11	354,36	128,42	211,76	140,6	212,4	202,2	176	155,5	288,9	135,3	124,3
Media Est. Positivas	52	36	38	39	57	49	126	59	72	58	80	53	6	72	115	48	51
Varianza	5418,4	15971,9	6372,8	9320,0	30969,0	7414,9	125571,0	16491,7	44842,3	19768,4	45113,8	40871,3	30976,0	24180,3	83463,2	18306,1	15450,5
Frecuencia	39,11	35,99	23,40	26,13	22,07	42,23	11,67	52,55	24,02	32,05	32,52	27,91	14,14	18,97	5,30	40,00	37,41
CV (%)	1,42	3,51	2,10	2,48	3,09	1,76	2,81	2,18	2,94	2,42	2,66	3,82	29,33	2,16	2,51	2,84	2,44
Media Est. Totales	20	13	9	10	13	21	15	31	17	19	26	15	42	14	6	19	19
Área Crucero (mn2)	17055	18137	18353	19627	27374	19539	25921	30264	26986	30152	30368	41448	41448	32675	36500	34150	32291
Área Desove (mn2)	10332	13315	10698	14660	7525	13059	4026	18309	7597	9193	12521	14408	6439	7594	1743	15771	14356
Temperatura 10m (°C)	16,251	15,314	15,281	18,260	15,839	15,723	15,556	15,941	15,835	16,287	15,550	16,140	14,014	16,210	15,890	15,397	15,736



Tabla 8.
Estimación del índice de huevos de Anchoveta, XV, I y II Regiones en invierno de 1992-2012.

Año	Índice Huevos (H)	Varianza de (H) (VarH)	Varianza logaritmo (H) (VarlogH)	Límite inferior (LI)	Límite superior (LS)
1992	1,11E+11	1,51E+20	0,0122	8,64E+10	1,35E+11
1993					
1994					
1995	7,48E+10	3,41E+20	0,0592	3,86E+10	1,11E+11
1996	4,92E+10	7,05E+19	0,0287	3,28E+10	6,57E+10
1997	9,88E+10	3,27E+20	0,0330	6,34E+10	1,34E+11
1998					
1999	1,02E+11	8,04E+20	0,0744	4,66E+10	1,58E+11
2000	1,21E+11	2,47E+20	0,0167	8,97E+10	1,51E+11
2001	1,16E+11	1,81E+21	0,1262	3,24E+10	1,99E+11
2002	2,88E+11	1,39E+21	0,0166	2,15E+11	3,61E+11
2003	1,50E+11	1,64E+21	0,0704	7,05E+10	2,29E+11
2004	1,90E+11	1,10E+21	0,0300	1,26E+11	2,55E+11
2005	2,63E+11	2,57E+21	0,0365	1,64E+11	3,63E+11
2006	1,85E+11	1,87E+21	0,0532	9,98E+10	2,69E+11
2007	7,37E+10	3,36E+20	0,0600	3,78E+10	1,10E+11
2008	1,62E+11	1,05E+21	0,0392	9,91E+10	2,26E+11
2009	7,37E+10	9,47E+20	0,1607	1,34E+10	1,34E+11
2010					
2011	2,16E+11	1,39E+21	0,0294	1,43E+11	2,89E+11
2012	2,11E+11	1,38E+21	0,0305	1,38E+11	2,84E+11



Tabla 9.

Posición geográfica de los lances efectuados durante el crucero MPH módulo adultos, en la XV, I y II Regiones, agosto - octubre, 2012.

BARCO	LANCE N°	FECHA	HORA COLECCIÓN	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA ESTIMADA (t)	LANCES ANCHOVETA
HALCON	1	27-08-2012	6:52	24°13'	70°59'	S/P	
HALCON	2	27-08-2012	10:35	24°19'	70°36'	S/P	
HALCON	3	27-08-2012	13:40	24°31'	70°49'	S/P	
HALCON	4	27-08-2012	16:30	24°40'	71°00'	S/P	
HALCON	5	27-08-2012	19:03	24°45'	70°50'	S/P	
HALCON	6	28-08-2012	5:55	25°59'	71°01'	S/P	
HALCON	7	28-08-2012	8:35	25°50'	70°52'	S/P	
HALCON	8	28-08-2012	11:22	25°40'	71°00'	S/P	
HALCON	9	28-08-2012	14:11	25°37'	70°50'	S/P	
HALCON	10	28-08-2012	17:25	25°25'	70°41'	S/P	
HALCON	1	29-08-2012	5:53	25°22'	70°58'	S/P	
HALCON	2	29-08-2012	9:25	25°15'	70°41'	S/P	
HALCON	3	29-08-2012	11:49	25°07'	70°38'	S/P	
HALCON	4	29-08-2012	15:36	25°00'	71°00'	S/P	
HALCON	5	29-08-2012	19:51	24°50'	70°35'	S/P	
LICANTEN	1	29-08-2012	17:02	21°41'	70°11'	5	X
LICANTEN	2	30-08-2012	3:54	21°26'	70°09'	5	X
LICANTEN	3	30-08-2012	7:44	21°31'	70°11'	40	X
LICANTEN	1	04-09-2012	7:19	21°27'	70°09'	15	X
LICANTEN	1	06-09-2012	4:15	21°21'	70°09'	60	X
LICANTEN	2	06-09-2012	9:50	21°27'	70°11'	20	X
INTREPIDO	1	05-09-2012	8:10	23°21'	70°45'	0,1	X
INTREPIDO	2	05-09-2012	14:05	23°59'	70°47'	S/P	
INTREPIDO	3	05-09-2012	19:34	23°40'	71°05'	S/P	
INTREPIDO	4	06-09-2012	8:30	23°12'	70°48'	0,1	X
INTREPIDO	5	06-09-2012	13:40	22°45'	70°23'	S/P	
INTREPIDO	6	06-09-2012	18:30	22°48'	70°41'	S/P	
INTREPIDO	7	06-09-2012	21:17	22°29'	70°43'	S/P	
INTREPIDO	8	07-09-2012	7:21	22°01'	70°21'	0,1	X
LICANTEN	1	24-09-2012	7:31	21°05'	70°20'	40	X
LICANTEN	2	24-09-2012	10:48	21°10'	70°14'	S/P	
LICANTEN	3	24-09-2012	18:30	21°19'	70°20'	60	X
ALBIMER	1	24-09-2012	8:05	21°06'	70°19'	200	X
ALBIMER	2	24-09-2012	12:58	21°15'	70°19'	60	X
ALBIMER	3	24-09-2012	15:33	21°15'	70°16'	70	X
ALBIMER	4	24-09-2012	19:40	21°20'	70°18'	50	X
AUDAZ	1	26-09-2012	12:10	18°35'	70°32'	S/P	
AUDAZ	2	26-09-2012	14:56	18°42'	70°28'	S/P	
AUDAZ	3	26-09-2012	19:55	19°13'	70°21'	S/P	
AUDAZ	4	27-09-2012	1:20	19°50'	70°15'	S/P	
AUDAZ	5	27-09-2012	3:50	19°41'	70°14'	S/P	
AUDAZ	6	27-09-2012	6:45	19°27'	70°20'	S/P	
AUDAZ	7	27-09-2012	9:45	19°13'	70°21'	0,1	X
AUDAZ	8	27-09-2012	13:10	19°00'	70°21'	S/P	



Continuación **Tabla 9**

BARCO	LANCE N°	FECHA	HORA COLECCIÓN	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA ESTIMADA (t)	LANCES ANCHOVETA
AUDAZ	9	27-09-2012	16:00	18°45'	70°24'	S/P	
AUDAZ	1	29-09-2012	3:00	18°24'	70°31'	S/P	
AUDAZ	2	29-09-2012	6:00	18°34'	70°35'	S/P	
AUDAZ	3	29-09-2012	8:40	18°34'	70°27'	S/P	
GRINGO PABLO II	1	01-10-2012	6:00	19°01'	70°24'	55	X
ALBORADA II	1	01-10-2012	6:00	19°01'	70°24'	12	X
PELICANO	1	01-10-2012	6:00	19°01'	70°24'	17	X
ISAURA	1	01-10-2012	6:00	19°01'	70°24'	40	X
PETROHUE II	1	01-10-2012	6:00	19°01'	70°24'	30	X
IKE 1	1	01-10-2012	6:00	19°01'	70°24'	15	X
INTREPIDO	1	01-10-2012	13:30	21°12'	70°19'	0,1	X
LICANTEN	1	01-10-2012	15:22	21°04'	70°18'	30	X
EPERVA 56	1	02-10-2012	5:00	22°54'	70°27'	15	X
PATILLO	1	02-10-2012	5:00	22°39'	70°23'	70	X
PARINA I	1	02-10-2012	8:41	18°28'	70°40'	S/P	
TRUENO I	1	02-10-2012	8:08	18°27'	70°35'	S/P	
PARINA I	1	15-10-2012	12:16	19°06'	70°24'	S/P	
PARINA I	1	16-10-2012	2:54	18°53'	70°27'	S/P	
PARINA I	2	16-10-2012	05.26	18°54'	70°27'	S/P	
PARINA I	3	16-10-2012	8:05	18°49'	70°25'	S/P	
PARINA I	4	16-10-2012	11:50	18°47'	70°27'	S/P	
PARINA I	1	17-10-2012	11:05	19°01'	70°41'	S/P	
PARINA I	1	19-10-2012	3:47	19°45'	70°13'	S/P	
PARINA I	2	19-10-2012	6:40	19°48'	70°12'	S/P	
PARINA I	3	19-10-2012	10:20	20°03'	70°11'	60	X
PARINA I	4	19-10-2012	13:34	20°06'	70°13'	S/P	
AUDAZ	1	16-10-2012	3:05	18°54'	70°27'	40	X
AUDAZ	2	16-10-2012	5:51	18°52'	70°26'	130	X
AUDAZ	3	16-10-2012	8:52	18°49'	70°26'	80	X
AUDAZ	1	17-10-2012	5:20	18°55'	70°32'	S/P	
AUDAZ	1	19-10-2012	4:14	19°52'	70°11'	160	X
AUDAZ	2	19-10-2012	7:17	19°53'	70°12'	80	X
AUDAZ	3	19-10-2012	11:08	20°04'	70°10'	40	X
TORNADO	1	16-10-2012	0:07	18°52'	70°36'	40	X
TORNADO	2	16-10-2012	2:50	18°52'	70°29'	S/P	
TORNADO	3	16-10-2012	5:00	18°52'	70°27'	S/P	
TORNADO	4	16-10-2012	7:10	18°49'	70°25'	S/P	
TORNADO	5	16-10-2012	9:20	18°49'	70°25'	S/P	
TORNADO	1	17-10-2012	7:30	18°52'	70°39'	S/P	
TORNADO	2	17-10-2012	9:55	18°58'	70°40'	S/P	
TORNADO	1	18-10-2012	6:30	19°28'	70°19'	S/P	
TORNADO	2	18-10-2012	8:16	19°26'	70°23'	S/P	
TORNADO	1	18-10-2012	2:42	19°48'	70°12'	S/P	
TORNADO	2	18-10-2012	4:41	19°48'	70°11'	S/P	

Continuaci3n **Tabla 9.**

BARCO	LANCE N°	FECHA	HORA COLECCI3N	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA ESTIMADA (t)	LANCES ANCHOVETA
TORNADO	1	20-10-2012	2:15	20°18'	70°22'	10	X
TORNADO	2	20-10-2012	6:25	20°01'	70°21'	120	X
TORNADO	3	20-10-2012	9:15	20°10'	70°22'	90	X
TORNADO	4	20-10-2012	11:33	20°13'	70°19'	S/P	
TORNADO	5	20-10-2012	14:41	20°21'	70°20'	S/P	
COSTA GRANDE 1	1	16-10-2012	6:28	18°52'	70°26'	130	X
COSTA GRANDE 1	2	16-10-2012	12:15	18°46'	70°28'	110	X
COSTA GRANDE 1	1	19-10-2012	3:28	19°47'	70°13'	40	X
COSTA GRANDE 1	2	19-10-2012	9:58	20°04'	70°11'	30	X
COSTA GRANDE 1	3	19-10-2012	12:20	20°04'	70°13'	40	X
CLAUDIA ALEJANDRA	1	16-10-2012	3:00	18°52'	70°19'	60	X
CLAUDIA ALEJANDRA	2	16-10-2012	5:30	18°53'	70°26'	100	X
CLAUDIA ALEJANDRA	3	16-10-2012	8:17	18°48'	70°25'	100	X
CLAUDIA ALEJANDRA	4	16-10-2012	11:30	18°45'	70°27'	70	X
CLAUDIA ALEJANDRA	1	17-10-2012	14:35	19°17'	70°20'	S/P	
CLAUDIA ALEJANDRA	2	17-10-2012	17:10	19°20'	70°19'	S/P	
CLAUDIA ALEJANDRA	3	17-10-2012	20:27	19°23'	70°18'	S/P	
ALBIMER	1	19-10-2012	4:15	19°48'	70°12'	S/P	
ALBIMER	2	19-10-2012	8:40	20°01'	70°10'	S/P	
ALBIMER	3	19-10-2012	11:20	20°04'	70°13'	S/P	

S/P: SIN PESCA



Tabla 10.

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

Lance	Hora	n	ESTADIOS DE MADUREZ OVARICA								ESTADIOS FOLICULOS POSTOVULATORIOS							PT	FECUNDIDAD	Prop. H
			EMM 1	EMM 2	EMM 3	EMM 4	EMM 5	EMM 6	EMM 7	EMM 8	FPO 1	FPO 2	FPO 3	FPO 4	FPO 5	FPO 6	FPO 7			
1	17.0	32	0	0	0	9	0	23	0	0	0	0	1	0	0	0	23.3	12960	0.38	
2	3.9	35	0	0	0	5	29	0	1	0	1	3	0	0	0	1	26.8	15879	0.30	
3	7.3	35	0	0	0	22	13	0	0	0	0	8	5	0	0	6	22.7	13411	0.63	
4	18.8	35	0	0	0	21	14	0	0	0	0	8	1	0	0	1	26.4	15923	0.34	
5	9.8	26	0	0	0	17	9	0	0	0	0	3	2	1	0	7	25.8	15324	0.41	
6	8.2	35	0	0	0	29	6	0	0	0	0	6	1	0	0	8	26.2	15609	0.41	
7	8.5	33	0	0	0	26	7	0	0	0	1	0	2	0	0	3	28.5	17188	0.66	
8	7.4	35	0	0	0	15	20	0	0	0	0	8	5	1	0	0	22.3	13004	0.56	
9	7.5	35	0	0	0	26	9	0	0	0	0	2	9	0	0	4	20.1	11774	0.12	
10	18.5	35	0	0	0	29	0	6	0	0	0	4	2	2	0	4	24.5	14651	0.70	
11	8.1	35	0	0	0	22	10	2	1	0	1	0	10	2	0	1	23.3	13951	0.49	
12	13.0	35	0	0	0	22	8	5	0	0	0	0	4	4	0	1	22.2	13149	0.26	
13	15.6	35	0	0	0	26	2	7	0	0	0	0	1	3	0	0	22.8	13514	0.52	
14	19.7	35	0	0	0	29	4	2	0	0	0	1	0	5	4	0	22.7	13442	0.51	
15	9.8	34	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	16.0	9173	0.56	
16	6.0	35	0	0	0	28	7	0	0	0	11	5	0	0	0	0	15.5	8799	0.52	
17	6.0	35	0	0	0	29	6	0	0	0	5	12	0	0	1	1	16.3	9382	0.40	
18	6.0	35	0	0	0	25	9	0	1	0	2	7	3	0	1	1	16.1	9110	0.46	
19	6.0	35	0	0	0	23	12	0	0	0	8	4	0	0	0	4	15.5	8794	0.30	
20	6.0	34	0	0	0	17	17	0	0	0	5	3	0	0	1	1	16.5	9378	0.42	
21	6.0	35	0	0	0	27	7	0	1	0	2	7	1	5	1	2	15.4	8779	0.25	
22	13.5	35	0	0	0	30	4	1	0	0	0	0	2	4	10	2	21.3	12715	0.45	
23	15.4	35	0	0	0	26	0	9	0	0	0	2	1	7	5	1	23.4	13774	0.44	
24	5.0	32	0	0	0	19	11	2	0	0	4	2	0	0	0	2	22.1	13127	0.48	
25	5.0	34	0	0	0	29	3	2	0	0	0	2	3	0	0	0	25.2	14942	0.40	
26	10.3	35	0	0	0	30	5	0	0	0	6	7	1	1	0	3	18.0	10557	0.60	
27	3.1	35	0	0	0	21	14	0	0	0	6	4	0	0	0	2	18.2	10602	0.62	
28	5.9	35	0	0	0	23	12	0	0	0	3	0	0	0	0	3	20.7	12337	0.44	
29	8.9	35	0	0	0	23	12	0	0	0	6	1	0	0	0	4	16.8	9688	0.65	
30	4.2	35	0	0	0	30	4	0	1	0	4	7	2	1	0	1	18.4	10827	0.57	
31	7.3	35	0	0	0	28	6	0	1	0	5	2	1	0	0	4	18.8	11021	0.55	
32	11.1	35	0	0	0	27	8	0	0	0	0	2	0	3	0	0	17.5	10233	0.67	
33	0.1	35	0	0	0	28	3	1	3	0	23	6	1	0	0	0	20.5	12147	0.62	
34	2.3	34	0	0	0	33	1	0	0	0	9	6	1	2	0	5	19.9	11790	0.62	
35	6.4	35	0	0	0	28	7	0	0	0	0	4	2	1	0	0	17.3	10088	0.52	
36	9.3	35	0	0	0	27	8	0	0	0	1	1	2	5	2	2	17.5	10183	0.51	
37	6.5	34	0	0	0	20	13	0	1	0	1	3	0	0	1	0	18.8	10990	0.67	
38	12.3	35	0	0	0	17	15	3	0	0	0	8	2	0	0	1	19.2	11148	0.67	
39	3.5	34	0	0	0	32	2	0	0	0	3	7	2	2	2	4	18.3	10733	0.62	
40	10.0	33	0	0	0	21	10	2	0	0	0	2	8	3	1	0	19.1	11155	0.24	
41	12.3	35	0	0	0	20	12	2	1	0	1	1	1	5	2	1	18.9	11003	0.40	
42	3.0	34	0	0	0	22	12	0	0	0	2	2	2	0	0	0	15.0	8353	0.53	
43	5.5	35	0	0	0	22	12	0	1	0	7	2	0	0	1	0	18.7	10974	0.63	
44	8.3	32	0	0	0	21	7	4	0	0	0	1	3	3	0	0	17.5	10297	0.47	
45	11.5	35	0	0	0	20	15	0	0	0	1	0	0	4	2	0	17.2	9908	0.36	



Tabla 11.

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^0 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.

		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		



Tabla 12.
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



Tabla 13.

Distribución horaria de la frecuencia (%) de los estadios de Folículos Postovulatorios y Estadios de Madurez Ovárica (Núcleo Migrante e Hidratados). Información acumulada del 2004 al 2011. 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	7.73	11.72	0.00	1.46	3.17	1.89	1.98	1.81	0.92
1	18.78	8.17	0.00	0.53	2.45	2.23	2.49	2	0
2	14.36	10.08	3.43	1.60	2.86	3.43	4.37	3	0.69
3	6.08	19.62	11.40	2.93	5.73	5.32	6.03	4	0.00
4	2.76	9.81	7.01	5.85	5.93	4.12	7.38	4.07	0.69
5	6.08	4.90	8.93	4.06	3.89	5.83	6.55	6.90	0.23
6	5.52	19.07	18.96	13.36	5.73	11.84	13.31	13.33	0.46
7	0.55	3.27	8.52	7.71	5.52	9.26	7.38	9.17	1
8	1	5.45	10.16	10.90	8.49	8.58	9.46	13.15	2
9	0.55	3.81	10.16	10.17	8.08	9.26	10.29	11.94	2.86
10	0	1.09	7.42	6.52	4.81	8.23	6.96	10.09	1.37
11	1	1	4.81	8.71	9.61	7.89	5.82	5.00	8.12
12	2.21	1	3.43	8.71	5.32	5.32	4.57	8.38	10.30
13	0	0	1.65	5.12	5.11	3.43	3.64	2.69	11
14	0	0	0.55	4.32	5.93	4.12	2.29	1.34	12
15	0	0	1.92	2.86	4.70	3.09	1.66	1.06	12.01
16	0	0	1.10	2.06	3.27	2.06	1.66	0.65	13.62
17	0	0	0	0.86	3.07	0.69	1.14	0.19	14
18	0	0	0.14	1.06	3.37	0.69	0.21	0.14	7
19	0	0	0	0	1.23	0	0	0.00	1.03
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	15.47	0	0	0	1	2	1	0.00	0.23
22	0	0	0.14	0.80	0.31	1.20	0.31	0.14	0
23	18.23	0.27	0.14	0	0.82	0.00	1.77	0.19	0.80
Total general	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 14.

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	EMM 5	EMM 6	Total
Gamma	a	14.22	30.30	37.44	29.44	14.64	23.69	23.06	39.47	90.74	
	b	0.97	0.54	0.52	0.73	1.54	0.89	0.87	0.52	0.30	
	Media est	13.77	16.36	19.32	21.47	22.50	20.98	20.13	20.66	27.28	
	Desv Est	13.33	8.84	9.97	15.67	34.56	18.58	17.58	10.82	8.20	
	SCE	1309.79	1233.01	1012.49	778.87	569.02	690.31	722.20	47.00	67.79	1018.59



Tabla 15.

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



Tabla 16.
Parámetros de las regresiones entre fecundidad parcial y peso corporal para cada año de aplicación del MPH en la zona norte de Chile.

	Parámetros de las regresiones entre Peso Corporal y Fecundidad															
	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2012
Intercepto (a)	671.77	337.46	6950.8	105.44	-5127.08	2205.21	11341.20	-1237.67	-4164.12	1152.76	-4476.16	-4212.84	134.31	-2569.08	-1981.65	-1336.55
Sa	1916.66	1514.08	1923.852	816.02	3285.50	2097.95	2719.11	1388.04	2944.92	2582.87	2326.28	1688.05	1628.23	3057.79	3728.66	2417.45
Pendiente (b)	534.57	690.51	262.6099	498.60	740.45	465.10	259.56	615.84	584.18	431.29	788.63	726.94	713.99	649.82	607.99	692.09
Sb	65.12	55.68	78.30125	34.12	116.16	69.02	121.04	57.52	120.27	86.79	87.82	74.06	90.54	135.80	190.78	111.25
r ²	0.30	0.59	0.05	0.54	0.28	0.26	0.06	0.54	0.20	0.24	0.54	0.57	0.34	0.38	0.22	0.49
n	156	107	210	187	109	133	69	99	79	72	76	121	39	37	42	42
Syx	3291.113	3004.221	3582.391	2917.738	4210.345	3749.333	2599.681	2249.760	2476.319	2820.009	3696.216	2099.256	2506.504	1824.311	2001.066	2122.434
PC Min	18.5	13.7	15.9	14.9	19.7	21.7	14.7	13.5	19.5	21.6	15.3	15.1	13.9	17.4	14.0	16.8
PC Max	42.0	40.7	34.9	39.3	42.5	43.0	29.7	33.5	29.7	37.4	36.4	32.4	26.0	26.9	22.9	28.1
PC Promedio	29.2	26.7	24.4	23.1	28.1	30.0	22.3	23.8	24.4	29.5	26.0	22.6	17.8	22.4	19.6	21.5
Fec relativa	557.7	704.5	552.2	503.8	555.1	539.7	775.1	562.8	412.3	471.3	609.8	536.1	721.4	533.8	499.8	628.4
Ho: A=0	Acepta	Acepta	Rechaza	Acepta	Acepta	Acepta	Rechaza	Acepta								

Tabla 17.
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



Tabla 18.

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
	Area desove (mn ²)	10332			10332		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	13315			13315		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	10698			10698		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	14660			14660		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	7525			7525		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	13059			13059		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	4026			4026		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	18309			18309		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	7852			7852		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	9193			9193		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	12521			12521		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	14117			14117		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	6439			6439		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	7594			7594		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	1743			1743		
	Area 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
	Area desove (mn ²)	15771			15771		
	Area Total (mn ²)	34736			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
	Area desove (mn ²)	14356			14356		
	Area Total (mn ²)	32291			32291		
	BIOMASA (ton)	672077	5.19E+10	33.9	427071	1.87E+10	32.0

Tabla 19.



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

Año	Salinidad	Ausencia	Presencia	Total
1992	Sin registro	286	180	466
	Con registro	44	32	76
	Total	330	212	542
1995	Sin registro	0	1	1
	Con registro	370	207	577
	Total	370	208	578
1996	Sin registro	1	0	1
	Con registro	575	176	751
	Total	576	176	752
1997	Sin registro	8	1	9
	Con registro	583	208	791
	Total	591	209	800
1999	Sin registro	12	6	18
	Con registro	454	126	580
	Total	466	132	598
2001	Sin registro	1	0	1
	Con registro	453	60	513
	Total	454	60	514
2002	Sin registro	0	1	1
	Con registro	279	309	588
	Total	279	310	589
2003	Sin registro	1	0	1
	Con registro	407	129	536
	Total	408	129	537
2004	Sin registro	0	1	1
	Con registro	441	207	648
	Total	441	208	649
2005	Sin registro	10	16	26
	Con registro	434	198	632
	Total	444	214	658
2007	Sin registro	44	4	48
	Con registro	642	109	751
	Total	686	113	799
2009	Sin registro	1	0	1
	Con registro	731	41	772
	Total	732	41	773
Total	Sin registro	364	210	574
	Con registro	7.649	2.878	10.527
	Total	8.013	3.088	11.101

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



Tabla 20.

Síntesis por año del número de estaciones totales, número de estaciones sin y con presencia de huevos de anchoveta y densidad media de huevos/0,05 m² de las estaciones positivas desde los años 1992, 1995 a 1997, 1999 al 2009, 2011 y 2012.

Año	Estaciones			Densidad Media de huevos/0,05 m ²	
	Ausencia	Presencia	Total	Estaciones +	Total Area
1992	330	212	542	51,76	20,25
1995	370	208	578	36,32	13,07
1996	576	176	752	38,17	8,93
1997	591	209	800	38,54	10,07
1999	466	132	598	57,44	12,68
2000	290	212	502	49,40	20,86
2001	454	60	514	124,42	14,52
2002	279	310	589	59,05	31,08
2003	408	129	537	71,81	17,25
2004	441	208	649	58,07	18,61
2005	444	214	658	79,75	25,94
2006	576	223	799	52,97	14,78
2007	686	113	799	41,76	5,91
2008	581	136	717	71,77	13,61
2009	732	41	773	114,71	6,08
2011	438	292	730	47,62	19,05
2012	351	213	564	50,50	19,07
Total	8.013	3.088	11.101	61,42	15,99



Tabla 21.

Resumen de estadísticas descriptivas para las variables longitud, latitud, temperatura superficial, salinidad superficial y densidad de huevos de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región desde los años 1992, 1995 a 1997, 1999 al 2009, 2011 y 2012.

Año	Estadística	Latitud (° S)	Longitud (° W)	Temperatura superficial (° C)	Salinidad superficial (psu)	Densidad de huevos (h/0,05 m ²)	Año	Estadística	Latitud (° S)	Longitud (° W)	Temperatura superficial (° C)	Salinidad superficial (psu)	Densidad de huevos (h/0,05 m ²)
1992	Mínimo	18,33	70,10	14,51	34,72	1	2004	Mínimo	18,42	70,11	13,36	34,48	1
	Máximo	23,83	71,82	17,90	35,26	202		Máximo	26,00	71,82	19,29	35,15	1288
	Rango	5,50	1,72	3,39	0,54	201		Rango	7,58	1,71	5,93	0,67	1287
	Media	21,00	70,70	16,15	34,92	45		Media	22,03	70,92	16,64	34,81	58
	Mediana	21,00	70,56	16,11	34,88	22		Mediana	21,83	70,91	16,40	34,81	10
	Desv. típ	1,80	0,44	0,91	0,14	57		Desv. típ	2,22	0,39	1,26	0,15	141
1995	Mínimo	18,38	70,10	12,80	34,10	1	2005	Mínimo	18,42	70,10	13,05	34,42	1
	Máximo	25,00	71,67	19,40	35,13	1539		Máximo	26,00	71,84	17,51	35,17	2100
	Rango	6,62	1,57	6,60	1,03	1538		Rango	7,58	1,74	4,46	0,75	2099
	Media	21,60	70,72	15,64	34,70	37		Media	22,12	70,93	15,68	34,78	84
	Mediana	21,58	70,69	15,60	34,72	6		Mediana	22,00	70,94	15,56	34,80	15
	Desv. típ	1,96	0,33	1,06	0,15	127		Desv. típ	2,25	0,40	0,94	0,22	220
1996	Mínimo	18,50	70,10	13,20	34,29	1	2006	Mínimo	18,42	70,10	13,59	34,36	1
	Máximo	26,00	71,75	17,00	35,52	611		Máximo	26,00	72,20	18,17	35,16	2563
	Rango	7,50	1,65	3,80	1,23	610		Rango	7,58	2,10	4,58	0,80	2562
	Media	22,23	70,68	15,34	34,71	38		Media	22,17	71,07	16,25	34,78	53
	Mediana	22,17	70,65	15,30	34,71	6		Mediana	22,17	71,06	16,08	34,79	6
	Desv. típ	2,06	0,33	0,54	0,11	80		Desv. típ	2,26	0,48	0,99	0,22	202
1997	Mínimo	18,38	70,08	16,04	34,53	1	2007	Mínimo	18,42	70,10	12,37	34,28	1
	Máximo	26,05	71,92	20,98	35,32	947		Máximo	26,00	72,07	16,12	34,93	705
	Rango	7,67	1,84	4,94	0,79	946		Rango	7,58	1,97	3,75	0,65	704
	Media	22,16	70,85	18,38	35,02	39		Media	22,11	71,01	14,08	34,62	43
	Mediana	22,15	70,82	18,21	35,01	11		Mediana	22,00	71,02	14,04	34,64	7
	Desv. típ	2,30	0,41	1,36	0,20	97		Desv. típ	2,22	0,45	0,73	0,11	106
1999	Mínimo	18,42	70,05	13,12	33,78	1	2008	Mínimo	18,42	70,10	13,79	34,44	1
	Máximo	26,05	71,82	17,84	35,18	1649		Máximo	26,00	71,97	17,85	35,00	1387
	Rango	7,63	1,77	4,72	1,40	1648		Rango	7,58	1,87	4,06	0,56	1386
	Media	22,33	70,84	15,95	34,78	60		Media	21,79	70,99	16,31	34,83	72
	Mediana	22,38	70,81	15,69	34,75	8		Mediana	21,83	70,98	16,26	34,83	11
	Desv. típ	2,19	0,40	1,01	0,18	180		Desv. típ	2,07	0,43	0,81	0,10	154
2000	Mínimo	18,42	70,09	13,97	34,45	1	2009	Mínimo	18,42	70,10	13,53	34,33	1
	Máximo	26,00	71,55	17,30	35,00	518		Máximo	26,00	72,20	17,68	35,12	1658
	Rango	7,58	1,46	3,33	0,55	517		Rango	7,58	2,10	4,15	0,79	1657
	Media	22,04	70,66	15,93	34,78	49		Media	22,11	71,03	15,99	34,78	115
	Mediana	21,92	70,63	15,95	34,81	14		Mediana	22,08	71,03	15,92	34,77	7
	Desv. típ	1,99	0,31	0,68	0,13	86		Desv. típ	2,26	0,45	0,86	0,21	289
2001	Mínimo	18,55	70,10	13,72	34,41	1	2011	Mínimo	18,42	70,00	12,98	34,43	1
	Máximo	26,05	71,80	17,10	35,08	1977		Máximo	26,00	71,97	18,18	35,13	1484
	Rango	7,50	1,70	3,38	0,67	1976		Rango	7,58	1,97	5,20	0,70	1483
	Media	22,15	70,83	15,70	34,74	124		Media	21,90	70,96	15,59	34,81	48
	Mediana	21,72	70,80	15,76	34,73	3		Mediana	21,83	70,95	15,67	34,81	10
	Desv. típ	2,33	0,37	0,79	0,16	343		Desv. típ	2,16	0,42	1,16	0,17	135
2002	Mínimo	18,42	70,12	13,65	34,44	1	2012	Mínimo	18,42	70,10	13,54	34,51	1
	Máximo	26,00	71,85	18,10	35,14	1607		Máximo	26,00	72,05	18,72	35,21	1012
	Rango	7,58	1,73	4,45	0,70	1606		Rango	7,58	1,95	5,18	0,70	1011
	Media	22,27	70,89	16,11	34,78	59		Media	22,80	71,00	15,94	34,80	51
	Mediana	22,17	70,89	16,18	34,80	14		Mediana	23,33	70,97	15,56	34,73	9
	Desv. típ	2,22	0,38	1,16	0,18	128		Desv. típ	2,28	0,45	1,30	0,19	123
2003	Mínimo	18,42	70,10	13,34	34,47	1	Total	Mínimo	18,33	70,00	12,37	33,78	1
	Máximo	26,00	71,71	18,30	35,22	1386		Máximo	26,05	72,20	20,98	35,52	2563
	Rango	7,58	1,61	4,96	0,75	1385		Rango	7,72	2,20	8,61	1,74	2562
	Media	21,83	70,83	16,03	34,84	72		Media	22,09	70,90	15,99	34,79	56
	Mediana	21,83	70,81	15,81	34,83	4		Mediana	22,00	70,86	15,86	34,78	9
	Desv. típ	2,11	0,37	0,94	0,14	212		Desv. típ	2,20	0,42	1,34	0,19	156



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 y 2012.

	edf	Deviance			AIC	p-value
		Residual	Delta	% Expl.		
Modelo Poisson-Compuesto						
Intercepto	1	151.115	-	-	39.478	-
s(Latitud (°S))	9,8	149.504	9.757	23%	39.126	< 0.01
s(Longitud (°W))	9,7	141.635	17.625	41%	38.814	< 0.01
s(Temperatura (°C))	9,2	157.184	2.077	5%	39.418	< 0.01
s(Salinidad (psu))	9,5	149.945	9.316	22%	39.143	< 0.01
Año	16,0	155.186	4.075	10%	39.356	< 0.01
s(Lat) + s(Lon) + s(TSM) + s(Sal) + Año	50,3	128.937	30.324	19,0%	38.361	< 0.01
Total deviance explained: 19%						

Tabla 23

Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen del ajuste del modelo MAG para la variable número de huevos de anchoveta bajo una distribución Poisson.

Formula: huevos ~ s(año) + s(lon,lat) + s(tem) + s(sal)

Coefficientes paramétricos:

Variable	Valor estimado	Error Estándar	Valor t	Proba (> t)
Intercepto	1.9525	0.00498	392.1	< 2e-16

Coefficientes no-paramétricos:

Variable	Grados libertad	Valor Chi	Valor P
S(año)	8.982	17391	< 2e-16
S(lon,lat)	28.926	117704	< 2e-16
S(tem)	8.953	5614	< 2e-16
S(sal)	8.979	8190	< 2e-16

Deviance explicada = 26%



Tabla 24

Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen del ajuste del modelo MAG para la variable número de huevos de anchoveta bajo una distribución Poisson.

Formula: $\text{huevos} \sim s(\text{año}, \text{por}=\text{polígono}) + s(\text{lon}, \text{lat}) + s(\text{tem}) + s(\text{sal})$

Coefficientes paramétricos:

Variable	Valor Estimado	Error Estándar	Valor t	Proba ($> t $)
Intercepto	0.40065	0.01445	27.73	< 2e-16

Coefficientes no-paramétricos:

Variable	Grados libertad	Valor Chi	Valor P
s(año):poligono1	8.980	7887.5	< 2e-16
s(año):poligono2	8.995	6184.1	< 2e-16
s(año):poligono3	8.996	10089.4	< 2e-16
s(año):poligono4	8.969	1729.7	< 2e-16
s(año):poligono6	8.973	13209.7	< 2e-16
s(año):poligono7	8.998	35344.8	< 2e-16
s(año):poligono8	8.998	24271.8	< 2e-16
s(año):poligono9	8.957	4313.8	< 2e-16
s(año):poligono11	8.988	5487.9	< 2e-16
s(año):poligono12	8.988	15704.8	< 2e-16
s(año):poligono13	8.995	11867.1	< 2e-16
s(año):poligono14	8.882	2866.6	< 2e-16
s(año):poligono16	8.993	3706.6	< 2e-16
s(año):poligono17	8.849	12993.8	< 2e-16
s(año):poligono18	8.994	7398.6	< 2e-16
s(año):poligono19	8.510	354.9	< 2e-16
S(lon,lat)	28.951	107254.1	< 2e-16
S(tem)	8.955	7088.5	< 2e-16
S(sal)	8.971	7420.6	< 2e-16

Deviance explicada = 41.4%



Tabla 25
Correlaciones temporales estimadas para la densidad de huevos de anchoveta, la temperatura y salinidad superficial del mar durante el periodo analizado.

Área	Huevos v/s temperatura	Huevos v/s salinidad
1	-0.2546	0.3396
2	-0.0026	-0.1699
3	0.1807	-0.0022
4	0.2815	0.0431
5	-0.4267	-0.2528
6	0.2527	0.4085
7	0.3937	0.5998
8	0.0166	0.0172
9	0.3913	0.1251
10	0.5434	-0.1193
11	0.6136	0.0497
12	0.4668	0.2248
13	-0.1456	-0.5861
14	0.6071	-0.3594
15	0.7517	-0.0513
16	0.2715	0.2107

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-2/IT-2/PD-4), Muestreo longitud de peces (FD-6/IT-2/PD-4) y Muestreo Proporción de Especies (FD-7/IT-2/PD-4)..

Para controlar las actividades de muestreo realizadas por el **OC** a bordo, deberá anotar en el formulario de muestreo de longitud de peces, la cantidad total de ejemplares fijados en formalina para los siguientes 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-m@il	Fono	Fax
Iquique	Carlos Gaspar Solis	Coordinador General	cgaspar@ifop.cl	(57) 413579	(57) 411944
Iquique	Eduardo Díaz Ramos	Encargado laboratorio histología	ediaz@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 científico

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

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 planificaci3n y control de la generaci3n de datos, siendo los principales procesos operativos los siguientes:

- PD-8-2 control del servicio no conforme
- PE-7-1 identificaci3n y revisi3n de las especificaciones de datos requeridos por el cliente
- PE -7-2 planificaci3n, ejecuci3n y control de la recopilaci3n de datos
- PE -7-6 control de equipos, instrumentos de medici3n y software
- PE -8-1 medici3n de satisfacci3n del cliente
- PE 8-2 an3lisis de la informaci3n del SGC.

La Figura 2 despliega un diagrama funcional de los procesos generaci3n de datos y controles de calidad, mostrando las relaciones entre las diferentes entidades institucionales. El significado de las abreviaturas es el siguiente:

SGM. Secci3n Gesti3n de Muestreo

STI. Secci3n Tecnologías de la Informaci3n.

SIEM MANUAL: Sistema de Informaci3n del Esfuerzo de Muestreo Manual. Resumen semanal de la actividad de muestreo efectuada por los Coordinadores de Campo (**CC**)

SIEM ELECTR3NICO: Sistema de Informaci3n del Esfuerzo de Muestreo Electr3nico. Resumen de la actividad de muestreo efectuada en cada viaje por cada Observador Científico (**OC**).

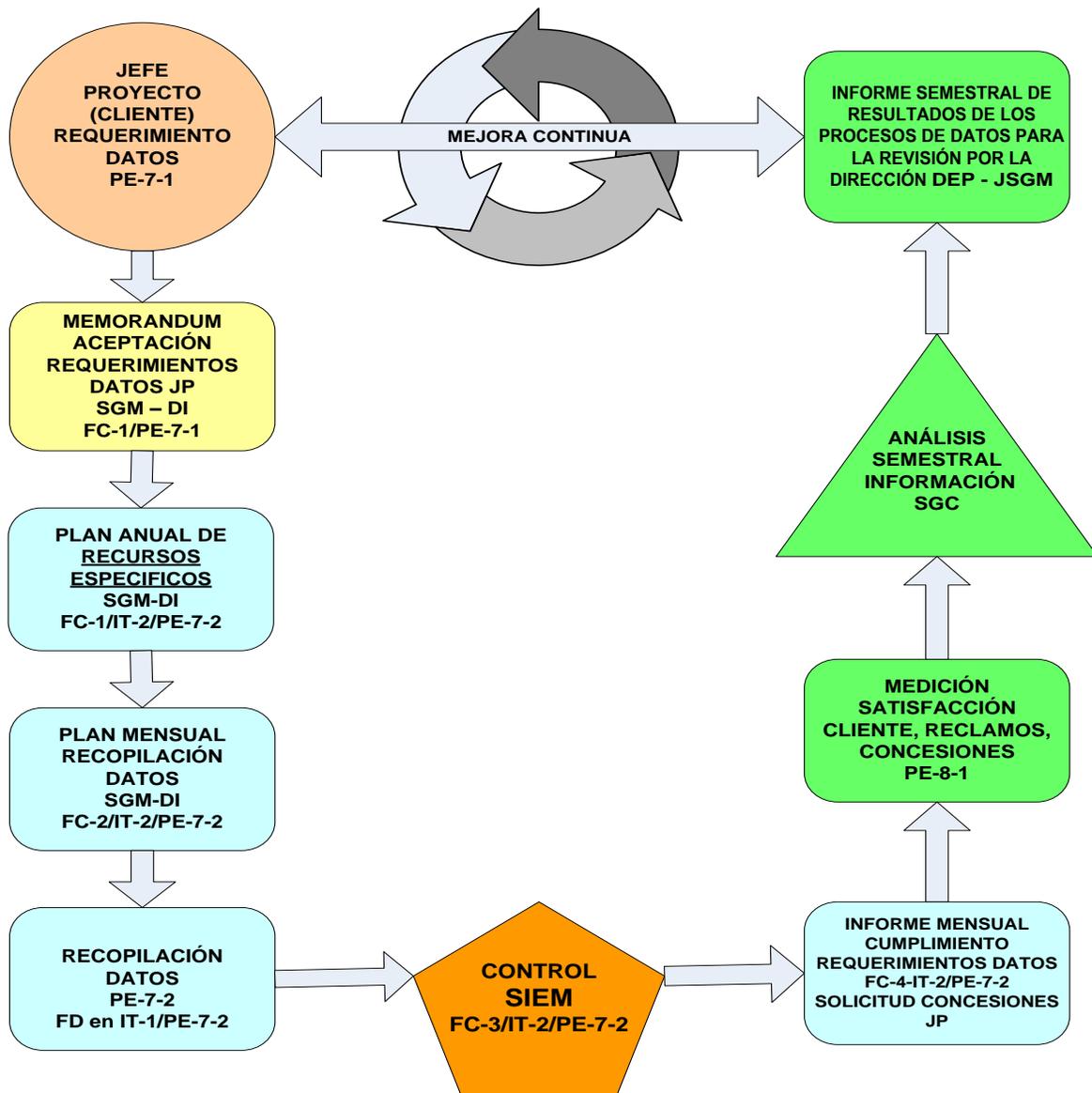


Figura 1. Secuencia de los procedimientos planificaci3n y control de la generaci3n de datos de acuerdo con el Sistema de Gesti3n de Calidad ISO 9001/2008.

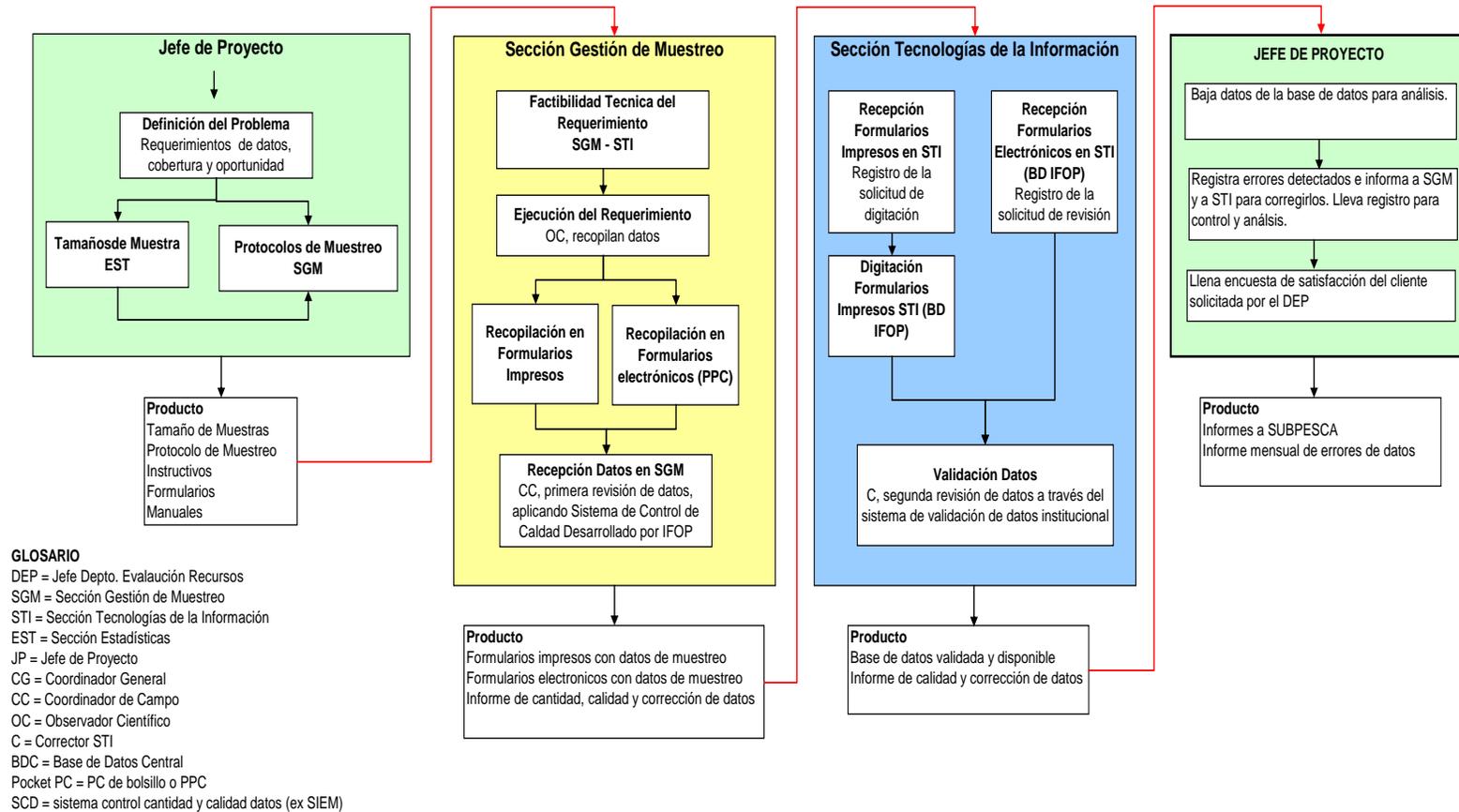


Figura 2. Diagrama funcional de los procedimientos de generaci3n de datos y control de calidad.



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

Una vez verificados los datos por parte de la SGM, los entrega a STI, llevándose a efecto una nueva verificación electrónica 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 disposición de los jefes de proyectos, quienes proceden a su revisión final y solicitan a STI que corrija aquellos que contienen errores, con lo cual se cierra el ciclo de producción de datos. La figura 3 muestra los procesos antes mencionados.

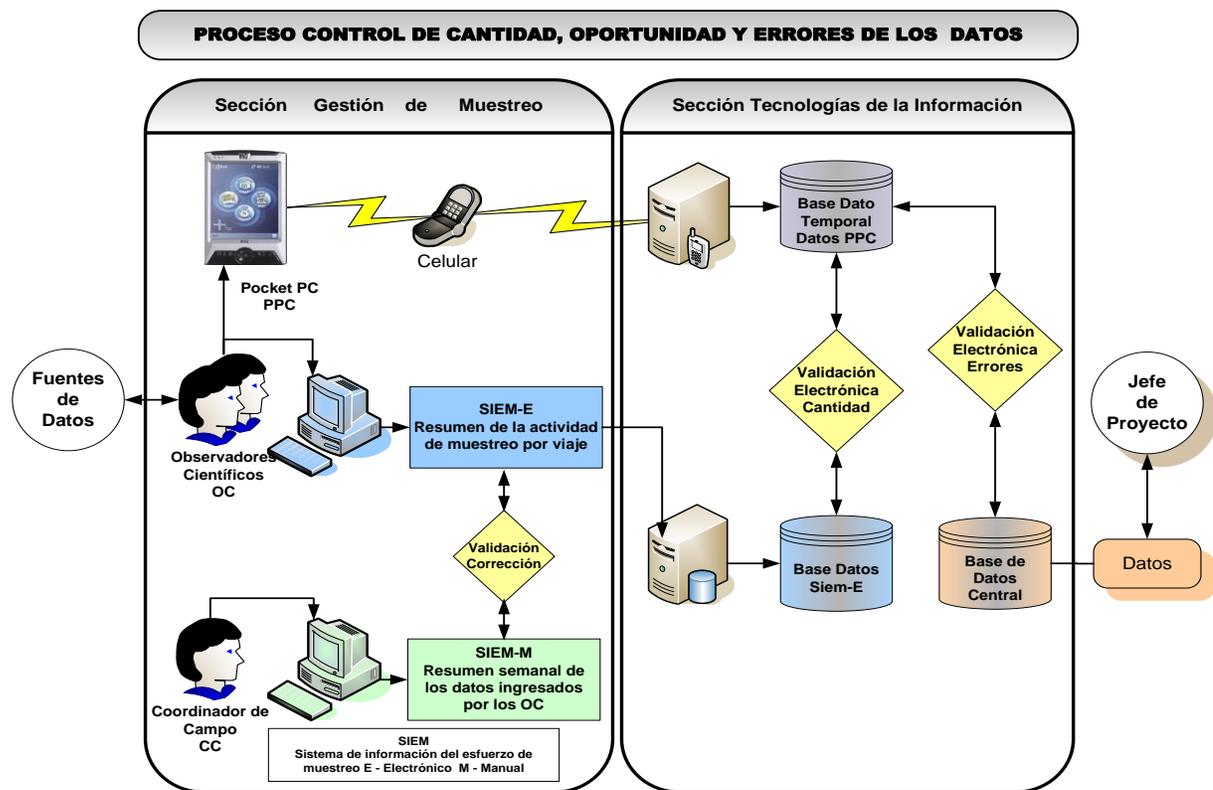


Figura 3. Diagrama de flujo de los procesos de control de cantidad, oportunidad y errores de datos.

ANEXO 3

**Taller 1. Coordinación de Actividades
(26 Julio, 2012)**

**Taller 2. Presentación de Resultados
(07 Febrero, 2013).**

Taller 1: Coordinación de Actividades
(26 de Julio de 2012)



TALLER CORDINACIÓN DE ACTIVIDADES

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



Reunión de Coordinación de Actividades del proyecto
"Evaluación del stock desovante de
anchoveta en la XV, I y II Regiones,
año 2012"

HOJA DE ASISTENCIA
26 de Julio, 2012

N°	Nombre	Mail	Institución	Firma
1	Michelle Depremontt	mdpremontt@oxygo.cl	FIP	
2	Carmita Bustos M.	l.bustos.molina@conair.com	Subpesca	
3	Silvia Sternandrade	sternandrade@subpesca.cl	Subpesca	
4	Sergio Pino	sergio.pino@ifop.cl	IFOP	
5	Mauricio Braun A.	mauricio.braun@ifop.cl	IFOP	
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				

Taller 2: Presentación de Resultados
(07 de Febrero, 2013)



TALLER PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

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



TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
Proyecto FIP N° 2012-06

“Evaluación del stock desovante de
anchoveta en la XV, I y II Regiones,
año 2012”

Valparaíso, Jueves 07 de febrero, 2013
Salón Auditorio IFOP “Marco Espejo Vidal”
Almirante Manuel Blanco Encalada 839, Valparaíso.

Programa

09:30	Presentación del Proyecto	▪ Sr. Mauricio Braun	11:00	Café ☕
09:40	Alegria; Sra. Vivian Valenzuela Cuevas.	IFOP Valparaíso.	11:20	
09:40	Monitoreo reproductivo Anchoveta zona norte.	11:20	Estimación de parámetros de adultos y Bio-	
09:55	Sr. Eduardo Díaz Ramos. IFOP Valparaíso.	12:10	masa del stock desovante de anchoveta.	
10:00	Abundancia y distribución Huevos de anchoveta.	12:10	Sr. Gabriel Claramunt Q. Universidad Arturo Prat.	
10:15	Sr. Mauricio Braun Alegria; Sra. Vivian Valenzuela Cuevas.	12:30	Modelamiento estadístico y distribución	
	IFOP Valparaíso.	12:30	espacial de huevos asociada a variables ocea-	
10:20	Condiciones oceanográficas y Clorofila asociadas		nográficas. ▪ Sr. Fernando Espíndola Rebolledo;	
11:00	al crucero de huevos	12:30	Sr. Juan Carlos Saavedra Nievas. IFOP Valparaíso.	
	▪ Sr. Hernán Reyes Rivas;	13:00	Discusión y Recomendaciones.	
	Sra. Milena Pizarro Revello. IFOP Valparaíso.			



TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
Proyecto FIP N° 2012-06

"Evaluación del stock desovante de
anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2012"

Valparaíso, Jueves 07 de febrero, 2013
Salón Auditorio IFOP "Marco Espejo Vidal"
Almirante Manuel Blanco Encalada 839, Valparaíso.

N°	Nombre	Mail	Institución	Firma
1	MAURIZIO ZARANDINO	mzarandino@subpesca.cl	IFOP	
2	EDUARDO DÍAZ	EDUARDO.DIAZ@IFOP.CL	IFOP	
3	JOSE R. CANÓN	jcanon@corpesca.cl	Corpae	
4	MAURIZIO LUISO ALVARO	malo@subpesca.cl	IFOP	
5	Fdo. Espíndola R.	farnando.espindola@ifop.cl	IFOP	
6	HERNAN MILO	IFOP		
7	Hernán Reyes	IFOP	IFOP	
8	MILENA PIZARRO	IFOP		
9	Manella Canals	IFOP		
10	Jorge Castille	IFOP	IFOP	
11	M. Gabriela Böber	IFOP	IFOP	
12	JORGE OLIVA LÓPEZ	joliva@corpesca.cl	INPEVOR	
13	Jose Luis Blanco	jblanco@bluewater.cl	BLUEWATER consultores	
14	Milton Pesquera	mipesq@udec.cl	EPOMAR UDEC	
15	Silvia Hernández	shernandez@subpesca.cl	SSP	



ANEXO 4

**Personal participante por actividad (HH).
FIP N° 2012-06.**

**ANEXO N° 4****PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD (HH)****Objetivo Específico 2.1.1**

ACTIVIDADES					
PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun	8	34	58	22	122
Vivian Valenzuela	25	25	15	20	85
Jorge Angulo	150	10			160
Hernán Miles	150				150
Víctor Catasti	150	10			160
UNAP					
Gabriel Claramunt			40	40	80
Paola Moreno		160	25	20	205
Cristian Azocar		320			320
Jeannelle Jaque		320			320
TOTAL	483	879	138	102	1602

Objetivo Específico 2.1.2

ACTIVIDADES					
PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes	150	20	20	40	230
Fernando Espíndola		20	20	18	58
Milena Pizarro		120	28	12	160
Juan C. Saavedra			10	5	15
TOTAL	150	160	78	75	463



Objetivo Específico 2.1.3

ACTIVIDADES					
PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun			35	25	60
Eduardo Díaz		5	5	5	15
Carlos Gaspar	15	15			30
Miguel Navea	120				120
Raúl Ojeda	120				120
Francisco Bertrán.	120				120
Oscar Aguilera	120				120
Luis Quintana	120				120
Osvaldo Villanueva	120				120
UNAP					
Gabriel Claramunt			20	20	40
Alexis Gacitúa		40			40
TOTAL	735	60	60	50	905

Objetivo Específico 2.1.4

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun		35	30	20	85
Viivian Valenzuela		10	10		20
Juan C. Saavedra			10	5	15
M. Gabriela Böhm			5		5
UNAP					
Gabriel Claramunt			40	50	90
Paola Moreno			25	20	45
TOTAL		45	120	95	260



Objetivo Específico 2.1.5

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun		35	30	20	85
Eduardo Díaz			5		5
Juan Saavedra			10		10
M. Gabriela Böhm			5		5
Vivian Valenzuela.			10	5	15
UNAP					
Gabriel Claramunt				20	20
Gustavo Herrera			90	70	160
Cristián Azocar			140	20	160
Paola Moreno		300			300
Alexis Gacitúa		300			300
TOTAL		635	290	135	1060

Objetivo Específico 2.1.6

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANÁLISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun			30	25	55
Eduardo Díaz.			10	5	15
Juan C. Saavedra			10		10
M. Gabriela Böhm			5		5
UNAP					
Gabriel Claramunt			10	10	20
Jeannelle Jaque		120			120
TOTAL		120	65	40	225



Objetivo Específico 2.1.7

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun			30	20	50
M. Gabriela Böhm			5		5
Juan C. Saavedra			5		5
UNAP					
Gabriel Claramunt			40		40
TOTAL			80	20	100

Objetivo Específico 2.1.8

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun			40	25	65
Vivian Valenzuela			10		10
Fernando Espíndola		5	5	7	17
Víctor Catasti		10	10	10	30
Juan C. Saavedra			5		5
TOTAL		15	70	42	127



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

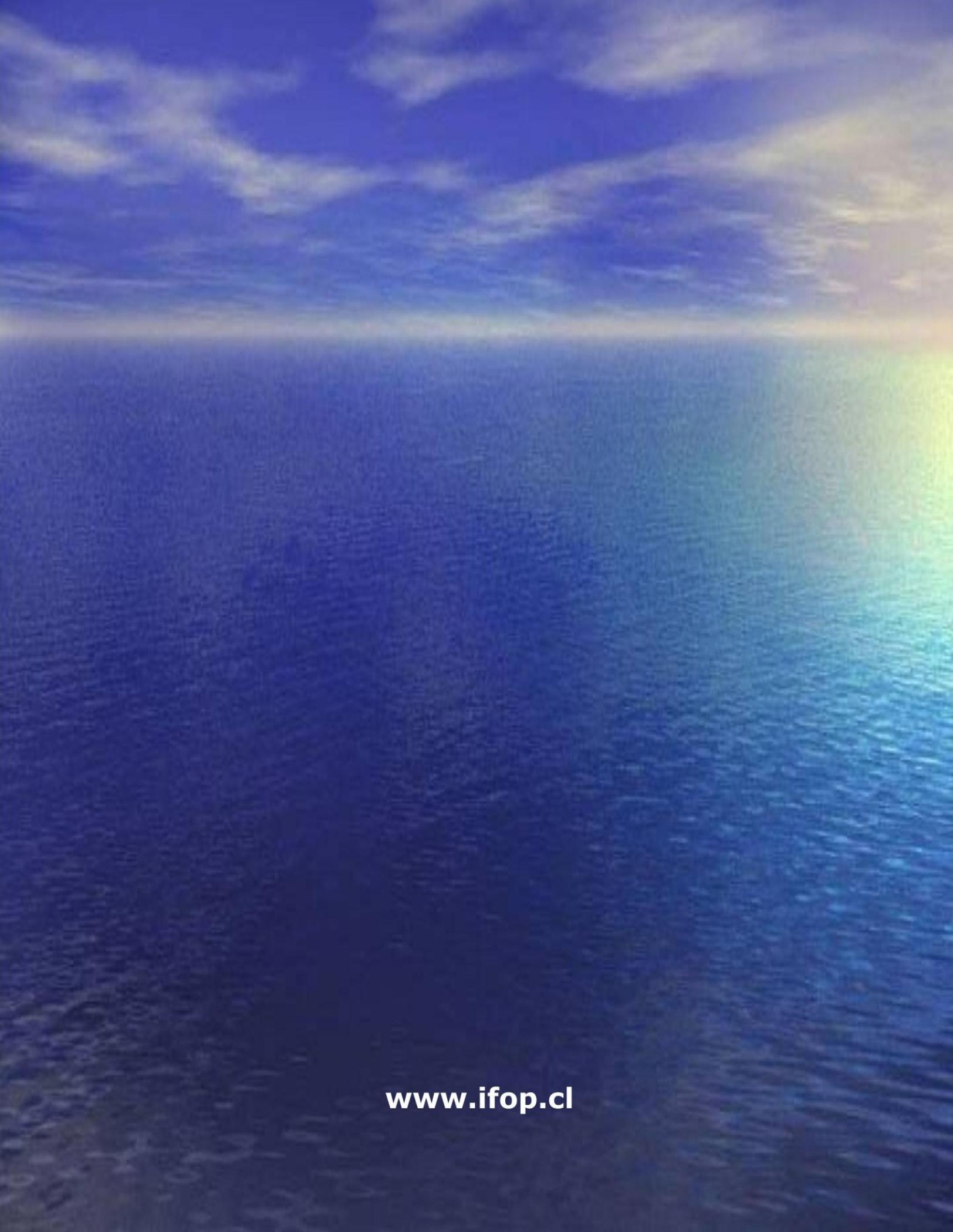
Sección Ediciones y Producción

Almte. Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl