



INFORME FINAL

Proyecto FIP
N° 2006-01

Monitoreo de
las condiciones
bio-oceanográficas
entre la I y IV
Regiones,
año 2006



OCTUBRE
2007



INFORME FINAL

PROYECTO

FIP N° 2006-01

**Monitoreo de las condiciones
bio-oceanográficas
entre la I y IV Regiones,
año 2006**

• Octubre, 2007 •



REQUIRENTE

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA, FIP

Presidente del Consejo:
Jorge Chocair Santibáñez

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Jefe División Investigación Pesquera:
Mauricio Braun Alegría

Director Ejecutivo (i):
Mauricio Braun Alegría



JEFE DE PROYECTO

MAURICIO BRAUN ALEGRÍA

AUTORES

Condiciones Oceanográficas Físicas

HERNAN REYES R.
JAIME LETELIER P.
MILENA PIZARRO R.
VICTOR CATASTI B.

Monitoreo Satelital y Pesquero

FERNANDO ESPÍNDOLA

Abundancia y Distribución de huevos y larvas de Peces

MAURICIO BRAUN A.
VIVIAN VALENZUELA C.

Índice de abundancia relativa y de cobertura geográfica de los recursos pelágicos

JORGE CASTILLO P.

Modelación estadística

JUAN SAAVEDRA N.



I. RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe se entregan los resultados de las condiciones oceanográficas físico-químicas, la distribución geográfica, abundancia y variabilidad estacional e interanual de huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa y la distribución espacial e índices de densidad y cobertura geográfica de los recursos detectados por medio de técnicas hidroacústicas entre la I y IV Regiones, obtenidos durante los cruceros estacionales realizados en septiembre y diciembre de 2006 y verano de 2007.

Los cruceros in situ se realizaron a bordo del B/C "Abate Molina" y abarcaron la zona comprendida entre los 23°40'S (bahía Moreno, II Región) y los 18°25'S (Arica, I Región) en diciembre de 2006 y marzo de 2007 y hasta los 32°08'S (Pichidangui, IV Región) en septiembre de 2006. Longitudinalmente se extendieron desde una milla hasta una distancia máxima de 100 mn de la costa, prospectándose el área con un total de 5 y 12 transectas perpendiculares a la costa, equidistantes entre sí cada 80 mn, realizándose además estaciones bio-oceanográficas durante la navegación intertransectas.

Las condiciones superficiales observadas en el crucero de invierno, realizado en el mes de septiembre, como también la información de las estaciones fijas de vigilancia del mismo mes, señalan que la zona se encontró con condiciones oceanográficas dentro de los rangos normales. En diciembre, aunque los parámetros marcaron normalidad, se observó la presencia de un flujo anormalmente intenso hacia el sur que predominó en toda la zona de estudio inhibiendo la extensión de la surgencia costera al norte de los 21°S. En marzo, sólo las anomalías de salinidad mostraron un patrón atípico de la zona al ser



intensamente negativas, lo cual sólo podría estar asociado a un proceso de advección de aguas menos salina desde el sur.

A pesar de la normalidad general que mostraron los cruceros, el índice multivariado de El Niño (**MEI**) y la distribución vertical de temperatura, salinidad y oxígeno en las estaciones costeras señalaron que entre enero de 2006 y junio de 2007, tanto el océano ecuatorial como la zona costera de Arica, Iquique y Mejillones, estuvieron influenciadas de un período de transición frío-cálido-frío. Este último estado parece proyectarse para el resto de 2007. Las condiciones en la zona costera favorecieron la presencia de AESS sobre la plataforma continental desde el año 2002, la cual estuvo acompañada por eventos de altas concentraciones de clorofila en la costa que tuvieron una mayor intensidad y duración que antes de 2002.

Tanto en septiembre (invierno), diciembre (primavera) y marzo (verano), la distribución de huevos y larvas siguió un patrón establecido a pesar que las abundancias podrían llegar a cambiar. La mayor abundancia de huevos se concentró al interior del área de influencia de la surgencia costera mientras que las larvas tuvieron una mayor distribución espacial debida probablemente a mecanismos de transporte costa-océano y a potencial de llegar a estado larval más rápido en el sector oceánico debido a la mayor temperatura. Aun así, la distribución espacial de huevos y larvas está siendo afectada por mecanismos de transporte como corrientes y la presencia e intensidad de los frentes de surgencia.

El ciclo anual característico de la zona al norte de la península de Mejillones, 18° - 23° 36'S, presentó una estrecha amplitud en las variaciones estacionales de viento, **TSM** y clorofila. Aun así, es suficientemente fuerte para producir una



distribución estacional de las capturas y las épocas de desove de la anchoveta y la distribución espacial de huevos y larvas de anchoveta. En relación al ciclo anual, al sur de la península de Mejillones la amplitud de este ciclo (la intensidad de las estaciones), reflejada en el viento, surgencia, **TSM** y clorofila puede ser no óptimo ambientalmente para el desove y desarrollo de la anchoveta durante el período de análisis, ya que su presencia y abundancias son evidentemente menores que al norte de Mejillones.

Adicionalmente, se exploraron las relaciones entre la distribución de huevos y larvas de anchoveta (*Engraulis ringens*) y las imágenes de temperatura superficial del mar (TSM) confeccionadas con datos provenientes de satélites NOAA, en la zona norte de Chile durante los cruceros analizados. La información de huevos y larvas de la especie fue colectada a través de los cruceros bio-oceanográficos realizados en la zona norte de Chile. Los datos satelitales de TSM fueron recepcionados y procesados en el Laboratorio de SIG del IFOP.

Se determinaron significativas relaciones entre la distribución y abundancia de huevos de anchoveta con la TSM y con los gradientes térmicos. En el caso particular de los huevos, éstos tienen una distribución mayormente costera y se asocian a bordes internos de aguas surgentes, además se destaca que las mayores densidades se alcanzaron entre los 1,0-1,5 °C/mn. Con respecto a las larvas, aunque éstas poseen una distribución más oceánica, también se asocian con gradientes térmicos moderados donde las mayores densidades se lograron en gradientes menores a 2,0 °C/mn, sin embargo no se ajustaron relaciones significativas.

Las especies detectadas en la prospección acústica en los cruceros realizados en el año 2006 (MOBIO 0609-invierno; MOBIO 0612-primavera) y el verano del



2007 (MOBIO 0703-verano) fueron anchoveta (*Engraulis ringens*), jurel (*Trachurus murphyi*), caballa (*Scomber japonicus*), pez linterna (*Vicinguerria lucetia*), langostino (*pleuroncodes sp.*), caballa (*Scomber japonicus*) y bacaladillo (*Normanichthys crockeri*).

En términos globales las mayores densidades acústicas se registraron en la primavera (MOBIO 0612), que superó en más del 40% al invierno y verano.

Por especie, el langostino, el pez linterna y el jurel fueron las más abundantes en los cruceros de invierno (MOBIO 0609) (Arica-Antofagasta); primavera (MOBIO 0612) y verano (MOBIO 0703) con un 41,5%; 47,4% y 41,3% de las lecturas acústicas totales, respectivamente. La anchoveta en invierno, primavera y verano representó el 26,3%, 43,7% y 41,0% de las lecturas acústicas por crucero. El jurel tuvo las mayores abundancias relativas en primavera (7,8%) y verano (41,3%) y sólo el 2,7% en invierno. La caballa hizo aportes marginales en invierno y verano con valores inferiores al 0,4%, no siendo detectada en primavera. El bacaladillo solo estuvo presente en primavera con un 1,1% (MOBIO 0612).

En los cruceros de invierno y primavera, la anchoveta se distribuyó en áreas oceánicas detectándose hasta las 90 mn de costa en invierno y hasta 100 mn de la costa en primavera, situándose en sectores costeros dentro de las 25 mn en el verano, llegando hasta las 40 mn frente a Arica límite que está influenciado por la forma del cono sudamericano. En el sentido vertical esta especie se localizó en los primeros 20 m de profundidad, con valores medios que fluctuaron entre 12,4 m en el verano y 18,4 m en primavera.



La caballa se presentó en forma aislada y en bajas densidades entre la costa y las 90 mn entre Tocopilla y punta Talca (31° 00'S). La profundidad promedio de esta especie varió entre de 13,1 m (>11, <17,5 m) en primavera y 19,5 m (>13, <50,5 m) en invierno; con un rango intermedio de 15,07 m (>9, <23 m) en el verano.

El jurel, por su parte, presentó una amplia cobertura espacial y un relativo incremento de la asociación con la costa en la primavera. La distribución vertical promedio varió entre 27,7 m (<8,0; >79,5 m) en el invierno y 86,7 m (<7.5; >120 m) en primavera.

El Índice de Cobertura (IC) de anchoveta varió entre 6,0% en verano y 12,5% en primavera; el jurel registró un IC entre 2,4% en primavera y 5,8% en verano; el langostino presentó un IC de 3,5% en invierno; el pez linterna varió entre 1,6% en invierno y 7,5% en verano.

El Índice de Densidad (ID) de anchoveta varió entre 208,2 en el invierno y 478,64 t/mn² en verano; el jurel fluctuó entre 34,1 t/mn² en el invierno y 442,73 t/mn² en el verano; la caballa presentó ID entre 9,4 t/mn² en el invierno y 30,31 t/mn² en el verano. El pez linterna en general registró una alta concentración con un ID de 338,66 t/mn² en verano y 439,5 t/mn² en invierno; mientras que el langostino se observó en invierno con 439,5 t/mn² y el bacaladillo presentó en primavera un ID de 232,9 t/mn².



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N INVESTIGACI3N PESQUERA



II. ÍNDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN EJECUTIVO	1
II. ÍNDICE GENERAL	7
III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	11
IV. ÍNDICE DE ANEXOS	41
V. OBJETIVOS	43
1. Objetivo general.....	43
2. Objetivos específicos.....	43
VI. ANTECEDENTES	45
VII. DESARROLLO METODOLÓGICO	51
1. Zona de estudio	51
2. Diseño de muestreo	51
3. Barco y programación de cruceros <i>in situ</i> y ocupación de estaciones costeras.....	53
4. Metodología por objetivo	54
4.1 Objetivo específico 2.1	54
4.2 Monitoreo oceanográfico satelital	65
4.3 Objetivo específico 2.2	73
4.4 Objetivo específico 2.3	92
4.5 Objetivo específico 2.4	100
VIII. RESULTADOS	105
A. Objetivo específico 2.1	105
5. Condiciones oceanográficas	105
5.1 Vientos	105
5.2 Temperatura superficial del mar	107
5.3 Anomalía de Temperatura superficial del mar	108
5.4 Salinidad	109
5.5 Anomalía de Salinidad	110



5.6	Densidad superficial	111
5.7	Profundidad de la isoterma de 15°C	112
5.8	Anomalía de profundidad de la isoterma de 15°C	113
5.9	Circulación geostrofica superficial	114
5.10	Capa de mezcla	115
5.11	Termoclina	116
5.12	Distribución superficial de OD	120
5.13	Distribución de la profundidad de la isolínea de 1 mL/L	122
5.14	Distribución vertical de temperatura	123
5.15	Distribución vertical de salinidad	124
5.16	Distribución vertical de densidad	126
5.17	Anomalías de temperatura y salinidad en la columna de agua frente a las transecta 5 (Arica; 18°25'S), 3 (Pta. Lobos; 21°00'S) y 1 (Bahía Moreno, 23°40'S)	127
5.18	Distribución vertical de oxígeno disuelto	130
5.19	Distribución vertical de temperatura, salinidad, contenido de oxígeno disuelto y porcentaje de participación de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa	132
5.20	Masas de agua	136
5.21	Circulación geostrofica superficial	140
5.22	Análisis de pigmentos vegetales	141
5.23	Monitoreo Satelital	160
5.24	Monitoreo Pesquero	164
5.25	Funciones Ortogonales Empíricas	164
5.26	Relación entre ambiente y recurso	165
B.	Objetivo específico 2.2	168
6.	Distribución y abundancia de huevos y larvas de peces	168
6.1	Anchoveta, <i>Engraulis ringens</i>	168
6.2	Sardina, española, <i>Sardinops sagax</i>	178
6.3	Jurel, <i>Trachurus symmetricus murphyi</i>	179
6.4	Caballa, <i>Scomber japonicus</i>	181
7.	Distribución vertical de huevos y larvas de anchoveta	182
7.1	Septiembre de 2006	183
7.2	Diciembre de 2006	183
7.3	Marzo de 2007	185
8.	Sistema de muestreo horizontal continuo, CUFES	186
8.1	Septiembre de 2006	186
8.2	Diciembre de 2006	186
8.3	Marzo de 2007	187



9.	Biomasa Zooplanct3nica Estacional	188
9.1	Septiembre de 2006	188
9.2	Diciembre de 2006	189
9.3	Marzo de 2007	190
10.	Análisis estacional de huevos y larvas de peces y estimaci3n del índice de abundancia larval	192
10.1	Desove de Invierno	192
10.2	Desove de Primavera	196
10.3	Desove de Verano	198
11.	Intensidad de desove	200
12.	Análisis cartográfico de la distribuci3n del ictioplancton respecto de la temperatura superficial del mar obtenida mediante sensores remotos	200
12.1	Asociaciones entre la densidad del ictioplancton y el gradiente térmico	203
13.	Modelamiento estadístico de la densidad de huevos y larvas de anchoveta, asociado a variables ambientales	204
13.1	Análisis hist3rico de cruceros realizados en el período de invierno	204
13.2	Modelamiento estadístico cruceros en el período de invierno	206
13.3	Análisis de presencia/ausencia de huevos y larvas	206
13.4	Análisis de la densidad de huevos y larvas	208
13.5	Análisis cruceros realizados en septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007	210
C.	Objetivo específico 2.3	214
14.	Calibraci3n electroacústica	214
14.1	Distribuci3n espacial de los recursos	214
14.2	Distribuci3n batimétrica de anchoveta y jurel respecto a las variables hidrográficas	220
14.3	Temperatura	221
14.4	Salinidad	222
14.5	Índices de cobertura y densidad	224
D.	Objetivo específico 2.4	225
15.	Condiciones oceanográficas	225
15.1	Distribuci3n de temperatura	225
15.2	Distribuci3n de salinidad	227
15.3	Distribuci3n del oxígeno disuelto	227
15.4	Distribuci3n de la biomasa fitoplanctónica	228
15.5	Clorofila satelital	229
15.6	Asociaci3n clorofila satelital-clorofila <i>in situ</i>	236
15.7	Huevos y larvas de peces en estaciones costeras de monitoreo	238
15.8	Ictioplancton por estratos de profundidad	240
15.9	Variabilidad mensual del zooplancton en las estaciones fijas de monitoreo	241



IX. DISCUSIÓN	243
X. CONCLUSIONES	277
XI. ESTRUCTURA BASE DE DATOS	281
1. Datos oceanográficos y meteorológicos	281
2. Clorofila-a	285
3. Huevos y larvas de peces	285
4. Acústica	287
5. Estaciones costeras	289
XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	291

FIGURAS

TABLAS

ANEXOS

- Anexo 1.** Criterio de análisis de las condiciones oceanográficas Superficiales.
- Anexo 2.** Distribución de **TSM** satelital y Circulación geostrófica Superficial en el período agosto 2006 – junio 2007.
- Anexo 3.** Talleres de difusión, lista de asistentes y fotos actividades cruceros (en CD).
- Anexo 4.** Personal participante por actividad (HH).
- Anexo 5.** CD con Informe Final en pdf y Resumen ejecutivo en word.



III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

- Figura 1.** Posición de las estaciones y transectas de muestreo bio-oceanográficas dispuestas en el área de estudio, a) septiembre de 2006, b) diciembre de 2006 y c) marzo de 2007.
- Figura 2.** Promedios semanales para la temperatura superficial del mar (**TSM**) y la clorofila-a (**Cloa**) para la zona norte de Chile (18° - 32° S) desde la costa hasta los 74° W. Se muestran los polígonos que definen los perfiles de 10, 20 y 30 millas náuticas para un área costera y los de 70, 80 y 90 millas náuticas para un área oceánica.
- Figura 3.** Perfiles de extracción más cercanos a la línea de costa para el campo vectorial superficial del viento del océano, obtenidos del Jet Propulsión Laboratory SeaWinds Project de la NASA.
- Figura 4.** Estaciones de muestreo oceánicas para el campo superficial de corrientes geostróficas provenientes del centro de distribución de datos AVISO.
- Figura 5.** Posición geográfica de estaciones CUFES dispuestas en el área de estudio, a) septiembre de 2006, b) diciembre de 2006 y c) marzo de 2007.
- Figura 6.** Función de distribución acumulada empírica y teórica para la variable densidad de huevos (a - c) y larvas (b - d), para los cruceros realizados en septiembre-diciembre de 2006 y marzo 2007 y los cruceros correspondientes al período de invierno desde 1993 a 2006, en la I y II Región.



- Figura 7.** Cartas de a) Dirección e intensidad del viento (m/s) registrado cada una hora sobre el track de navegación, b) promedios del Índice de Surgencia costero y c) promedios de turbulencia costero y oceánico. Los promedios se obtuvieron de mediciones del viento horario dentro de 1° de latitud en las primeras 30 mn en el caso costero y entre 30 y 100 mn en el caso oceánico. Crucero de septiembre - 2006.
- Figura 8.** Cartas de a) Dirección e intensidad del viento (m/s) registrado cada una hora sobre el track de navegación, b) promedios del Índice de Surgencia costero y c) promedios de turbulencia costero y oceánico. Los promedios se obtuvieron de mediciones de viento horario dentro de 1° de latitud en las primeras 30 mn en el caso costero y entre 30 y 100 mn en el caso oceánico. Crucero de diciembre 2006.
- Figura 9.** Cartas de a) Dirección e intensidad del viento (m/s) registrado cada una hora sobre el track de navegación, b) promedios del Índice de Surgencia costero y c) promedios de turbulencia costero y oceánico. Los promedios se obtuvieron de mediciones de viento horario dentro de 1° de latitud en las primeras 30 mn en el caso costero y entre 30 y 100 mn en el caso oceánico. Crucero de marzo 2007.
- Figura 10.** Distribución superficial de temperatura (°C) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 11.** Distribución superficial de anomalía de temperatura (°C) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 12.** Distribución superficial de salinidad (psu) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 13.** Distribución superficial de anomalía de salinidad (psu) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.



- Figura 14.** Distribución superficial de la densidad del mar ($\sigma\text{-t}$) (kg/m^3) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 15.** Profundidad de la isoterma de 15°C (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 16.** Anomalía de profundidad de la isoterma 15°C (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 17.** Anomalía geopotencial de superficie referida a 500 (db) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 18.** Espesor de la capa de mezcla (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 19.** Espesor de la termoclina (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 20.** Temperatura base de la termoclina ($^\circ\text{C}$) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 21.** Profundidad base de la termoclina (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 22.** Gradiente de temperatura promedio de la termoclina ($^\circ\text{C}/\text{m}$) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 23.** Máximo gradiente de temperatura en la termoclina ($^\circ\text{C}/\text{m}$) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 24.** Profundidad del máximo gradiente de temperatura en la termoclina (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 25.** Distribución superficial del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.



- Figura 26.** Profundidad de la isóclina de oxígeno correspondiente a la concentración de 1 mL/L, como indicadora del límite superior de la capa de mínimo oxígeno disuelto en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 27.** Distribución vertical de temperatura (°C) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S), bahía Moreno (T1; Lat. 23° 40'S) y rada Paposo (T6; Lat. 25° 00'S). Crucero de septiembre 2006.
- Figura 28.** Distribución vertical de temperatura (°C) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. 26° 20'S), bahía Salada (T8; Lat. 27° 40'S), caleta Inglesa (T9; Lat. 29° 00'S), punta Farellones (T10; Lat. 30° 20'S), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat. 31° 15'S) y Pichidangui (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.
- Figura 29.** Distribución vertical de temperatura (°C) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat. 23° 40'S). Crucero de diciembre 2006.
- Figura 30.** Distribución vertical de temperatura (°C) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat. 23° 40'S). Crucero de marzo 2007.
- Figura 31.** Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S), bahía Moreno (T1;



Lat.23° 40'S) y rada Paposo (T6; Lat. 25° 00'S). Crucero de septiembre 2006.

Figura 32. Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. 26° 20'S), bahía Salada (T8; Lat. 27° 40'S), caleta Inglesa (T9; Lat.29° 00'S), punta Farellones (T10; Lat.30° 20'S), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat.31° 15'S) y Pichidanguí (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.

Figura 33. Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de diciembre 2006.

Figura 34. Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de marzo 2007.

Figura 35. Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$)(kg/m^3) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S), bahía Moreno (T1; Lat.23° 40'S) y rada Paposo (T6; Lat. 25° 00'S). Crucero de septiembre 2006.

Figura 36. Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$)(kg/m^3) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. 26° 20'S), bahía Salada (T8; Lat. 27° 40'S), caleta Inglesa (T9; Lat.29° 00'S), punta Farellones (T10; Lat.30° 20'S), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat.31° 15'S) y Pichidanguí (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.



- Figura 37.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$)(kg/m^3) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'\text{S}$), punta Junín (T4; Lat. $19^\circ 40'\text{S}$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'\text{S}$), punta Copaca (T2; Lat. $22^\circ 20'\text{S}$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'\text{S}$). Crucero de diciembre 2006.
- Figura 38.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$)(kg/m^3) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'\text{S}$), punta Junín (T4; Lat. $19^\circ 40'\text{S}$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'\text{S}$), punta Copaca (T2; Lat. $22^\circ 20'\text{S}$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'\text{S}$). Crucero de marzo 2007.
- Figura 39.** Anomalía vertical de temperatura ($^\circ\text{C}$) y salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'\text{S}$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'\text{S}$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'\text{S}$). Crucero de septiembre 2006.
- Figura 40.** Anomalía vertical de temperatura ($^\circ\text{C}$) y salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'\text{S}$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'\text{S}$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'\text{S}$). Crucero de diciembre 2006.
- Figura 41.** Anomalía vertical de temperatura ($^\circ\text{C}$) y salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'\text{S}$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'\text{S}$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'\text{S}$). Crucero de marzo 2007.
- Figura 42.** Distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'\text{S}$), punta Junín (T4; Lat. $19^\circ 40'\text{S}$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'\text{S}$), punta Copaca (T2; Lat. $22^\circ 20'\text{S}$), bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'\text{S}$) y rada Paposos (T6; Lat. $25^\circ 00'\text{S}$). Crucero de septiembre 2006.
- Figura 43.** Distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. $26^\circ 20'\text{S}$), bahía Salada (T8; Lat. $27^\circ 40'\text{S}$), caleta Inglesa (T9; Lat. $29^\circ 00'\text{S}$), punta Farellones (T10; Lat. $30^\circ 20'\text{S}$), caleta



Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat.31° 15'S) y Pichidangui (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.

Figura 44. Distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de diciembre 2007.

Figura 45. Distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de marzo 2007.

Figura 46. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) contenido de oxígeno disuelto (mL/L) y d) porcentaje de participación de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (PPMA) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa, entre el 10 y 17 de septiembre. Crucero de septiembre 2006.

Figura 47. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) contenido de oxígeno disuelto (mL/L) y d) porcentaje de participación de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (PPMA) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa, entre el 8 y 14 de diciembre. Crucero de diciembre 2006.

Figura 48. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) contenido de oxígeno disuelto (mL/L) y d) porcentaje de participación de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (PPMA) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa, entre el 20 y 25 de marzo. Crucero de marzo 2007.



- Figura 49.** Diagramas **T-S** de todas las estaciones agrupadas por transecta. Crucero de septiembre 2006.
- Figura 50.** Diagramas **T-S** de todas las estaciones agrupadas por transecta. Crucero de diciembre 2006.
- Figura 51.** Diagramas **T-S** de todas las estaciones agrupadas por transecta. Crucero de marzo 2007.
- Figura 52.** Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subtropical (AST), Subant3rtica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Jun3n (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S), bah3a Moreno (T1; Lat.23° 40'S) y rada Paposo (T6; Lat. 25° 00'S). Crucero de septiembre 2006.
- Figura 53.** Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subtropical (AST), Subant3rtica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. 26° 20'S), bah3a Salada (T8; Lat. 27° 40'S), caleta Inglesa (T9; Lat.29° 00'S), punta Farellones (T10; Lat.30° 20'S), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat.31° 15'S) y Pichidangui (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.
- Figura 54.** Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subtropical (AST), Subant3rtica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Jun3n (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bah3a Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de diciembre 2006.



- Figura 55.** Distribución vertical del porcentaje de participación de la masa de agua Subtropical (AST), Subantártica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat. 23° 40'S). Crucero de marzo 2007.
- Figura 56.** Imagen de circulación geostrofica superficial correspondiente a los días a) 10 de septiembre 2006, b) 10 de diciembre 2006 y c) 20 de marzo 2007.
- Figura 57.** Distribución superficial de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 58.** Distribución superficial de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 59.** Distribución de clorofila-a integrada (mg/m^2) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 60.** Distribución de feopigmentos integrados (mg/m^2) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 61.** Distribución de fluorescencia in vivo (volt) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 62.** Distribución espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los días 11, 12, 15 y 17 de Septiembre. Crucero de septiembre 2006.
- Figura 63.** Distribución espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los días 8, 10 y 12 de Diciembre. Crucero de diciembre 2006.



- Figura 64.** Distribución espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los días 20, 22, 24 y 25 de Marzo. Crucero de marzo 2007.
- Figura 65.** Distribución histórica de clorofila-a superficial ($\mu\text{g/L}$) entre Arica y Antofagasta en invierno de los años 1993 a 2006. (cruceros realizados entre 1993 y 1997 sin información de clorofila a; en 2005 no se realizó crucero).
- Figura 66.** Distribución histórica de clorofila-a superficial ($\mu\text{g/L}$) entre Arica y Antofagasta en primavera de los años 1993 a 2006. (cruceros realizados entre 1993 y 1996 sin información de clorofila a; en 2004 no se realizó crucero).
- Figura 67.** Distribución histórica de clorofila-a superficial ($\mu\text{g/L}$) entre Arica y Antofagasta en verano de los años 1993 a 2007. (cruceros realizados entre 1993 y 1997 sin información de clorofila a; en 2005 no se realizó crucero)
- Figura 68.** Distribución vertical de a) clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) y c) Fluorescencia *in vivo* (volt), en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S), bahía Moreno (T1; Lat. 23° 40'S) y rada Paposo (T6; Lat. 25° 00'S). Crucero de septiembre 2006.
- Figura 69.** Distribución vertical de a) clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) y c) Fluorescencia *in vivo* (volt), en las transectas de Chañaral (T7; Lat. 26° 20'S), bahía Salada (T8; Lat. 27° 40'S), caleta Inglesa (T9; Lat. 29° 00'S), punta Farellones (T10; Lat. 30° 20'S), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat. 31° 15'S) y Pichidangui (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.



- Figura 70.** Distribución vertical de a) clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) y c) Fluorescencia *in vivo* (volt), en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'S$), punta Junín (T4; Lat. $19^\circ 40'S$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'S$), punta Copaca (T2; Lat. $22^\circ 20'S$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'S$). Crucero de diciembre 2006.
- Figura 71.** Distribución vertical de a) clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) y c) Fluorescencia *in vivo* (volt), en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'S$), punta Junín (T4; Lat. $19^\circ 40'S$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'S$), punta Copaca (T2; Lat. $22^\circ 20'S$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'S$). Crucero de marzo 2007.
- Figura 72.** Asociación entre la clorofila satelital y la clorofila total de las estaciones de los tres cruceros.
- Figura 73.** Histogramas de la distribución de clorofila (a) y del logaritmo (b), y nivel medio de concentración de clorofila (c) para los distintos niveles de los factores considerados en el análisis de varianza.
- Figura 74.** Diagrama latitud-tiempo para la TSM promedio por semana entre los 18° - 32°S para el área costera (panel superior) que corresponde al valor medio de los primeros tres polígonos y un área oceánica (panel inferior) dado por el valor medio de los últimos tres polígonos.
- Figura 75.** Diagrama latitud-tiempo para la Cloa promedio por semana entre los 18° - 32°S para el área costera (panel superior) que corresponde al valor medio de los tres polígonos costeros y un área oceánica (panel inferior) dado por el valor medio de los tres polígonos oceánicos.
- Figura 76.** Series temporales diarias de la componente zonal y meridional de la circulación geostrofica superficial para las seis estaciones oceánicas.



Las series van desde norte (panel superior) al sur (panel inferior), la lnea puntuada representa el valor cero.

- Figura 77.** Transporte de Ekman medido cada 1000 metros de costa, derivado del valor de la componente zonal y meridional diaria del viento para los dos primeros pixel cercano a la costa y latitud por dfa. Se muestra el valor medio dado a lo largo del tiempo (panel superior) y el valor medio dado por la latitud (panel izquierdo).
- Figura 78.** Diagrama latitud-tiempo para las capturas de anchoveta promedio por semana entre los 18°- 32°S para las primeras 10 millas nauticas (panel superior), 20 millas nauticas (panel intermedio) y 30 millas nauticas (panel inferior).
- Figura 79.** Patrones espaciales para los tres primeros componentes principales, el primer componente (panel izquierdo), segundo componente (panel central) y el tercer componente (panel derecho).
- Figura 80.** Patrones temporales para los tres primeros componentes principales, el primer componente (panel superior), segundo componente (panel central) y el tercer componente (panel inferior) con su respectivo valor de varianza explicada por el componente.
- Figura 81.** a) Relaci3n entre el primer componente principal derivado del an3lisis FOE a las series espaciales de TSM y la captura media semanal. Las lneas gruesas representan un promedio m3vil de cinco semanas (\approx un mes) y b) Distribuci3n latitudinal de la captura promedio semanal acumulada de anchoveta (Ton) entre enero y diciembre de 2006 (lnea segmentada) y el promedio del transporte perpendicular a la costa (lnea continua) obtenido entre enero de 2006 a abril de 2007.



- Figura 82.** Distribución y abundancia de huevos de anchoveta en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 83.** Distribución y abundancia de larvas de anchoveta en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 84.** Relación entre la temperatura superficial y la densidad promedio de larvas de anchoveta y sardina para la zona Antofagasta – Arica en invierno de los años 1983/2006.
- Figura 85.** Distribución de Huevos de anchoveta sobre la distribución de clorofila-a integrada, la TSM y la velocidad geostrófica superficial. La barra de colores indica la clorofila integrada (mg/m^2). Crucero septiembre 2006.
- Figura 86.** Distribución de Larvas de anchoveta sobre la distribución de clorofila-a integrada, la TSM y la velocidad geostrófica superficial. La barra de colores indica la clorofila integrada (mg/m^2). Crucero septiembre 2006.
- Figura 87.** Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto por transecta durante septiembre de 2006 y las abundancias de huevos de anchoveta en los intervalos de profundidad de 0-10, 10-25 y 25-50m.
- Figura 88.** Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto por transecta durante septiembre de 2006 y las abundancias de larvas de anchoveta en los intervalos de profundidad de 0-10, 10-25 y 25-50m.
- Figura 89.** Distribución de Huevos (superior) y Larvas (inferior) de anchoveta sobre la distribución de clorofila-a integrada, la TSM y la velocidad geostrófica superficial. La barra de colores indica la clorofila integrada (mg/m^2). Crucero diciembre 2006.
- Figura 90.** Relación entre la temperatura superficial y la intensidad de larvas de anchoveta y sardina para la zona Antofagasta – Arica en primavera de los años 1983/2006.



- Figura 91.** Distribución vertical de huevos de anchoveta con respecto a la distribución del contenido de oxígeno disuelto por transecta, en los intervalos de profundidad de 0-10, 10-25 y 25-50m. Crucero Diciembre de 2006.
- Figura 92.** Distribución vertical de larvas de anchoveta con respecto a la distribución del contenido de oxígeno disuelto por transecta, en los intervalos de profundidad de 0-10, 10-25 y 25-50m. Crucero Diciembre de 2006.
- Figura 93.** Distribución de Huevos (superior) y Larvas (inferior) de anchoveta sobre la distribución de clorofila-*a* integrada, la TSM y la velocidad geostrofica superficial. La barra de colores indica la clorofila integrada (mg/m^2). Crucero marzo 2007.
- Figura 94.** Distribución y abundancia de huevos de sardina en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 95.** Distribución y abundancia de larvas de sardina en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 96.** Distribución y abundancia de huevos de jurel en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 97.** Distribución y abundancia de larvas de jurel en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 98.** Distribución y abundancia de huevos de caballa en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 99.** Distribución y abundancia de larvas de caballa en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.



- Figura 100.** Distribución y abundancia de huevos de anchoveta por estación (a) y abundancia promedio por estrato de profundidad (b). crucero MOBIO 0609. Septiembre 2006.
- Figura 101.** Distribución y abundancia de larvas de anchoveta por estación (a) y abundancia promedio por estrato de profundidad (b). Crucero MOBIO 0609. Septiembre 2006.
- Figura 102.** Distribución y abundancia promedio de huevos de anchoveta por estrato de profundidad (a) y por estación de acuerdo a la distancia de la costa y a la transecta (b). Crucero MOBIO 0612 Diciembre 2006.
- Figura 103.** Distribución y abundancia promedio de larvas de anchoveta por estrato de profundidad (a) y por estación de acuerdo a la distancia a la costa (mn) y a la transecta (b). Crucero MOBIO 0612 Diciembre 2006.
- Figura 104.** Distribución y abundancia promedio de huevos de anchoveta por estrato de profundidad (a) y por estación de acuerdo a la distancia de la costa y a la transecta (b). Crucero MOBIO 0703 Marzo 2007.
- Figura 105.** Distribución y abundancia promedio de larvas de anchoveta por estrato de profundidad (a) y por estación de acuerdo a la distancia a la costa (mn) y a la transecta (b). Crucero MOBIO 0703 Marzo 2007.
- Figura 106.** Distribución espacial y abundancia de los huevos y larvas de Anchoveta recolectados con el sistema CUFES. Crucero MOBIO 0609 – Septiembre de 2006.
- Figura 107.** Abundancia y distribución de huevos de anchoveta recolectados con sistema CUFES en diciembre de 2006.



- Figura 108.** Distribución y abundancia de huevos recolectados con la bomba de huevos CUFES. Crucero MOBIO – Marzo 2007.
- Figura 109.** Distribución y abundancia de la biomasa zooplanctónica (ml de zooplancton/1000m³ de agua filtrada) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.
- Figura 110.** Distribución de la biomasa zooplanctónica para la zona Arica – Antofagasta en Primavera de los años 1993-2006.
- Figura 111.** Distribución y abundancia de la biomasa zooplanctónica para la zona Arica – Antofagasta en verano de los años 1993-2007.
- Figura 112.** Variación temporal de la biomasa zooplanctónica promedio, para el período invierno 1993 – verano 2007.
- Figura 113.** Estimación abundancia promedio de larvas (dpet). Período Invierno 1964 – 2006.
- Figura 114.** Abundancia promedio de huevos de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en invierno de los años 1981/2006.
- Figura 115.** Abundancia promedio de larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en invierno de los años 1981/2006.
- Figura 116.** Distribución y abundancia de huevos de Anchoveta, *Engraulis ringens*. Cruceros Invierno 1990-2006.
- Figura 117.** Distribución y abundancia de larvas de Anchoveta, *Engraulis ringens*. Cruceros Invierno 1990-2006.
- Figura 118.** Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta y sardina en invierno de los años 1984/2006.



- Figura 119.** Abundancia promedio de huevos de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en primavera de los años 1983/2006.
- Figura 120.** Abundancia promedio de larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en primavera de los años 1983/2006.
- Figura 121.** Distribución y abundancia de Huevos de Anchoveta. Cruceros Primavera. Período 1983-2006.
- Figura 122.** Distribución y abundancia de Larvas de Anchoveta. Cruceros Primavera. Período 1983-2006.
- Figura 123.** Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta y sardina en primavera del período 1983/2006.
- Figura 124.** Abundancia promedio de huevos de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en verano de los años 1982/2007.
- Figura 125.** Abundancia promedio de larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en verano de los años 1982/2007.
- Figura 126.** Distribución y abundancia de Huevos de Anchoveta. Cruceros Verano, Período 1982-2007.
- Figura 127.** Distribución y abundancia de Larvas de Anchoveta. Cruceros Verano, Período 1982-2007.
- Figura 128.** Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta y sardina en la zona Antofagasta – Arica en verano de los años 1987/2007.



- Figura 129.** Variación temporal de la intensidad del desove de (A) huevos y (B) larvas de anchoveta, para el período invierno 1995 – verano 2007. (Línea negra = media móvil).
- Figura 130.** Distribución espacial de los a) huevos y b) larvas de anchoveta y de la TSM satelital en la zona norte de Chile. Crucero septiembre 2006.
- Figura 131.** Distribución espacial de los a) huevos y b) larvas de anchoveta y de la TSM satelital en la zona norte de Chile. Crucero diciembre 2006.
- Figura 132.** Distribución espacial de los a) huevos y b) larvas de anchoveta y de la TSM satelital en la zona norte de Chile. Crucero marzo 2007.
- Figura 133.** Relaciones entre la densidad de huevos y larvas de anchoveta y el gradiente térmico. Crucero septiembre 2006.
- Figura 134.** Relaciones entre la densidad de huevos y larvas de anchoveta y el gradiente térmico. Crucero diciembre 2006.
- Figura 135.** Relaciones entre la densidad de huevos y larvas de anchoveta y el gradiente térmico. Crucero marzo 2007.
- Figura 136.** Densidad media y proporción de estaciones positivas con su intervalo de confianza para huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, por año y periodo total y para los cruceros realizados en septiembre-diciembre de 2006 y marzo 2007. Cruceros realizados en la I y II Región.
- Figura 137.** Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia/ausencia de huevos de anchoveta por estación, ajustado un modelo binomial con sobre-dispersión (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X,P)$



corresponde a la función suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde el año 1993 a 2006.

Figura 138. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia/ausencia de larvas de anchoveta por estación, ajustado un modelo binomial con sobre-dispersión (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X,P)$ corresponde a la función suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde el año 1993 a 2006.

Figura 139. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable logaritmo de la densidad de huevos de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X,P)$ corresponde a la función suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde el año 1993 a 2006.

Figura 140. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable logaritmo de la densidad de larvas de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X,P)$ corresponde a la función suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde el año 1993 a 2006.



- Figura 141.** Tendencias de los índices por crucero obtenidos del ajuste de modelos GAM para la presencia/ausencia y la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde el año 1993 a 2006.
- Figura 142.** Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura (tsm), salinidad (ssm), densidad (dsm), clorofila (clo.int), oxígeno (oxi.sup) y capa de mezcla sobre la variable presencia/ausencia de huevos de anchoveta por estación, ajustado un modelo binomial. Cruceros realizados en la I y II Región entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Figura 143.** Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura (tsm), salinidad (ssm), densidad (dsm), clorofila (clo.int), oxígeno (oxi.sup) y capa de mezcla sobre la variable presencia/ausencia de larvas de anchoveta por estación, ajustado un modelo binomial. Cruceros realizados en la I y II Región entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Figura 144.** Tendencias de los índices por crucero obtenidos del ajuste de modelos GAM para la presencia/ausencia y la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Cruceros realizados en la I y II Región entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Figura 145.** Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura (tsm), salinidad (ssm), densidad (dsm), clorofila (clo.int), oxígeno (oxi.sup) y capa de mezcla sobre la variable logaritmo de la densidad de huevos de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). Cruceros realizados en la I y II Región entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.



- Figura 146.** Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura (tsm), salinidad (ssm), densidad (dsm), clorofila (clo.int), oxígeno (oxi.sup) y capa de mezcla sobre la variable logaritmo de la densidad de larvas de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). Cruceros realizados en la I y II Región entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Figura 147.** Distribución espacial de anchoveta, cruceros MOBIO a) 0609, b) 0612, c) 0703.
- Figura 148.** Distribución de la densidad acústica – S_a (m^2/mn^2) respecto a la hora por especie en los cruceros Mobio 0609, 0612 y 0703.
- Figura 149.** Distribución espacial de jurel, cruceros MOBIO a) 0609, b) 0612, c) 0703.
- Figura 150.** Distribución espacial de caballa en los cruceros MOBIO a) 0609, b) 0703.
- Figura 151.** Distribución de la densidad acústica – S_a (m^2/mn^2) respecto a la profundidad (psu) por especie en los cruceros Mobio 0609, 0612 y 0703.
- Figura 152.** Distribución de la densidad acústica – S_a (m^2/mn^2) respecto a la temperatura ($^{\circ}C$) por especie en los cruceros Mobio 0609, 0612 y 0703.
- Figura 153.** Distribución de la densidad acústica – S_a (m^2/mn^2) respecto a la salinidad (psu) por especie en los cruceros Mobio 0609, 0612 y 0703.
- Figura 154.** Distribución espacial de *Vinciguerria* cruceros MOBIO a) 0609, b) 0612, c) 0703.



- Figura 155.** Distribución espacial de langostino, cruceros MOBIO 0609.
- Figura 156.** Variabilidad temporal de la distribución vertical de temperatura (°C) en las estaciones fijas de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones en el período mayo de 1997 a junio de 2006.
- Figura 157.** Variabilidad temporal de la distribución vertical de salinidad (psu) en las estaciones fijas de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones en el período mayo de 1997 a junio de 2006.
- Figura 158.** Variabilidad temporal de la distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L) en las estaciones fijas de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones en el período mayo de 1997 a junio de 2006.
- Figura 159.** Variabilidad temporal de la distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica estimada como clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en las estaciones fijas de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones en el período mayo de 1997 a junio de 2006.
- Figura 160.** Distribución semanal de la clorofila satelital en la zona norte de Chile, agosto de 2006.
- Figura 161.** Distribución espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los días a) 12, 15 y 17 de septiembre, b) 6 y 10 de octubre y c) 12 de noviembre. El punto rojo indica la estación de monitoreo realizada en la fecha o próxima a la de la imagen satelital.
- Figura 162.** Distribución espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los días a) 8, 10 y 12 de diciembre, b) 3 y 9 de enero y c) 10 y 11 de febrero. El punto rojo indica la estación de monitoreo realizada en la fecha o próxima a la de la imagen satelital.



- Figura 163.** Distribución espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los días a) 22, 24 y 25 de marzo, b) 14 y 15 de abril y c) 14 y 30 de mayo. El punto rojo indica la estación de monitoreo realizada en la fecha o próxima a la de la imagen satelital.
- Figura 164.** Distribución espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los días 9, 12 y 19 de junio. El punto rojo indica la estación de monitoreo realizada en la fecha o próxima a la de la imagen satelital.
- Figura 165.** Asociación entre la clorofila satelital y la clorofila total de las estaciones fijas (a) series de tiempo de la profundidad del 1% de penetración de la luz incidente en superficie (línea continua) y la concentración de clorofila integrada (línea segmentada) en la estación fija de Arica en el periodo agosto 2006 a junio 2007 (b) y correlación cruzada entre la profundidad del 1% de penetración de la luz y la concentración de clorofila integrada en la estación fija de Arica (c).
- Figura 166.** Abundancia mensual de huevos de anchoveta en las estaciones costeras de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones. Período agosto 2006 – junio 2007.
- Figura 167.** Abundancia mensual de larvas de anchoveta en las estaciones costeras de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones. Período agosto 2006 – junio 2007.
- Figura 168.** Abundancia de huevos de anchoveta a diferentes niveles de profundidad en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, período agosto 2006 – junio 2007.



- Figura 169.** Abundancia de larvas de anchoveta a diferentes niveles de profundidad en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, período agosto 2006 – junio 2007.
- Figura 170.** Biomasa zooplanctónica a diferentes niveles de profundidad en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, período agosto 2006 – junio 2007.
- Figura 171.** Índice mutivariado ecuatorial (MEI), que muestra los períodos cálidos (rojo) y fríos (azul) entre enero de 2006 y junio de 2007. Los triángulos rojos representan los 3 cruceros de monitoreo oceanográficos realizados en septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007.
- Figura 172.** Máximos y mínimos de las profundidades en que se han distribuido históricamente la anchoveta y el jurel.
- Figura 173.** Máximos y mínimos de las temperaturas en que se han distribuido históricamente la anchoveta y el jurel.
- Figura 174.** Máximos y mínimos de las salinidades en que se han distribuido históricamente la anchoveta y el jurel.
- Figura 175.** Índices de Cobertura (IC) (%) y Densidad (ID) t/mn^2 anchoveta y jurel históricos. Período 1997-2007.
- Figura 176.** Índices de Cobertura (IC) y Densidad (ID) estacionales de anchoveta y jurel.



TABLAS

- Tabla 1.** Cruceros estacionales realizados durante el período comprendido entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Tabla 2.** Bitácora de estaciones bio-oceanográficas y registro de datos meteorológicos. Crucero MOBIO 0609. Septiembre de 2006.
- Tabla 3.** Bitácora de estaciones bio-oceanográficas y registro de datos meteorológicos. Crucero MOBIO 0612. Diciembre de 2006.
- Tabla 4.** Bitácora de estaciones bio-oceanográficas y registro de datos meteorológicos. Crucero MOBIO 0703. Marzo de 2007.
- Tabla 5.** Valores de los pares **T-S** de las aguas tipo, utilizados en los triángulos de mezcla.
- Tabla 6.** Tamaños de muestra, valor del estadístico y p-value de prueba de Shapiro-Wilk, para el análisis distribucional de la densidad de huevos o larvas de anchoveta, en los cruceros correspondientes al FIP 2006-01 y los cruceros realizados en el periodo de invierno desde 1993 al 2006.
- Tabla 7.** Categorías por densidad.
- Tabla 8.** Valores máximos y mínimos de las principales variables monitoreadas en los cruceros MOBIO de septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007.
- Tabla 9.** Bitácora de las estaciones con medición de transparencia del agua, profundidades del 1% de penetración de luz y CM. Septiembre 2006.
- Tabla 10.** Bitácora de las estaciones con medición de transparencia del agua, profundidades del 1% de penetración de luz y CM. Diciembre 2006.



- Tabla 11.** Bitácora de las estaciones con medición de transparencia del agua, profundidades del 1% de penetración de luz y CM. Marzo 2007.
- Tabla 12.** Selección paso a paso de un modelo de efectos principales a partir de un modelo con interacción, basado en el criterio de información de Akaike. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Tabla 13.** Tabla de análisis de varianza para el modelo seleccionado en el procedimiento paso a paso, asociado al modelamiento de la concentración de clorofila-a. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Tabla 14.** Resultados de la prueba de hipótesis respecto a las diferencias por crucero de la concentración de clorofila-a. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Tabla 15.** Tabla de análisis de varianza para los efectos principales, ajustados a la clorofila integrada, según selección paso a paso (A) y modelo seleccionado (B). Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Tabla 16.** Resultados de la prueba de hipótesis respecto a las diferencias por crucero de la concentración de clorofila integrada. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Tabla 17.** Tabla de análisis de varianza para los efectos principales, ajustados a la clorofila total, según modelo seleccionado. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.
- Tabla 18.** Resultados de la prueba de hipótesis respecto a las diferencias por crucero de la concentración de clorofila total. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.



- Tabla 19.** Tabla de análisis de varianza para los efectos principales, crucero (septiembre - diciembre), profundidad (0-5, 10-30 y 50-10 m) y filtro (0,2 – 0,7 μm), con sus respectivas interacciones.
- Tabla 20.** Densidad promedio, constancia y dominancia numérica de huevos de peces. Cruceros MOBIO 2006/2007.
- Tabla 21.** Densidad promedio, constancia y dominancia numérica de larvas de peces. Cruceros MOBIO 2006/2007.
- Tabla 22.** Estimaciones de la densidad media, varianza y coeficiente de variación de la abundancia de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros estacionales MOBIO. Zona Arica – Antofagasta.
- Tabla 23.** Abundancia de huevos y larvas de anchoveta recolectados a diferentes estratos de profundidad en la zona Arica – Antofagasta. Cruceros estacionales MOBIO 2006/2007.
- Tabla 24.** Biomasa promedio y rangos del zooplancton por crucero. Serie Invierno 1983/2006.
- Tabla 25.** Biomasa promedio y rangos del zooplancton por crucero. Serie Primavera 1993/2006.
- Tabla 26.** Biomasa promedio y rangos del zooplancton por crucero. Serie Primavera 1993/2006.
- Tabla 27.** Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta, Zona Antofagasta – Arica en invierno de 1984 – 2006.
- Tabla 28.** Estimación del índice de abundancia larval para sardina, Zona Antofagasta – Arica en invierno de 1984 – 2006.



- Tabla 29.** Densidad promedio, constancia y dominancia numérica de huevos de sardina, anchoveta y jurel. Área comparativa: Antofagasta – Coquimbo 0 – 10 mn. Invierno: 1983 – 2006.
- Tabla 30.** Densidad promedio, constancia y dominancia numérica de larvas de sardina, anchoveta y jurel. Área comparativa: Antofagasta – Coquimbo 0 – 10 mn. Invierno: 1983 – 2006.
- Tabla 31.** Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta, Zona Antofagasta – Arica en primavera de 1985 – 2006.
- Tabla 32.** Estimación del índice de abundancia larval para sardina, Zona Antofagasta – Arica en primavera de 1983 – 2006.
- Tabla 33.** Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta, Zona Antofagasta – Arica en verano de 1987 – 2007.
- Tabla 34.** Estimación del índice de abundancia larval para sardina, Zona Antofagasta – Arica en verano de 1987 – 2007.
- Tabla 35.** Síntesis por año del número de estaciones totales, número de estaciones sin y con presencia de huevos y larvas de anchoveta y densidad media de las estaciones positivas, Cruceros realizados en la I y II Región, en la estación de invierno.
- Tabla 36.** Resumen de estadísticas descriptivas por año para las variables longitud, latitud, temperatura superficial, salinidad superficial y densidad de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región, en la estación de invierno.
- Tabla 37.** Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM binomial para la variable



presencia/ausencia de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde los años 1993 a 2006.

Tabla 38. Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM normal para la variable logaritmo de la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde los años 1993 a 2006.

Tabla 39. Síntesis por crucero del número de estaciones totales, número de estaciones sin y con presencia de huevos y larvas de anchoveta y densidad media con sus errores estándar entre paréntesis, cruceros realizados en la I y II Región.

Tabla 40. Resumen de estadísticas descriptivas para las variables longitud, latitud, temperatura superficial, salinidad superficial, densidad de agua y clorofila integrada. Crucero realizados en la I y II Región, marzo de 2007.

Tabla 41. Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM binomial para la variable presencia/ausencia de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

Tabla 42. Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM normal para la variable logaritmo de la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Crucero realizado en la I y II Región en marzo de 2007.

Tabla 43. Resultados históricos de las calibraciones del sistema acústico EK-500 del B/C Abate Molina, en frecuencia de 38 Khz.

Tabla 44. Densidades acústicas totales medidas en SA y aportes relativos por especie, en los cruceros MOBIO 0609, 0612 y 0703.



- Tabla 45.** Estadísticos de la distribución vertical de las especies detectadas en los cruceros MOBIO 0609, 0612 y 0703 respecto a las variables profundidad, temperatura salinidad y densidad acústica.
- Tabla 46.** Estadísticos de la distribución vertical de las especies detectadas en el período 1994-2003 por estación respecto a las variables densidad acústica (S_a), profundidad, temperatura y salinidad. Se ha descartado el año 1997 por presentarse fuera de rango en la mayoría de las variables.
- Tabla 47.** Índices de cobertura (IC) y densidad (ID) por especie y crucero.
- Tabla 48.** Valores de la biomasa zooplanctónica en las estaciones costeras de Arica, Iquique y mejillones entre agosto de 2006 y junio de 2007.



IV. ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Criterio de análisis de las condiciones oceanográficas Superficiales.
- Anexo 2.** Distribución de **TSM** satelital y Circulación geostrófica Superficial en el período agosto 2006 – junio 2007.
- Anexo 3.** Talleres de difusión, lista de asistentes y fotos actividades cruceros (en CD).
- Anexo 4.** Personal participante por actividad (HH).
- Anexo 5.** CD con Base de datos FIP N° 2006-01.





V. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Monitorear las condiciones bio-oceanográficas de la zona norte de Chile, entre Arica y Pichidanguí y hasta 100 mn de la costa.

2. Objetivos específicos

2.1 Describir y analizar el patrón estacional de la temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, clorofila-a y penetración de la luz, en la zona de estudio, en la estructura vertical de 0 a 200 metros.

2.2 Describir y analizar la distribución de abundancia estacional del ictioplancton, incluyendo huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa en la zona de estudio, y su relación con las condiciones oceanográficas.

2.3 Caracterizar los recursos pelágicos presentes en la zona de estudio, mediante índices de abundancia relativa y de cobertura geográfica, en relación a las condiciones bio-oceanográficas.

2.4 Desarrollar una serie de tiempo de frecuencia mensual de las variables señaladas en los objetivos 2.1 y 2.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras dentro de la zona de estudio.





VI. ANTECEDENTES

Durante el año 2005 el valor FOB de las exportaciones pesqueras totalizó una cifra de 3.081 millones de dólares (Elaborado por IFOP en base a información del Banco Central y del Servicio Nacional de Aduanas), lo que representa alrededor del 8,1% del total de las exportaciones chilenas en el año.

La zona norte de Chile se caracteriza al igual que otras áreas de borde oriental, por su baja diversidad de especies pelágicas, tales como anchoveta, sardina española, jurel y caballa, las que se presentan en grandes abundancias, generando beneficios socio-económicos para el país a través del desarrollo de sus pesquerías. Sin embargo, la variabilidad es una característica inherente de estos recursos, lo cual se asocia tanto a la intensidad de la explotación como a los cambios de las condiciones ambientales (Cirke y Sharp, 1984; cañón, 1986; Bakun y Broad, 2001).

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

En la zona norte de Chile, la pesquería de peces pelágicos comenzó su desarrollo a finales de los años sesenta, llegando a ser en conjunto con Perú, una de las más importantes del mundo por los volúmenes de pesca desembarcados. Esta pesquería se basó casi exclusivamente en la captura de anchoveta (*Engraulis ringens*) y mostró tres períodos principales: el primero (1973-1986) con un crecimiento sostenido, alcanzando hasta 3,4 millones de toneladas a mediados de los ochenta; en este período se produjo el colapso en las capturas de anchoveta y,



paralelamente los desembarques de sardina española (*Sardinops sagax*) aumentaron significativamente hasta 1985, constituyéndose en el principal recurso explotado en dicha región. La segunda fase (1986-1996) fue un período de ajuste, producto de la baja experimentada en las capturas, hasta llegar en 1996 a 1,4 millones de toneladas; en este período se produjo 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), presentó una tendencia a la estabilización de las capturas a niveles del orden de 1,3 millones de toneladas por año (Espino, 2002).

De acuerdo a lo anterior, la actividad extractiva de la industria pesquera en la I y II Región, está fuertemente vinculada a la disponibilidad del recurso anchoveta, la 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 toneladas en el año 2003. Este tipo de fluctuaciones, sumado a las variaciones ambientales, pueden llevar rápidamente a las pesquerías a colapsar. Al respecto cabe señalar que durante el año pesquero 2004, se obtuvo una alta captura de este recurso, con 1,4 millones de toneladas, producto del exitoso reclutamiento de la especie, observado entre diciembre de 2003 y marzo de 2004. No obstante que en el año 2005 se apreció un atraso y debilitamiento del proceso de reclutamiento, el acumulado del año pesquero 2005 superó levemente el millón de toneladas (Martínez, com pers., 2006).

La condición de Chile de ser un país pesquero está asociada al Sistema de Corriente de Humboldt (**SCH**), siendo nuestro país, uno de los cuatro sistemas de borde oriental, en los cuales el afloramiento de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes, promueve una alta productividad biológica (Alheit y Bernal, 1993, Blanco *et al.*, 2001).



Dos factores reconocidos que permiten en la zona norte la elevada biomasa fitoplanctónica que sostiene los niveles tróficos superiores, entre ellos los peces de importancia comercial son: las aguas subsuperficiales de origen ecuatorial (AESS) que poseen un alto contenido de nutrientes; y los procesos de surgencia que se observan prácticamente durante todo el año, el cual lleva esta agua hacia la superficie en la costa, dejando los nutrientes disponibles para los organismos autótrofos. No obstante que se ha identificado la fuerte importancia de los procesos de surgencia en el aporte de nutrientes a la capa fótica, existen además otros procesos físicos, como las ondas atrapadas a la costa, remolinos de mesoescala y meandros, que también son responsables de lo indicado (Cipollini *et al.*, 2001; McGillicuddy *et al.*, 1998; Uz *et al.*, 2001; Chávez *et al.*, 1998). En el caso de Chile, frente a la costa central, se han observado remolinos de mesoescala como procesos que aportan nutrientes a la capa fótica (Hormazabal *et al.*, 2004 a, b).

Para el norte de Chile, y en base a imágenes de color obtenidas con satélite, se ha determinado que los mínimos de clorofila ocurren en invierno y los máximos durante el verano, esto último asociado al máximo del estrés del viento favorable a la surgencia. Sin embargo, en el sector oceánico los máximos de clorofila se presentan en invierno (Yañez *et al.*, 2005), condición que no estaría relacionada ni con el estrés ni con el curl del viento (Yuras *et al.*, 2005). De acuerdo a lo precitado, en la zona oceánica los máximos de clorofila estarían relacionados con la ocurrencia de procesos de mesoescala como remolinos y meandros (Hormazabal *et al.*, 2006, En revisión).

Por otra parte, los sectores de mayores densidades y agregación de recursos pesqueros en esta zona del país, están localizados mayoritariamente en las primeras 20 mn de la costa, y que debido a los procesos de surgencia, presentan fuertes gradientes térmicos y salinos, durante gran parte del año, a excepción del período de invierno (Yañez *et al.*, 2005). En este sentido, hay una fuerte correlación



espacial entre la intensidad de los gradientes térmicos y la presencia de altas concentraciones de fitoplancton (Strub *et al.*, 1991), lo que induciría a un comportamiento más costero de la anchoveta.

El **SCH** se diferencia de los otros tres sistemas de borde oriental por presentar en la capa fótica la entrada de una capa de mínimo contenido de oxígeno disuelto. Así, debido a los procesos de surgencia y las características de la AESS, valores de concentración menores a 1 mL/L se localizan muy próximos al nivel de superficie (Morales *et al.*, 1999, Ulloa *et al.*, 2001). Se ha observado en la zona norte que las bajas concentraciones de oxígeno disuelto afectan la distribución de larvas de anchoveta en la vertical (Morales *et al.*, 1996).

Una característica importante de la zona es que esta se ve afectada a intervalos irregulares, en promedio de 3 a 4 años por eventos “El Niño”, que provocan entre otros, un calentamiento anómalo del agua superficial, profundización de la termoclina, menor participación de AESS en la surgencia y profundización de la capa de mezcla (Blanco *et al.*, 2001; Blanco *et al.*, 2002; Reyes, 2004; Yañez *et al.*, 2001).

Tales condiciones traerían también una repercusión biológica, especialmente una disminución de la biomasa fitoplanctónica (Barber y Chávez, 1983) y una disminución de anchoveta en sus diferentes estadios (Yañez *et al.*, 2005). En el aspecto pesquero no sólo se ve reducida la biomasa de reclutas de anchoveta sino también su disponibilidad a la captura de los individuos adultos (Yañez *et al.*, *op cit*). Durante el evento El Niño 1997-98, la anchoveta experimentó cambios en su distribución longitudinal y vertical, ubicándose principalmente en el sector costero y ampliando su rango de profundidad de 5 a 35 m a un rango de 5 a 130 m, formando cardúmenes y estratos de altas densidades, disminuyendo así su vulnerabilidad al cerco (Braun *et al.*, 1998; Braun *et al.*, 1999; Jacob, 2002 y Yañez *et al.*, 2005).



Sumado a los cambios ambientales interanuales, se ha documentado también para la zona cambios que corresponden a ciclos cálidos y fríos en la frecuencia interdecadal (Cañon, 1986; Yañez, 1998, Yañez *et al.*, 2005), en los cuales se ha observado una alternancia entre la sardina y anchoveta como especie dominante. Durante un régimen más cálido, la especie dominante en el sistema pelágico fue la sardina española, tal como ocurrió entre los años 1976 a 1985 y durante los ciclos fríos lo fue la anchoveta (Yañez *et al.* 2003).

En la actualidad, el análisis de la pesquería de la zona toma en cuenta la evolución del esfuerzo de pesca y la variabilidad del medio ambiente y su efecto sobre los recursos. De esta forma se busca comprender los cambios de la abundancia de las especies explotadas comercialmente en el largo, mediano y corto plazo (Cañon, 1986; Castillo y Guzmán, 1985; Castillo *et al.*, 1995 a, Castillo *et al.*, 1995 b).

En la última década la zona norte de Chile ha sido objeto de diversos estudios oceanográficos y pesqueros, dentro de los cuales el proyecto de Monitoreo de las Condiciones Bio-oceanográficas, ha sido una herramienta fundamental para la vigilancia de las condiciones ambientales en la que viven los recursos de interés. Es así, como los antecedentes recopilados a partir de más de 40 cruceros realizados por IFOP desde 1993 a la fecha, han permitido analizar el comportamiento del recurso y de sus fases larvarias en períodos normales y durante la ocurrencia de eventos de “El Niño”, observándose que las mermas más importantes de la especie estuvieron asociadas a dichos eventos, particularmente en los años 1991 y 1997-98 (Feeley *et al.*, 1999).

En el contexto precitado y considerando la importancia de este tipo de estudios para incrementar la comprensión de la influencia de los parámetros oceanográficos en la distribución y abundancia de los recursos pelágicos, el Consejo de Investigación Pesquera teniendo presente lo informado al efecto por la Subsecretaría de Pesca, a decidido incluir el presente proyecto en el programa de



investigaci3n pesquera correspondiente al a1o 2006, con el objeto mantener un sistema regular, oportuno y peri3dico de observaci3n de las condiciones bio-oceanogr3ficas de la zona, a objeto de fundamentar de mejor manera la adopci3n de medidas de administraci3n pesquera en pos de una adecuada conservaci3n de los recursos hidrobiol3gicos.



VII. DESARROLLO METODOLÓGICO

1. Zona de estudio

El monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas correspondiente al mes de septiembre de 2006, abarcó la zona marítima de la I y IV Regiones, comprendida entre Arica ($18^{\circ}25'S$) y Pichidanguí ($32^{\circ}08'S$) y para diciembre de 2006 y marzo de 2007, el área de estudio se extendió desde Arica a Bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$), desde la costa hasta una distancia máxima de 100 millas náuticas (**Fig. 1**).

2. Diseño de muestreo

En diciembre de 2006 y marzo de 2007, para la zona Arica – Antofagasta, se efectuaron 5 transectas perpendiculares a la costa, paralelas y equidistantes entre sí cada 80 mn, las que se ubicaron frente a bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$), punta Copaca ($22^{\circ}20'S$), punta Lobos ($21^{\circ}00'S$), punta Junín ($19^{\circ}40'S$) y Arica ($18^{\circ}25'S$), abarcando una extensión longitudinal máxima de 100 millas náuticas.

De la misma manera, en septiembre de 2006 y de acuerdo a lo consignado en las bases administrativas y especiales del proyecto, la zona de estudio se extendió hasta Pichidanguí por el sur, en concordancia con la ejecución del Octavo Crucero Internacional de los países miembros de la CPPS, efectuándose 12 transectas perpendiculares a la costa, paralelas y equidistantes entre sí cada 80 mn, localizándose éstas frente a Arica ($18^{\circ}25'S$), punta Junín ($19^{\circ}40'S$), punta Lobos ($21^{\circ}00'S$), punta Copaca ($22^{\circ}20'S$), bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$), rada Paposó ($25^{\circ}00'S$), Chañaral ($26^{\circ}20'S$), bahía Salada ($27^{\circ}40'S$), caleta Inglesa ($29^{\circ}00'S$), punta Farellones ($30^{\circ}20'S$), caleta Maitencillo de Coquimbo ($31^{\circ}14'S$) y Pichidanguí ($32^{\circ}08'S$), abarcando todas ellas la misma extensión longitudinal, es decir, 100 millas náuticas.



En cada transecta se realizaron 7 estaciones bio-oceanográficas distribuidas a 1, 5, 10, 20, 40, 70 y 100 millas de la costa (**Fig. 1**), midiéndose las variables temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidad (**psu**), fluorescencia in vivo (**volt**), concentración de oxígeno disuelto (**mL/L**) y clorofila-a (**$\mu\text{g/L}$**). Además, se efectuaron pescas zooplanctónicas a través de lances verticales integrados y estratificados con una red modelo WP-2 (UNESCO, 1968) y la evaluación hidroacústica de los recursos objetivo del presente proyecto, la cual se efectuó de manera continua durante la navegación hasta los 300 m de profundidad, discretizándose la información en Intervalos Básicos de Muestreo (**I.B.M.**). Para cada una de las estaciones de las grillas de muestreo, se consignó el registro de datos meteorológicos.

Además, se efectuaron las tres estaciones costeras de vigilancia mensual que se desarrollan en el período del proyecto. Estas estaciones están localizadas a 2 mn frente a Arica ($18^{\circ}23'S$; $70^{\circ}24,8'W$), Iquique ($20^{\circ}11'S$; $70^{\circ}10,3'W$) y Mejillones ($23^{\circ}01'S$; $70^{\circ}23,1'W$); con profundidades de muestreo discreto para oxígeno y clorofila iguales a 0, 5, 10, 20, 30 y 50, respectivamente. Este muestreo permite aumentar la cobertura temporal y la frecuencia de observación respecto de las variables oceanográficas y la abundancia de los estadios tempranos de peces y han aportado información de gran relevancia para interpretar los resultados de los cruceros *in situ* y para asociar fluctuaciones de las variables biológicas a cambios en el ambiente físico.

Para la zona costera (0 - 40mn) comprendida entre Arica y Antofagasta y con la finalidad de obtener mayor información de los estadios tempranos de anchoveta, se realizó además un muestreo automático, continuo y superficial mediante el uso de la bomba de huevos – CUFES – (Continuos Underway Fish Egg Sampler). Ambos conjuntos de muestras, WP-2 y SISTEMA CUFES, son complementarios y permiten



además de conocer la variabilidad espacial, relacionar la distribución de los huevos de peces a las variables oceanográficas.

En las estaciones oceanográficas de las transectas e intertransectas se realizaron lances con botellas de muestreo oceanográfico tipo Niskin, a profundidades estándares de 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200 y 300 metros como máximo.

3. Barco y programación de cruceros *in situ* y ocupación de estaciones costeras.

Para el desarrollo de los cruceros se utilizó como plataforma de trabajo el B/C “Abate Molina” administrado por el Instituto de Fomento Pesquero. Las fechas de realización de los cruceros y el número total de estaciones se entrega en la **Tabla 1**.

La ocupación de las estaciones costeras de frecuencia observacional mensual, localizadas a 2mn frente a los puertos de Arica, Iquique y Mejillones para el período agosto de 2006 a junio de 2007, se realizó a bordo de embarcaciones pesqueras de CORPESCA.



4. Metodología por objetivo

4.1 Objetivo específico 2.1

“Describir y analizar el patrón estacional de temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, clorofila-a y penetración de la luz, en la zona de estudio, en la estructura vertical de 0 a 200 metros”

4.1.1 Recolección de muestras y registro de datos en los cruceros estacionales

En el crucero de septiembre se realizaron 12 transectas perpendiculares a la costa y 5 en los realizados en diciembre de 2006 y marzo de 2007.

En cada estación bio-oceanográfica se obtuvo registros verticales continuos de temperatura (°C) y salinidad con profundidad hasta un máximo de 500 m, mediante el uso de un CTD. Para los cruceros de septiembre y diciembre de 2006, se utilizó un CTD Neil Brown modelo MK3C operado en tiempo real, mientras que para el de marzo de 2007, se utilizó un CTD Sea Bird modelo 19, equipado con bomba y en modo auto contenido.

Para la toma de muestras de agua se utilizaron botellas Niskin de 5,0 L dispuestas en un muestreador automático tipo ROSETA. Para la determinación de la concentración de oxígeno disuelto se recolectaron muestras de agua, a profundidades estándares de 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200 y 300 metros como máximo.

Con las muestras de agua recolectadas se realizaron a bordo los análisis conducentes a la obtención de la concentración de oxígeno disuelto (**OD**), mediante el método Winkler modificado por Carpenter (1965) y clorofila-a, según la metodología descrita en **1.4**.

Con la finalidad de evaluar la variabilidad longitudinal (norte-sur) y temporal de la masa de agua Ecuatorial subsuperficial, las estaciones ubicadas a 100 mn de la costa entre



Arica y bahía Moreno fueron muestreadas con CTD hasta los 700 m de profundidad, agregándose los niveles discretos de 500 y 700 m a los ya señalados para el **OD**.

Durante la realización de las estaciones bio-oceanográficas se registró información meteorológica de carácter básico: temperatura del aire (bulbo seco y húmedo), presión atmosférica, intensidad y dirección del viento, tipo y cantidad de nubes, altura y dirección de las olas (**Tablas 2, 3 y 4**). En el registro se utilizaron las normas, tablas y códigos del National Oceanographic Data Center (NODC, 1991). Los datos de viento fueron registrados con un anemómetro fijo marca Simrad modelo IS-12, y los datos corresponden al valor predominante observado durante la ejecución de la estación. Durante la navegación se recopiló también información del viento en forma horaria que corresponde al valor predominante observado.

En cada una de las estaciones de la grilla de muestreo bio-oceanográfico, se coleccionarán muestras de agua para los análisis de clorofila-*a*, a las siguientes profundidades: 0, 5, 10, 20, 30, 50, 75 y 100 metros como máximo. Además se consideraron cartas satelitales de color del mar, coetáneas a los cruceros, con el fin de contrastar ambas técnicas y explicar de mejor forma, la estacionalidad de la biomasa fitoplanctónica.

4.1.2 Medición de clorofila-*a* y penetración de la luz

Para los análisis de clorofila-*a*, se coleccionaron 780 muestras en septiembre de 2006, 431 en diciembre de 2006 y 423 en marzo de 2007. Las muestras se filtraron in situ con un sistema de filtrado múltiple, utilizando filtros de fibra de vidrio (MFS GF-75, 0,7 μm , 25 cm de diámetro) (Jeffrey *et al.*, 1997), con un volumen de filtrado estandarizado en 50 mL, almacenándose éstas a -20°C en ambiente anhidro, utilizando como desecante CaCl_2 en septiembre y marzo, y en nitrógeno líquido en el crucero de diciembre hasta su posterior análisis en laboratorio de IFOP en tierra.

La extracción de la muestra para el análisis de clorofila-*a*, se realizó en forma pasiva, con una solución acuosa de acetona al 90 % v/v, por un período de 24 horas y a ca. -



20°C. La lectura del sobrenadante se efectuó en ambiente de baja luminosidad con la técnica fluorimétrica con y sin acidificación descrita en Parsons *et al.*, (1984), utilizando para tales efectos un fluorómetro digital marca Turner Designs, modelo 10-AU, calibrado con un estándar puro de clorofila-a marca Sigma Chemicals.

Con respecto a la estandarización del volumen de agua a ser filtrada (50 mL), cabe señalar que al utilizar un fluorómetro digital de última generación, como el Turnes Designs 10-AU, los niveles de detección pueden llegar a ser de ng/L ó 10⁻⁹ g/L, toda vez que estos equipos tienen un fotomultiplicador altamente sensible al rojo y que ha sido especialmente diseñado para este trabajo analítico. Adicionalmente, si se considera que la biomasa fitoplanctónica para toda la zona muestreada está en el rango 0,2 a 30 µg/L (o mg/m³) aproximadamente, ésta se ajusta adecuadamente a la sensibilidad del equipo utilizado, lo que permite estandarizar los volúmenes de muestreo sin que haya efecto sobre la cuantificación.

Este diseño de muestreo y análisis está siendo utilizado en la actualidad por el Instituto del Mar del Perú – IMARPE y fue propuesto como estándar de trabajo en el Taller Regional de Ínter calibración sobre monitoreo del impacto biológico del ENOS en América Latina en Lima Perú.

La penetración de la luz se midió con un disco de Secchi de 30 cm de diámetro. El disco fue bajado con un cable medido previamente a intervalos de 1 m. El disco se arrió hasta que éste fuera apenas perceptible, por el costado sombreado del barco, registrándose la profundidad, luego se continuó bajándolo hasta que desapareciera completamente. Entonces, se izó lentamente hasta que fuera nuevamente visible, consignándose ésta segunda lectura. La lectura final del disco se obtuvo al promediar ambas lecturas.

Con el objeto de verificar la ventaja de utilizar filtros de menor tamaño de poro, se recolectaron en forma paralela durante los meses de septiembre y diciembre de



2006, un set de 110 y 51 muestras respectivamente, con filtros MFS de 3ster de celulosa de 0,2 μm de poro.

4.1.3 Procesamiento de la informaci3n

La informaci3n del CTD de los cruceros se proces3 de acuerdo a procedimientos est3andar recomendados por el fabricante de cada equipo. Con los datos de cada crucero ya procesados se confeccionaron las cartas de distribuci3n superficial y vertical de las variables temperatura, salinidad, fluorescencia, ox3geno y densidad ($\sigma\text{-t}$). Con los datos verticales se obtuvo informaci3n de la capa de mezcla (espesor), termoclina (espesor, profundidad de la base, temperatura base, gradiente de temperatura promedio y m3ximo, profundidad del m3ximo gradiente), anomal3a geopotencial de superficie referida a 500 m y el l3mite superior de la capa de m3nimo **OD** (profundidad), realiz3ndose las respectivas cartas y su posterior an3lisis.

Con respecto a la metodolog3a de c3lculo de estas estructuras verticales (eg. capa de mezcla, termoclina, y capa de m3nimo **OD**) el criterio a utilizar fue el siguiente:

- Capa de mezcla: Se considera como espesor de la capa de mezcla, la profundidad de la capa de agua superficial que presente una diferencia menor a 0,1 $^{\circ}\text{C}$, 0,1 psu y 0,1 Kg/m^3 con los datos correspondientes observados en el primer metro de la columna de agua. Los datos de observaci3n de esta variable fueron los datos de CTD.

- Termoclina: Se define como termoclina la capa de agua que present3 una variaci3n de temperatura mayor o igual a 0,1 $^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Los c3lculos de gradiente para la definici3n de termoclina y el valor de gradiente m3ximo se obtuvo por diferencia de temperatura entre dos niveles consecutivos (cada un metro). El valor de gradiente promedio se obtuvo de los gradientes metro a metro que se registraron en la termoclina.



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

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

$$\rho = \rho_o + AS + Bs^{3/2} + Cs^2$$

(Densidad del agua de mar (ρ) y densidad del agua pura (ρ_o) en kg/m^3 , Temperatura (t) en $^{\circ}\text{C}$, Salinidad (s) en psu)

Donde:

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

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

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

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



Para señalar la densidad se utilizará la denominación σ_t (sigma-t). Un valor sigma-t expresa para 1 cm³ el número de miligramos que sobrepasa la unidad.

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

Se obtuvo para los cruceros aquellos valores de anomalía vertical de temperatura y salinidad a lo largo de la transecta de bahía Moreno (23°40'S), Punta Lobos (21°00'S) y Arica (18°25'S), con los que se realizaron gráficos de distribución de anomalía estacional. 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. La metodología aplicada en la obtención de los promedios verticales de estas transectas corresponde a la indicada por Blanco *et al.* (2001).

Para el nivel superficial se presentan valores de anomalía estacional de temperatura, salinidad, como también a nivel subsuperficial que corresponde al de profundidad de la isoterma de 15°C. Estos valores fueron obtenidos de los promedios mensuales (Reynolds, 1982; Blanco, 1996; Rojas y Silva, 1996) y que fueron actualizados por IFOP durante la ejecución del proyecto FIP N° 2001-01 "Monitoreo de las Condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2001", según la metodología indicada por Blanco *et al.* (2001).

Para el análisis estacional de las masas de agua se confeccionaron diagramas T-S para todas las transectas. Se calculó el porcentaje de participación de las masas (PPM) de agua: Subtropical, Subantártica y Ecuatorial subsuperficial. Los PPM de las estaciones de cada transecta se obtuvieron mediante el método del triángulo de mezcla (Mamayev, 1975) y se representaron en forma gráfica como secciones verticales. Los valores de los pares T-S de las aguas tipo, utilizados en los triángulos de mezcla se muestran en la **Tabla 5**.



Con los datos de viento horario obtenidos durante la ejecución de cada crucero se elaboró una carta de intensidad y dirección, las cuales se utilizaron principalmente en la interpretación de los datos oceanográficos superficiales. Lo anterior permite discutir la posible asociación de anomalías térmicas superficiales con procesos generados por el viento, justificando así los valores de anomalía encontrados.

Los vientos horario medidos durante la navegación fueron corregidos en forma vectorial, restándose el efecto de navegación de la embarcación de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Vr = Vm - Vb$$

Donde:

Vr : Vector del viento real

Vm : Vector del viento medido durante la navegación

Vb : Vector del viento relativo producido por la navegación del buque

Con la información de viento horario se calculó también el índice de surgencia (**IS**) instantáneo (Bakun 1973, 1975 y 1987) y a partir de estos se obtuvo el IS promedio de las observaciones realizadas hasta las 30 mn de la costa, cada 1° de latitud. El IS promedio fue representado por flechas en una carta de la zona, indicando en forma proporcional la magnitud del transporte y la dirección de éste.

El Índice de surgencia instantáneo se expresa como transporte Ekman hacia el Oeste (M_x) por la siguiente ecuación:

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

Donde:

M_x : Transporte de masa hacia el oeste

T_y : Coacción del viento sobre la superficie en la dirección norte-sur

f : Parámetro de Coriolis



Siendo:

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

Donde en (2):

- ω : Velocidad angular de la tierra
 l : Latitud del lugar

A su vez, de la ecuaci3n 1:

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

Donde en (3):

- r_a : Densidad del aire (1,25 Kg/m³).
 C_d : Coeficiente de arrastre (0,0013 sin dimensiones).
 V : Componente norte sur de la velocidad del viento.
 $/W/$: Magnitud de la velocidad del viento.

El valor de C_d (coeficiente de arrastre) que se utiliz3 en los c3lculos fue igual a 0,0013 de acuerdo a Bakun y Parrish, (1982).



Con la información de viento horario registrado durante la navegación 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, 1982). Con la información de los datos individuales de IT se obtuvo un valor de IT promedio costero e IT promedio oceánico, tomando en el primer caso los registros de viento entre la costa y las 30 mn, y para los oceánicos desde las 30 hasta las 100 mn, dentro de un grado de latitud. Los valores promedio fueron graficados como barras sobre una carta que muestra la zona de estudio.

La información meteorológica obtenida en cada una de las estaciones bio-oceanográficas será remitida al CENDOC a fin de mantener actualizada la base de datos meteorológica del país.

La determinación de la “condición de normalidad”, se realizó considerando los valores de anomalías de las variables temperatura, salinidad, profundidad de la isoterma de 15°C, y su respectiva desviación estándar. En términos generales, la aparición de condiciones anómalas para la zona y período de estudio, está dada por valores de 1 desviación estándar respecto del promedio histórico en cada variable, discutiéndose la causa de la anomalía registrada (**Anexo 1**). Los promedios históricos de temperatura, salinidad y profundidad de la isoterma de 15°C 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. Las condiciones subsuperficiales son discutidas también respecto de las condiciones superficiales, los posibles procesos que están o se desarrollaron en la zona y en comparación con cruceros anteriores efectuados en el mismo período.

Respecto a la clorofila-**a**, una vez cuantificadas las muestras, la información fue codificada, digitada y geo-referenciada por profundidad de origen. Esta información permitió confeccionar cartas de distribución vertical para todas las transectas, además de las cartas superficiales. Los resultados de clorofila-**a** y de los productos



de degradación o feopigmentos se expresan en $\mu\text{g/L}$. La concentración de los feopigmentos (**feop**) fue analizada solamente como un índice relativo de la degradación de la biomasa fitoplanctónica activa.

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

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

Donde:

i : Son las profundidades de muestreo discretas definidas en el punto **1.2**

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

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

Este cálculo expresa la clorofila-**a** de toda la columna en unidades de área (mg/m^2), lo que permite representar adecuadamente los máximos sub-superficiales de la biomasa fitoplanctónica, los que pueden ser subestimados si se considera sólo la clorofila superficial. Esta información se entrega en cartas de distribución tanto para la clorofila integrada como para los feopigmentos integrados.

Con las mediciones del disco Secchi se calculó la profundidad del 1% de la luz incidente, considerada como la profundidad de la capa fótica.



Con el propósito de modelar la relación entre variables oceanográficas con la clorofila-*a* y la clorofila integrada, se utilizó un modelo lineal generalizado (GLM), el cual permite identificar que variables contribuyen a explicar en forma significativa la variabilidad en la clorofila-*a*. El GLM es un método estadístico, similar al de regresión clásica, pero con supuestos distribucionales más generales (McCullagh y Nelder, 1989).

Las variables de respuesta fueron la clorofila-*a* ($\mu\text{g/L}$), clorofila total ($\mu\text{g/L}$) y clorofila integrada (mg/m^2), las cuales se modelaron como función de las covariables oceanográficas capa fótica y capa de mezcla; fluorescencia in vivo; y máximo gradiente y espesor de la termoclina respectivamente, además de un factor temporal en ambos modelos que representa los distintos períodos de muestreo con niveles dados por las estaciones de invierno, primavera y verano. Este último factor permite comparar las relaciones en un contexto intra anual.

Para la selección de variables en el modelo se utilizó el método paso a paso, empleando como criterio de selección el índice de información de Akaike (**AIC**; Sakamoto *et al.*, 1986). Éste se basa en la minimización de la distancia Kullback-Leibler entre la distribución de la variable de respuesta bajo el modelo reducido y bajo el modelo completo, y el criterio consiste en seleccionar aquel modelo con el menor valor de **AIC**.

Las variables respuesta fueron modeladas asumiendo una distribución de probabilidad log-normal, contrastando la hipótesis con la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1974).

Con el objeto de validar las cartas de clorofila satelital, éstas fueron contrastadas con datos recolectados in situ. El modelo que mejor representó la relación correspondió a un modelo lineal del tipo: $Y = \alpha + \beta X$



Finalmente, con el propósito de comparar si los niveles de concentración de clorofila-a difieren considerando dos tipos de filtros, se realizó un modelamiento factorial de análisis de varianza (Glantz *et al.*, 1990). Esta técnica permite modelar una variable de respuesta en función a un determinado conjunto de factores y sus interacciones, de tal forma de evaluar estadísticamente el efecto sobre la variable de interés.

La variable de interés, clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), se modeló como función de tres factores y sus interacciones, uno temporal denominado crucero con dos niveles, septiembre – diciembre; profundidad, categorizada en tres niveles de 0 a 5 m, 10 a 30 m y 50 a 100 m; y según tipo de filtro, 0,2 y 0,7 $\mu\text{g/L}$.

4.2 Monitoreo oceanográfico satelital

4.2.1 Distribución espacial y temporal de la temperatura superficial del mar (TSM) satelital.

Para el análisis de la estructura térmica superficial entre Arica y Antofagasta, se recibieron y procesaron 75 imágenes satelitales de alta resolución de la temperatura superficial del mar (**TSM**), provenientes del radiómetro de alta resolución (AVHRR) a bordo de los satélites NOAA. Dichas imágenes corresponden al período agosto 2006 – junio 2007. Las Imágenes de TSM satelital señaladas, comprometidas e incorporadas en los boletines mensuales e informes de avance, se entregan en el **Anexo 2**.

Las cartas satélites son matrices de datos que fueron corregidas atmosféricamente y posteriormente geo-referenciadas, para finalmente obtener los valores de **TSM**. Cabe destacar que la disponibilidad de imágenes de **TSM** esta condicionada por la nubosidad presente en el área de estudio, ya que la forma de registro del sensor (pasiva) no es capaz de hacer mediciones a través de las nubes. En base a las



imágenes satelitales calibradas y geo-referenciadas disponibles para el período de estudio y, con el propósito de minimizar el efecto de las nubes, se elaboró una imagen promedio por crucero de la siguiente manera:

- Reclasificación (si es necesario) la imagen de TSM satelital diaria del día i .
- Confeccionar imagen máscara del día i (MAS_i), a la cual se le asigna valores ceros (pixeles contaminados por nubes) y unos (celdas sin presencia de nubes).
- Multiplicar las cartas generadas en los puntos anteriores, con el fin de eliminar los pixeles contaminados, generando la imagen diaria de TSM no contaminada (TSM_i).

Luego, la carta promedio de la TSM-NOAA (TSMS) fue calculada de la siguiente manera:

$$TSMS = \frac{\sum_{n=1}^i TSM_i}{\sum_{n=1}^i MAS_i}$$

donde:

TSM_i = imagen diaria de TSM no contaminada por nubes (i desde 1 a 7 dependiendo del número de cartas diarias que se posea en una semana).

MAS_i = imagen máscara de la TSM diaria (compuesta por valores “ceros” y “unos”).

De la misma manera, y en base a imágenes semanales, se generaron cartas satelitales mensuales de la siguiente forma:

$$TSMm = \frac{\sum_{n=1}^s TSMS_s}{\sum_{n=1}^s MAS_s}$$



donde:

$TSMs_s$: imagen semanal de TSM no contaminada por nubes (n desde 1 a 4 o 5 dependiendo del número de cartas semanales).

MAS_s : imagen mascara de la TSM semanal (compuesta por “ceros” y “unos”).

Dicha metodología es también conocida como “promedios ponderados” ha sido utilizada con éxito en diferentes trabajos como Braun *et al.* (2005b), Silva *et al.* (2003) y Barría *et al.* (2001), entre otros.

Por otro lado, imágenes diarias de temperatura superficial del mar (**TSM**) de la zona norte de Chile (18° - 32° S) y desde la costa hasta los 74° S fueron obtenidas de acuerdo a la metodología ya señalada y comprenden el período desde el 02/01/2006 hasta el 05/06/2007, generando un total de 511 imágenes satelitales de **TSM**. Estas imágenes diarias fueron agrupadas en promedio semanales de manera de evitar la nubosidad existente en la zona de estudio y producir imágenes con una mayor cobertura espacial de los datos, que las imágenes diarias, generando un total de 75 imágenes semanales. Luego, se generan los polígonos de 10, 20 y 30 millas náuticas fuera de la costa que definen una zona costera y los de 70, 80 y 90 millas náuticas para una zona oceánica mediante la proyección de la línea de costa. Con la información satelital contenida en los polígonos se estudió la variabilidad latitud-tiempo de la **TSM** mediante el promedio de los tres polígonos que cubren el área costera y los tres que cubren el área oceánica (**Fig. 2**). A los perfiles costeros y oceánicos resultantes se les aplicó un filtro digital medio de dos dimensiones, mediante el cálculo de una correlación bidimensional. Con lo anterior, se generaron diagramas Hovmoller (latitud-tiempo) y se realizó un análisis multitemporal de las cartas satelitales, para estudiar el dinamismo temporal de la zona de estudio y evaluar la superficie afectada por los fenómenos. Para lo anterior se estimaron las



áreas de las isotermas con el fin de caracterizar e identificar sectores que tengan las mismas características oceanográficas.

Además se utilizó información de las capturas diarias de anchoveta para el año 2006, provenientes de la flota industrial que operó en la zona norte de Chile, de manera de visualizar los períodos ambiente-tiempo en que ocurre la pesca y que intensidad presentan dichos periodos. De la misma forma, se estudió la variabilidad latitud-tiempo de las capturas de anchoveta para los diferentes perfiles proyectados en el área costera durante el año 2006.

4.2.2 Distribución espacial y temporal de la clorofila superficial del mar satelital

Se recibieron y procesaron 28 imágenes satelitales de alta resolución de la clorofila (**cloas**). La información diaria de concentración de clorofila fue obtenida del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo de los satélites Terra (EOS AM) y del Aqua (EOS PM), los que son producidos y distribuidos por OCDPS (Ocean Color Data Processing System) del centro espacial aéreo Goddard de la NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). Dichas imágenes corresponden al período agosto 2006 – junio 2007.

Estos datos representan una imagen de dos dimensiones en una proyección cilíndrica equidistante, con una resolución espacial aproximada de 1,8 km y una cobertura de toda la zona de estudio. Las imágenes satelitales son procesadas y analizadas mediante el Sistema de Análisis de Datos SeaWIFS, (SeaDAS, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/seadas/>), el cual permite el procesamiento, análisis, visualización y control de calidad para los datos de color del océano.

Al igual que las imágenes de **TSM** satelital, la disponibilidad de imágenes de clorofila también es condicionada por la nubosidad existente en la zona de estudio, ya que la forma de registro del sensor no realiza mediciones a través de las nubes. Las imágenes de clorofila satelital fueron contrastadas con mediciones *in situ*, a



objeto de calibrarlas. Las imágenes de clorofila serán procesadas de la misma manera que las imágenes de **TSM**.

Adicional a lo anterior, se obtuvo imágenes diarias de **cloas** de la zona norte de Chile (18° - 32° S) que abarcan desde la costa hasta los 74° S, en el período desde el 02/01/2006 hasta el 05/06/2007, generando un total de 511 imágenes satelitales. A estas imágenes se les realizó el mismo procedimiento para el análisis latitud tiempo (**Fig. 2**) descrito para la TSM en la sección 4.1.4. Se generaron diagramas Hovmoller (latitud-tiempo) y se realizó un análisis multitemporal de las cartas satelitales, para estudiar el dinamismo temporal de la zona de estudio y evaluar la superficie afectada por los fenómenos.

4.2.3 Imágenes satelitales de viento superficial y de corriente geostrófica superficial

Datos diarios del campo vectorial superficial del viento del océano fueron obtenidos del satélite QuickSCAT Nivel 3, estos datos son recibidos, procesados y distribuidos por el Jet Propulsión Laboratory SeaWinds Project (<http://winds.jpl.nasa.gov/missions/quikscat/>). Este sensor remoto mide velocidad y dirección del viento cercano a la superficie sobre los océanos. Estos datos están actualmente disponibles en HDF (Hierarchical Data Format) y existen desde julio de 1999 a la fecha. Un total de 490 imágenes diarias fueron utilizadas en la caracterización del régimen de vientos presente en el área de estudio que cubre el período 02/01/2006 hasta el 07/05/2007. Para cada imagen satelital se extrajeron los dos valores más próximos a la línea de costa por cada latitud en que hay información (**Fig. 3**), estos valores fueron promediados para luego estimar el transporte de Ekman o índice de surgencia instantáneo (Bakun 1973, 1975 y 1987) para cada punto desde la dirección norte al sur.

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 óptima y tomando en cuenta los errores a lo largo de la longitud de onda (Ducet *et al.*, 2000). La combinación de diferentes satélites proporciona mapas más realistas mejorando la descripción de la variabilidad de mesoescala del océano. Se procesaron un total de 340 imágenes satelitales diarias desde 04/01/2006 hasta el 17/04/2007 del campo vectorial de corrientes geostróficas, para cada imagen diaria se extrajo la componente zonal y meridional para cada estación de muestreo oceánica, la que corresponde al píxel más cercano a la costa (**Fig. 4**). De esta manera se generaron gráficas temporales para cada componente de manera de identificar algún patrón temporal en que domina una corriente en una dirección norte-sur o en una dirección este-oeste. Cabe señalar que este tipo de producto satelital, al igual que las imágenes del viento tiene poco alcance espacial sobre la distribución de la anchoveta en la zona norte, donde este recurso presenta una marcada distribución costera con el 82% de la captura registrada en el año 2006 se distribuyó dentro de las primeras 20 millas de la costa (Martinez *et al.*, 2006).

En el **Anexo 2** se entrega información adicional de cartas de circulación geostrófica que corresponde a una imagen mensual las cuales fueron comprometidas en los boletines de este proyecto para el periodo de estudio.

4.2.4 Índices ambientales

Los índices temporales de la variabilidad en la estructura espacial de la temperatura superficial del mar fueron derivados de los resultados de aplicar las Funciones Ortogonales Empíricas (**FOE**) o también conocido como Análisis de Componentes Principales (**ACP**). Este método encuentra los patrones espaciales de variabilidad, su variación temporal y da una medida de la importancia de cada patrón (Bjornsson & Venegas, 1997; Venegas, 2001; Hannachi, 2004). El análisis de las **FOE** se define



como un número reducido de funciones que explican gran parte de la varianza contenida dentro de los datos. En aplicaciones oceanográficas, un conjunto de datos en función del tiempo y el espacio son descompuestos en funciones separadas de tiempo y espacio (Cole & McGlade, 1998; Cole, 1999; Yáñez *et al.*, 2001; Polovina & Howell, 2005).

Los datos semanales de **TSM** fueron interpolados a una menor resolución espacial (9 km.) de manera de facilitar el cálculo matricial. Luego se genera una matriz F donde cada vector fila corresponde a un mapa redimensionado y cada columna a una unidad temporal, luego fue estandarizada removiendo el valor medio para cada serie. Posteriormente, se calcula la matriz de covarianza, generando una nueva matriz $R = F^t F$, y se resuelve el problema de los valores propios dado por,

$$RC = C\Delta$$

donde Δ es la matriz diagonal que contiene los valores propios de R , λ_i . Los vectores columnas c_i de C son los vectores propios de R correspondiente a los valores propios de λ_i . Para cada valor propio λ_i escogido, podemos encontrar el correspondiente vector propio c_i . Cada uno de esos vectores propios puede ser referido como un mapa. Esos vectores propios son los FOE que estábamos buscando. Así, el FOE₁ es el vector propio asociado con el más grande valor propio, y segundo FOE₂ es el segundo más grande valor propio, y así sucesivamente. Cada valor propio λ_i da una medida de fracción de la varianza total en R explicada por el modo. La matriz de vectores propios C tiene la siguiente propiedad:

$$C^t C = CC^t = I$$

donde I es la matriz identidad. Esto significa que los **FOE** están no correlacionados en el espacio, o mejor dicho, que los vectores propios son



ortogonales entre si, de aqu3 el nombre de Funciones Ortogonales Emp3ricas. El patr3n obtenido cuando un **FOE** es graficado como un mapa, representa una oscilaci3n permanente. El tiempo de evoluci3n de un **FOE** muestra como este patr3n oscila en el tiempo. Para ver como el FOE_1 se desarrolla en el tiempo, se puede calcular:

$$\vec{a}_1 = F \vec{c}_1$$

El componente n del vector \vec{a}_1 son las proyecciones del mapa en F del FOE_1 , y el vector es una serie de tiempo para la evoluci3n del FOE_1 . En general, para cada FOE_j calculado, es posible encontrar el correspondiente \vec{a}_j . Estos son los *componentes principales de la serie de tiempo* o los *coeficientes de expansi3n* de los **FOE**. Como los **FOE** no est3n correlacionados en el espacio, los coeficientes de expansi3n no est3n correlacionados en el tiempo tambi3n (Bjornsson & Venegas, 1997). Esta metodolog3a permite separar la influencia espacial de la surgencia costera, la zona oce3nica y El Ni3o, sobre los campos de temperatura superficial del mar. Adem3s, puede ser ocupado para clasificar y cuantificar la variabilidad de la estructura del sistema de acuerdo a la evoluci3n de su estructura espacial a trav3s del tiempo, ayudando a identificar y monitorear caracter3sticas ambientales que pueden ser un factor importante en los procesos biol3gicos que se desarrollan en la zona de estudio y en el desempe3o de la pesquer3a con un desfase temporal marcado (Cole & McGlade, 1998).

4.2.5 Relaci3n ambiente-recurso

De la misma manera propuesta por Cole (1999), los componentes principales que explican la m3xima variabilidad de la estructura del sistema fueron analizados y contrastados con las series temporales pesqueras provenientes de la flota industrial que oper3 en la zona norte de Chile durante el per3odo 2006. De esta manera, se identificaron per3odos temporales en que las condiciones oceanogr3ficas son



favorables para el desempeño de la pesca y aquellas condiciones que son desfavorables. Se emplearon herramientas estadísticas de correlación, para evaluar el grado de relación que muestran las variables antes señaladas.

Se promedió temporalmente el transporte de Ekman entre enero de 2006 y abril de 2007, a objeto de determinar la distribución latitudinal del transporte perpendicular a la costa y observar diferencias en este sentido. Paralelamente, las capturas de anchoveta fueron sumadas de tal manera de generar una distribución de la captura promedio semanal acumulada por latitud en el período enero a diciembre de 2006, con la finalidad de observar diferencias latitudinales que se puedan asociar al transporte de Ekman, que es un índice de la surgencia en la zona. La captura de la anchoveta promedio semanal acumulada incorpora la variabilidad espacial y temporal de la pesquería ya que considera períodos de pesca intensos y vedas dentro de las primeras 30 mn desde la costa.

4.3 Objetivo específico 2.2

“Describir y analizar la distribución de abundancia estacional del ictioplancton, incluyendo huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa en la zona de estudio, y su relación con las condiciones oceanográficas”

4.3.1 Calibración de medidores de flujo -TSK

Los medidores de flujo utilizados durante la ejecución del proyecto, se calibraron remolcándolos a lo largo de una distancia conocida de agua, a distintas velocidades, registrando en forma separada el número de revoluciones para cada prueba. Las velocidades de calibración, debieron incluir valores lo suficientemente lentos como para definir el punto de fricción de cada aparato y lo suficientemente altos, como para alcanzar el rango de velocidades a las que el flujómetro debía ser sometido durante la ejecución de los cruceros *in situ* y de las estaciones costeras mensuales de vigilancia. El número de revoluciones por segundo y metros por



segundo registrados para cada lance, fueron analizados mediante una regresi3n lineal simple, siendo luego graficados los metros por revoluci3n en funci3n de las revoluciones por segundo.

Los fluj3metros utilizados durante los cruceros estacionales de monitoreo fueron calibrados en las bahías de Valparaíso y Coquimbo, antes del inicio de los cruceros, de acuerdo a la metodología propuesta por Smith y Richardson (1979) y metodología estandar del Instituto Nacional de Hidráulica de Chile.

Los datos del número de revoluciones por segundo y metros por segundo registrados para cada lance durante los trabajos de calibraci3n, fueron analizados mediante una regresi3n lineal simple, cuyas ecuaciones de calibraci3n fueron iguales a:

MOBIO 0609	TSK 6082	$V = 0,158 * N + 0,006$
	TSK 7029	$V = 0,156 * N + 0,005$
MOBIO 0612	TSK 6082	$V = 0,158 * N + 0,006$
	TSK 7029	$V = 0,156 * N + 0,005$
MOBIO 0703	TSK 6082	$V = 0,1458 * N + 0,1082$
	TSK 7029	$V = 0,1668 * N - 0,01980$

Donde:

V : Velocidad (m/s)

N : Número de revoluciones/segundo

4.3.2 Descripci3n de la red zooplanct3nica modelo WP-2

La red modelo WP-2 es cilindro-c3nica y posee una abertura de 57 centímetros (cm) de diámetro ($0,25 \text{ m}^2$ de área de boca) y una longitud total de 261 cm, est3 compuesta por dos secciones: la anterior de forma cilíndrica con 57 cm de diámetro y 95 cm de longitud, confeccionada con malla sintética monofilamento de 297



micras de abertura y posee dos bandas de lona de 10 cm en sus extremos anterior y posterior, destinadas a fijar la red al aro (sector anterior); y la secci3n posterior de forma c3nica con 57 cm de diámetro anterior, 11 cm de diámetro posterior y 166 cm de largo, confeccionada con malla de características similares a la secci3n cilíndrica. La red termina en una secci3n separable (copo recolector) consistente en una bolsa recolectora fabricada con malla de iguales características a la descrita para la secci3n filtrante y a la que se fija mediante una secci3n tubular de aluminio y abrazaderas metálicas.

Para la realizaci3n de los muestreos verticales estratificados, se utiliz3 una red de iguales características que la WP-2, a la cual se le adicion3 un sistema central de cierre (gatillo) que permite sellar instantáneamente la boca de la red cuando ésta cubre el estrato de profundidad predeterminado. Para tales efectos se utiliz3 un mensajero, el cual al hacer contacto con el gatillo, estrangula la red.

El área efectiva de filtraci3n de la red es de 2,996 m² y la relaci3n área filtrante/área de la boca (R) es de 6,48, presentando características adecuadas para evitar la oclusi3n de las mallas en circunstancias de pescas prolongadas o de gran densidad de plancton (Smith *et al.*, 1968).

La utilizaci3n de esta red se fundamenta en los trabajos comparativos efectuados entre las redes WP-2 y Bongo, en el marco de proyecto **FIP-IT 94-13** “Evaluaci3n hidroacústica de los stocks de sardina española, anchoveta y jurel en la zona norte, I a IV Regiones”. La comparaci3n entre ambos sistemas de muestreo se realiz3 mediante un análisis estadístico no paramétrico, utilizando para tales efectos el test de Friedman. Los resultados del análisis estadístico señalaron que no existen diferencias significativas al 95% de confianza en cuanto al número y tamaño de ejemplares capturados por una u otra red. De la misma manera, los resultados del Análisis de Varianza aplicados a los mismos grupos de datos, confirman la significativa igualdad entre la talla y el número de ejemplares de las muestras obtenidas con la red Bongo y WP-2.



4.3.3 Muestreo vertical integrado con red WP-2

Durante los cruceros *in situ* y para ambas grillas de muestreo, se realizaron pescas planctónicas a través de lances verticales con la red modelo WP-2 (UNESCO, 1968; Sameoto *et al.*, 2000), complementada su boca, con un medidor de flujo marca TSK, permitiendo cuantificar el volumen de agua filtrado en cada lance, con el fin de determinar la abundancia de huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa. El muestreo cuantitativo del zooplancton se realizó mediante arrastres verticales, desde profundidades máximas de 100 m hasta la superficie, o desde 5 m sobre el fondo, en el caso de registros batimétricos menores a la profundidad límite de muestreo. La red fue calada a una velocidad aproximada de 0,8 m/s e izada a 0,6 m/s. La profundidad real de muestreo fue corregida mediante la medición del ángulo del cable a máxima profundidad, a través de un clinómetro manual después de un período de estabilización no mayor a 40 segundos.

Durante la ejecución de los cruceros estacionales de monitoreo se efectuaron 211 estaciones zooplanctónicas, a través de la red modelo WP-2.

Durante los cruceros realizados en el año 2006, el ángulo fluctuó en septiembre entre 4° y 53° con una media igual a 19°, entre 2° y 37° con una media igual a 16° en diciembre de 2006 y entre 5° y 38° con una media de 20° en marzo de 2007.

4.3.4 Muestreo vertical estratificado con red WP-2 con sistema de cierre

Con la finalidad de determinar la dinámica espacial y batimétrica de los estadios tempranos de las especies comprometidas en el estudio y relacionar su distribución y abundancia con las condiciones oceanográficas en la capa superior, se realizaron lances verticales estratificados en las estaciones más próximas a la costa, es decir, en la franja de estaciones comprendidas entre 1 y 40 mn, en todas las transectas correspondientes a la zona Arica - Antofagasta, por ser éste, un sector donde históricamente se han registrado las mayores abundancias y frecuencias de estaciones positivas de las especies objetivo.



Este tipo de muestreo permitió definir y analizar las condiciones en las cuales se distribuyen las primeras etapas de desarrollo de los peces, examinando por ejemplo, el efecto de la concentración de oxígeno sobre la distribución vertical de las larvas de anchoveta, definiéndose el límite superior de la capa de mínima de oxígeno, factor que dependiendo de sus concentraciones generaría una barrera en la distribución vertical de las larvas de anchoveta. Al respecto, Morales *et al.*, (1996) y Braun *et al.*, (2004) encontraron que las mayores densidades larvarias de anchoveta se detectaron en los estratos comprendidos entre 0-25 y 0-50m, asociadas a la capa de mínimo de oxígeno.

El diseño de muestreo utilizado comprendió los siguientes estratos de profundidad: 10-0; 25-10 y 50-25 metros.

Mediante el muestreo estratificado, se puede caracterizar la columna de agua en el sentido de determinar el nivel de procedencia y la abundancia de huevos y larvas de peces y de la biomasa del zooplancton.

Durante la realización de cada uno de los lances planctónicos, se registró en planillas especialmente diseñadas los siguientes datos de carácter básico: código de crucero, número de estación, duración del lance, posición geográfica, tipo de red y de pesca, número de revoluciones del flujómetro, lecturas del clinómetro, cable arriado e información ambiental de carácter complementario (**Tablas 2, 3 y 4**).

4.3.5 Tratamiento de las muestras a bordo

Las muestras recolectadas con la red WP-2 fueron preservadas inmediatamente después de extraídas del copo recolector de la red con una solución de formalina al 5% en agua de mar neutralizada con tetraborato de sodio (borax), almacenándose éstas en frascos plásticos de 500 cc, de alta densidad debidamente rotulados. El proceso de fijación se realizó tan pronto como éstas fueron extraídas del colector evitando de esta manera un posible deterioro de los ejemplares capturados.



4.3.6 Sistema de muestreo horizontal continuo, CUFES

Para incrementar la cobertura espacial de la zona Arica - Antofagasta, se continuó utilizando el sistema de muestreo continuo CUFES, (Continuos Underway Fish Egg Sampler) (Checkley *et al.*, 1997), el cual permite filtrar agua en forma continua durante la navegación a una profundidad de 3 m y a una velocidad de crucero de 6,5 a 7 nudos y que se utilizó desde la costa hasta una distancia máxima de 40 mn.

Con la bomba de huevos se prospectó estacionalmente la zona de estudio, con una grilla de estaciones que comprendió un track de muestreo que abarcó la extensión latitudinal comprendida entre Arica y Antofagasta, comprometiéndola una línea paralela a la costa distante 2 mn de ella (Braun y Osses, 2000).

El número de transectas fue igual a 6. El sistema CUFES recolectó en cada una de ellas, muestras cada 2,5 mn (app. 20 minutos entre una y otra). Para efectos de validación se recolectaron además muestras pareadas CUFES-CalVET a 1, 5, 10, 20 y 40 mn. El volumen de agua filtrado por la red CalVET, fue calculado mediante metodología estándar propuesta por Smith *et al.*, (1985).

El total de muestras recolectadas con este sistema fue de 155 y 154 en septiembre y diciembre de 2006, respectivamente y de 183 en marzo de 2007. El muestreo se realizó en cada una de las transectas y cada 5 mn a lo largo de la extensión latitudinal de la zona de estudio (**Fig. 5**).

En los tres períodos estacionales y en cada una de las transectas, la bomba de huevos recolectó muestras con una tasa de flujo de bomba igual a 522 L/m ($0,522\text{m}^3/\text{L}$) en septiembre y de 531 L/m ($0,531\text{m}^3/\text{L}$) en diciembre de 2006, a una velocidad de crucero de 7 nudos. En marzo de 2007, ésta alcanzó a 550 L/m ($0,550\text{m}^3/\text{L}$).

El volumen de agua filtrado en los cruceros estacionales por la red CalVET (California Vertical Tow) en su versión doble PAIROVET, fue calculado mediante



metodologí3a propuesta por Smith *et al.*, (1985) y fue igual a $2,11 \pm 0,46\text{m}^3$, $3,45 \pm 0,26\text{m}^3$ y $3,34 \pm 0,62\text{m}^3$ y el del sistema CUFES fue igual a $1,102 \text{ m}^3$, $1,249 \text{ m}^3$ y $1,083 \text{ m}^3$ para los meses de septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007, respectivamente.

4.3.7 Procesamiento de las muestras en laboratorio y análisis de la informaci3n

4.3.7.1 Separaci3n e identificaci3n de huevos y larvas

El procesamiento de las muestras en laboratorio en tierra, contempl3 cuatro etapas:

- Extracci3n de la totalidad de los estadios tempranos de peces (huevos y larvas), de cada una de las muestras recolectadas.
- Identificaci3n taxon3mica de huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa,
- Cuantificaci3n de huevos y larvas de las especies objetivo, y finalmente,
- Enumeraci3n y agrupaci3n del resto del ictioplancton, bajo la denominaci3n de "otras especies".

La realizaci3n de estos procedimientos, consideradas sus cuatro etapas, se efectu3 mediante la utilizaci3n de lupas esterosc3picas marca Nikon y Zeiss, con aumento de 8 a 40 veces, para poder detectar entre algunos caracteres morfom3tricos, la cantidad de mi3meros de cada especie, particularmente en anchoveta y sardina, aspecto crí3tico para su correcta determinaci3n, especialmente a nivel de larvas con saco vitelino o saco vitelino recientemente reabsorvido.

La determinaci3n taxon3mica de las especies objetivo, se realiz3 mediante la ayuda de descripciones de desarrollo embrionario y otros estudios publicados por diversos investigadores utilizando de preferencia las de: Fischer, (1958); Einarsson y Rojas, (1963); Greenwodd *et al.*, (1966); Moser y Ahlstrom, (1970); Santander y Castillo, (1972); Chiechomski, (1971); Balbontín y Garret3n, (1977); P3rez, (1978); Aron,



(1980); Balbont3n y P3rez, (1980); Boltovskoy,(1981);Rojas y Mujica, (1981); Rojas *et al.*, (1983); Fahay, (1983); Orellana y Balbont3n, (1983); Santander *et al.*, (1984); Sinclair y Tremblay, (1984); Sinclair *et al.*, (1985); Matarese *et al.*, (1989) y Olivar y Fortu3o, (1991).

4.3.7.2 Estandarizaci3n de la estimaci3n de la abundancia de huevos y larvas de peces

Con el prop3sito de obtener un buen nivel de comparaci3n en el an3lisis del ictioplancton, el n3mero de huevos y larvas obtenidos en los diferentes lances y para cada uno de los cruceros *in situ*, se estandariz3 a una base com3n, en t3rminos de n3mero de huevos y larvas presentes en una unidad de 3rea est3ndar de 10 m², de acuerdo a la siguiente expresi3n:

$$C = 10 \frac{d}{w} c$$

Donde:

- C : N3mero de huevos o larvas en una unidad de 3rea de mar (10 m²)
 d : Profundidad m3xima del lance (m).
 w : Volumen de agua filtrado (m³).
 c : N3mero de huevos o larvas en la muestra.

El valor " d " se obtiene de los datos del lance por medio de la ecuaci3n:

$$d = L_o \cos \theta$$

Donde:

- L_o : Cantidad de cable arriado (m).
 $\cos \theta$: Coseno del 3ngulo registrado antes del virado de la red.



El volumen de agua filtrada "W" se calculó por la ecuación:

$$W = Q \cdot t$$

Donde:

Q : Volumen de agua filtrado por unidad de tiempo (m^3/seg).

t : Tiempo empleado en el arrastre (seg).

El valor de " Q " se calcula de la ecuación:

$$Q = V \cdot A$$

Donde:

V : Velocidad de arrastre de la red expresada en m/seg.

A : Área de la boca de la red (m^2).

La velocidad se obtiene a partir de un ajuste de la curva de calibración del medidor de flujo:

$$V = a \cdot N + b$$

Donde:

N : Número de revoluciones por segundo.

a y b : Constantes

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

La constancia se calculó estableciendo la relación porcentual existente entre el número de muestras en que se encontraron huevos o larvas de cada una de las



especies y el total de muestras recolectadas. La dominancia numérica se determinó de la relación porcentual entre el número de huevos y/o larvas de las especies, respecto al total de especímenes recolectados.

El error del estimado de la abundancia del ictioplancton de las especies objetivo del proyecto, fue calculado de acuerdo a las siguientes relaciones.

Estimación de la densidad de huevos y/o larvas por estaciones positivas

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

n : Es el número de estaciones positivas

y_i : El número de huevos y/o larvas en la estación positiva i ;

y : 1, 2, ... n

Estimación de la varianza del estimador \bar{y}

Fue calculada por:

$$\hat{V}[\bar{y}] = \left[\frac{1}{n} \right] \frac{1}{n-1} \left\{ \sum y_i^2 - n\bar{y}^2 \right\}$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{y}} = \sqrt{\hat{V}[\bar{y}]}$$

Una medida de la eficiencia de la estimación, fue dada en términos del coeficiente de variación, entregado por:

$$CV[\bar{y}] = \frac{\hat{\sigma}_{\bar{y}}}{\bar{y}}$$



Para efectos comparativos y adem1s de la estimaci3n cl1sica de la densidad promedio de huevos y larvas, se incorpor3 la estimaci3n de estos par1metros mediante la distribuci3n Log-normal, conocida como distribuci3n delta (Pennington, 1986), de acuerdo a:

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 : Cantidad de estaciones (observaciones) positivas

n : Total de estaciones

\bar{y} : Media de la variable transformada a logaritmo natural

$G_m(r)$: 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 : Varianza de la variable transformada a logaritmo.

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



La varianza de la densidad media estimada viene dada por:

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

Para la confección de mapas de distribución y abundancia de huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa y asignación de categorías de densidad para la biomasa zooplanctónica, se utilizó la escala geométrica de Frontier (1966) modificada y el software SURFER 8.0.

Para efectos de establecer una comparación interanual se utilizó la serie histórica estandarizada del ictioplancton de invierno, primavera y verano de las especies objetivo para el período 1983/2006, obtenida para la zona Antofagasta - Arica, desde la costa hasta una distancia máxima de 100 mn hacia el oeste.

4.3.7.3 Estimación del índice de abundancia larval

Para el cálculo del índice de abundancia larval de sardina y anchoveta, el cual entrega información respecto de la intensidad y extensión del desove, se utilizó la metodología propuesta por Smith y Richardson (1979).

Si se asimila el diseño de un crucero cualquiera a un muestreo aleatorio simple, entonces el índice de larvas (L) y su varianza se puede estimar como:

$$L = A (p \cdot c)$$

$$\text{var}(L) = A^2 \text{var}(\bar{c})$$

Siendo:

L : Índice de larvas

A : Factor areal



- p : Proporción de estaciones positivas a larvas
 c : Número promedio de larvas de las estaciones positivas
 N : Número de estaciones

La varianza de la captura promedio por lance es:

$$\text{var}(\bar{c}) = \left(\frac{A - N}{A} \right) \frac{s^2}{N}$$

La varianza de la muestra se calcula a través de toda la muestra, incluyendo estaciones positivas y negativas, mediante (Cochran, 1977):

$$s^2 = \frac{1}{N - 1} \sum_{i=1}^N (c_i - \bar{c})^2$$

Donde:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^N c_i}{N}$$

La razón de hacerlo a través de toda la muestra, es porque no se conoce con exactitud el número total de áreas de 10 m² presentes en la zona de estudio con registros positivos.

El promedio sobre todas las estaciones resulta de multiplicar la proporción de estaciones positivas, por el promedio sobre las mismas estaciones, es decir:

$$\bar{c} = P \cdot \bar{c}^+ = \left(\frac{N^+}{N} \right) \left(\frac{\sum_{i=1}^{N^+} c_i}{N^+} \right)$$

Luego, el índice de larvas (L) se puede expresar como:



$$L = A \cdot \bar{c}$$

Intervalos de confianza al 95% se pueden obtener mediante:

$$L \pm 1.96 \sqrt{\text{var}(L)}$$

En ocasiones también es importante conocer la varianza de $\ln L$, la que se obtiene mediante:

$$\text{var}(\ln L) = \ln(CV^2(L) + 1)$$

El estimador de varianza propuesto corresponde a la varianza de un estimador del total para una subpoblación de acuerdo a Cochran, (1977).

Los resultados de aplicar el procedimiento descrito a los datos de los cruceros estacionales de ictioplancton que ha realizado IFOP durante 1993-2006, se entregan en figuras y son comparados entre cruceros y estacionalmente.

4.3.7.4 Estimación de la abundancia y distribución de la biomasa zooplanctónica en el área de estudio

La biomasa zooplanctónica fue medida para estimar los bio-volúmenes tanto de las muestras recolectadas a través de las pescas integradas como estratificadas.

La determinación del volumen del zooplancton se realizó con posterioridad a la extracción de los estadíos tempranos de peces, a objeto de evitar posibles daños a los huevos y larvas de anchoveta, sadina, jurel y caballa, que pudieran dificultar su identificación y/o clasificación. Para la medición de los bio-volúmenes se utilizó el método volumétrico de desplazamiento de volúmenes húmedos (Postel *et al.*, 2000). El volumen se determinó dos veces para cada una de las muestras y el resultado correspondió al promedio de ambas determinaciones. Se excluyeron solamente de las mediciones aquellos organismos cuyo volumen excedió los 5 ml.



La abundancia relativa de la biomasa zooplanctónica se calculó mediante la ecuación:

$$Y = 1.000 \left(\frac{X}{W} \right)$$

Donde:

Y : ml de zooplancton por 1.000 m³

X : ml de zooplancton

W : volumen de agua filtrada por la red (m³)

El resultado se expresará en mililitros de plancton húmedo en 1000m³ de agua de mar filtrada (ml/1000m³).

4.3.8 Relaciones entre la distribución de huevos y larvas de las especies objetivo y las variables oceanográficas

Para explorar las asociaciones entre la distribución y abundancia del ictioplancton en relación a las condiciones oceanográficas, se utilizó la información de temperatura superficial (°C) y salinidad (psu) obtenida a través del CTD durante las estaciones bio-oceanográficas. Adicionalmente, se calcularon los gradientes térmicos de pixeles vecinos para relacionarlos con la distribución y abundancia del ictioplancton.

A partir de dicha información se elaboró para cada variable, archivos vectoriales compatibles con los SIG, confeccionándose cartografías de cada una de ellas a objeto de realizar una descripción espacio temporal. Para ello se utilizó como herramientas de trabajo los sistemas de información geográfica IDRISI (Eastman, 1997) y TNTmips (Microimages, 1997). Con estos sistemas y para realizar una descripción espacial y temporal de las variables ictioplanctónicas y oceanográficas, se generaron cartografías para cada variable, lo anterior con el propósito de



superponer las distintas variables ambientales y biológicas, para encontrar relaciones espaciales y temporales.

Para proceder con esto, previamente se realizó la georeferenciación de la costa, desde las cartas náuticas electrónicas (CNE) del SHOA, mediante la técnica de Control de Puntos (Butler *et al.*, 1990). Luego se confeccionaron los archivos de vectores bases en formato SIG, los que contemplan, la georreferencia con sus respectivos datos. Posteriormente cada variable fue interpolada.

4.3.8.1 Análisis integrado

Para el análisis integrado de las variables físicas y biológicas, se utilizó como plataforma de trabajo los Sistemas de Información Geográfica, con el fin de detectar una posible relación entre ellas, para lo cual se calculó la señal latitudinal respecto de la TSM satelital y del gradiente térmico.

Para realizar lo anterior y con el objeto de relacionar y superponer las distintas cartografías, es indispensable que los mapas tengan una idéntica escala espacial, de tal forma que las cartografías posean una misma resolución y cobertura geográfica. Lo anterior, significa generar imágenes en rasters que tengan similar cantidad de filas y columnas, esto se realizó mediante el módulo RESAMPLE del SIG. De esta manera se confeccionaron imágenes en rasters de 80 columnas (sentido longitudinal) y 120 filas (sentido latitudinal).

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 TNTmips: 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.



a) Relaciones entre la distribución del ictioplancton y las variables oceanográficas.

Para el análisis integrado de las variables se usó como plataforma de trabajo el SIG IDRISI. Con dicho SIG y para detectar la posible asociación entre la distribución de los huevos y larvas de peces y los parámetros ambientales, se emplearon tres enfoques: a) se realizó un análisis de la relación ambiente-recurso, considerando las capturas de anchoveta, b) se efectuó un estudio espacial y visual de la información realizando la cartografía de las variables, c) se estableció una relación funcional entre la distribución de los estadios tempranos de peces y el gradiente térmico y d).se realizó un modelamiento estadístico.

Para realizar el análisis integrado en la relación ambiente-recurso, se utilizó la metodología propuesta por Cole (1999), así los componentes principales que explican la máxima variabilidad de la estructura del sistema fueron analizados y contrastados con las series temporales pesqueras provenientes de la flota industrial que operó en la zona norte de Chile durante el período 2006. De esta manera, se identificaron lapsos temporales en que las condiciones oceanográficas fueron favorables para el desempeño de la pesca y aquellas condiciones que son desfavorables. Se emplearon herramientas estadísticas de correlación para evaluar el grado de relación que muestran las variables antes señaladas. Finalmente, se analizó la variabilidad latitud-tiempo (Diagramas Hovmoller) de las capturas de anchoveta durante el período 2006.

Por otra parte, Las imágenes de TSM, procesadas y analizadas según los procedimientos descritos anteriormente, fueron contrastadas con la distribución y abundancia de los estadios tempranos de anchoveta. Además, Para establecer las relaciones entre la distribución del ictioplancton y el gradiente térmico, se efectuó un análisis a través de modelos de regresión. De esta manera, de cada uno de los pixeles se calcularon la densidad de los huevos y larvas de anchoveta, además se estimaron los diferenciales de temperatura mediante los comandos del SIG. La



prueba de la hipótesis se realizó mediante modelos de regresión múltiple “paso a paso” (stepwise), en este análisis se utilizó el programa estadístico S-PLUS. Cabe señalar que dicha metodología es similar a la propuesta por Reddy *et al.*, (1995); Yañez *et al.*, (1997) y Braun *et al.*, (2005b).

b) Modelamiento estadístico de la densidad de huevos y larvas de anchoveta, asociado a variables ambientales

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

Dado que el objetivo de este análisis se orienta a conocer la relación entre las variables oceanográficas y la distribución de huevos y larvas de anchoveta, se hizo uso de estos últimos modelos. Inicialmente se propuso el empleo de modelos lineales generalizados, pero posteriormente se optó por los modelos aditivos generalizados (GAM), atendiendo a la naturaleza no lineal de los predictores de localización y oceanográficos considerados. El GAM es un método estadístico, similar al de regresión clásica, pero con supuestos distribucionales más generales, además de no suponer linealidad en las covariables. El GAM tiene la siguiente forma general (Hastie & Tibshirani, 1990).



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

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

Las variables de interés a modelar correspondieron por una parte a la presencia de huevos o larvas y por otra, a la densidad de huevos o larvas (número $\times 10 \text{ m}^{-2}$) dada la presencia de éstos. Ambas variables fueron modeladas separadamente, como una función de variables de localización (latitud, longitud) y oceanográficas (salinidad y temperatura superficial), 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 periodo de muestreo. Este predictor, fue el año, para el análisis histórico de los cruceros realizados en invierno y el mes para el análisis de los cruceros realizados en diciembre de 2006 y marzo de 2007. Este último factor permite conocer la tendencia del índice, en un contexto histórico, para la probabilidad media de éxito (presencia) y para la densidad de huevos y larvas dada su presencia.

La variable de respuesta, presencia de huevos o larvas, fue modelada considerando una distribución de probabilidad binomial con una función de enlace logit, sobre esta base se realizaron los ajustes y se probó además el método alternativo de estimación robusto, el cual se selecciono basado en el criterio de C_p de Mallows (Neter *et al.*, 1990).



En el caso de la variable densidad de huevos o larvas, para la modelación se supuso una distribuciones de probabilidad log-normal, la cual fue contrastada mediante la prueba de bondad de ajuste de Shapiro-Wilk (Jurecková & Picek, 2006). Para la densidad de larvas, la hipótesis distribucional de la respuesta no fue rechazada ($p > 0,05$, **Tabla 6, Fig. 6b y d**), mientras que para la densidad de huevos el valor del estadístico se encuentra entorno a la región de rechazo ($p = 0.04$, **Tabla 6**), por lo cual es necesario incorporar mayores criterios de justificación para resolver acerca de la hipótesis planteada. Dado que las gráficas de histograma de los valores observados y densidad teórica, junto al de distribución acumulada empírica y teórica (**Fig. 6a y c**), no muestran desviaciones importantes de la lognormalidad, se considera para la densidad de huevos ésta distribución.

Por lo tanto, el modelo utilizado considera el logaritmo de la densidad de huevos o larvas como respuesta, con distribución normal y función de enlace identidad. Los ajustes empleados además del clásico fueron cuasi-verosimilitud y robusto, seleccionándose sobre la base del criterio de C_p de Mallows, un ajuste robusto tanto para huevos como para larvas.

4.4 Objetivo específico 2.3

“Caracterizar los recursos pelágicos presentes en la zona de estudio, mediante índices de abundancia relativa y de cobertura geográfica, en relación a las condiciones bio-oceanográficas”

Los recursos pelágicos en la zona de estudio fueron caracterizados mediante Índices de abundancia relativa y de cobertura geográfica, obtenido desde una prospección acústica realizada sobre el track diseñado para el muestreo oceanográfico físico y biológico.

Desde esta prospección acústica se obtuvo un indicador de la distribución y otro de la densidad de los recursos para cada crucero, se efectuó un análisis comparativo



histórico con los datos disponibles. De este modo se buscaron posibles patrones estacionales y asociaciones con las condiciones oceanográficas descritas.

Por otra parte, se estudiaron las condiciones oceanográficas de los recursos a una escala menor y en forma cuantitativa, relacionando en cada observación acústica su distribución con la respectiva condición oceanográfica.

4.4.1 Muestreo acústico

El diseño de muestreo aplicado asume aleatoriedad de la distribución de los recursos pelágicos, con respecto a la posición de las transectas (Shotton y Bazigos, 1984; Francis, 1984 y Simmonds *et al.*, 1991), lo que se ajusta adecuadamente a la característica de los recursos objetivo del proyecto.

La prospección acústica se realizó sobre la grilla de muestreo diseñado para la componente oceanográfica física y biológica, mediante transectas perpendiculares a la costa y paralelas entre sí, sistemáticamente distribuidas con una separación de 80 mn, cubriéndose el área de estudio con un total de 5 y 12 transectas en los meses de septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007, respectivamente. La prospección acústica se realizó en forma continua durante la navegación, discretizándose la información en Intervalos Básicos de Muestreo (**I.B.M.**). Se prospectó hasta los 300 m de profundidad, eointegrándose los registros desde la superficie hasta los 300 metros.

4.4.2 Calibración electroacústica

El procedimiento de calibración electroacústica del sistema de eointegración SIMRAD EK 500 consiste en un proceso iterativo, en que se miden las señales de la intensidad de blanco (**TS**) y eointegración (**Sa**), provenientes de un blanco de referencia conocido ubicado en el centro del haz acústico, los que deben converger hacia el valor teórico del blanco de referencia (Foote *et al.*, 1987).



Para este fin se utilizaron blancos estándar de cobre diseñados para las frecuencias de 38 KHz, según las recomendaciones del grupo de trabajo de acústica del ICES y por el fabricante (Foote *et al.*, op cit). De acuerdo a este método es posible alcanzar un nivel de precisión de $\pm 0,5$ dB, siendo aceptable con ± 1 dB.

Los controles de los equipos durante la calibración deben ser iguales que los utilizados durante la prospección, por lo tanto ante eventuales cambios en estos controles, es necesario realizar las mediciones con las diferentes alternativas ó repetir la medición.

Las mediciones correspondientes se realizaron al inicio de cada crucero. El buque se fondeó con dos anclas una por la proa y la otra por la popa (“barbas de gato”).

Con el objeto de minimizar el movimiento de la esfera en el proceso de calibración, ésta se ubicó en el haz acústico mediante tres líneas de nailon monofilamento, utilizándose carretes de cañas de pescar para variar y controlar la ubicación del blanco en el haz.

El procedimiento de medición del TS consiste en medir las ganancias del transductor, ajustándose según:

$$G_1 = G_0 + \frac{TS_m - TS_b}{2}$$

Donde:

G_1 : Nueva ganancia del transductor

G_0 : Ganancia antigua

TS_m : Intensidad de blanco medida (dB)

TS_b : Intensidad de blanco teórico (dB)

Para ajustar los parámetros de las lecturas del econtegrador (S_a) se aplicó el siguiente procedimiento:



$$G_I = G_0 + \frac{10 \log \frac{Sa_{(m)}}{Sa_{(t)}}}{2}$$

Siendo:

$$Sa_{(t)} = \frac{4\pi r_0^2 \sigma_{bs} (1852)^2}{\psi r^2}$$

Donde:

S_{bs} : Sección dispersante de la esfera (dB).

r : Profundidad de la esfera (m).

r_0 : Profundidad de referencia (1 m).

ψ : Ángulo equivalente del haz acústico (dB).

$Sa_{(t)}$: Salida teórica del econtegrador.

$Sa_{(m)}$: Salida medida del econtegrador.

4.4.3 Identificación de especies

La identificación de especies fue realizada mediante la aplicación del método acústico (Guzmán *et al.*, 1983), que considera el análisis de la forma geométrica de los cardúmenes y su relación con la señal acústica, según la siguiente formulación:

$$S_v = \frac{CIV^2}{LD}$$

Donde:

S_v : Coeficiente volumétrico de dispersión de la agregación ó cardúmen.

CI : Constante de calibración electrónica del equipo. En el caso del EK 500 está incluida en la salida calibrada del econtegrador.

L : Longitud de la agregación (m)

D : Altura media de la señal remitida por la agregación (m).

V^2 : Voltaje al cuadrado, equivalente a la lectura del econtegrador.



La información acústica empleada corresponde a la relación entre las características geométricas de los cardúmenes (largo, alto, forma), medidas en el ecograma, respecto a la señal acústica remitida, medida en el ecointegrador (voltaje), ambas mediciones se combinan y se determina el factor denominado “coeficiente volumétrico de dispersión o S_V ” que presenta rangos claramente diferenciables entre sardina española, jurel y anchoveta. Los valores típicos de este índice son $-31,9$ dB para sardina española; $-42,1$ dB para jurel y -36 dB para anchoveta.

La información del comportamiento específico como apoyo a la identificación, corresponde a la ubicación en la columna de agua y a la formación de los cardúmenes ó agregaciones determinados desde el ecograma. La anchoveta se localiza preferentemente en los primeros 30 m de profundidad, mientras que el jurel puede alcanzar mayores profundidades. La anchoveta, se agrega en cardúmenes o agregaciones de forma circular u ovaloides con bordes bien definidos y durante la noche, presenta estratos superficiales con densidades variables, este patrón es especialmente frecuente en peces juveniles. Las profundidades de estas agregaciones nocturnas varían según el grado de luminosidad de la noche, provocada por la presencia y fase lunar. El jurel registra agregaciones de menor densidad que la anchoveta y la sardina española, con bordes menos definidos y más extensos, pudiendo presentar estratos extensos y dispersos alcanzando profundidades superiores a los 100 m según la hora del día.

Este procedimiento, con algunas adecuaciones particulares, es aplicado rutinariamente en los estudios de evaluación acústica, siendo actualmente uno de los temas de investigación de mayor importancia en países líderes en el desarrollo tecnológico de la hidroacústica, como Noruega, Francia y Reino Unido, también se han desarrollado opciones relacionadas con la utilización de equipos acústicos que operen con multifrecuencias.

El procedimiento aplicado en la zona norte de Chile, es más efectivo cuando los cardúmenes son monoespecíficos. Al respecto es posible mencionar la existencia de



algunos grados de mezcla entre especies en algunas etapas de desarrollo, puesto que se ha observado que básicamente los cardúmenes son de carácter monoespecífico agrupados en rangos similares de tallas, por este motivo en los estadios juveniles es posible encontrar algunos grados de mezcla entre la anchoveta y la sardina española, siendo casi inexistente la mezcla con jurel, puesto que esta especie desarrolla sus estadios juveniles en sectores más oceánicos.

No obstante lo anterior, las características actuales del ecosistema pelágico de la zona norte, donde la anchoveta es la especie dominante prácticamente todo el año, son una ventaja para la identificación de las especies en las prospecciones acústicas, facilitando enormemente esta tarea. Se debe tener presente, que la sardina española prácticamente ha desaparecido de la zona norte y difícilmente se han encontrado cardúmenes de esta especie en estado adulto mezclados con anchoveta.

4.4.4 Procesamiento de la información acústica

El procesamiento básico de los datos se realizó mediante los programas Echoview®, y SIMBAD (Espejo y Castillo, 1997). Los datos a ingresar a la base de datos requerida por el SIMBAD son las lecturas acústicas por cada I.B.M. separados por especie, las profundidades máximas y mínimas de la agregación, la posición geográfica de cada I.B.M., fecha, número y rumbo de la transecta. Además se ingresa la información de las variables oceanográficas temperatura (°C) y salinidad (ups) por estación. A partir de esta información, se obtuvieron las cartas de distribución geográfica y vertical de los recursos.

4.4.5 Distribución de los recursos

La información por Intervalo Básico de Muestreo (**I.B.M.**) acústico de 0,5 mn, separada por especie, es presentada en mapas de distribución espacial, utilizando una escala de densidad (t/mn^2), determinada por la siguiente expresión: $75 * 2^{(n-1)}$, donde n representa el nivel de la categoría, siendo $0 < n \leq 4$ (**Tabla 7**).



Los mapas de distribución espacial se confeccionaron realizando una interpolación según el método de la distancia inversa al cuadrado entre las I.B.M's y transectas cercanas, trazando líneas de isodensidad según las categorías señaladas en la **Tabla 7**, utilizando el programa SURFER 8.0.

En el sentido vertical, la distribución del recurso se presenta en secciones verticales correspondientes a la longitud total de las transectas.

4.4.6 Índices de cobertura y abundancia relativa

El índice de cobertura (IC) indica el porcentaje del área ocupada efectivamente por la especie, dando una idea acerca del grado de agregación presentado por la especie en el momento de la prospección, su cálculo fue realizado según:

$$IC = \frac{k}{z} 100$$

La abundancia relativa de los recursos se determinó con el índice de densidad (I.D.), que indica el grado de concentración de ellos en aquellas observaciones acústicas que detectaron la presencia de estos. El procedimiento de cálculo es:

$$ID = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{S_{aij} C_e}{k}$$

Donde:

k : Número de observaciones acústicas con presencia de recurso.

z : Número total de observaciones acústicas en el crucero.

S_{aij} : Lecturas acústicas en la i -ésima I.B.M de la j -ésima transecta.

C_e : Factor de ecointegración ($[t mn^{-2}] S a^{-1}$), obtenido en base a un TS_{kg} de -32,5 dB kg^{-1} .

IC : Índice de cobertura (%).

ID : Índice de densidad en $t mn^{-2}$.



El TS_{kg} , corresponde a la señal acústica remitida por un kg de pez, se mide en dB/kg y se determina para cada especie en particular en experiencias *in situ*.

El TS_{kg} se determina según el peso de las tallas medias presentes en las capturas de la flota, según:

$$TS_{kg} = TS - 10 \text{ Log } (P)$$

Siendo:

TS : Intensidad de blanco (dB) evaluado a la talla media de las capturas.

P : Peso a la talla (kg)

En el caso de la anchoveta se aplica la relación $TS = 20 \text{ Log } L - 73,3$ determinada por Castillo *et al.* (2001) y que corresponde a una compilación de una serie de experiencias realizadas en proyectos financiados por el FIP. En el caso de jurel y caballa, se utiliza la relación $TS = 20 \text{ Log } L - 68,67$ (Córdova *et al.*, 1997; Lillo *et al.*, 1996).

4.4.7 Relación entre las variables oceanográficas físicas y los recursos

En cada crucero se realizó un análisis descriptivo entre las variables oceanográficas físicas, temperatura (°C) y salinidad (ups) y los recursos, mediante histogramas con la frecuencia de los cardúmenes (%). Determinándose para cada crucero *in situ* los límites máximos, mínimos y promedio de las variables oceanográficas y de profundidad que limitan la distribución de los recursos. Estos datos fueron contrastados con la serie histórica disponible, para establecer niveles de diferencia o semejanza de acuerdo a las características globales del período.

De este modo, para cada crucero, se analizó la densidad acústica de jurel y anchoveta por Intervalo Básico de Muestreo (**I.B.M.**) respecto a las variables



oceanográficas temperatura y salinidad, por ser estos recursos los más frecuentes y abundantes en el ecosistema pelágico de la zona norte de Chile.

Las variables oceanográficas fueron obtenidas desde estaciones discretas ubicadas a 1, 5, 10, 20, 40, 70 y 100 mn de la costa, en profundidades estándar, las que fueron interpoladas en el sentido horizontal y vertical a cada IBM acústico, este procedimiento fue realizado mediante el programa SIMBAD (Espejo y Castillo, 1997). De este modo, se determinó a la profundidad media de distribución del recurso, el correspondiente valor de las variables oceanográficas.

4.5 Objetivo específico 2.4

“Desarrollar una serie de tiempo de frecuencia mensual de las variables señaladas en los objetivos específicos 2.1 y 2.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras dentro de la zona de estudio”

Las estaciones costeras de vigilancia localizadas a 2 mn al oeste de los puertos de Arica, Iquique y Mejillones, fueron monitoreadas durante 11 meses, es decir, desde agosto de 2006 a junio de 2007. De este total, tres muestreos fueron efectuados a bordo del B/C “Abate Molina”, durante los cruceros de septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007, y los 8 restantes, a bordo de embarcaciones pesqueras de CORPESCA.

En la realización de las estaciones mensuales se recolectaron muestras de plancton, clorofila-*a* y se obtuvieron datos de temperatura, salinidad y oxígeno de acuerdo al siguiente procedimiento:

Para la ocupación de las estaciones costeras se realizaron previamente las reuniones que año a año se efectúan, a objeto de planificar y coordinar los protocolos a seguir de acuerdo a una metodología estandarizada entre IFOP y CORPESCA.



Los muestreos efectuados por CORPESCA se realizaron los primeros d3as de cada mes, a bordo de una panga equipada con el material necesario para efectuar las recolecciones *in situ*.

4.5.1 Variables oceanogr3ficas

Las variables temperatura y salinidad se midieron en forma cont3nua hasta un m3ximo de 50 m, mediante el uso de un CTD marca APPLIED MICROSYSTEM modelo CTDPLUS V2. Los muestreos discretos de temperatura, salinidad, ox3geno disuelto (**OD**) y clorofila-**a** (**cloa**) se realizaron en los niveles est3ndar de 0, 5, 10, 20, 30, 50 m.

En los laboratorios de IFOP - Iquique se realizaron los an3lisis conducentes a la obtenci3n de la concentraci3n de ox3geno disuelto (**OD**) de las muestras recolectadas en terreno, lo que se hizo en un per3odo de tiempo inferior a las 24 horas desde la toma de la muestra. El m3todo de muestreo y an3lisis de **OD** corresponde al de Winkler modificado por Carpenter (1965).

El control de calidad de los datos de CTD se realiz3 con informaci3n de temperatura medida con term3metros de inversi3n y de an3lisis de muestras de agua para salinidad, ambas del nivel m3s profundo que en general fue de 50 m.

Los datos de temperatura y el resultado de los an3lisis de salinidad y ox3geno, se graficaron como serie de tiempo con profundidad, incorporando la serie obtenida desde mayo de 1997 a la fecha.

Con respecto a su procesamiento, se utiliz3 la misma rutina descrita para las estaciones de los cruceros *in situ* (ver 4.1.5).



4.5.2 Variables biológicas

4.5.2.1 Clorofila-a

Debido a que la plataforma de trabajo mensual fueron embarcaciones pesqueras, se utilizó para el muestreo, un sistema de filtrado manual con jeringa y portafiltro (Swinnex) de 25 mm de diámetro. El volumen de filtrado se mantuvo en 50 mL, utilizando para esto una probeta plástica. Las muestras fueron almacenadas a bordo en nitrógeno líquido, separadas en envases criogénicos con la finalidad de mantenerlas a la menor temperatura posible, hasta el momento de su análisis en el laboratorio en tierra.

El procesamiento de estas muestras fue similar al descrito anteriormente para los cruceros *in situ* señalado en los puntos 4.1.2. Los datos superficiales e integrados de las estaciones fijas, fueron agregados a las cartas de distribución superficial e integrada de la biomasa fitoplanctónica del crucero correspondiente. El análisis de las muestras se realizó en los laboratorios de IFOP - Valparaíso.

Los datos de temperatura, salinidad, contenido de oxígeno disuelto y clorofila-a, fueron ingresados a la base de datos, analizándose en base a series de tiempo con la variable profundidad.

Respecto a los datos de penetración de la luz, las series de tiempo de esta variable - representada a través de la profundidad que alcanza el 1% de la luz incidente en superficie - sólo se pueden correlacionar limitadamente con los demás parámetros tomados en las mismas estaciones costeras, debido a que algunas mediciones fueron hechas de noche durante los cruceros, lo que agrega discontinuidades a las series y las cuales son imposibles de interpolar. Por esta misma razón, los datos de crucero no son comparables con las series de penetración de la luz en las estaciones fijas. Adicional a lo anterior, la serie



costera tiene un distanciamiento espacial y temporal demasiado extenso respecto de los cruceros.

De acuerdo a lo anterior, se preparó una serie de tiempo de las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones, con los datos del período agosto 2006 a junio 2007 de las variables TSM, salinidad superficial, profundidad de la isoterma de 15°C, clorofila integrada, clorofila superficial, profundidad de la isolínea de 1 mL/L de oxígeno disuelto y profundidad del 1% de penetración de la luz.

4.5.2.2 Plancton

Se recolectaron muestras planctónicas a través del mismo procedimiento descrito en el objetivo 4.2, mediante arrastres verticales integrados y estratificados, utilizando la misma metodología para ambos sistemas de recolecta. El procesamiento de las muestras recolectadas y su respectivo análisis se realizó siguiendo la rutina descrita para las muestras obtenidas durante los cruceros *in situ*.

De cada muestra recolectada, se separaron, identificaron y cuantificaron los huevos y larvas de peces, provenientes del muestreo integrado (0-50 m) y de los distintos intervalos de profundidad muestreados (0-10, 10-25 y 25-50 metros), información que fue comparada con los registros históricos. Posteriormente, se estimó la biomasa zooplanctónica a través de método volumétrico.

La determinación del volumen del zooplancton para toda la columna de agua (0-50 m) y para los tres niveles de profundidad considerados, se efectuó con posterioridad a la extracción de los estadíos tempranos de peces, realizándose la misma metodología y análisis señalado en el punto **4.2.7.4**.

La abundancia relativa del zooplancton fue estandarizada y expresada como número de individuos presentes en 1.000 m³ de agua de mar filtrada.



El equipo de trabajo que realizó esta actividad corresponde a la tripulación de un barco pesquero y dos técnicos de CORPESCA. La tripulación bajo la supervisión de CORPESCA, efectuó la recolecta de las muestras en cada estación fija, las que una vez desembarcadas, fueron remitidas a los laboratorios centrales de IFOP en Valparaíso, para sus respectivos análisis.



VIII. RESULTADOS

A. Objetivo específico 2.1

“Describir y analizar el patrón estacional de temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, clorofila-a y penetración de la luz, en la zona de estudio, en la estructura vertical de 0 a 200 metros”

5. Condiciones oceanográficas

5.1 Vientos

Los vientos medidos en el crucero de septiembre 2006 (**Fig. 7a**) estuvieron en un rango entre 0 y los 14 m/s. De un total de 351 mediciones horarias, un 40% de ellas estuvieron bajo los 5 m/s, manteniéndose el mismo porcentaje si se considera sólo el área Arica -Antofagasta. El sector costero tuvo vientos de menor intensidad en relación a aquellos del sector oceánico, mientras que en un sentido norte-sur, las intensidades son variables, presentándose sectores en forma alternada con mayores intensidades. Los sectores de menores intensidades fueron desde Arica a Pisagua, Antofagasta a punta Ballenita y frente a punta Farellones. Las áreas de mayor intensidad se localizaron frente a punta Chipana, y de Chañaral a bahía Salada. Los sectores que registraron viento con componente norte estuvieron restringidos a la costa, preferentemente frente a punta Madrid y el área que va de bahía Salada a Huasco. Comparativamente, los vientos de la mitad norte de la zona (Arica- Rada Papos) fueron menos intensos que los de la mitad sur, aún cuando los porcentajes de viento débil son similares (39%). El porcentaje de vientos con componente del tercer y cuarto cuadrante, es decir con componente favorable a la surgencia, fue del 90%. El **IS** (**Fig. 7b**) máximo fue de 1773 m³/s por 1000 m de costa (en adelante sólo m³/s), y corresponde al promedio de **IS** entre las latitudes de 21° y 22°S, mientras que el menor fue de sólo 1 m³/s entre los paralelos 24° y 25°S. Entre los 29° y 30°S los registros de vientos fueron solamente del sector oceánico. No hubo **IS** negativos. Los índices de turbulencia promedio (**IT**) (**Fig. 7c**)



son mayores en el sector oceánico respecto a los del sector costero, a excepción de las transectas realizadas frente a Iquique y caleta Chipana. El máximo **IT** costero fue de $570 \text{ m}^3/\text{s}^3$ y el mínimo fue de sólo $1 \text{ m}^3/\text{s}^3$. En el sector oceánico los **IT** fueron de $1217 \text{ m}^3/\text{s}^3$ el máximo y de $32 \text{ m}^3/\text{s}^3$ el mínimo, con un promedio general de $379 \text{ m}^3/\text{s}^3$.

En el crucero de diciembre, sólo Arica a bahía Moreno, se realizaron 196 mediciones (**Fig. 8a**). El 79% registró una intensidad menor a 5 m/s, mientras que el 21% restante fluctuó entre 5 y 9 m/s. Respecto a la dirección del viento, predominaron aquellas del tercer y cuarto cuadrante, con un 88% de las mediciones. Los vientos con intensidades menores a 5 m/s se distribuyeron en toda la zona de estudio, tanto en el área costera como oceánica. Las más bajas velocidades del viento se registraron en los sectores costeros entre Arica y Tocopilla (22°S). Los vientos con intensidad igual o mayor a 5 m/s se registraron también distribuidos en toda la zona de estudio, no obstante en las secciones de punta Junín y Arica estos registros fueron menos frecuentes. Las mayores intensidades (sobre los 5 m/s) y mayor frecuencia de éstas se detectaron en las primeras 70 mn de la sección de punta Lobos y en los sectores de 100 mn entre bahía Moreno y punta Copaca y entre Arica y punta Madrid (19°S). El **IS** promedio, calculado para el área costera de las primeras 30 mn (**Fig. 8b**) tuvo un máximo de $802 \text{ m}^3/\text{s}$ para el área entre los 20° y 21°S , seguido por la medición de $464 \text{ m}^3/\text{s}$ que abarcó la latitud siguiente. Los valores intermedios estuvieron cercanos los $250 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que el mínimo de $102 \text{ m}^3/\text{s}$ correspondió a las mediciones entre los 23° y 24°S . El **IT** (**Fig. 8c**) en la franja costera fue de $188 \text{ m}^3/\text{s}^3$ entre los 20° y 21°S , valor seguido de $117 \text{ m}^3/\text{s}^3$ entre los 21° y 22°S de latitud. En el sector oceánico el **IT** promedio máximo de 179 se ubicó entre los 22° y 23°S .

Durante el crucero de marzo 2007 se realizaron 192 mediciones de viento (**Fig. 9a**), de los cuales el 76% de los datos indica una intensidad menor a 5 m/s, mientras que el restante 34% es viento de intensidad entre 5 y 8,6 m/s. Las mayores



intensidades relativas se ubicaron en el sector oceánico, principalmente entre Arica y caleta Chipana, mientras que más al sur las intensidades fueron similares y bajas, menores a 5 m/s. Toda la zona se caracterizó por registrar un amplio predominio de viento con componente sur (80% de los registros), presentándose la mayoría de los vientos con componente norte en la sección de bahía Moreno. El **IS (Fig. 9b)** tuvo un rango de 129 a 525 m³/s, ubicándose estos valores promedios en el extremo sur y norte, respectivamente. El **IT (Fig. 9c)** registró en el sector oceánico un rango de 35 a 224 m³/s³, mientras que en el sector costero estos fueron de 35 a 109 m³/s³. Las turbulencias fueron mayores en el sector oceánico, excepto entre las latitudes de 22° y 23°S en donde las costeras son mayores, y entre los 23° y 24°S, que es donde ambas turbulencias fueron similares.

5.2 Temperatura superficial del mar

En el crucero de Septiembre 2006, la temperatura superficial del mar (**TSM (Fig. 10a, Tabla 8)**) registró un rango de variación entre 11,6°C y 18,6°C, midiéndose el mínimo térmico en la estación de la milla en la transecta de Maitencillo de Coquimbo y el máximo en la estación de 40 mn frente a Arica. Se observaron bajos gradientes térmicos en la franja costera, localizándose los principales entre Arica e Iquique y de Huasco a Pichidangui, con cerca de 1,5°C de variación en las primeras 30 mn. Los focos de temperaturas mayores a 18°C se localizaron aisladamente en el sector oceánico hacia el extremo norte de la zona, abarcando un área reducida. Las **TSM > 17°C** se ubicaron hasta la latitud de Tocopilla (22°S), tras lo cual esta variable disminuyó gradualmente hasta valores > 14°C ubicados en el sector oceánico del borde sur de la zona de estudio.

La **TSM** en la zona de estudio (**Fig. 10b**) en diciembre registró un rango total de variación entre 15,14°C y 23,10°C (**Tabla 8**), localizándose el mínimo térmico en la costa, a 1 mn frente a punta Gualaguala (22°46'S), y el máximo en la estación de 20 mn frente a punta Junín (19°40'S). La distribución de TSM superficial indica que los mayores valores relativos (mayor a 21°C) se ubicaron formando un foco cálido



que se extendió en el sector oceánico entre Arica y Tocopilla, con un foco de menor tamaño de TSM mayores a 22°C entre las 20 mn frente a punta Junín hasta las 70 mn frente a punta Lobos (21°S). A lo largo de la franja costera se encuentran desarrollados frentes térmicos que llegan hasta las 20 mn de la costa, los que son más intensos desde caleta Chipana ($21^{\circ}20'\text{S}$) al sur.

La **TSM** en marzo 2007 (**Fig. 10c, Tabla 8**) registró un rango de valores entre $16,18^{\circ}$ y $24,8^{\circ}\text{C}$. El mínimo se midió en la estación de la milla frente a punta Junín, mientras que el máximo en la estación de 70 mn frente a Arica. Un área amplia del sector oceánico tuvo temperaturas mayores a 23°C , extendiéndose la isoterma de este valor hasta la latitud $21^{\circ}30'\text{S}$ y en sentido latitudinal (este-oeste) ésta alcanza una ubicación más cercana a la costa (20 mn) en los $19^{\circ}40'\text{S}$ (sección de punta Junín). Se observan gradientes térmicos desarrollados a lo largo de la costa, exceptuando el sector entre punta Arenas a punta Copaca. Los gradientes térmicos señalados alcanzan una mayor extensión hacia el oeste frente a punta Madrid (19°S) y en punta Cobija ($22^{\circ}30'\text{S}$).

5.3 Anomalía de Temperatura superficial del mar

El rango de valores de las anomalías de TSM para el crucero de septiembre (**Fig. 11a, Tabla 8**) fue de $-1,8^{\circ}\text{C}$, como valor máximo negativo ubicado en la costa de punta Camarones, a $+2,1^{\circ}\text{C}$ a 10 mn frente a punta Copaca (T9). No obstante este amplio rango, las anomalías en el área oceánica fueron en general positivas, no superando el valor de $+1^{\circ}\text{C}$. Sólo en algunos focos aislados y de pequeño tamaño, se presentaron anomalías superiores a los $+1^{\circ}\text{C}$, las que se localizaron frente a Arica, Iquique, Tocopilla y Antofagasta. Los únicos focos de anomalías negativas, se ubicaron en el sector costero comprendido entre Arica y punta Lobos y en el sector oceánico central frente a rada Paposo, los cuales también en general no superaron el valor de -1°C .

En diciembre, la anomalía (**Fig. 11b, Tabla 8**) registró un predominio de valores entre -1 y $+1^{\circ}\text{C}$. Se destacan sólo tres áreas con valores significativos positivos mayores a



+1°: la primera a 20 mn frente a punta Junín, con un foco localizado de anomalías que superan hasta +3°C; la segunda área ubicada en el sector oceánico de las 100 mn entre punta Copaca y bahía Moreno; y el tercero se extiende con valores mayores a +1°C, también a lo largo de la sección de bahía Moreno hasta las 70 mn.

En marzo el rango fue de -3,4° a +3,4°C (**Fig. 11c, Tabla 8**). A pesar de los valores extremos señalados, la desviación de TSM respecto al promedio muestra en el sector oceánico un amplio predominio de anomalías en el rango +1° a -1°C, destacándose algunos focos de anomalías negativas o positivas mayores, pero que son de tamaño reducido y que están originados por una sola estación. Tal es el caso de la anomalía positiva que llega hasta +3° en las 20 mn frente a punta Junín y del foco de anomalías negativas mayores a 2°C en las 40 mn frente a punta Copaca.

5.4 Salinidad

En la variable salinidad superficial (**SSM**) (**Fig. 12a, Tabla 8**), se destacó en septiembre de 2006 un núcleo de altas salinidades (> 35,0 psu) en el sector oceánico entre Arica y punta Lobos. Hacia el sur se ubicó entre Antofagasta y bahía de Copiapó un área oceánica de mayor gradiente salino con valores entre 34,4 a 34,7 psu. Hacia el sur de los 30°S se registraron las menores salinidades relativas, < a 34,2 psu. El rango total de valores en superficie para la zona fue de 33,9 psu, medido en el sector oceánico frente a Pichidangui, a 35,1 psu medido a 100 mn de punta Junín. En el área costera entre Arica y punta Chipana se observó un leve gradiente superficial de **SSM** en sentido este-oeste, como también en caleta Inglesa y entre caleta Maitencillo de Coquimbo y Pichidangui. Entre bahía de Coquimbo y bahía Salada, las isohalinas se ubicaron hacia la costa en forma diagonal, formando el ya señalado sector oceánico que exhibió el mayor gradiente superficial de toda la zona prospectada.

En diciembre hubo un rango total de 34,6 a 35,3 psu (**Fig. 12b, Tabla 8**). Salinidad mayor a 35 psu se asoció a la misma área en que se observaron TSM mayores a



21°C. Los máximos valores de SSM se registraron hacia el sector noroeste de la zona, ubicándose el máximo en las 100 mn frente a Arica. La menor salinidad del período de estudio se registró a 20 mn frente a bahía Moreno. En la franja costera, las menores SSM se registraron desde Tocopilla al sur, correspondientes a salinidades menores a 34,8 psu, mientras los máximos en esta misma franja se ubicaron frente a punta Camarones y punta Junín, con registros mayores a 35,0 psu. Cerca de la costa se destaca la presencia de dos focos pequeños con valores de SSM mayores a 35,2 psu en punta Junín e Iquique, ambos a 20 mn de la línea costera.

La **SSM (Fig. 12c, Tabla 8)** registró en marzo de 2007 un rango de valores entre 34,5 a 35,3 psu. La mínima se midió en la estación de 2 mn frente a punta caleta Errázuriz y el máximo en la estación de 70 mn frente a Arica. La **SSM** registró tres focos de máximos superficiales ($> 35,2$ psu) separados por un sector de menor salinidad relativa ($< 35,0$ psu). Estos focos se ubicaron en el sector oceánico sobre las 70 mn frente a Arica, punta Lobos y Antofagasta. Todo el sector costero registró bajas salinidades ($< 34,8$ psu) en relación a lo observado en el sector oceánico, sin embargo, las áreas de menor salinidad de la zona de estudio, se encontraron desde caleta Chipana hacia el sur, donde hubo focos menores a 34,6 psu.

5.5 Anomalía de Salinidad

Las anomalías de SSM en septiembre tuvieron un rango de valores entre -0,32 a +0,09 psu (**Fig. 13a, Tabla 8**). El máximo negativo se registró a 70 mn frente rada Paposó (T7) y el positivo a 40 mn frente a Iquique. Las anomalías mostraron un claro predominio de valores negativos en el sector oceánico formando tres focos de anomalías $> 0,1$ psu y que abarcaron una extensa área. Estos tres focos son: Arica a Iquique, Tocopilla a punta Hornos y de bahía Moreno al sur. En la costa, las anomalías mayores a -0,1 psu se ubicaron entre Arica e Iquique. Las anomalías positivas se ubicaron principalmente de Iquique a punta Lobos, ocupando un área mayor, y en pequeños focos en la costa frente a punta Copaca y desde Antofagasta a punta Plata.



En diciembre registró un claro predominio de valores entre -0,1 y +0,1 psu, encontrándose sólo dos focos de anomalía positiva con valores mayores a +0,1 psu (**Fig. 13b, Tabla 8**). El primero es un foco pequeño asociado a salinidades mayores a 35,2 psu frente a punta Junín y el segundo se ubica en el sector oceánico al sur de punta Copaca (22°20'S).

En marzo 2007 registró valores extremos de -0,4 psu, medido en la estación de 40 mn frente a punta Copaca, y de +0,1 psu en la estación de 100 mn frente a la península de Mejillones (23°20'S) (**Fig. 13c, Tabla 8**). Como característica general para el período, se puede indicar que se registró un amplio predominio de anomalías negativas en la zona, mayores a 0,2 psu (absoluto). Se destacaron, en este sentido, los focos de anomalías negativas que superaron los 0,3 psu. La amplia presencia de anomalías negativas en el sector oceánico sólo se vio alterada por la aparición de focos menores de anomalías positivas, tales como los presentes a 100 mn frente a punta Lobos y Antofagasta. Otros dos focos de valor positivo pero de menor área y valor, son los ubicados a 40 mn frente a Arica y a 20 mn frente a bahía Moreno. El sector costero que tiene las anomalías negativas de menor magnitud, corresponde al ubicado frente a punta Junín (0 a -0,1 psu).

5.6 Densidad superficial

La densidad del agua de mar en superficie (**Fig. 14a, Tabla 8**) en septiembre 2006 tuvo un rango total de 25,1 a 26,2 k/m³. Los mínimos de densidad en la zona se ubicaron en el sector oceánico con escasa variación en sentido norte sur, sin embargo, en sentido este-oeste se observaron gradientes costa océano a lo largo de toda la zona, los que fueron más intensos desde Huasco al sur, con gradientes comprendidos entre 25,6 y 26 k/m³ en las primeras 30 mn de la costa. El sector oceánico de mayores densidades corresponde al que va de bahía Salada a Coquimbo, con densidades de 25,5 a 25,6 k/m³, mientras que el sector costero registró los mayores valores entre caleta Inglesa y caleta Maitencillo de Coquimbo.



En diciembre registró un rango de valores entre 24,06 a 25,78 kg/m³ (**Fig. 14b, Tabla 8**), ubicándose las mayores densidades en la franja costera, formando un gradiente horizontal que se ubica en las primeras 20 mn de la costa en el área central de la zona de estudio, sin embargo, frente a punta Pinto (18°40'S), punta Arenas (21°40'S) y Mejillones (23°S), el gradiente se extiende hacia el sector oceánico al menos hasta las 40 mn. Las más bajas densidades, menores a 24,4 kg/m³, se ubican como un foco frente a Arica y desde punta Camarones (19°20'S) a punta Lobos. La presencia de estos focos se acompaña por una extensión hacia la costa de bajas densidades, como ocurre frente a Arica, punta Junin y punta Lobos, a los que se le suma lo observado en el sector de punta Copaca, donde la isolínea de 25 kg/m³ alcanzó la costa.

En marzo 2007, registró un valor mínimo de 23,4 kg/m³ en la estación de 100 mn frente a Arica y el máximo de 25.5 kg/m³ en la estación costera frente a punta Junín (**Fig. 14c, Tabla 8**). El sector costero de la zona presentó gradientes latitudinales (este-oeste), excepto en el sector entre punta Arenas a punta Copaca. Los mayores gradientes costeros se registraron entre Arica y punta Arenas, alcanzando hasta las 40 mn frente a Arica y hasta las 20 mn de Pisagua al sur. Una lengua de bajas densidades (< 23,8 kg/m³) se ubicó en el sector oceánico frente a Arica y se extendió hacia el este, hasta las 20 mn frente a punta Junín. En el sector oceánico el gradiente de densidad es en sentido longitudinal (norte –sur), pero de una variación baja en comparación con el observado en sentido latitudinal. Se destacó en el sector costero el área de más baja densidad, que es el foco de valores inferiores a 24,2 kg/m³ frente a Tocopilla y que se ubicó entre las 10 y 20 mn.

5.7 Profundidad de la isoterma de 15°C

En septiembre de 2006, la isoterma de 15°C (**I15**) (**Fig. 15a, Tabla 8**) se ubicó a una profundidad máxima de 65 m a 100 mn al oeste de rada Paposó. En general, se observó un aumento de la profundidad de esta isoterma en un sentido este a oeste, con los mayores valores en el sector oceánico. En la costa, las áreas de



mayores profundidades fueron punta Arenas, punta Copaca, punta Tres Picos y desde puerto Carrizal Bajo al sur, donde esta última área registró los máximos costeros con niveles que superaron los 30 m en caleta Inglesa. Las menores profundidades se registraron en Chañaral y punta caleta Errázuriz, con valores menores a 5 m.

La **I15** presentó en diciembre un rango de profundidad que fue desde 6 a 60 m (**Fig. 15b, Tabla 8**). La mínima profundidad se midió en la estación fija de Mejillones, mientras que la máxima fue en las estaciones de 100 y 70 mn frente a punta Madrid y punta Junín, respectivamente. Profundidades mayores a 50 m se distribuyeron formando dos lenguas en sentido diagonal que alcanzaron hasta las 20 mn de la costa frente a Pisagua e Iquique, una de ellas, y punta Copaca, la otra, respectivamente. El sector oceánico de menor profundidad de la isoterma es el área frente a punta Lobos, hasta las 70 mn, donde no se superan los 40 m, y en el extremo suroeste de la zona, al oeste de las 70 mn donde se registran valores entre 30 y 40 m.

En marzo 2007, muestra un foco de mayores profundidades en el sector oceánico frente a punta Lobos donde alcanza los 90 m y otro foco de menores valores centrado en las 100 mn frente a punta Cobija, que llega a 31 m de profundidad (**Fig. 15c, Tabla 8**). Desde el sector oceánico y hacia la costa, los valores de esta variable disminuyen hasta alcanzar niveles de 10 a 20 metros entre la costa y las 10 a 20 mn. El sector oceánico de las 100 mn frente a Arica es también un sector de niveles de profundidad de la isoterma menores, en comparación con el foco de máximas ya señalado, pues presentan entre las 70 y 100 mn profundidades de 36 a 44 m.

5.8 Anomalía de profundidad de la isoterma de 15°C

En septiembre, la anomalía de I15 (**AI15**) indica un predominio de valores negativos en la zona de estudio, es decir menos profunda que el promedio, ubicándose las



mayores anomalías en el sector oceánico con valores que superaron los -10 m desde Arica a Mejillones (**Fig. 16a, Tabla 8**). Valores de anomalía entre 0 y -10 m se localizaron en extensas áreas que ocuparon gran parte del sector costero y oceánico desde Arica a rada Paposo. Valores de anomalía positiva se encontraron en el área oceánica desde Rada Paposo al sur, con valores superiores a +10 m en el extremo sur-oeste de la zona.

La **AI15** en diciembre muestra valores que están principalmente en el rango de -10 a +10 m de profundidad (**Fig. 16b, Tabla 8**), registrándose algunos focos de valores positivos o negativos distribuidos en la zona, principalmente en el sector oceánico. En el caso de los focos negativos, éstos se asociaron a los sectores de menor profundidad de la isoterma, descritos anteriormente, alcanzando valores máximos de -20 m. Los focos positivos, que superaron los +10 m y alcanzaron un máximo de +20 m, se localizaron en los sectores más costeros, alcanzando los focos diagonales de máximas profundidades de la isoterma de 15°C. En el sector costero no se registraron anomalías que superaran los +10 o -10 m.

En marzo registran un foco de valores positivos que superan los 40 m en las 100 mn frente a punta Lobos, mientras que hacia el sur, se ubica un foco de anomalías negativas, que llega hasta los -40 m (**Fig. 16c, Tabla 8**). El foco de anomalías positivas que se localiza frente a punta Lobos y que llega hasta las 50 mn de la costa aproximadamente, es el principal observado en la zona de estudio, por lo tanto, predominan valores negativos de anomalía de distinta magnitud, destacándose hacia la costa el foco de hasta -30 m entre las 20 y 40 mn frente a punta Copaca, y valores de -10 a -20 m en gran parte del área oceánica y costera entre Arica y Punta Junín.

5.9 Circulación geostrófica superficial

La carta de circulación geostrófica superficial de septiembre indica una variada dirección e intensidad del flujo geostrófico entre Arica y los 28°S (**Fig. 17a**),



destacándose un giro anticiclónico ubicado en el sector oceánico frente a rada Paposo. En el área señalada, los flujos geostroficados fueron de dirección variable registrándose algunos hacia el sur frente a Arica, entre Iquique y Tocopilla y de rada Paposo a bahía Salada. De Huasco al sur, los flujos fueron más intensos hacia el norte y nor-oste, formándose dos áreas que indican la presencia de giros anticiclónicos. Frente a caleta Maitencillo de Coquimbo se presentó el flujo costero más intenso del período de estudio.

En diciembre se aprecia un claro predominio de flujos hacia el sur en toda la zona, principalmente en el sector oceánico (**Fig. 17b**). Algunos sectores registraron algunos pequeños giros anticiclónicos frente a punta Copaca y bahía Moreno centrados en las 20 mn de la costa, lo que provoca un débil flujo hacia el norte en el área costera entre Tocopilla y bahía Moreno. Los flujos de mayor intensidad hacia el sur se ubicaron entre las 20 y 40 mn frente a Iquique y en el sector más oceánico frente a Antofagasta, mientras que el flujo más débil en la misma dirección se midió en el sector oceánico entre Iquique y Tocopilla.

En marzo de 2007 se observa que entre la costa y las 40 mn, predomina un flujo hacia el norte, el que sería más débil en el sector costero entre Tocopilla y Mejillones (**Fig. 17c**). El sector oceánico por su parte, muestra la presencia de estructuras o flujos de mesoescala, uno entre Tocopilla y Antofagasta y al oeste de las 70 mn, y otro que parece corresponder a un giro ciclónico, que se ubicó centrado en las 100 mn frente a punta Lobos, con un diámetro aproximado de 30 mn. Ambas estructuras sugieren una importante velocidad de la corriente, debido a la proximidad de las isolíneas de flujo.

5.10 Capa de mezcla

La capa de mezcla (**CM**) en septiembre tuvo un espesor máximo de 66 m el que se registró a 100 mn de la costa frente a caleta Maitencillo de Coquimbo (**Fig. 18a, Tabla 8**). En general, la zona prospectada registró amplios focos de valores



máximos, centrándose algunos de ellos en Pisagua, punta Lobos, rada Paposos y al sur de Coquimbo. En diciembre registró un predominio de espesor entre 0 y 5 m, formándose algunos focos aislados de mayor profundidad. La máxima CM se detectó en la estación de 70 mn frente a punta Junín, el que forma un foco de valores mayores a 10 m y alcanza hasta las 100 mn (**Fig. 18b, Tabla 8**). Otro pequeño foco de valores mayores a 10 m se ubicó en la estación de 100 mn frente a bahía Moreno. En marzo 2007 registró un espesor máximo de 22 m en la estación de 70 mn frente a punta Lobos (**Fig. 18c, Tabla 8**), el que es parte de un foco oceánico de valores mayores a 10 m. Otros focos aislados de CM mayores a 10 m se ubicaron en la zona, pero comparativamente, son de menor área que el primero señalado. En el sector costero, y también en algunos sectores del área oceánica, se encuentran CM que no superan los 5 m de profundidad, como se observa frente a punta Madrid y en la península de Mejillones.

5.11 Termoclina

El espesor de la termoclina (**ET**) presentó en septiembre un valor variable entre ambos extremos de la zona, predominando los **ET** menores a 5 m al sur de Chañaral (**Fig. 19a, Tabla 8**), mientras que hacia el norte se observaron focos que superaron los 10 m, como los ubicados al norte de punta Camarones con máximos de espesores de 20 m. En diciembre el **ET** registró un rango total de 4 a 45 m (**Fig. 19b, Tabla 8**). Estos valores extremos se ubicaron a 1 mn frente a Tocopilla y a 40 mn frente a punta Junín, respectivamente. Los máximos **ET** formaron un amplio foco que se extiende con valores de 25 a 45 m entre punta Camarones a punta Lobos y entre las 10 y 40 mn de la costa aproximadamente. Otro foco de valores mayores a 20 m se ubicó centrado en la estación de las 40 mn frente a bahía Moreno. Los sectores costeros de mayor **ET** fueron Pisagua, caleta Chipana y punta Copaca. El sector oceánico de menor **ET** fue el que abarcó el área entre punta Arenas y Mejillones, el cual tuvo un espesor menor a 15 m. En marzo 2007 fue menor en el sector costero, el cual no superó los 15 m (**Fig. 19c, Tabla 8**). Hacia el sector oceánico, la termoclina registró núcleos de mayores espesores en



distintas áreas de la zona de estudio, destacándose en este sentido, los focos mayores a 30 m localizados en las 70 mn frente a punta Lobos y Arica.

El rango total de temperatura en la base de la termoclina (**TBT**) fue en septiembre de 11,7°C a 16,8°C (**Fig. 20a, Tabla 8**). El mínimo se localizó a 5 mn frente a punta Farellones, y el máximo a 20 mn frente a punta Junín. En general, las **TBT** mayores a 14°C abarcan el área de Arica a Antofagasta, encontrándose cerca de la costa focos de máximas ($> 15^{\circ}\text{C}$) frente a Pisagua y Tocopilla. Las mínimas ($< 13^{\circ}\text{C}$) ocupan gran parte del área oceánica desde bahía Salada al sur, formando una franja de valores mínimos ($< 12^{\circ}\text{C}$). La **TBT** de diciembre registró un rango total de 13,4 a 19,2°C (**Fig. 20b, Tabla 8**). El sector costero exhibió en general valores menores a 15°C, principalmente de punta Junín al sur, condición que se extendió hacia el sector oceánico entre Pisagua y caleta Chipana. En el sector oceánico se ubicaron dos amplios focos de valores de **TBT** mayores a 16°C, con el máximo en el foco más austral, en la estación de 100 mn frente a punta Cobija (22°35'S). La **TBT** de marzo 2007 registró un rango de valores entre 12,7° y de 22,11°C, con el mínimo en la estación de la milla frente a Antofagasta y el máximo a 100 mn frente a punta Lobos (**Fig. 20c, Tabla 8**). En general, la **TBT** en el sector oceánico fue de 15 a 17°C, excepto en el foco de mayores temperaturas ya señalado. En la franja que va desde la costa hasta las 40 mn, predominan los valores de temperatura entre 14° y 15°C, con algunos focos de menor valor, pero que ocuparon un área muy pequeña.

En septiembre, la profundidad base de la termoclina (**PBT**) (límite inferior) tuvo un rango de profundidad entre 9 y 94 m (**Fig. 21a, Tabla 8**). El mínimo se ubicó frente a punta Madrid a 5 mn de la costa, y el máximo a 70 mn frente a punta Farellones. Las menores **PBT** se ubicaron en la franja costera la que presentó un máximo de 30 m en la mitad norte de la zona y 40 m en la mitad sur, a excepción de rada Paposos y caleta Inglesa, donde superaron el nivel de 40 m. El sector oceánico con menores **PBT** fue aquel ubicado frente a Chañaral. El



sector donde se ubicó la máxima **PBT** presentó un foco de valores altos (> 60 m) que se extendió hacia el norte y sur. En diciembre, la **PBT** registró valores en el rango de 9 a 62 m (**Fig. 21b, Tabla 8**), midiéndose el menor en la estación de la milla frente a Tocopilla y el máximo en la estación de 40 mn frente a punta Junín. El foco de máximos valores, sobre 50 m, se ubicó cercano a la costa, centrado en las 20 mn y se extiende entre Pisagua y caleta Patillos ($20^{\circ}40'S$). En el área oceánica predominaron profundidades de la termoclina entre 30 y < 50 m, mientras que en la costa, la **PBT** se encontró a una profundidad menor a los 20. La **PBT** en marzo registró niveles por sobre los 30 m en el sector oceánico, con la presencia de algunos focos de mayor valor, de los cuales se destacó el ubicado frente a punta Lobos en las 70 mn de la costa (**Fig. 21c, Tabla 8**). El sector costero, que tuvo predominio de valores entre 20 y 30 m, muestra los mayores niveles en las estaciones de la milla de la transectas de punta Copaca, donde se superaron los 20 m.

Los gradientes promedio de la termoclina (**GPT**) de septiembre fluctuaron entre 0,1 y $0,49^{\circ}C/m$, localizándose los mínimos en la sección de punta Farellones a 10 y 70 mn de la costa y el máximo a 100 mn frente a punta Junín (**Fig. 22a, Tabla 8**). Los mayores **GPT** ($> 0,2^{\circ}C/m$) se registraron desde Antofagasta al norte. Al sur de esta localidad, predominaron ampliamente los gradientes entre 0,1 y $0,2^{\circ}C/m$. En diciembre se observó un predominio de **GPT** entre $0,2^{\circ}$ a $0,3^{\circ}C/m$ (**Fig. 22b, Tabla 8**), encontrándose algunos focos aislados que están por debajo o sobre el rango señalado. En el caso de los **GPT** que son mayores a $0,3^{\circ}C/m$, se encontraron algunos focos en el sector oceánico, cercanos al límite oeste de la zona, mientras que en la costa estuvieron en la bahía de Mejillones y bahía Moreno. En el caso de los focos de valor menor a $0,2^{\circ}C/m$, se localizó uno frente a Pisagua y otro, de mayor tamaño, en el sector central entre Tocopilla y bahía Moreno. En marzo el **GPT** (**Fig. 22c, Tabla 8**) tuvo valores entre $0,2$ a $0,4^{\circ}C/m$ en el sector oceánico, con un mayor predominio de aquellos entre $0,3$ a $0,4^{\circ}C/m$, principalmente en la mitad norte de la zona. En el sector costero se observaron dos áreas distintas, la primera



ubicada entre Arica e Iquique con valores de **GPT** menores a $0,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$, mientras que en el área que va desde punta Lobos a Mejillones, se midieron gradientes promedios mayores a $0,4^{\circ}\text{C}/\text{m}$ y que alcanzaron máximos de $0,9$ y de $0,7^{\circ}\text{C}/\text{m}$ en las estaciones de la costa, frente a punta Arenas y punta Cobija, respectivamente.

El gradiente máximo de la termoclina (**GMT**) (**Fig. 23a, Tabla 8**) en septiembre mostró una distribución de valores que son $> 0,4$ C/m desde Mejillones al norte, con máximos ($> 0,8^{\circ}\text{C}/\text{m}$) en focos frente a punta Lobos y punta Junín. El máximo **GMT** en el sector nerítico, se presentó frente a Punta Lobos con gradientes que superaron los $0,6^{\circ}\text{C}/\text{m}$. De Antofagasta al sur predominaron gradientes máximos entre $0,2$ a $0,4^{\circ}\text{C}/\text{m}$. En diciembre, los **GMT** presentaron una distribución de valores que van de $0,18^{\circ}$ a $1,7^{\circ}\text{C}$ (**Fig. 23b, Tabla 8**). El mínimo se registró en la estación de la milla frente a punta Lobos, mientras que el máximo se midió en la estación de la sección diagonal, a 50 mn frente a caleta Patillos ($20^{\circ}40'S$). El máximo señalado corresponde a un valor puntual (una estación), creando un foco muy localizado frente a caleta Patillos. Otros dos focos de máximo valor de **GMT**, mayor a $0,6^{\circ}\text{C}/\text{m}$, se localizaron en el borde noroeste y suroeste, además de los sectores costeros en la bahía de Mejillones y bahía Moreno. El foco de valores menores, inferiores a $0,4^{\circ}\text{C}/\text{m}$, abarcó el sector oceánico central entre Tocopilla y Antofagasta. En marzo 2007, el rango de **GMT** fue de $0,13^{\circ}$ a $2,6^{\circ}$ C/m (**Fig. 23c, Tabla 8**). En toda la zona, la distribución de gradientes fue variada. En el área costera desde Arica a punta Lobos, predominaron valores de gradiente bajo, menores a $0,8^{\circ}\text{C}/\text{m}$, mientras que punta Arenas y punta Gualaguala registraron los mayores gradientes que llegaron a $1,5^{\circ}$ y $2,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$, respectivamente. En el sector oceánico, predominaron gradientes entre $0,8^{\circ}$ a $1,5^{\circ}\text{C}/\text{m}$, destacándose el foco de gradientes mayores a este valor, que se ubicó en el extremo noroeste de la zona, el que alcanzó un valor máximo de $2,6^{\circ}\text{C}/\text{m}$.

La profundidad del gradiente máximo de la termoclina (**PGMT**) en septiembre 2006 tuvo una distribución similar a la registrada por la **PBT**. El rango de profundidad de



esta variable fue de 6 a 90 m (**Fig. 24a, Tabla 8**). Las mínimas profundidades se ubicaron en la franja costera entre Arica y Antofagasta con valores de hasta 20 m, los que aumentaron hasta 50 m en algunos sectores de Antofagasta al sur (rada Paposo y caleta Inglesa). Desde punta Totoralillo al sur se registró una franja costera que experimentó una rápida profundización del **GMT**, alcanzando un nivel de 60 m en el borde sur de la zona. En el sector oceánico, las mínimas profundidades se localizaron en focos que se extendieron desde el borde costero frente a las localidades de Arica, Iquique y Chañaral. Las máximas **PGMT** se localizaron hacia el sector sur de la zona, con valores mayores a 80 m frente a punta Farellones y Pichidangui. En diciembre, la **PGMT** se ubicó en un rango total de 5 a 37 m (**Fig. 24b, Tabla 8**), sin embargo la **PGMT** registró un rango predominante entre 10 y < 30 m, ubicándose las más somera en el sector costero (< 20 m). Los sectores costeros donde se midió una menor **PGMT** corresponden a aquellos situados frente a Iquique, Tocopilla y Mejillones. En marzo 2007, la **PGMT** mostró un gradiente este-oeste, con valores en el rango de 2 a 36 m (**Fig. 24c, Tabla 8**), ubicándose los mayores en el sector oceánico. Valores de profundidad menores a 10 m se ubicaron en la franja costera de las primeras 20 mn, excepto a la cuadra de punta Pinto, donde éstas son de 10 a 20 m. El sector oceánico registró algunos núcleos de pequeña área, con niveles de profundidad mayores a 30 m, sin embargo, en este sector predominaron los valores de 10 a 30 m.

5.12 Distribución superficial de OD

En septiembre de 2006, la distribución superficial de oxígeno disuelto (**OD**) presentó en el sector oceánico entre Arica y bahía Moreno, concentraciones que fluctuaron entre 5,5 y 6,4 mL/L (**Fig. 25a, Tabla 8**). Con una mayor frecuencia de valores inferiores a 6 mL/L. En el sector costero se observaron varios focos subóxicos (<5 mL/L): frente al puerto de Arica y entre punta Camarones y caleta Chipana, con valores mínimos en punta Camarones (2,5 mL/L), en Iquique (3,2 mL/L) y en punta Lobos (3,7 mL/L). Más al sur, un foco subóxico, se registró en las estaciones costeras de punta Copaca-punta Cobija (> 4 mL/L) y otro de mayor extensión desde el sector



de Mejillones hasta bahía Moreno, con un mínimo de 3,4 mL/L en la punta sur de la península. Desde rada Paposo al sur, la mayoría de las concentraciones de **OD** del sector oceánico fueron mayores a 6 mL/L. En el sector costero concentraciones subóxicas se registraron entre las transectas de caleta Inglesa y caleta Maitencillo de Coquimbo, con un mínimo de 3,8 mL/L en esta última localidad.

En diciembre de 2006, la distribución superficial **OD** presentó en el sector oceánico, concentraciones que fluctuaron entre 5,8 y 3,8 mL/L (**Fig. 25b, Tabla 8**), con una mayor frecuencia de valores mayores a 5 mL/L. Destacó en el sector de punta Junín, dos focos de bajas concentraciones (< 5 mL/L), ubicados en las 40 y 100, mn esta última con la concentración más baja del sector. Un tercer foco de bajas concentraciones se registró en las 70 mn de la transecta de punta Copaca (4,8 mL/L). En el sector costero, focos de altos valores de OD (> 6 mL/L) se observaron en los extremos de la zona de muestreo. En bahía Moreno este foco abarcó las primeras 20 mn con un máximo de 7,1 mL/L. En Arica abarcó hasta las 10 mn conteniendo un pequeño núcleo de 7,1 mL/L entre punta Pinto y punta Madrid. Bajas concentraciones (< 5 mL/L), se observaron en Iquique, en la estación costera de punta Lobos (4 mL/L) y entre punta Arenas y Mejillones. Los valores más bajos correspondieron a las estaciones de punta Arenas (3 mL/L) y punta Gualaguala (3,4 mL/L); y a la punta sur de la península de Mejillones (4 mL/L).

En marzo de 2007, el **OD** superficial presentó en la mayor parte de la zona de estudio, valores > 5 mL/L (**Fig. 25c, Tabla 8**). En el sector costero de las primeras 20 mn el rango de concentraciones estuvo entre 3,7 y 7,26 mL/L, destacando un gran foco de valores < 5 mL/L entre Arica y el sur de punta Lobos, con el mínimo valor en la estación costera de Arica. En la parte sur, desde punta Copaca a bahía Moreno, se observó un gran foco de valores > 6 mL/L, que abarcó desde la costa hasta un máximo de 50 mn.



5.13 Distribución de la profundidad de la isolínea de 1mL/L

En septiembre de 2006, la distribución de la isolínea de 1 mL/L (**Fig. 26a, Tabla 8**) entre Arica y bahía Moreno, indicó profundidades inferiores a 30 m dentro de las primeras 10 mn, donde los focos de < 20 m estuvieron desde punta Lobos al norte. La menor profundidad de este sector se registró en punta Camarones (9 m). Desde rada Paposo al sur los valores costeros fluctuaron desde 27 m a > 100 m. En el sector oceánico norte, las profundidades aumentaron a > 40 m. Las mayores profundizaciones se registraron en la estación de 40 mn frente a punta Copaca, y bahía Moreno. En la parte sur, desde rada Paposo a Pichidanguí los rangos de profundidad del sector oceánico aumentaron notablemente, > 120 m. Frente a rada Paposo se observó una profundización 125 m en las 40 mn y otra de 200 m, en las 100 mn. Estos niveles tendieron a disminuir hacia caleta Inglesa con un mínimo < 80 m en las 100 mn. Desde esta transecta al sur aumentaron los niveles de profundidad hasta alcanzar los 200 m en la estación de 100 mn frente a Pichidanguí.

En diciembre de 2006 se registraron profundidades inferiores a 20 m dentro de las primeras 10 mn de la mayor parte de la zona muestreada (**Fig. 26b, Tabla 8**). Las menores profundidades se registraron en punta Gualaguala (9 m), en la estación fija de Mejillones (11 m) y fija de Arica (12 m); y las más profundas en punta Junín y en la punta norte de la península de Mejillones, con niveles > 30 m y desde las 5 mn frente a punta Copaca, > 40 m. Hacia el sector oceánico las profundidades aumentaron a > 60 m entre Arica y bahía Moreno. Las mayores profundidades, >100 m, se registraron entre punta Lobos y la estación oceánica frente a punta Gualaguala. Focos de > 80 m se registraron en la estación de 70 mn frente a punta Junín, y en las 40 mn en punta Copaca.

En marzo de 2007 se observó un marcado gradiente longitudinal desde punta Copaca al norte, con profundidades inferiores a 20 m dentro de las primeras 10 mn (**Fig. 26c, Tabla 8**). Las menores profundidades, 9 m, se registraron al sur de Arica,



en punta Madrid y en punta Lobos, y las más profundas en punta Copaca (> 50 m) y en la península de Mejillones (> 80 m). En punta Copaca se observó un núcleo de poca profundidad en la estación de las 10 mn (30 m). Hacia el sector oceánico el gradiente este oeste presentó los menores niveles de profundidad en Arica (60 m) y los mayores (> 120 m) en las 100 m en el sector de punta Lobos y Mejillones.

5.14 Distribución vertical de temperatura

En septiembre, en la vertical (**Figs. 27 y 28**) se destacó la disminución de temperatura en superficie, en más de 4°C entre el borde norte y sur de la zona, sin embargo, a nivel subsuperficial ésta disminución térmica no es similar, al comparar un mismo nivel. En todas las secciones hubo un gradiente térmico vertical asociado a la termoclina, que fue más intenso hacia el norte de la zona y que se centró en un nivel cercano a los 70 m. A nivel subsuperficial se presentó de sur a norte un notable ensanchamiento de la capa de agua de temperaturas entre 12° y 14°C, la que abarcó de 10 a 30 m de espesor en el borde sur, pero llegó hasta más de 150 m en el borde norte. Las secciones con la mayor variación vertical de las isotermas, fueron las localizadas frente a caleta Inglesa y rada Paposos, las que tuvieron un ascenso de las isotermas en el centro de la sección. Todas las secciones mostraron un ascenso de las isotermas de los primeros 100 m en el sector costero, sin embargo, este ascenso fue más importante en las secciones del área sur, y en particular la más notable fue aquella que ocurrió en las secciones de Pichidangui a Caleta Inglesa. Se destacó una profundización de la isoterma de 12°C en más de 200 m en el sector costero de caleta Inglesa a Chañaral.

En diciembre, hubo una la presencia de una capa de fuerte variación térmica superficial que se hace más intensa hacia la costa y en dirección norte (**Fig. 29**), la que llegó en general hasta los 30 m de profundidad. Todas las transectas registraron un levantamiento de las isolíneas en el área costera de las primeras 20 mn, pero que fue variable en posición y en la pendiente de las isolíneas. De lo anterior, las que registraron un levantamiento más costero fueron aquellas de punta



Copaca y punta Lobos, mientras que las tres restantes registraron una pendiente más moderada. La sección de bahía Moreno exhibió un ascenso de las isolíneas de temperatura que ocurrió más alejado de la costa, entre las 10 y 20 mn. En las cinco transectas hubo, bajo los 100 m de profundidad, una pendiente negativa hacia la costa de aquellas isothermas que representan temperaturas menores a 14°C, y de éstas la de menor pendiente fue la sección de Arica. De las cinco secciones, se destacaron las correspondientes a punta Copaca y punta Junín, que son las que tuvieron la isoterma de 15°C más profunda, principalmente en el sector central de éstas.

En marzo, todas las secciones tienen ascensos de las isothermas hacia la superficie (**Fig. 30**), siendo las más notables aquellas de punta Copaca y punta Junín. Lo indicado ocurre desde los primeros 25 m y en general está acotado a las primeras 20 mn de la costa, excepto en la sección de bahía Moreno, en que el ascenso ocurrió entre las estaciones de 10 y 20 mn. Se destacó la presencia de gradientes térmicos localizados entre la superficie y los 25 m de profundidad en el sector costero y desde ese último nivel hasta los 50 m en el oceánico. Las secciones de bahía Moreno, punta Lobos y Arica registraron notables profundizaciones de la isoterma de 12°C la primera y de la isoterma de 13°C las dos últimas, lo que ocurrió en las primeras 20 mn de la costa, excepto en la sección de Arica, en que fue dentro de la franja de las 40 mn.

5.15 Distribución vertical de salinidad

La salinidad vertical en septiembre (**Figs. 31 y 32**) presentó al igual que la temperatura, una notable disminución de sus valores en superficie en un sentido norte –sur, disminuyendo de salinidades mayores a 35,0 psu en el borde norte a menores de 34,0 psu en el borde sur de la zona. En el borde norte, la máxima salinidad superficial ocupó una delgada capa de agua que no superó los 50 m, sin embargo las mínimas salinas superficiales en el extremo llegaron a más de 100 m de espesor. Los núcleos de máxima subsuperficial (> 34,8 y > 34,7 psu) se hicieron más delgados hacia el sur, principalmente desde la sección de rada Paposó, para



prácticamente desaparecer en la sección de Pichidangui. De punta farellones a bahía Salada se registró una división del núcleo de salinidad $> 34,7$ psu, mientras que la sección de punta Copaca registró una división del núcleo de $34,8$ psu. Las secciones de rada Paposo a punta Copaca presentaron un núcleo de mínima subsuperficial que se ubicó desde el área oceánica hasta la franja costera.

En diciembre, variados núcleos se ubicaron en profundidad (**Fig. 33**), destacándose el núcleo subsuperficial ubicado entre los 100 y 300 m con valores por sobre los $34,8$ psu, y que alcanzó valores que superaron los $34,9$ psu. Este estuvo muy desarrollado en todas las secciones, sin embargo, ocupó una mayor capa en la sección de Arica y la única sección que tuvo valores mayores a $34,9$ psu fue la sección de punta Lobos, centrado en los 125 m y desde la costa hasta al menos las 40 mn con un espesor de 200 m. El núcleo de mínima, de valores inferiores a $34,7$ psu estuvo más desarrollado en el sector oceánico y hacia las secciones al sur de la zona. En el caso de Arica, el núcleo registró valores levemente mayores ($34,7$ a $34,8$). En la mayoría de las estaciones, el núcleo de baja salinidad tuvo un mayor espesor, sin embargo, se adelgazó hacia la costa y llegó hasta ubicarse a nivel más superficial, ocasionalmente formando un núcleo de mínima más pequeño, como en las secciones de bahía Moreno, punta Copaca y punta Lobos. En el sector oceánico, el núcleo de mínima llegó sólo hasta 25 m de la superficie, en promedio. En la capa superficial, un núcleo de máxima relativa se presentó más desarrollado en la mitad norte de la zona, alcanzando salinidades que superaron los 35 psu. Este núcleo se ubicó en el sector oceánico de todas las secciones y tuvo un espesor variable de 25 a 50 m de profundidad. Los mayores espesores del núcleo, 50 m, y su alcance más costero, 10 mn, ocurrió en las secciones de punta Copaca y Junín.

En marzo 2007, la salinidad se distribuye en forma de núcleos bien definidos a lo largo de toda la zona de estudio (**Fig. 34**). En los primeros metros superficiales del sector oceánico, se destacó el núcleo de máxima salinidad, que fue más intenso hacia la transecta de Arica, con valores que superaron los $35,2$ psu y que alcanzó



los primeros 20 m de profundidad. Hacia el sur, este núcleo disminuyó su salinidad hasta un máximo de 34,9 psu y se ubicó en el extremo más oeste de la sección de bahía Moreno. El núcleo de mínima subsuperficial, con valores menores a 34,8 psu, fue más desarrollado en la sección sur, con valores mínimos de hasta 34,3 psu y con un espesor de 50 m en el sector oceánico, haciéndose más estrecho y superficial hacia la costa. En la sección de Arica, este núcleo alcanzó valores entre 34,7 a 34,8 psu. El núcleo de máxima subsuperficial fue el de mayor espesor de los tres núcleos, presentando valores por sobre los 34,8 psu y formando núcleos de máxima salinidad ($> 34,9$ psu) en las secciones de punta Lobos, Junín y Arica.

5.16 Distribución vertical de densidad

La densidad vertical (**Figs. 35 y 36**) registró en septiembre 2006 una haloclina desarrollada en todas las secciones del crucero, la que fue más intensa en la mitad norte de la zona. La haloclina tuvo un ascenso desde niveles de 100 m y superiores hacia la superficie en el sector costero y en todas las secciones, pero este ascenso fue más intenso en las secciones de Pichidangui a caleta Inglesa, donde el nivel de ascenso fue desde los 200 m. La densidad vertical registró importantes variaciones en el nivel de profundidad de las isopícnas ubicadas bajo los 100 m en las secciones caleta Inglesa y rada Pajoso.

En diciembre, la picnoclina estuvo bien desarrollada en todas las transectas (**Fig. 37**) y a lo largo de toda la sección, pero fue más intensa y de menor espesor en las transectas de bahía Moreno, punta Lobos y Arica. En las dos restantes el espesor de la capa de mayor variación de densidad fue mayor, y su límite superior e inferior de la capa de mayor gradiente de densidad se ubicó a mayor profundidad. Las isopícnas subsuperficiales, desde los 150 m de profundidad hacia el fondo, mostraron una pendiente negativa hacia la costa. En la costa, las isopícnas de los primeros 100 m ascendieron hasta la superficie en todas las secciones, pero de forma con mayor pendiente y desde mayor profundidad, en la sección de punta Junín.



La densidad en marzo (**Fig. 38**) registró en la vertical un gradiente en sus valores que ocuparon la capa superficial de la columna de agua, que en general llega a los 100 m de profundidad en el sector oceánico y a los 50 m en el costero, excepto en la sección de Arica, en que se observó sólo hasta los 50 m de profundidad en el área oceánica. Todas las secciones tuvieron ascensos de las isolíneas hacia la superficie en el sector costero, sin embargo, esta ocurrió en las isopícnas desde los 50 m de profundidad, a diferencia de las isotermas que lo hicieron desde los 25 m. Profundizaciones de algunas isopícnas se observaron también en torno al nivel de los 100 m.

5.17 Anomalías de temperatura y salinidad en la columna de agua frente a las transecta 5 (Arica; 18°25'S), 3 (Pta. Lobos; 21°00' S) y 1 (Bahía Moreno, 23°40'S).

En septiembre, las anomalías de temperatura en las tres secciones señaladas (**Fig. 39**) mostraron una tendencia hacia valores positivos en la vertical. La presencia de anomalías de tipo negativas ocurrió principalmente a nivel subsuperficial entre los niveles de 10 a 100 m, formando focos que cruzaron la sección con valores negativos de $> 1^{\circ}\text{C}$ y $> 2^{\circ}\text{C}$. Anomalías negativas en superficie sólo se encuentran en la sección de bahía Moreno, las que son menores a $0,5^{\circ}\text{C}$. A nivel subsuperficial, bajo los 150 m de profundidad, las anomalías son positivas con valores que sobrepasan los $+0,5^{\circ}\text{C}$ y con núcleos de $+1^{\circ}\text{C}$ en las secciones de bahía Moreno y punta Lobos. La sección que presentó las menores anomalías térmicas positivas en los estratos profundos fue la de Arica, con valores menores a $+1^{\circ}\text{C}$. En superficie las mayores anomalías térmicas positivas se localizaron en la sección de punta Lobos, las que superan el valor de 1°C en la costa, exhibiendo en el sector oceánico valores menores. Las anomalías de salinidad (**Fig. 39**) se registraron en forma de núcleos tanto positivos como negativos. Los núcleos de anomalías negativas atravesaron las secciones centradas en los 50 m, abarcando desde la superficie hasta los 100 m como límite inferior con anomalías menores a 0,1 psu, con máximos negativos que superan los 0,2 psu y de hasta 0,3 psu en la



sección de punta Lobos. Las anomalías positivas se registraron bajo los núcleos de valores negativos recién señalados, sin superar los 0,05 psu en las secciones de punta Lobos y Arica, sin embargo, en la sección de bahía Moreno superaron el valor de +0,1 psu en dos focos, uno centrado en los 75 m y abarcando entre las 70 y 100 mn y otro más costero, centrado en los 75 m y a 20 mn de la costa. También se observó, centrado en los 300 m de profundidad y las primeras 20 mn, un núcleo de valores mayores a 0,05 psu que se asoció a valores $> +1^{\circ}\text{C}$ de anomalía. Los núcleos positivos subsuperficiales se mezclaron con núcleos de valores negativos pero que fueron menores a +0,05 psu.

En diciembre, la sección de bahía Moreno registró un predominio de valores positivos en ambas variables tanto en la capa superficial como a nivel subsuperficial (**Fig. 40**). Se destacó en la capa superficial a 40 mn y a 25 de profundidad, un núcleo de anomalía térmica que superó los 3°C y los 0,2 psu. En el sector más oceánico y centrado en los 50 m se ubicó un delgado núcleo de anomalías negativas de hasta -2°C y $>0,1$ psu. Bajo los núcleos ya señalados, es decir, bajo los 50 m de profundidad, se ubicaron anomalías positivas en ambas variables, siendo relevante en temperatura el núcleo de $+1^{\circ}\text{C}$ entre los 200 y 500 m de profundidad y que se registró desde las 5 mn hasta al menos las 20 mn. Este núcleo de temperatura se asoció a uno de anomalía de salinidad que no superó los 0,1 psu, destacándose en esta última variable el núcleo de valores de +0,2 psu, localizado entre las estaciones de 70 y 100 mn, llegando hasta valores mayores a +0,2 psu. En la sección de punta Lobos (**Fig. 40**), la distribución de las anomalías de ambas variables fueron distintas a las exhibidas en la sección anterior, ya que se observó un claro predominio de anomalías térmicas entre $-0,5^{\circ}$ a $+0,5^{\circ}\text{C}$ en la capa subsuperficial bajo los 50 m, con un núcleo que supera los $+0,5^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, en salinidad, en el sector oceánico las anomalías superaron el valor de -0,5 psu y alcanzó hasta valores $> -0,5$ psu en el nivel de 50 m de la estación de 100 mn, y $> -0,1$ psu hasta los 350 m en el mismo punto. En el área costera no se observó un núcleo de salinidades positivas que esté en relación a la intensidad del núcleo de



anomalías térmicas positivas encontrado bajo los 150 m y que abarque hasta al menos las 20 mn de la costa. En la sección de Arica (**Fig. 40**), la temperatura registró un predominio de valores positivos, pero menores a $+0,5^{\circ}\text{C}$ de anomalía, entre los 100 y 400 m. En la capa superior de los primeros 100 m se destacó un pequeño núcleo de $+2^{\circ}\text{C}$ centrado en los 15 m de profundidad y en las 40 mn de la costa. En el caso de la salinidad, ésta registró bajo los 100 m de profundidad valores de anomalía en el rango de $-0,5$ a $+0,5^{\circ}\text{C}$, observándose en la capa de los primeros 100 m, dos núcleos, uno positivo entre la superficie y los 25 m de profundidad, entre las estaciones de 40 y 100 mn, con anomalías entre $+0,1$ a $+0,2$ psu, y otro núcleo de anomalías negativas centrado en los 50 m con valores $> 0,1$ psu, el cual se extiende desde el sector oceánico hacia la costa, llegando cerca de la superficie en este último sector.

En marzo, la anomalía de temperatura (**Fig. 41**) en las tres secciones se caracterizó por presentar bajo los 100 m de profundidad, un amplio predominio de valores entre $+0,5^{\circ}\text{C}$ y $-0,5^{\circ}\text{C}$. Se destacó, bajo el nivel de 100 m, el núcleo de valores negativos mayores a 1 (absoluto) en la sección de Arica bajo los 300 m, entre la costa y las 40 mn. En la capa superficial de los primeros 100 m, se observó una amplia variedad de núcleos de anomalías tanto positivas como negativas, de las cuales se destacan el núcleo negativo de hasta -2°C en la costa de la sección de bahía Moreno; el núcleo positivo de hasta $+3^{\circ}\text{C}$ y de espesor hasta 50 m en el sector oceánico de la sección de punta Lobos, así como también el núcleo de -2°C en la costa; en la sección de Arica el núcleo de valores negativos de hasta -2°C que cruzó toda la transecta y fue más intenso en el sector costero (hasta -3°C). Anomalías positivas en esta sección formaron núcleos pequeños centrados en las 70 mn de la costa. La anomalía de salinidad (**Fig. 41**) bajo los 100 m fue generalmente baja, entre $+0,05$ a $-0,05$ psu, con algunos núcleos subsuperficiales de valor mayor, destacándose en este caso el de punta Lobos, ubicado en las 100 mn, con valores por sobre los 0,1 psu. En la capa de los primeros 100 m, núcleos de anomalías negativas se presentaron en las tres secciones, ocupando el área



subsuperficial del sector oceánico y el superficial en el sector costero. En el sector oceánico de la transecta de punta Lobos, se ubicó un intenso núcleo de anomalías negativas de hasta -0,4 psu, bajo los 50 m de profundidad, mientras que sobre éste se localizó un núcleo de anomalías positivas de hasta +0,3 psu que abarcó desde la superficie hasta 40 m, centrado en las 70 mn. En la sección de bahía Moreno, el núcleo de anomalías negativas de entre -0,1 a -0,3 psu, se ubicó centrado en los 75 m en el sector oceánico y se hizo más superficial hacia la costa.

5.18 Distribución vertical de oxígeno disuelto

Con respecto a la distribución vertical de OD, en septiembre se observó que la mayoría de las transectas mostraron un ascenso de las isolíneas en la zona costera, con distintas intensidades en el gradiente óxico (**Figs. 42 y 43**). Donde es menos notoria esta situación es en bahía Salada donde las isolíneas se mantienen casi paralelas a la superficie. En el sector sur desde Pichidanguí a Chañaral el espesor de la capa óxica disminuyó progresivamente, presentando espesores cercanos a los 100 m en las dos primeras transectas hasta cerca de los 50 m en bahía Salada y aumentando a cerca de 100 m en rada Paposó. Similar distribución presentó la isolínea de 1 mL/L la que no se registró en el sector oceánico de Pichidanguí hasta 125 m en caleta Inglesa, para profundizarse hasta 150 m en las transectas de bahía Salada y Chañaral y hasta los 200 m en rada Paposó. En la zona costera, entre Pichidanguí y bahía Salada la isolínea de 1 mL/L se registró cerca de los 100 m. Los menores valores de OD superficiales se registraron en caleta de Maitencillo de Coquimbo. La mayor extensión de valores subóxicos hacia el oeste se registró en punta Farellones, superando las 10 mn. Los núcleos más extensos de valores > 6 mL/L, se observaron en la parte sur del área de muestreo disminuyendo su participación hacia el norte en forma relativamente progresiva hasta rada Paposó. En el sector norte la única transecta que presentó un núcleo importante de estos valores fue la de punta Copaca. Desde bahía Moreno al norte, el gradiente óxico fue más intenso que en la parte sur ubicándose la isolínea de 5 mL/L por sobre los 50 m. Los menores valores de OD de los primeros metros se



registraron en punta Lobos, donde la isolínea de 2 mL/L estuvo ubicada a 10 m de profundidad. Desde esta transecta al norte la isolínea de 1 mL/L estuvo cercana a los 20 m en el sector costero. En bahía Moreno se observó un aumento de los valores de OD dentro de las 5 primeras millas.

En diciembre, en la distribución vertical de OD (**Fig. 44**) se observó que las transectas mostraron un ascenso de las isolíneas en la zona costera, con distintas intensidades en el gradiente óxico. Los espesores de la capa óxica en el sector oceánico fluctuaron alrededor de 50 m en las transectas de bahía Moreno, punta Copaca y punta Lobos, este última presentó una pronunciada pendiente desde las 100 mn a la costa. En punta Junín la capa óxica, si bien exhibió espesores cercanos a 50 m, no se presentó en forma continua, ya que los valores < 4 mL/L ocuparon los primeros 30 m en la estación de 100 mn, observándose además, valores < 5 mL/L en la estación de 40 mn. En la transecta de Arica, el espesor de la capa óxica fue menor a 20 m hasta las 40 mn, en las 20 mn las isolíneas se levantaron hacia la superficie, mientras que dentro de las 5 primeras millas, aumentaron los valores de OD superficiales > 6 mL/L y se profundizaron las isolíneas. En el extremo sur, en el sector costero de bahía Moreno, dentro de las 20 mn se registraron valores > 6 mL/L, con un máximo de 7,1 mL/L en la estación de 10 mn. En punta Lobos, se reconocieron dos pequeños núcleos de valores > 6 mL/L a nivel superficial entre las 5 y 10 mn entre las 20 y 40mn. La isolínea de 1 mL/L, se mantuvo cercana a los 30 m en el sector costero entre bahía Moreno y punta Lobos, cercana a 20 m en Arica y a 10 m en punta Junín.

En marzo de 2007, la distribución vertical de oxígeno disuelto en las cinco transectas presentó gradientes bien definidos, los que abarcaron concentraciones entre los 5 y 1 mL/L (**Fig. 45**). Estos se hicieron menos profundos en el sector costero, aumentando su intensidad. El ascenso más notorio se observó en la transecta de punta Lobos, donde la isolínea de 1 mL/L se ubicó cercana a los 150 m en la estación de 100 mn y a los 10 m en la costa. Núcleos de valores > 6 mL/L,



se observaron en punta Copaca y a nivel superficial en bahía Moreno. Tanto en la estación de 20 mn de punta Copaca, como en la de 10 mn en Arica, se observó una disminución de los valores de OD en los primeros 50 y 20 m, respectivamente, por lo que las isolíneas ascendieron en relación a las demás estaciones de las mismas transectas.

5.19 Distribución vertical de temperatura, salinidad, contenido de oxígeno disuelto y porcentaje de participación de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa.

La sección de 100 mn comprende las estaciones oceánicas ubicadas entre Arica y bahía Moreno. En septiembre 2006 (**Fig. 46**), la temperatura vertical tuvo la mayor variación vertical en sentido norte-sur en la capa superficial de los primeros 50 m y que fue de 1 a 2°C entre ambos extremos de la sección. A nivel subsuperficial se destacó el ascenso de la isoterma de 13°C en la parte central de la sección. Las isotermas subsuperficiales tuvieron una leve pendiente positiva en dirección sur y una diferencia de hasta 50 m entre ambos extremos. La salinidad a nivel subsuperficial mostró cuatro situaciones destacadas. 1) las máximas salinidades se localizaron entre los 19° y 22°S, ocupando una delgada capa de agua que llegó hasta los 25 m como máximo; 2) al sur de los 23°S en superficie se ubicó un mínimo superficial; 3) la presencia de un núcleo de mínimas salinidades a nivel subsuperficial centrado en los 50 m y que abarcó, con salinidades menores a 34,7 psu, entre los 19°30'S y 22°30'S; y 4) un núcleo de máxima subsuperficial caracterizado por salinidades > 34,6 psu entre los 50 y 450 m, con un núcleo central de salinidades > 34,8 psu, el cual se debilita hacia el sur. La distribución de oxígeno disuelto (**OD**) presentó en los primeros metros de la columna una capa óxica (> 5 mL/L) con espesor variable, de aproximadamente de 10 m en las estaciones del extremo norte. Dentro de esta capa se observaron pequeños núcleos de altos valores de **OD**, > 6 mL/L, repartidos a lo largo de la sección. Por otra parte, la capa de mínimo OD (≤ 1 mL/L) en el extremo norte de la zona de



estudio se desarrolló entre los 30 y los 650 m aproximadamente, mientras que en el extremo sur en bahía Moreno ésta capa ocupó entre los 100 y los 520 m. En la parte profunda de toda la sección se midieron valores > 1 mL/L. El agua ecuatorial subsuperficial AESS se presentó en superficie con porcentajes de participación de masa de agua (**PPMA**) entre 10% y $< 30\%$, midiéndose los menores a 10% sólo en aquella área que va desde los $23^{\circ}30'S$ hacia el sur. El sector central de la sección, entre los $19^{\circ}30'S$ y $21^{\circ}30'S$ es la que registró los máximos, entre un 20 y 30% hasta los 50 m de profundidad. Bajo el nivel de 50 m, se presentó un rápido aumento de participación en la mezcla, formándose un núcleo de valores mayores a 80% desde el límite norte hasta los $23^{\circ}30'S$ y entre los niveles de 100 a 250 m. Bajo el nivel de 400 m los niveles de **PPMA** de AESS en la mezcla se presentaron con una disminución uniforme a medida que aumentó la profundidad, sin embargo, en sentido norte-sur hubo una disminución en un mismo nivel al comparar ambos extremos. El mínimo alcanzado en los 700 m de profundidad fue de 30 a 40%.

En diciembre (**Fig. 47**), la capa de los primeros 50 m presentó las mayores variaciones térmicas y se mantiene muy similar en su límite inferior, registrando sólo una diferencia en los valores de temperatura en superficie que superan los $21^{\circ}C$ en la mitad norte de la zona y entre 20 y $21^{\circ}C$ en la mitad sur. Bajo el nivel de 100 m las isotermas tendieron a ubicarse en forma paralela a la superficie, pero con una pequeña pendiente positiva en dirección sur, obteniéndose la presencia de temperaturas menores a $6^{\circ}C$ a 700 m de profundidad en el extremo sur, mientras que en el extremo norte superaron los $6^{\circ}C$. En salinidad, valores mayores a 35,0 psu se midieron en superficie en la mitad norte hasta la estación de 100 mn de punta Lobos, con máximos de $> 35,3$ psu, que ocuparon sólo una delgada capa de los primeros 30 m de profundidad. En la mitad sur, en superficie se registraron valores menores a 35,0 psu. Bajo la capa de máxima salinidad superficial y hasta los 150 m de profundidad, se ubicó un núcleo de mínima salinidad en el rango entre $< 34,4$ a $34,7$ psu, que se extendió a lo largo de toda la sección, con un mayor espesor del núcleo en la parte central. El núcleo de máxima subsuperficial



comprendi3 valores mayores a 34,7 psu, extendi3ndose de norte a sur entre los niveles de 50 a 350 m, formando dos n3cleos de menor tama3o y de salinidad > 34,8 psu en ambos extremos de la zona. Bajo los 300 m, las isohalinas se ubicaron en forma paralela a la superficie, midi3ndose a nivel de 700 m un valor menor a 34,5 psu. En **OD**, se present3 en los primeros metros de la columna una capa 3xica (>5 mL/L) discontinua con espesor variable, de aproximadamente 20 m en las estaciones del extremo norte situadas a 100 mn entre Arica y punta Pinto, aumentando hasta los 50 m a 100 mn de punta Madrid y desapareciendo entre las 100 mn de punta Camarones y punta Jun3n, donde los valores de OD fueron < 4,5 mL/L. La capa 3xica reapareci3 en punta Lobos con un espesor cercano a los 50 m, el que se mantuvo hasta las 100 mn de punta Copaca, en torno a los 30 m. La capa de m3nimo **OD** (≤ 1 mL/L) en el extremo norte de la zona de estudio se desarroll3 a partir de los 55 m aproximadamente y no se detect3 su l3mite inferior, mientras que en el extremo sur a 100 mn de bah3a Moreno esta capa estuvo entre los 70 y los 520 m. En la parte profunda de toda la secci3n se midieron valores > 1 mL/L, en las estaciones situadas a 100 mn entre punta Pinto y punta Madrid y desde las 100 mn de punta Lobos hacia el sur. Valores < 0,25 mL/L se registraron en el centro del n3cleo, a lo largo de toda la transecta. El AESS registr3 **PPMA** menores a 10% en la capa de los primeros 25 m, excepto entre las estaciones de 100 mn localizadas entre punta Pinto y caleta Camarones, donde se supera levemente el 10%. Hasta el nivel de 75 a 100 m aument3 el porcentaje hasta el 70%, ubic3ndose bajo la zona de gradiente un n3cleo de valores entre 70 y 80% que lleg3 hasta los 350 m. La AESS form3 adem3s dos n3cleos en ambos extremos de la secci3n con **PPMA** mayores a 80% que alcanzaron hasta el nivel de 250 m. Bajo los 400 m, las **PPMA** disminuyen gradualmente hasta un nivel m3nimo de 30% en los 700 m, excepto en el extremo norte donde se super3 levemente los 30% de **PPMA**.

En marzo de 2007 (**Fig. 48**), la temperatura se caracteriz3 por la presencia de un gradiente t3rmico en la capa superficial, que abarc3 los primeros 50 m de profundidad, sin embargo, en la estaci3n central, correspondiente a la transecta de punta Lobos, se observ3 una profundizaci3n hasta los 100 m de las isoterms que



formaron este gradiente. Las isotermas bajo los 100 m tendieron a ubicarse paralelas a la superficie y entre si, mostrando una pendiente negativa de sur a norte, lo que significó una mayor temperatura en el sector norte a un mismo nivel de profundidad. En salinidad se destacó en superficie un núcleo salino delgado de nos más de 30 m de espesor, el cual se encuentra separado por salinidades menores en los 19° y 22°40' de latitud Sur. El núcleo de mínima subsuperficial se extendió desde límite sur hasta prácticamente el límite norte, alcanzando los 100 m de profundidad como máximo, debilitándose en esa dirección que se traduce en un menor espesor y una salinidad mínima. Este núcleo ascendió en los 19°S a la superficie y separó el núcleo de máxima superficial señalado anteriormente. El máximo subsuperficial se extendió de norte a sur, adelgazándose en esta dirección y marcó una separación del núcleo de 34,8 psu entre las estaciones de los 21 y los 22°20'S. A esta distancia de la costa, valores máximos subsuperficiales que superaron los 34,9 psu sólo se observaron en las tres estaciones del límite norte de la zona. La distribución de **OD** presentó en los primeros metros de la columna, una capa bien oxigenada (> 5 mL/L) con espesor variable, el que fue de aproximadamente 30 m en la estación de Arica, aumentando hasta los 80 m en el sector central. Núcleos de concentración > 6 mL/L, se observaron en el extremo norte de la transecta. La capa de mínimo **OD** (≤ 1 mL/L) en el extremo norte de la zona de estudio, se desarrolló a partir de los 60 m y hasta los 500 m aproximadamente, con un espesor de 440 m, mientras que, en el extremo sur, esta capa ocupó entre los 110 y los 390 m. El menor espesor de esta capa se observó en los 21°S, con 260 m aproximadamente. Desde esta latitud al sur, se midieron valores > 2 mL/L en la parte profunda de la transecta. La AESS registró un núcleo de **PPMA** mayor al 70% centrado en los 150 m de profundidad, pero que fue más delgado en la parte central de la sección, en donde se separó también un núcleo de 80%. Núcleos de **PPMA** mayor a 90% sólo se observaron en la estación del límite norte. Se destacó en los primeros 100 m el gradiente vertical de los porcentajes, los que mostraron que la participación es menor al 10% en la capa de los primeros 25



m. En el límite inferior de la columna de agua (700 m), los **PPMA** superaron el 30% en la mitad norte y el 20% en la mitad sur.

5.20 Masas de agua

Los diagramas T-S de las estaciones agrupadas por transecta muestran para los tres cruceros (**Figs. 49, 50 y 51**) la presencia y participación de distintas masas de agua en cada una de las secciones realizadas. Las masas de agua observadas son: Agua subtropical (**AST**), agua subantártica (**ASAA**) y ecuatorial subsuperficial (**AESS**).

En septiembre, la participación de **AST** se registró en superficie en todas las secciones, disminuyendo rápidamente en las secciones del área sur, no obstante en la sección de Pichidangui aun se presenta en la mezcla. El **ASAA** tuvo participación en la columna de agua de todas las transectas informadas, no obstante ésta fue más importante en las secciones del área sur de la zona. Las secciones de Chañaral a Antofagasta tuvieron una importante variación en la composición en la mezcla de las aguas superficiales, lo que se aprecia por la separación de las líneas TS, en particular en la presencia de **ASAA**. El **AESS** disminuyó notoriamente su participación en dirección norte a sur y las secciones de bahía Salada a bahía Moreno se presentaron con una importante variación en cada una de estas transectas.

En diciembre, se observa la mayor participación de **AST** en todas las transectas, sin embargo, ésta es fue importante en las secciones de la mitad norte. El **ASAA** tuvo mayor participación en las secciones de la mitad sur de la zona, disminuyendo hacia el norte, con una escasa presencia en la transecta de Arica. La sección de punta Lobos registró en una de sus estaciones valores notablemente distintos a los otros trazos, separándose de las otras líneas y señalando menores salinidades, lo que evidencia una importante participación de **ASAA**. La estación señalada es la que corresponde a la de 100 mn de la sección de punta Lobos. El **AESS** se



presentó en forma intensa y similar en las 5 transectas, sin embargo algunas estaciones de las secciones de bahía Moreno a punta Lobos registraron una separación de las líneas TS, haciéndose más notable en este aspecto la estación de 100 mn de punta Lobos.

En marzo, el **AST** participa en las 5 secciones a nivel superficial, sin embargo, hay líneas TS que señalaron una importante participación en relación a otras. El **ASAA** participó fuertemente en las transectas entre bahía Moreno a punta Lobos, presentándose escasamente en las transectas de punta Junín y Arica. En las transectas de punta Copaca y punta Lobos hubo con una notoria baja de participación de **ASAA**. El **AESS** se presentó claramente en las 5 transectas con su núcleo bien desarrollado. En la sección de punta lobos, no obstante lo anterior, hubo estaciones que registraron una baja participación de ésta a favor de una mayor presencia de **ASAA**. En la sección de punta Copaca, una sola estación registró comparativamente, una baja participación de **AESS**.

Los porcentajes de participación de masa de agua (PPMA) de las secciones perpendiculares a la costa de septiembre se muestran en las **Figuras 52 y 53**. El **AST** se registró en superficie con valores de porcentaje de **PPMA** de 10% a 20 % en la transecta de Pichidanguí a entre 70% y 80% en la sección de Arica. Los **PPMA** disminuyeron con la profundidad y el nivel de 10% se mantuvo en una profundidad similar de 75 m en todas las secciones graficadas. En el sector costero, las isolíneas ascendieron hacia la superficie, evidenciando una menor participación en comparación con el sector oceánico. Hacia el extremo norte de la zona de estudio la **AST** disminuyó rápidamente su participación con la profundidad. La **AST** se presentó con **PPMA** mayores a 50% en superficie sólo hasta la sección de punta Copaca. El **ASAA**, disminuyó su participación de sur a norte con núcleos superficiales y subsuperficiales de 80% a 90% en la sección de Pichidanguí a sólo un 20% a nivel subsuperficial en la transecta de Arica. Los niveles de 10% se ubicaron en los 300 m en el borde sur de la zona, pero ascendieron a 200 m hacia



el extremo norte. Esta masa de agua se ubicó con su núcleo de máximo valor en superficie en las primeras secciones, con un 50% hasta una profundidad de 150 m, pero el núcleo se hizo subsuperficial hacia el norte hasta alcanzar un promedio de profundidad de 50 m. El **AESS** se presentó con su núcleo centrado en los 200 m con un espesor variable que se hizo menor de sur a norte y que disminuyó su **PPMA** de valores máximos > 80% a >50% entre las transectas de Arica a Pichidangui. En superficie esta masa de agua no participó en superficie en las secciones ubicadas en el área sur de la zona y llegó a niveles de 10% a 20% en las secciones de la mitad norte. Los **PPMA** señalan un ascenso hacia la superficie en la costa, lo que indica que esta masa de agua aumentó su participación en la mezcla a nivel superficial, principalmente en las secciones de caleta Maitencillo de Coquimbo a caleta Inglesa. Los **PPMA** de los niveles más profundos (500 m) mostraron una participación de esta masas de agua de 30 a 40% en la Transecta de Pichidangui y de 50% en la sección de Arica.

Los **PPMS** del crucero de diciembre de 2006 se muestran en las **Figura 54**. La **AST** se ubicó en la capa superficial llegando hasta los 50 m con un porcentaje cercano al 10%, extendiéndose en la vertical entre los 150 a 200 m de profundidad con **PPMA** menores a 10%. Valores de **PPMA** mayores a 90% se registraron sólo a nivel superficial en las secciones de punta Junín y Arica, midiéndose en la sección de bahía Moreno un porcentaje mínimo superficial de 60% en el sector oceánico. En el sector costero, las isolíneas de participación tuvieron un ascenso, dejando a nivel superficial, entre las 10 a 20 mn, **PPMA** inferiores a 60%. El **ASAA** mostró hasta el nivel de participación mínima de 10% un espesor máximo variable que fue en promedio de 150 m, alcanzando un máximo de 250 m en la sección de punta Junín. El núcleo de máximo **PPMA** estuvo a nivel subsuperficial centrado en los 50 m con porcentajes que descendieron de sur a norte de 40% a 20%. El máximo valor del núcleo se midió en la sección de punta Lobos, en las 100 mn, donde el **PPMA** llegó a >50%. Esta masa de agua tuvo una participación de 0 a 10% en la vertical que superó los 400 m en el sector más oeste de cada sección, alcanzando un nivel de 500 m de profundidad en la



sección de Arica. El **AESS** ubicó su núcleo de **PPMA** mayores al 80% centrado en los 150 m de profundidad en todas las transectas. En las secciones de punta Copaca y punta Lobos, el núcleo de 80% no alcanzó hasta las 100 mn, sin embargo, registró en la costa un núcleo que supera el 90% de participación. En todas las secciones la isolínea de 10% llegó hasta los 25 de profundidad, registrándose sobre ella y hasta la superficie un porcentaje entre 0 y 10%. Las secciones de bahía Moreno, punta Copaca y Arica registraron en superficie del sector oceánico un 0% de participación. En el sector costero, las isolíneas de las cinco transectas exhibieron en la capa superficial un levantamiento, lo que significó un aumento de la participación en esta área, sin embargo, ésta ocurrió a nivel subsuperficial, pues en superficie no se superó el 10%, excepto en la sección de punta Copaca y punta Lobos, en que fue de 10 a 20% en la estación de 1 mn. Esta masa de agua registró valores que superaron el 50% de participación en el nivel de 500 m, principalmente en las primeras 50 mn de la costa.

Los **PPMA** del crucero de marzo de 2007 se muestran en las **Figura 55**. El **AST** tuvo su mayor participación en el sector oceánico de las secciones de punta Lobos y Arica, donde alcanzó en superficie **PPMA** mayores a 80%, con un máximo > 90% en la primera transecta señalada. Comparativamente, los menores porcentajes de participación se registraron en la sección de punta Copaca, ya que **PPMA** > 60 % se ubicaron el sector más oceánico, destacándose en esta sección un ascenso de las isolíneas en el área central de la transecta. La sección de bahía Moreno también registró un ascenso de las isolíneas, pero afectó sólo la de 60%. La sección de punta Lobos, es la que registró una mayor participación de esta masa de agua en la vertical, ya que en las 100 mn la isolínea de 10% llegó a los 100 m, mientras que en las otras se presentó hasta los 50 m, en promedio. Esta masa de agua participó aproximadamente hasta los 125 m de profundidad. En las primeras 20 mn la **AST** participó disminuida en comparación con el sector oceánico, registrando porcentajes que fueron menores al 30%. El **ASAA** tuvo su núcleo a nivel subsuperficial, el cual estuvo más desarrollado en las secciones del sur de la



zona de estudio con **PPMA** que superaron el 60%, mientras que en la sección de Arica llegó hasta el 30%. En la vertical, el 10% de participación no superó los 150 m de profundidad en todas las secciones, aunque fue la sección de punta Lobos la que presentó un núcleo más profundo, centrado en los 75 m, con porcentajes de 50%. En todas las secciones se registró en la costa un ascenso del núcleo de máximo valor, siendo las secciones de bahía Moreno y punta Copaca las que registraron los máximos **PPMA**. El **AESS** ubicó su núcleo centrado entre los 100 y 200 m. En el sector más oceánico de todas las secciones, la isolínea del **PPMA** de 10% se localizó en los 50 m de profundidad, ascendiendo gradualmente hacia la costa. Las transectas de punta Lobos, punta Junín y Arica fueron las que tuvieron en la costa la mayor participación, siendo la última de ellas la que tuvo en superficie el máximo que alcanzó el 30%. La sección de punta Junín presentó un desarrollado núcleo que superó el 90%. La sección de punta Copaca registró un núcleo de 80%, separado en dos en la estación de 40 mn.

5.21 Circulación geostrofica superficial

La imagen de velocidad geostrofica medida con satélite del día 10 de septiembre de 2006 (**Fig. 56**) mostró en la zona entre Arica y Antofagasta la presencia de dos giros anticiclónicos con su borde este cercano a la costa. La primera estructura de mesoescala con sentido de giro anticiclónico se ubicó en el extremo noreste de la zona, centrado en los 18°30'S y 71°30'W, mientras que la segundo se centró en la latitud 21°30'S y 71°S. El segundo indicado mostró mayores velocidades en su borde Oeste y cercanas a los 10 cm/s. Ambas estructuras registraron en su borde sur un sentido de circulación hacia la costa del orden de los 5 cm/s. El área con menores velocidades en esta imagen fue la ubicada al sur de los 23°S y entre la costa y los 72°W. En el área de las primeras 50 mn al sur de Antofagasta, la magnitud de la velocidad fue menor que la observada en el área al norte ya señalada, excepto al sur de los 30°S en que hubo un flujo con componente norte de mayor intensidad relativa cercana a los 5 m/s. En el sector oceánico al sur de los 28°S se ubicaron tres giros anticiclónicos de entre 50 y 70 mn de diámetro. Entre



Antofagasta y los 28°S se presentaron tres giros ciclónicos débiles, de los cuales el de mayor velocidad fue el ubicado frente a Antofagasta.

El 10 de diciembre, la imagen de CGS (**Fig. 56**) mostró un claro predominio del flujo con componente sur en toda la zona hasta los 72°W de longitud. El flujo señalado fue más intenso hacia el sur entre los 21° y 23°S, con una marcada dirección hacia la costa entre los 18° y 19°30'S y frente a Antofagasta (sur de la península de Mejillones). Flujo geostrófico hacia el oeste se registró sólo en las cercanías de la punta norte de la península de Mejillones, el cual formó parte de un pequeño giro anticiclónico que tuvo una mayor intensidad relativa del flujo en el sector oeste. Dentro del área limitada para el análisis no se observó la presencia de otros giros de mesoescala. En el lado oeste de la longitud 72°W se observaron algunos giros ciclónicos, marcados en color azul, al sur de la latitud 19°S.

Las imágenes de circulación geostrófica superficial del 20 de marzo de 2007 (**Fig. 56**), muestran la presencia de tres giros o estructuras de mesoescala con giro ciclónico, centrados en los 18°30', 22° y 24°S, los cuales se ubicaron a 70, 100 y 30 mn alejados de la costa, respectivamente. Un giro de tipo anticiclónico de 100 mn de diámetro se centró en las 70 mn de la costa frente a punta Lobos (21°S) con velocidades menores a 10 cm/s. La presencia de los giros originó en el sector costero transporte geostrófico hacia el oeste de mediana a alta intensidad en el área de los 20°S (cercanías de Iquique), mientras que fue hacia la costa en los 21°30'S (caleta Chipana). En el resto del área sin la presencia de giros, predominaron corrientes con componente sur, como se observó al sur de los 22°S y entre los 18° y 19°S.

5.22 Análisis de pigmentos vegetales

5.22.1 Distribución superficial de clorofila y feopigmentos

En septiembre de 2006, la clorofila-a (cloa) superficial (**Fig. 57a**) presentó entre Arica (>7 µg/L) y punta Camarones un foco de concentraciones > 2 µg/L, con un máximo



>10 $\mu\text{g/L}$ en punta Madrid. Entre punta Junín y punta Lobos se extendió una delgada franja costera (10 mn) de valores > 1 $\mu\text{g/L}$, las que descendieron a < 1 $\mu\text{g/L}$ entre caleta Chipana y punta Copaca. Mas al sur, entre punta Cobija y Mejillones se observó un foco > 4 $\mu\text{g/L}$. Una franja de valores (> 1 $\mu\text{g/L}$) se extendió desde la punta sur de la península de Mejillones hasta Chañaral, donde sobrepasaron las 40 mn. En este sector, núcleos de cloa > 4 $\mu\text{g/L}$ se registraron en la estación de 20 mn frente a bahía Moreno y en la estación costera de rada Paposos, y >7 $\mu\text{g/L}$ en las primeras 5 mn de Chañaral. En bahía Salada las concentraciones descendieron a < 0,4 $\mu\text{g/L}$. Desde caleta Inglesa hasta Pichidangui, valores > 0,5 $\mu\text{g/L}$ sobrepasaron el sector costero, donde además dos focos de valores > 1 $\mu\text{g/L}$ se registraron, en las 5 mn punta Farellones (máximo de 2,2 $\mu\text{g/L}$), y entre las 5 y 10 mn frente a Pichidangui. En el sector oceánico, destacó un foco de 2,2 $\mu\text{g/L}$ ubicado frente a punta Patache. Valores > 0,5 $\mu\text{g/L}$ se distribuyeron desde punta Lobos al norte y desde caleta Inglesa al sur.

En diciembre de 2006 (**Fig. 57b**), fluctuó entre 0,12 y 10 $\mu\text{g/L}$ en el área de muestreo. En la zona costera presentó un foco de altas concentraciones entre Arica y punta Madrid, con un máximo de 4 $\mu\text{g/L}$ en este último punto. En Arica las concentraciones > 1 $\mu\text{g/L}$ se extendieron hasta cerca de las 40 mn. Desde punta Junín hasta Tocopilla se extendió una franja continua de valores > 1 $\mu\text{g/L}$, dentro de la cual destacaron focos de altas concentraciones frente a Iquique (5,2 $\mu\text{g/L}$) y entre punta Arenas (4,5 $\mu\text{g/L}$) y Tocopilla (10 $\mu\text{g/L}$). En el sector de punta Copaca las concentraciones de cloa descendieron a < 1 $\mu\text{g/L}$. Hacia el sur, entre punta Cobija y la punta norte de la península de Mejillones, se observó un foco de valores >1 $\mu\text{g/L}$, con un máximo de 9,8 $\mu\text{g/L}$ frente a punta Gualaguala. En bahía Moreno, concentraciones de cloa > 2 $\mu\text{g/L}$ se registraron dentro de las primeras 10 mn, mientras que las > 1 $\mu\text{g/L}$ se extendieron hasta aproximadamente 30 mn de la costa. En el sector oceánico, gran parte de los puntos de muestreo tuvieron concentraciones < 0,2 $\mu\text{g/L}$.

En marzo de 2007, la concentración de cloa superficial (**Fig. 57c**) fluctuó en la zona de estudio entre 0,09 y 6,5 $\mu\text{g/L}$. En el sector costero se observaron dos franjas de



valores $> 1 \mu\text{g/L}$, una entre Arica y caleta Chipana y la segunda en el extremo sur, entre las inmediaciones de Mejillones y bahía Moreno (Antofagasta). En la franja del extremo norte, en Arica se registraron las concentraciones más altas del muestreo, con un foco entre las 5 y 10 mn que superó los $5 \mu\text{g/L}$. En la franja de la zona sur, las más altas concentraciones ($> 2 \mu\text{g/L}$) se detectaron entre la punta sur de la península de Mejillones y bahía Moreno, registrándose en esta última localidad un máximo de $> 4 \mu\text{g/L}$. En el área de Tocopilla midieron las menores concentraciones del sector costero, $< 0,5 \mu\text{g/L}$. En punta Copaca el foco de cloa de valor $>1 \mu\text{g/L}$ estuvo restringido a la estación de 1 mn. En el sector oceánico, los valores de cloa se mantuvieron $< 0,2 \mu\text{g/L}$.

Los feopigmentos (feop) superficiales en septiembre, diciembre y marzo (**Fig. 58**), siguieron una distribución muy similar a la de cloa, manteniendo en general concentraciones inferiores a ésta en la mayor parte de la zona muestreada. En septiembre (**Fig. 58a**), el sector costero presentó focos de altas concentraciones, $>1 \mu\text{g/L}$, desde Chañaral a Antofagasta, desde Mejillones a punta Cobija y en la estación costera de punta Lobos y de 10 mn de Arica. El resto de la zona costera fluctuó entre $> 0,5 \mu\text{g/L}$ y $< 0,2 \mu\text{g/L}$, al igual que el sector oceánico. En diciembre (**Fig. 58b**) el sector oceánico presentó valores $< 0,2 \mu\text{g/L}$, mientras que, en el sector costero se presentaron tres focos de concentraciones $< 1 \mu\text{g/L}$: a 20 mn frente a Arica, en las estaciones costeras desde punta Arenas y bahía Moreno. En esta oportunidad se registraron tres focos valores $>1 \mu\text{g/L}$, frente a Iquique ($1,5 \mu\text{g/L}$), Tocopilla ($1,2 \mu\text{g/L}$) y en la estación costera de la cuadra de punta Gualaguala ($4,8 \mu\text{g/L}$). En marzo (**Fig. 58c**), los valores del sector oceánico se mantuvieron $< 0,2 \mu\text{g/L}$, mientras que, en el sector costero presentaron tres pequeños focos $> 1 \mu\text{g/L}$ en: Arica, punta Camarones y bahía Moreno.

5.22.2 Distribución de la clorofila y feopigmentos integrados

En los tres cruceros la distribución de clorofila integrada (**cloint**) fue relativamente similar a la distribución superficial del pigmento.



En septiembre, la distribución de cloint (**Fig. 59a**) presentó un foco de altas concentraciones, $> 100 \text{ mg/m}^2$, entre la estación de 10 mn frente a Arica y la costera de punta Pinto, con un máximo de 355 mg/m^2 en la primera de estas estaciones. Dos pequeños focos de altos valores ($> 100 \text{ mg/m}^2$) se registraron en las 10 mn de bahía Moreno y en las 40 mn frente a Chañaral (121 mg/m^2). En Mejillones el núcleo de cloint fue $> 60 \text{ mg/m}^2$. En el resto del área, los valores fluctuaron en torno a los 20 mg/m^2 , con escasos núcleos $> 40 \text{ mg/m}^2$, como fueron caleta Patache, caleta Inglesa y Pichidanguí.

En diciembre de 2006 (**Fig. 59b**), un foco de altas concentraciones, $> 100 \text{ mg/m}^2$, se registró entre la estación costera frente a Arica y la estación fija de esta misma localidad, con un valor máximo de $> 250 \text{ mg/m}^2$ en la primera de estas estaciones. Hacia el sur, focos de altos valores, $> 100 \text{ mg/m}^2$, se registraron: entre punta Madrid y punta Junín, con máximos de 338 mg/m^2 en la estación de punta Camarones y 274 mg/m^2 a 5 mn frente a punta Junín; en la transecta de punta Lobos, dentro de las primeras 5 mn ($> 130 \text{ mg/m}^2$) y en las 70 mn (105 mg/m^2); en Tocopilla (149 mg/m^2); entre punta Gualaguala (268 mg/m^2) y Mejillones (121 mg/m^2); y dentro de las primeras 10 mn frente a bahía Moreno, con un máximo de 160 mg/m^2 . En el sector oceánico, los valores fluctuaron en torno a los 30 mg/m^2 .

En marzo de 2006, la cloint (**Fig. 59c**) presentó en el sector costero, 1 a 20 mn, un rango entre 19 y 233 mg/m^2 . En este sector se observaron focos de altas concentraciones ($> 100 \text{ mg/m}^2$), frente a Arica, bahía Moreno, y entre punta Junín a punta Lobos, con un máximo de 207 mg/m^2 frente a Iquique. El foco de mayor valor ($> 230 \text{ mg/m}^2$), se registró en la punta norte de la península de Mejillones. En el sector oceánico, los valores fluctuaron en torno a los 20 mg/m^2 .

Los feop integrados (feopint) en septiembre (**Fig. 60a**) presentaron una distribución similar a la de la cloint, pero con valores inferiores principalmente en gran parte de la zona costera. La excepción fue el sector de la península de Mejillones donde se registró un núcleo de valore $> 60 \text{ mg/m}^2$, con un máximo de 142 mg/m^2 en las 10 mn de bahía



Moreno. En el sector de Arica el valor máximo fue de 75 mg/m^2 , similar al registrado en Chañaral. De Chañaral al norte, los valores costero en general fueron $>20 \text{ mg/m}^2$. Desde bahía Salada al sur los valores de cloint fueron en su mayoría $<20 \text{ mg/m}^2$.

5.22.3 Feopigmentos superficial

Los feopint en diciembre (**Fig. 60b**) presentaron una distribución similar a la de la cloint, pero con valores inferiores, principalmente en gran parte de la zona costera. Entre Arica y punta Cobija, los valores más altos ubicados en los mismos sectores de los máximos de cloint, fluctuaron alrededor de 80 mg/m^2 . En punta Gualaguala se registró el mayor valor de feopint del muestreo, 118 mg/m^2 . Desde Mejillones hasta bahía Moreno los valores más altos fueron levemente superiores a 80 mg/m^2 , correspondiendo estos a las estaciones de 1 y 10 mn de bahía Moreno. En el sector oceánico, los feopint fluctuaron alrededor de 20 mg/m^2 .

En marzo, los feopint (**Fig. 60c**) presentaron dentro de las 20 mn un rango de valores entre 14 y 96 mg/m^2 , y en el sector oceánico los valores fluctuaron alrededor de 20 mg/m^2 . Los núcleos de mayor valor se observaron entre Arica y punta Junín ($> 60 \text{ mg/m}^2$), en punta Lobos ($> 80 \text{ mg/m}^2$) y en la punta norte de la península de Mejillones ($> 90 \text{ mg/m}^2$), siendo este último el de mayor valor en la zona muestreada.

5.22.4 Fluorescencia superficial

La fluorescencia in vivo (fliv, volt) en septiembre (**Fig. 61a**) mostró una distribución similar a la cloa, con núcleos de altos valores en el sector costero que se extendió desde Arica a punta Pinto, éste último con un máximo de $9,2$ (volt). Otro foco de altos valores se ubicó en el sector oceánico frente a punta Patache con un valor de $6,8$ (volt). Dos focos de altos valores, pero inferiores a los anteriores, se registraron en punta Gualaguala ($5,6$ volt) y en las 20 mn frente a bahía Moreno. Otro foco que superó las 40 mn con valores > 4 (volt) se registró frente a Chañaral, midiéndose un máximo de $6,6$ (volt) en las 5 mn. Los datos restantes de fliv, fluctuaron entre 2 y 3 (volt).



En diciembre la fliv fluctuó entre 1,4 y 7,8 (volt) y mostró una distribución similar a la cloa (**Fig. 61b**). Una franja costera casi continúa de valores > 2 volt se observó a lo largo en gran parte del sector costero, solo interrumpida en punta Camarones y la punta norte de la península de Magallanes. Frente a Arica, este núcleo se extendió hacia el oeste hasta aproximadamente las 60 mn y hacia el sur hasta punta Madrid, con máximos de 3,2 volt en dos pequeño focos en las 20 mn en Arica y en punta Madrid. Hacia el sur, destacaron focos de valores altos en Iquique (4,1 volt), Tocopilla (7,8 volt) y punta Gualaguala (6,2 volt). En el extremo sur se registró un máximo 4 volt en la estación de 20 mn frente a bahía Moreno.

En marzo de 2007, la fiv tuvo un rango superficial ente 1 y 4,1 (volt) (**Fig. 61c**). La mayoría de los datos fluctuaron en torno a los 2 (volt). En el sector oceánico se registró un foco de valores < 2 (volt) entre Arica y punta Junín, mientras que en el sector costero núcleos de valores > 3 (volt) se observaron entre Arica-punta Camarones, la estación de 1 mn en punta Lobos, y el sector de Mejillones-bahía Moreno.

5.22.5 Distribución de clorofila satelital

Para septiembre (**Fig. 62**), la imagen de clorofila satelital (**cloas**) correspondiente al 11 de septiembre fue la única con escasa nubosidad, en ella se observaron focos muy costeros con valores máximos > 1 $\mu\text{g/L}$ desde Pisagua a bahía Moreno. El sector oceánico estuvo cubierto en su mayoría por valores $> 0,5$ $\mu\text{g/L}$. Las imágenes de los días 12, 15 y 17 de septiembre estuvieron cubiertas casi en su totalidad por nubes. En la imagen del día 12, se logró observar un foco de valores > 3 $\mu\text{g/L}$ en el sector de punta Copaca a Mejillones, con un máximo > 5 $\mu\text{g/L}$. En la imagen del 15, aparentemente disminuyeron las concentraciones de Mejillones y se visualizó un foco de altas concentraciones al sur de bahía Moreno, con máximos > 5 $\mu\text{g/L}$. En la imagen del día 17 se observó un foco de altos valores (> 5 $\mu\text{g/L}$) al norte de Mejillones, en tanto que en bahía Moreno los valores más altos fueron > 1 $\mu\text{g/L}$.

Las imágenes del mes de diciembre (**Fig. 63**) correspondieron a los días 8, 10 y 12. A pesar de la gran cobertura nubosa en la imagen del día 10, en las tres se puede



observar una franja costera casi continua de ancho variable, con valores $> 1 \mu\text{g/L}$ y focos aislados de concentraciones más altas. En las imágenes de los dos primeros días, en el sector oceánico los valores de cloas fluctuaron en gran parte del área entre $0,2$ y $0,49 \mu\text{g/L}$. En estas imágenes la mayor extensión del núcleo productivo se observó en el Sector de Arica, con un máximo $> 4 \mu\text{g/L}$ el día 10. Filamentos se presentaron en Arica, el área de punta Lobos, punta Copaca y la península de Mejillones, lo que coincidió con la presencia de pequeños focos costeros con valores que superaron los $4 \mu\text{g/L}$. En la imagen del día 8, las mayores concentraciones se registraron en bahía Moreno ($> 5 \mu\text{g/L}$), las que redujeron su cobertura el día 10. En la imagen del día 10 en general las concentraciones tendieron a aumentar, destacando los núcleos de Arica, Iquique, y sur de punta Copaca. En la imagen del día 12, las concentraciones descienden con respecto a la anterior, observándose sólo algunos focos de valores $> 3 \mu\text{g/L}$.

Para marzo 2007, las imágenes de **cloas** correspondieron a los días 20, 22, 24 y 25 (**Fig. 64**). Las cuatro imágenes presentaron franjas costeras de valores $> 1 \mu\text{g/L}$, con una menor extensión hacia el oeste en el sector de punta Arenas-punta Copaca. En ellas se observó filamentos en el sector de Pisagua, al norte de punta Lobos y la península de Mejillones. En la imagen del día 20 de marzo las mayores concentraciones $> 5 \mu\text{g/L}$ se ubicaron al norte de punta Lobos, en la imagen del día 22 en las inmediaciones de Pisagua $> 10 \mu\text{g/L}$. En la imagen del día 24, en la franja costera desde punta Lobos a Arica, se observó un aumento general en las concentraciones de cloas con una importante presencia de valores $> 5 \mu\text{g/L}$ y $10 \mu\text{g/L}$ en Arica. En la imagen del 25 de marzo, las concentraciones tendieron a disminuir en relación a lo visto el día anterior, manteniéndose sólo en el sector de Pisagua a Arica núcleos con valores $> 5 \mu\text{g/L}$.

5.22.6 Distribución histórica de clorofila-a en meses de Invierno

Las distribuciones históricas de cloa para el período 1993-2006, se entrega en la **Figura. 65**.



En agosto-octubre de 1994, las concentraciones de cloa fueron muy altas. Todas las transectas presentaron valores $> 1 \mu\text{g/L}$ en las estaciones costeras y los menores valores observaron en punta Copaca ($1,6 \mu\text{g/L}$) mientras que las más altas concentraciones se registraron en punta Junín donde la cloa superó los $11 \mu\text{g/L}$.

En agosto-septiembre de 1995, las concentraciones de cloa fueron algo inferiores a las observadas el año anterior. Los menores valores se dieron en punta Junín con la presencia de un núcleo oceánico de $1,7 \mu\text{g/L}$, mientras que las mayores concentraciones se observaron en Arica donde superó los $9 \mu\text{g/L}$.

En agosto de 1997, se observó un abrupto descenso en las concentraciones de cloa debido al efecto del evento cálido “El Niño”, por lo que la gran mayoría de ellas, fluctuaron en torno a los $0,2 \mu\text{g/L}$. A pesar de esto, valores $>1 \mu\text{g/L}$ se midieron en las estaciones costeras de: Arica, punta Copaca y bahía Moreno, aunque en núcleos de pequeño tamaño.

En agosto-septiembre de 1998, se produjo una completa recuperación del sistema observándose altas concentraciones en todas las transectas. Los menores valores se observaron en bahía Moreno donde la cloa alcanzó los $2,7 \mu\text{g/L}$ y los mayores en punta Copaca superando los $14 \mu\text{g/L}$.

En septiembre de 1999, a pesar que los valores de cloa son inferiores a los del año precedente, la única transecta que presentó bajas concentraciones fue la de punta Lobos donde los valores fueron inferiores a $1 \mu\text{g/L}$. Por otra parte las mayores concentraciones $6,8 \mu\text{g/L}$ se midieron en Arica.

En agosto-septiembre de 2000, las concentraciones de cloa fueron $> 1 \mu\text{g/L}$ en todas las estaciones costeras de las distintas transectas, sin embargo en general, no se midieron los altos valores de los primeros años. Las menores concentraciones se observaron en punta Copaca con $2 \mu\text{g/L}$, y la máxima medida fue $6,8 \mu\text{g/L}$ en punta Junín.



En septiembre de 2001, las concentraciones de cloa son incluso inferiores a las del año 2000. Las estaciones costeras de las distintas transectas presentaron concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$. Las menores concentraciones se observaron en punta Lobos con $1,1 \mu\text{g/L}$ de cloa, y la máxima fue de $3 \mu\text{g/L}$ en punta Junín. En este caso el mayor valor medido se observó en Iquique con $3,3 \mu\text{g/L}$.

En septiembre de 2002, las concentraciones de cloa se mantuvieron en similar rango al visto en el año 2001. La única transecta que presentó concentraciones $< 1 \mu\text{g/L}$ en las estaciones costeras fue punta Junín, mientras que, la máxima fue de $3,7 \mu\text{g/L}$ en Arica. En este caso el mayor valor medido en estaciones de intertransectas se observó en Iquique con $3,3 \mu\text{g/L}$.

En septiembre de 2003, las concentraciones de cloa volvieron a aumentar aunque no a los niveles observados en 1998, 1995 ó 1994. En esta oportunidad son dos las transectas que presentaron concentraciones $> 0,5 \mu\text{g/L}$: punta Copaca y punta Junín, mientras que, la transecta con más cloa fue bahía Moreno con $5 \mu\text{g/L}$. En este caso el mayor valor medido se observó en la intertransecta entre Arica y punta Junín $6,9 \mu\text{g/L}$.

En agosto-octubre de 2004, todas las transectas presentaron concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$, observándose núcleos de altas concentraciones de cloa a lo largo de toda la zona costera. Los valores más altos ($> 10 \mu\text{g/L}$) se observaron en punta Lobos y en la intertransecta entre punta Lobos y punta Copaca $\mu\text{g/L}$, siguiéndole en concentración, la estación costera de bahía Moreno ($> 9 \mu\text{g/L}$), mientras que los valores más bajos se registraron en Arica y punta Junín ($> 3 \mu\text{g/L}$).

En septiembre-octubre de 2005, todas las transectas presentaron concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$, observándose núcleos de altas concentraciones de cloa a lo largo de toda la zona costera y oceánica. Los valores costeros más altos se observaron en Arica ($> 20 \mu\text{g/L}$), en la intertransecta frente a punta Arenas ($> 10 \mu\text{g/L}$) y en las inmediaciones de Mejillones ($> 10 \mu\text{g/L}$). Con menores concentraciones se observó las transectas de punta Lobos ($> 8 \mu\text{g/L}$) y punta Copaca ($> 6 \mu\text{g/L}$), mientras que



los valores m1s bajos se registraron en las transectas de punta Jun3n ($> 3 \mu\text{g/L}$), y bah3a Moreno ($2 \mu\text{g/L}$). Este a3o es apreciable la gran extensi3n que alcanzaron las lenguas frente a punta Copaca, punta Jun3n y el foco ubicado en el extremo oeste de la zona de muestreo frente a Arica.

En septiembre de 2006, se observan n1cleos de altas concentraciones de cloa a lo largo de la zona costera y oce1nica. Los valores costeros m1s altos se registraron en Arica ($>7 \mu\text{g/L}$), frente a punta Pinto ($>12 \mu\text{g/L}$), en las estaciones de 5 mn frente a punta Jun3n y punta Lobos ($> 2 \mu\text{g/L}$), al norte de Mejillones ($> 4 \mu\text{g/L}$) y a 20 mn frente a bah3a Moreno ($> 4 \mu\text{g/L}$). En el sector oce1nico destac3 la presencia de un n1cleo oce1nico de concentraciones $> 2 \mu\text{g/L}$ al norte de punta Jun3n. Las menores concentraciones se registraron en punta Copaca ($< 1 \mu\text{g/L}$).

5.22.7 Distribuci3n hist3rica de clorofila-a en los meses de diciembre, Primavera

La distribuci3n hist3rica de la distribuci3n superficial de cloa en primavera se muestra en la **Figura 66**.

En diciembre de 1997, se observaron bajas concentraciones de cloa debido al efecto del evento c1ldo "El Ni3o", por lo que la gran mayor3a de los datos variaron entre $< 0,5$ y $< 0,2 \mu\text{g/L}$, siendo el valor m1s alto, $0,9 \mu\text{g/L}$, medido en la estaci3n costera de punta Jun3n.

En diciembre de 1998, a pesar de que no se cuenta con la informaci3n de Arica, se pudo observar la recuperaci3n del sistema, ya que se midieron concentraciones $>1 \mu\text{g/L}$ en todas las estaciones costeras. Los menores valores se observaron en la estaci3n costera de punta Jun3n, donde la cloa concentr3 $1 \mu\text{g/L}$ y los mayores en punta Lobos con $3,8 \mu\text{g/L}$.



En diciembre de 1999, la única transecta que presentó bajas concentraciones fue la de punta Junín, con valores inferiores a 0,4 µg/L. Por otra parte, las mayores concentraciones (4,1 µg/L) se midieron en Arica.

En diciembre de 2000, tanto la transecta de punta Copaca como la de bahía Moreno y la estación de Mejillones, presentaron bajas concentraciones de cloa, menores o iguales a 0,5 µg/L, en tanto que en las demás transectas y estaciones fijas fueron > 1 µg/L. Salvo en Arica donde se midió un máximo de 7,4 µg/L, valor que además correspondió al más alto medido en esta época del año para la serie de diciembre hasta el año 2000.

En diciembre de 2001, la distribución de los valores >1 µg/L fue más amplia que en los casos anteriores, aunque igualmente con escasos núcleos de altas concentraciones. Como el año anterior. Bajas concentraciones cortaron la distribución productiva, entre caleta Chipana y punta Arenas (< 0,7 µg/L). Los máximos valores de este crucero se midieron en Iquique (4,3 µg/L) y en Arica (3,2 µg/L).

En diciembre de 2002, en general los valores fueron más altos que en los años anteriores, con varios núcleos de concentraciones superiores a 3 µg/L. La distribución de valores > 1 µg/L se cortó entre punta Copaca y los 22° 48'S. Los máximos valores se midieron en Arica (5 µg/L) y punta Junín (4,7 µg/L).

En diciembre de 2003, los valores de cloa descendieron principalmente con respecto a los años 2001 y 2002, presentando además concentraciones > 1 µg/L sólo en la parte sur del área de muestreo (> 3 µg/L), sin embargo, la distribución no fue tan distinta a la observada en 1999, o en el año 2000, aunque en esa ocasión la producción se concentró en la zona norte del área de muestreo.

En diciembre de 2005, cuatro transectas presentaron concentraciones >1 µg/L. Las mayores se registraron en: un foco desarrollado entre Tocopilla y bahía Moreno, con máximos >11 µg/L, y en la intertransecta al norte de punta Hornos (Lat. 22° 34'S; >6 µg/L), un segundo foco se extendió desde caleta Chipana a punta Camarones, con



máximo en punta Lobos ($> 5 \mu\text{g/L}$). Concentraciones $< 1 \mu\text{g/L}$ se midieron en transecta la Arica y las estaciones costeras de punta Pinto, punta Madrid y punta Arenas.

En diciembre de 2006, punta Lobos y punta Junín exhibieron pequeños núcleos costeros de valores $> 1 \mu\text{g/L}$, en tanto que en Arica y bahía Moreno, las máximas fueron $> 2 \mu\text{g/L}$. Los valores más bajos se observaron en punta Copaca, $> 0,5 \mu\text{g/L}$. Las concentraciones más altas de este año, se observaron en la estación de Iquique ($4,1 \mu\text{g/L}$) y las estaciones costeras de punta Madrid y punta Arenas ($> 4 \mu\text{g/L}$), Tocopilla y punta Gualaguala ($> 9 \mu\text{g/L}$).

5.22.8 Distribución histórica de clorofila-a en meses de Verano

La distribución superficial de cloa histórica de los cruceros de verano se muestra en la **Figura 67**.

En febrero-marzo de 1998, debido al evento “El Niño”, se observaron concentraciones $< 0,2 \mu\text{g/L}$ en prácticamente toda la zona de estudio, salvo por un foco $> 0,2 \mu\text{g/L}$ observado entre punta Copaca y bahía Moreno. En este último lugar, se midió la mayor concentración de cloa del crucero, $1,1 \mu\text{g/L}$, en un pequeño foco de la estación costera.

En febrero-marzo de 1999, la situación es completamente distinta; importantes núcleos pigmentarios se observaron en el sector de Arica y punta Lobos, con máximos de $4,5$ y $5,9 \mu\text{g/L}$, respectivamente.

En febrero-marzo de 2000, se midieron concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ en cuatro de las cinco transectas, siendo la excepción punta Lobos, donde las mayores concentraciones sólo llegaron a los $0,6 \mu\text{g/L}$. Los mayores valores se midieron en la estación costera de la transecta de punta Junín con $7,5 \mu\text{g/L}$.

En febrero-marzo de 2001, se observó una franja costera de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ que abarcó gran parte del área de estudio. Esta franja se interrumpió en punta



Copaca, donde el valor medido fue $> 0,5 \mu\text{g/L}$. El máximo valor ($6,6 \mu\text{g/L}$) se midió en la estación costera de punta Lobos.

En febrero-marzo de 2002, en general las concentraciones fueron más elevadas que en los períodos anteriores, observándose una franja de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ entre punta Junín y bahía Moreno, donde la mayoría de los valores superaron los $2 \mu\text{g/L}$. En este sentido, el máximo se observó frente a bahía Moreno con $8,7 \mu\text{g/L}$. En el sector costero, las concentraciones más bajas del área de estudio se midieron en la transecta de Arica, siendo, $0,7 \mu\text{g/L}$.

En marzo de 2003, las concentraciones fueron incluso más elevadas que en el verano de 2002, observándose una franja casi continua de concentraciones $>1 \mu\text{g/L}$, la que se interrumpió en punta Copaca, donde el valor costero fue de $0,7 \mu\text{g/L}$. La distribución de cloa presentó tres núcleos de concentraciones que superaron los $5 \mu\text{g/L}$, en caleta Chipana, punta Junín y Arica. En este último sector, los máximos se registraron en la estación costera ($9,8 \mu\text{g/L}$) y en la estación fija ($11,3 \mu\text{g/L}$).

En marzo de 2004, los registros de cloa fueron los más elevados de todo el período, observándose una franja de altas concentraciones a lo largo de toda el área de estudio. Esta distribución se caracterizó por presentar cuatro focos de concentraciones que superaron los $10 \mu\text{g/L}$. El máximo valor se midió en la estación costera de la transecta de Arica, donde la concentración de cloa superó los $46 \mu\text{g/L}$.

En febrero de 2006, las concentraciones fueron muy inferiores a las reportadas en 2004. Las cuatro transectas situadas entre Arica y punta Copaca, presentaron concentraciones de $2 \mu\text{g/L}$ en las estaciones costeras, con un máximo en punta Junín $> 4 \mu\text{g/L}$. En bahía Moreno los valores fueron $< 0,3 \mu\text{g/L}$. Salvo por la estación fija de Iquique, todas las estaciones de las intertransectas presentaron valores $< 1 \mu\text{g/L}$.

En marzo de 2007, en el sector costero se observaron dos franjas de valores $>1 \mu\text{g/L}$, una entre Arica y caleta Chipana y la segunda en el extremo sur, entre las



inmediaciones de Mejillones y bahía Moreno. En punta Copaca el valor $> 1 \mu\text{g/L}$, sólo se registró en la estación costera. Las menores concentraciones se registraron entre punta Arenas y Tocopilla ($< 1 \mu\text{g/L}$) y las más altas en Arica ($> 6 \mu\text{g/L}$).

5.22.9 Distribución vertical de clorofila

En septiembre de 2006 (**Figs. 68a y 69a**), en 10 de las 12 transectas se detectaron núcleos de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ de clorofila-a (cloa) con espesores variables que no superaron los 30 m. En Arica se registraron las concentraciones más altas del muestreo, con un núcleo de valores $> 5 \mu\text{g/L}$ dentro de los 20 m de las estaciones de 5 y 10 mn, con un máximo de $25,6 \mu\text{g/L}$ en los 10 m de esta última estación. Desde punta Junín a punta Copaca, los núcleos estuvieron restringidos a los primeros 10 m dentro de las 10 mn con máximos $> 2 \mu\text{g/L}$. En bahía Moreno el núcleo, $> 1 \mu\text{g/L}$, abarcó desde la costa hasta las 20 mn con un espesor máximo de 30 m y un valor de $5,4 \mu\text{g/L}$ en los 10 m de la estación de 10 mn. En rada Paposo, el núcleo estuvo restringido a los primeros 5 m de las 5 mn primeras millas, con un máximo de $4,8 \mu\text{g/L}$. Frente a Chañaral, se observó el núcleo, $> 1 \mu\text{g/L}$, de mayor tamaño el que abarcó con distinto espesor hasta las 40 mn, con máximos $> 8 \mu\text{g/L}$ dentro de las 5 mn y $> 3 \mu\text{g/L}$ en los primeros metros de la estación de 20 mn y en los 30 m de las 40 mn. En bahía Salada y caleta Inglesa las concentraciones máximas fueron mayores a $0,5 \mu\text{g/L}$. En punta Farellones el núcleo de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ estuvo restringido a las 5 primeras mn no sobrepasando los 20 m, con un máximo $> 2 \mu\text{g/L}$. En caleta Maitencillo un pequeño núcleo de $1,1 \mu\text{g/L}$ se registró en los 30 m de las 10 mn. En la transecta de Pichidangui, el núcleo de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ se ubicó entre las 5 y 10 mn con un espesor de 30 m.

En diciembre de 2006 (**Fig. 70a**), las cinco transectas presentaron núcleos de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ de cloa, los que se distribuyeron en la costa en general hasta una profundidad entre 30 a 50 m, con máximos subsuperficiales. En Arica el núcleo costero de valores $> 3 \mu\text{g/L}$ sobrepasó las 20 mn, y en la primera milla concentraciones, $> 10 \mu\text{g/L}$, se midieron entre los 5 m 10 m. un segundo núcleo de $1,5 \mu\text{g/L}$ se registró los 30 m de las 100 mn. En punta Junín el núcleo, $> 1 \mu\text{g/L}$,



estuvo restringido a las primeras 5 mn, abarcando desde superficie hasta los 30 m, conteniendo concentraciones $> 10 \mu\text{g/L}$ en el nivel subsuperficial y un máximo de $14 \mu\text{g/L}$. En punta Lobos el núcleo costero, $> 1 \mu\text{g/L}$, se extendió desde superficie hasta los 50 m en la primera milla, con una concentración máxima $> 6 \mu\text{g/L}$ en los 20 m de la estación de 5 mn. El segundo núcleo se ubicó entre las 40 y 70 mn, centrado en los 40 m, con una concentración máxima $> 2 \mu\text{g/L}$. En punta Copaca se observaron dos núcleos subsuperficiales de valores $> 1 \mu\text{g/L}$, uno entre los 20 y 30 m en la estación costera y uno más profundo en los 50 m de las 20 mn. En la transecta de bahía Moreno el núcleo, $> 1 \mu\text{g/L}$, tuvo un espesor máximo de 50 m en la estación costera, el máximo fue $> 5 \mu\text{g/L}$ entre los 10 y 20 m dentro de las 10 mn.

En marzo de 2007 (**Fig. 71a**), las cinco transectas presentaron núcleos de clorofila-**a** $> 1 \mu\text{g/L}$, los que se distribuyeron en general hasta una profundidad entre 20 a 30 m, presentando todas, altas concentraciones subsuperficiales. En Arica el núcleo se extendió hasta 20 mn en el nivel de 20 m, conteniendo concentraciones $> 5 \mu\text{g/L}$ dentro de las primeras 10 mn, con un máximo ($> 10 \mu\text{g/L}$) en el nivel de 10 m de las 5 mn. En punta Junín el núcleo que se extendió hasta las 10 mn, superó los 30 m en la estación costera, presentando las mayores concentraciones en el nivel de 20 m ($> 8 \mu\text{g/L}$). En punta Lobos el núcleo tuvo forma de cuña, extendiéndose en el nivel de 30 m hasta las 20 mn. Esta transecta presentó dos núcleos subsuperficiales de altas concentraciones, uno costero 5 y 10 m ($> 10 \mu\text{g/L}$) y uno entre los 10 y 20 m en las 10 mn ($> 4 \mu\text{g/L}$). En punta Copaca el núcleo subsuperficial se extendió hasta las 40 mn, conteniendo dos pequeños núcleos de valores $> 4 \mu\text{g/L}$, en las 5 y 20 mn. En la transecta de bahía Moreno, el núcleo productivo se extendió aproximadamente hasta las 18 mn, con concentraciones que superaron los $5 \mu\text{g/L}$.

Los feopigmentos (**feop**) en los tres cruceros (**Figs. 68b, 69b, 70b y 71b**), siguieron la distribución de la **cloa** observándose los mayores valores en los mismos lugares donde se desarrollaron los máximos de ésta, siendo siempre inferiores a ella en los sectores costeros.



En septiembre (**Figs. 68b y 69b**), la mayor concentración de **feop**, 3,1 $\mu\text{g/L}$, se registró a 10 m de profundidad y a una distancia de 10 mn del puerto de Arica. Desde Chañaral al norte y para la zona nerítica, la mayoría de las transectas, a excepción de la realizada frente a punta Copaca ($> 0,5 \mu\text{g/L}$), presentaron concentraciones $>1 \mu\text{g/L}$. En Chañaral se registraron dos núcleos cuyas concentraciones fueron superiores a 1 $\mu\text{g/L}$, localizados a 20 mn y 40 mn, respectivamente. Entre bahía Salada y Pichidangui los valores de feop fluctuaron en torno a 0,2 $\mu\text{g/L}$.

En diciembre (**Fig. 70b**) cuatro de las cinco transectas presentaron núcleos de feop $>1 \mu\text{g/L}$. Punta Copaca fue la única transecta con valores máximos $> 0,5 \mu\text{g/L}$. En punta Lobos se observaron tres núcleos, conteniendo además, las mayores concentraciones del muestreo, 2,1 $\mu\text{g/L}$, en los 50 m de la estación de 20 mn.

En marzo (**Fig. 71b**) las cinco transectas presentaron núcleos de valores de feop $>1 \mu\text{g/L}$ (**Fig. 27**) en la vertical. Los mayores valores se registraron en punta Lobos ($>4 \mu\text{g/L}$) y Arica ($> 2 \mu\text{g/L}$). En Arica se observó un segundo núcleo de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ entre los 50 y 75 m.

5.22.10 Fluorescencia

En septiembre, los valores de fluorescencia in vivo (fliv) (**Figs. 68c y 69c**) en Arica presentaron un núcleo de valores > 3 (volt) entre las 5 y 20 mn, con un máximo espesor de 30 m y valores máximos > 10 (volt) en los 12 y 16 m de profundidad. Desde punta Junín a punta Copaca los núcleos > 4 (volt) estuvieron restringidos a los primeros 15 m entre las 5 y 10 mn. En bahía Moreno el núcleo de > 4 (volt) abarcó entre las 10 y 20 mn con un espesor máximo de 20 m y un máximo de > 5 (volt). En rada Paposó, valores > 4 (volt) se observaron en los primeros 5 m de la estación costera. En Chañaral valores > 4 (volt) se registraron en las 5 primeras mn y entre las



20 y 40 mn con un espesor máximo de 50 m y valores máximos de > 5 (volt). En bahía Salada los valores más altos fueron > 3 (volt) en el sector costero.

En diciembre la distribución de Fliv (**Fig. 70c**) mostró en la transecta de Arica un núcleo de valores > 4 volt entre la costa y las 20 mn, con espesor variable que no superó los 22 m, dentro del cual se registró un máximo > 7 volt. En la estación de 100 mn, se detectó un segundo núcleo con valores > 5 volt, centrado en los 40 m. En punta Junín el núcleo de valores > 3 volt abarcó desde los 4 hasta los 34 m dentro de las primeras 10 mn, con valores máximos > 7 volt. En punta Lobos, se registraron 3 núcleos de valores > 3 volt: dentro de las 10 mn que abarcó entre los 10 y hasta 30 m, con máximos > 6 volt; un segundo núcleo se observó entre los 46 y 55 m de las 20 mn y un tercero de mayor tamaño, abarcó entre los 20 y 50 m entre las 40 mn y 70 mn, con valores máximos > 5 volt. En la transecta de punta Copaca presentó valores máximos (> 3 volt) en tres pequeños núcleos, ubicados en los 10, 38 y 42 m de las estaciones de 5, 20 y 70 mn, respectivamente. En la transecta de bahía Moreno un núcleo de valores > 3 volt entre la costa y las 20 mn, con un espesor máximo de 30 m, conteniendo máximos > 5 volt; entre las 70 y 100 mn se observó un segundo núcleo con valores > 3 volt, centrado en los 50 m.

En marzo la fliv (**Fig. 71c**) presentó en Arica un núcleo en forma de cuña de valores > 4 (volt) que se extendió desde los 5 a los 80 m entre la costa y las 40 mn, con máximos > 5 (volt). Un segundo núcleo, > 4 (volt), se detectó en los 40 m de las 100 mn. En punta Junín un amplio núcleo subsuperficial de valores > 3 (volt) atravesó toda la transecta, con máximos valores, > 4 (volt), que se extendieron hasta los 20 m en las 5 mn. En punta Lobos, dos núcleos de valores > 5 (volt) se ubicaron en los 35 m de las 20 mn y entre los 10 y 20 m dentro de las 10 primeras millas, donde el máximo fue > 10 (volt). En punta Copaca varios núcleos de valores > 4 (volt) se repartieron entre los 18 y 50 m, uno entre las 70 y 100 mn y dos dentro de las primeras 20 mn donde los máximos fueron > 5 (volt). En bahía Moreno, un núcleo de valores > 4 (volt) se extendió entre los 4 y 42 m en las primeras 10 mn, y un segundo abarcó entre los 30 y 84 m, como máximo, entre las 20 y 100 mn.



Ambos contuvieron núcleos de valores > 5 (volt), de estos el de mayor tamaño ubicado en las 100 mn, abarcó entre los 42 y 74 m.

5.22.11 Profundidad del 1% de penetración de luz

En el crucero de septiembre de 2006, se realizó lectura del disco Secchi en 39 estaciones (**Tabla 9**), a partir de esta información se dedujo que la profundidad el 1% de penetración de luz se distribuyó entre los 14 y 62 m, para la zona que abarcó desde la costa hasta las 20 mn, en este sector la **CM** varió entre 3 y 8 m. Por otra parte en el sector oceánico, los rangos que abarcó cada porcentaje de penetración de luz fue de 27 a 50 m para el 1%, coincidiendo además con un rango de **CM** que fue desde los 0 los 66 m de profundidad.

En el crucero de diciembre de 2006, se realizó lectura del disco Secchi en 28 estaciones (**Tabla 10**), entre las 7:09 y 20:55 horas. A partir de esta información se dedujo que la profundidad del 1% de penetración de luz, se distribuyó entre los 9 y 27 m, para la zona que abarcó desde la costa hasta las 20 mn, sector donde la **CM** varió entre 0 y 4 m. Fuera de las 20 mn, el rango que abarcó el porcentaje de penetración del 1 % luz fue de 18 a 50 m, coincidiendo además con un rango de **CM** que abarcó entre los 0 y 16 m de profundidad.

En el crucero de marzo de 2007, se realizó lectura del disco Secchi en 33 estaciones (**Tabla 11**) entre las 6:42 y 18:24 horas. A partir de esta información se dedujo que la profundidad del 1% de penetración de luz, se distribuyó entre los 6 y 50 m para la zona que abarcó desde la costa hasta las 20 mn, sector donde la **CM** varió entre 0 y 6 m. Fuera de las 20 mn, el rango que abarcó el porcentaje de penetración del 1 % de luz fue de 27 a 62 m, coincidiendo además con un rango de **CM** que abarcó entre los 0 y 22 m de profundidad.



5.22.12 Modelamiento estadístico relación entre clorofila y variables ambientales

Debido al sesgo positivo en la distribución de las variables a modelar, se normalizaron los datos utilizando la transformación logarítmica. Con esto el modelo lineal generalizado considera el logaritmo de la variable de interés como respuesta, con distribución normal y función de enlace identidad.

Un resumen de los resultados del método paso a paso para la clorofila-a, clorofila integrada y clorofila total se presentan en la **Tabla 12**. Para la clorofila-a, el modelo seleccionado considera como covariables la capa de mezcla y capa fótica, con un factor asociado al crucero y una interacción entre capa de mezcla y el crucero, este modelo presenta un pseudo- r^2 de 0,72, siendo significativos solo los coeficientes asociados a la capa fótica y el factor crucero (**Tabla 13**), con un mayor aporte a la variabilidad total explicada por el modelo, de la covariable capa fótica. Se observan diferencias significativas entre las concentraciones de clorofila-a entre los cruceros de septiembre y diciembre de 2006 (**Tabla 14**).

Para la clorofila integrada, el ajuste elegido a través del criterio de Akaike (AIC) considera las covariables máximo gradiente y espesor de la termoclina, el factor correspondiente al crucero y la interacción entre las covariables y el crucero, el ajuste presenta un pseudo- r^2 de 0,28 (**Tabla 12**). Solo presentan significancia la covariable espesor de la termoclina y el factor crucero (**Tabla 15**). Se observan diferencias significativas entre las concentraciones de clorofila integrada para todos los cruceros (**Tabla 16**).

Finalmente la clorofila total, considera la covariable fluorescencia in vivo y el factor crucero, con un pseudo- r^2 de 0,53, siendo significativos sus coeficientes (**Tabla 17**), con un mayor aporte a la variabilidad total explicada por el modelo, de la covariable fluorescencia in vivo. No se observan diferencias significativas entre las



concentraciones de clorofila total entre los cruceros de septiembre y diciembre de 2006 (**Tabla 18**).

Para los datos de las estaciones de crucero pareados con los datos de las imágenes de color, el análisis exploratorio del ploteo sugirió como mejor modelo a una relación lineal (**Fig 72**).

El ajuste del modelo, mediante el método de mínimos cuadrados de todos los datos disponibles, arrojó un coeficiente de determinación en el caso de cloa v/s cloas de **$R^2 = 0,6479$ ($r = 0,80$)**. Siendo este resultado mejor que el obtenido con la clorofila total o integrada

5.22.13 Diferencias entre la Concentración de Clorofila para dos tipos de filtro

Para el análisis factorial se considero la transformación logarítmica de la clorofila, esto debido a la asimetría presentada (**Fig. 73a**). La transformación logarítmica permitió normalizar la distribución probabilística (p-value=0.8) y estabilizar la varianza (**Fig. 73b**).

En la **Tabla 19** se presentan los resultados del análisis de varianza, los cuales indican que no existe interacción entre los factores (p-value > 0,1), mientras que para los efectos principales considerados en el análisis, sólo se presentan diferencias significativas en las concentraciones medias de clorofila en una escala temporal (cruceros) y batimétrica (p-value < 0,001), no así para los dos filtros donde las diferencias presentadas no son significativas (p-value = 0,6; **Fig. 73c**).

5.23 Monitoreo Satelital

La serie latitud-tiempo para la TSM costera muestra una marcada estacionalidad, registrando los máximos valores durante los meses de verano y los mínimos en los meses de invierno (**Fig. 74**). En efecto, en el área de estudio la TSM promedio para



las primeras 30 millas náuticas registra en verano los máximos valores con un promedio espacial de 21°C, alcanzando los mínimos valores (18°C) al sur de la zona de estudio y máximo valores (23°C) al norte. En otoño los valores de TSM tienden a disminuir, alcanzando un promedio espacial de 18°C, ya en invierno se registran los mínimos valores alcanzando una media espacial de 14°C. Y nuevamente en primavera vuelven a aumentar los valores de TSM, registrándose en promedio los mismos valores registrados durante otoño y posteriormente alcanzar los 22°C durante verano. Este comportamiento de la TSM en la zona de estudio se repite año a año, reflejando el cambio estacional de esta variable en la zona de estudio. La serie latitud-tiempo para la TSM oceánica registra el mismo patrón observado en la serie costera, pero los valores tienden a ser más altos que los registrados en la costa para verano y más bajos en invierno, además su cobertura temporal tiende a ser también mayor. En verano se observan valores más altos por sobre los 25°C y en invierno los más bajos por sobre los 6°C. La climatología de la TSM refleja que su distribución espacial y su magnitud son similares en otoño y primavera. Por otro lado, en verano se registran los valores más altos y en invierno los más bajos. Este comportamiento estacional que presenta la temperatura de las aguas costeras más cálidas en verano que en invierno, reflejaría el ciclo estacional de calentamiento y expansión.

En cambio, para la Cloa media costera se observan dos áreas de altas concentraciones de clorofila-a satelital, al norte de los 23°S y otra franja de predominio de valores bajos al sur de los 23°S (**Fig. 75**). Casi toda la franja costera de las primeras 30 millas náuticas permanece con valores superiores a los 4 mg/m³ durante verano-otoño y primavera-verano, en cambio en invierno los valores tienden a ser menor a los 4 mg/m³ al norte de los 23°S. Al sur los valores tienden a ser mas altos en primavera-verano y bajos en invierno, y se observan focos con altas concentraciones de clorofila entre los 29°- 30°S. En cambio, para la clorofila satelital media oceánica se observan valores muy bajos en verano-otoño al norte de los 24°S y valores por sobre 1 mg/m³ en invierno. Al sur de los 26°S, valores por sobre 1 mg/m³ se observan en verano-otoño y en agosto-octubre. Se observa un



predominio espacial de valores altos de clorofila durante primavera del 2006, verano y otoño del 2007. Cabe mencionar una franja continua de valores significativos de clorofila son observados en torno a Mejillones y Antofagasta durante todo el periodo de estudio debido probablemente a la topografía de la zona que debe estar permitiendo el aumento de la concentración en esas áreas.

Para el campo superficial de corrientes geostroficas (**Fig. 76**), la estación correspondiente al frente de Arica muestra durante el verano del 2006 una tendencia del flujo en la dirección suroeste para posteriormente cambiar durante los meses de abril-mayo hacia un flujo en dirección noreste. Durante el invierno del 2006 la componente zonal tiende a presentar valores negativos y cercanos a cero, mientras que la componente meridional presenta valores más altos con un flujo en dirección norte, luego en agosto hasta noviembre la componente meridional presenta valores negativos, mientras que la otra presenta valores positivos con una clara orientación del flujo en dirección sureste. Al final del 2006, los valores de la componente zonal como meridional presentan valores bajos, cercanos a cero. Durante el verano de 2007 la componente zonal presenta valores negativos y la meridional presenta tanto valores negativos como positivos con un flujo en dirección este, sin embargo, durante febrero y marzo de 2007 ambas componentes presentan valores similares y en fase, con un flujo marcado hacia en noreste. Para el punto de muestreo al frente de Iquique, los rangos que exhiben los diferentes componentes presentan bajos valores con respecto a punto de muestreo frente Arica, con un flujo en dirección noreste durante verano del 2006. Entre abril y julio predominan valores positivos en la componente zonal, con una clara orientación del flujo en dirección este. Posteriormente, los valores de ambas componentes tienden a disminuir, marcando un flujo en dirección noroeste y en primavera de 2006 y verano de 2007 se observa una marcada tendencia aumentar los valores de la componente meridional y a disminuir los valores de la otra, evidenciando un flujo en dirección noreste. El punto de muestreo frente a Tocopilla presenta al inicio del periodo un flujo marcado en dirección suroeste para luego cambiar a norte a finales de abril. Durante invierno y primavera de 2006, ambas componentes presentan una



misma tendencia al aumento de sus valores con un flujo predominante hacia el noreste. Sin embargo, a finales del 2006 la tendencia se revierte hacia valores negativos, donde el flujo se hace más evidente hacia el sur. Durante el verano de 2007 los valores vuelven a mostrar una tendencia hacia valores positivos con un flujo predominante hacia el este. Un flujo en dirección norte es observado en el punto de muestreo frente Antofagasta durante el primer trimestre del 2006, luego los valores tienen a estar cercanos a cero, flujos de corrientes débiles en gran parte del invierno. Durante octubre y diciembre de 2006, el flujo pasa de una dirección hacia el norte a una dirección hacia el este, y finalmente durante el verano de 2007, el flujo es predominante hacia el norte. En la estación ubicada entre Taltal y Chañaral no se observa un patrón claro, los valores de ambas componentes tienen a ser iguales y no presentan grandes amplitudes que determinen la presencia de un flujo permanente y con una orientación definida, mas bien los valores se encuentran cercanos a cero. Y finalmente en la estación cercana a los 31°S, se observa un flujo hacia el este a comienzo del período y luego hacia el oeste en abril, posteriormente ambas componentes presentan un tendencia al aumento en sus valores, para ya en julio la componente meridional presenta su mayor valor con una dirección marcada hacia el norte para luego pasar a un flujo en dirección noreste a finales de 2006. Durante el resto del año los valores de ambas componentes permanecen iguales con una misma tendencia hacia flujos noreste y noroeste.

Durante el periodo de estudio analizado, se observa en general una separación regional de variabilidad en el transporte de Ekman a lo largo de la costa de Chile (**Fig. 77**). Una región donde dominan bajos valores en el transporte de Ekman al norte de los 26°S y otra región donde dominan altos valores al sur de los 26°S, es decir, se observa una tendencia negativa de sur a norte. En cambio para la componente de variabilidad asociada al tiempo se distinguen un periodo de magnitudes de transporte intermedios durante verano de 2006, con algunos pulsos significativos en abril. Hacia el invierno, en general los valores tienden a ser bajos pero se observan varios pulsos intraestacionales de altos valores en el transporte de Ekman. Ya en julio de 2006 se observa el valor más bajo del periodo analizado,



para luego presentar una tendencia creciente hasta noviembre donde se observan los pulsos intraestacionales más altos del periodo analizado. Ya en diciembre, se observa una tendencia decreciente con valores bajos en el transporte de Ekman hasta marzo de 2007. Durante el segundo semestre de 2006, donde fueron observados los valores más altos del transporte, también es posible observar valores altos a lo largo de la costa, principalmente entre los 21°S y los 26°S.

5.24 Monitoreo Pesquero

Durante el año 2006, el 58% de la captura total de anchoveta se registraron en las primeras 10 millas náuticas, un 24% en las 20 millas náuticas y el 8% en las 30 millas náuticas. En términos latitudinales, el 77% de la captura total de anchoveta se capturó en la primera región y el 24% en la segunda región, sin embargo, dos focos latitudinales por sobre el 20% de la captura total fueron observados, uno en torno a los 21.25°S y el otro al sur de Arica. El perfil de las primeras diez millas náuticas muestra una banda casi continua de distribución latitudinal al norte de los 23°S con dos focos principales de captura, uno entre los meses de febrero a mediados de abril, luego se produce una brecha de casi nulas capturas hasta septiembre, y entre septiembre y mediados de octubre se registra el segundo foco de capturas importantes (**Fig. 78**). Durante el año 2006, las capturas de anchoveta fueron más importantes en el segundo foco que en el primer foco, en este segundo periodo la pesquería pudo remontar los niveles muy bajos registrados al comienzo del periodo 2006, y al sur de los 25°S las capturas de anchoveta fueron esporádicas y a diferentes periodos temporales.

5.25 Funciones Ortogonales Empíricas

Los tres primeros componentes principales fueron retenidos para su interpretación. Entre ellas toman en cuenta un 75% de la varianza total observada. Los otros componentes fueron descartados básicamente porque individualmente ellos toman en cuenta muy poca cantidad de varianza adicional que la ya explicada por los primeros tres. El primer componente principal toma en cuenta un 67.96% de la



varianza, con un patrón espacial marcado por un gradiente perpendicular a la costa, donde una zona costera varía en forma opuesta a la zona oceánica, una variación en sentido este-oeste (**Fig. 79**). Este patrón espacial tiene un marcado patrón temporal con valores positivos durante los meses de verano y valores negativos durante los meses de invierno (**Fig. 80**). El segundo componente principal toma en cuenta un 4,43% de la varianza, con un patrón espacial marcado por valores negativos en una porción al norte de la zona de estudio y valores positivos fueron observados en la parte sur. Altos valores fueron observados al sur de los 21°S y valores negativos al norte. Este patrón espacial no presenta una marcada señal temporal, presenta una tendencia positiva en el periodo, con valores negativos durante julio-agosto de 2006 para luego presentar en general valores positivos al final del periodo analizado, sin embargo se observan pulsos positivos en escalas temporales menores a 90 días. El tercer componente principal toma en cuenta un 2,91% de la varianza, con un patrón espacial marcado por valores positivos en una franja cercana a la costa y valores negativos en la parte oceánica. Este patrón espacial presenta una tendencia negativa durante verano e invierno del 2006, con pulso de valores positivos también a escalas intraestacionales. Desde septiembre hasta diciembre de 2006 se observa valores positivos de este patrón espacial, al final del periodo analizado se observa una tendencia negativa de este componente.

5.26 Relación entre ambiente y recurso

La correlación entre la serie temporal derivada del análisis hecho sobre la serie de las imágenes satelitales de TSM y la serie temporal de las capturas de anchoveta para el año 2006 no se observa un valor alto de correlación (18%), sin embargo se observa una alta sincronía temporal entre las series durante el periodo de estudio (**Fig. 81a**). Al inicio del periodo analizado ambas series presentan una tendencia negativa hasta alcanzar sus mínimos valores entre la semana 34 y 37. Cabe mencionar que el año pesquero 2006 fue un año anómalo (Martínez *et al.*, 2007) ya que las capturas fueron más bajas que el promedio de los últimos seis años y



además durante el primer semestre del 2006 se registro la menor merma con respecto al promedio histórico, sugiriendo que la curva de las capturas debería haber estado mucho mas cerca de la primer componente principal de la TSM en el primer semestre y por ende se alcanzaría un valor de correlación mucho más alto, en cambio en el segundo semestre ambas series temporales presentan una tendencia positiva y sincronía hasta el final del año. Cabe mencionar que niveles positivos de capturas ocurren cuando el ambiente esta pasando de una condición homogénea, dominada temperaturas cálidas en verano a un condición homogénea fría en invierno, esta transición esta dominada por fuertes gradientes termales superficiales producto del alejamiento de las masas de aguas cálidas y por la aparición de aguas frías (verano-otoño), y posteriormente ocurre el proceso inverso, dando origen a una transición entre el alejamiento de masas de aguas frías y la aparición de masas de aguas cálidas volviendo a generar fuertes gradientes térmicos (primavera-verano).

5.26.1 Transporte

El transporte perpendicular a la costa inducido por el viento muestra un incremento de su intensidad desde el norte hacia el sur de la zona de estudio (**Fig. 81b**). Asociados a esta tendencia latitudinal se observaron 5 máximos relativos (523, 723, 799, 1250 y 1252 m³/s), los cuales ubicados en las latitudes 19,5°, 22,8°, 24,1°, 28,3° y 30,25° S, correspondientes al área de Pisagua, norte de Mejillones, sur de Antofagasta, al norte de Huasco y finalmente en punta Farellones. Junto con estos máximos aparecieron dos mínimos significativos (502 y 612 m³/s), ubicados en las latitudes 20,2° y 26,3° S (Iquique y Chañaral, respectivamente).

5.26.2 Pesca Acumulada de anchoveta

Valores puntuales acumulados de pesca de anchoveta (**Fig. 81b**) muestran un área, entre Arica (18,4°) y Tocopilla (22°), que presenta una banda costera donde se concentran altos valores de captura acumulados (600 a 1000 Ton). Más al sur se



presentó un mínimo entre punta Grande y rada Paposó (25° S) con pescas acumuladas que no superan las 500 Ton. Entre Tal-Tal ($25,3^{\circ}$ S) y Chañaral ($26,3^{\circ}$ S) se presentó el máximo tonelaje de pesca en una menor área llegando a superar las 1400 Ton en la zona entre punta Ballenita ($25,8^{\circ}$ S) y los 26° S. Un segundo máximo importante (> 3000 Ton acumuladas) aparece asociado al sur de bahía Copiapó ($\sim 27,5^{\circ}$ S).

5.26.3 Interacción entre Transporte promedio y Pesca acumulada

Los resultados combinados (**Fig. 81b**) muestran una clara relación inversa entre la intensidad del transporte perpendicular a la costa promedio y la captura promedio semanal acumulada durante el periodo marzo-diciembre de 2006 entre los 18° y 32° S.

Esta relación permite definir 4 macro zonas importantes entre los 18° y 32° S: Entre los 18° y 22° S donde el transporte de Ekman no supera los $600 \text{ m}^3/\text{s}$ las capturas acumuladas aunque variables se mantienen entre 650 y 1000 ton. Entre los 22° y los 25° S con el incremento del transporte a valores sobre los $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ las capturas acumuladas caen a valores menores a 600 ton. La tercera zona, entre los 25° S y $27,5^{\circ}$ S, con mayor variabilidad, muestra un mínimo en el transporte perpendicular a la costa ($\sim 650 \text{ m}^3/\text{s}$), asociado a los máximos valores acumulados de pesca de anchoveta en el norte de Chile, superando las 3000 ton e incluso las 4500 ton en la zona de Tal-Tal. Al sur de los 28° S, donde el transporte de Ekman supera los $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ con máximos mayores a $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, las capturas de anchoveta están ausentes



B. Objetivo específico 2.2

“Describir y analizar la distribución de abundancia estacional del ictioplancton, incluyendo huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa en la zona de estudio, y su relación con las condiciones oceanográficas”

6. Distribución y abundancia de huevos y larvas de peces

El procesamiento y análisis de las 211 muestras de zooplancton recolectadas durante la realización de los cruceros de monitoreo, con la finalidad de determinar la distribución y abundancia de los estadios tempranos de anchoveta, sardina española, jurel y caballa, permitió cuantificar la presencia de 923.098 huevos y 307.411 larvas, de los cuales 671.084 huevos (72,7 %) y 164.147 larvas (53,4%) correspondieron a las especies objetivo del estudio. El detalle del número de huevos y larvas por especie correspondiente a la totalidad de las muestras procesadas se entrega en las **Tablas 20 y 21**.

Cabe mencionar que durante la prospección realizada en septiembre de 2006 no hubo registros positivos para larvas de sardina. Durante diciembre de 2006, no se registran estaciones positivas para huevos de sardina. De la misma manera, en marzo de 2007, no se encontraron estaciones positivas para huevos y larvas de sardina y jurel.

6.1 Anchoveta, *Engraulis ringens*

En el curso de los tres cruceros se reconocieron 63 registros positivos para huevos y 123 para larvas, lo que representó una frecuencia de 29,8% y 58,2% y una dominancia numérica igual a 72,1% y 53,0% para cada una de las respectivas fases de desarrollo. El procesamiento y análisis de las muestras permitió determinar la presencia de 665.779 huevos y 163.198 larvas de anchoveta, señalando para la especie una importante actividad reproductiva durante los meses de septiembre y diciembre de 2006, lo cual es coherente con los máximos primario



y secundario de desove que caracteriza el ciclo de madurez sexual de esta especie **Tablas 20 y 21.**

6.1.1 Crucero Septiembre de 2006

Se identificaron 29 estaciones positivas para huevos y 56 para larvas, lo que represento una frecuencia de 28,2% y 54,4% y una dominancia numérica igual a 88,9% y 68,7% para cada estadio de desarrollo, respectivamente (**Tabla 20 y 21**).

El análisis de las muestras recolectadas en las 103 estaciones zooplanctónicas permitio verificar la presencia de 302.838 huevos y 106.538 larvas, señalando una situación característica de una amplia e importante actividad reproductiva a lo largo de la extensión latitudinal comprendida entre Arica y Chañaral (26°19,9'S), la cual es coincidente con el pico primario de desove que caracteriza el ciclo de madurez sexual de esta especie. Entre Chañaral y caleta Maitencillo de Coquimbo (31°13,7'S) no se registró presencia de huevos y larvas de este recurso.

La fase de huevos exhibió abundancias que fluctuaron entre 25 y 88.871 huevos/10m². La media de huevos por estación positiva alcanzó a 10.443 (DS= 21787,94).

La distribución geográfica de los huevos de anchoveta en el área de estudio, señala que el desove ocupó el rango latitudinal comprendido entre Arica y Pichidanguí (32°08S) y longitudinalmente se extendió hasta las 70 mn frente punta Junín (19°40'S) (**Fig. 82a**).

No obstante, la amplia cobertura espacial del desove y de acuerdo a lo indicado por la fase de huevos, estos presentaron una modalidad nerítica en su postura concentrándose el 99,9% de ellos en las primeras 40 mn, presentando los niveles de abundancia una leve tendencia a incrementarse hacia el norte de la zona prospectada.



Las áreas de mayor abundancia (> 22.000 huevos/ 10m^2) se localizaron frente a Arica, punta Gruesa ($20^{\circ}23'S$), punta Lobos ($21^{\circ}00'S$) y Chañaral ($26^{\circ}19,9'S$), encontrándose configuradas por 4 registros positivos de un total de 29 (13,7%) los que en conjunto albergaron al 74,8% del total de huevos de anchoveta cuantificados. El resto de las estaciones positivas, no incluidas las áreas de desove anteriormente mencionadas, presentaron también niveles de abundancia significativos comprendidos dentro del rango 32 a 18.207 huevos/ 10m^2 . En este contexto, la estación positiva más relevante en términos de su abundancia para la zona de estudio fue la designada con el número 83, situada a 40 mn frente a punta Gruesa con 88.871 huevos/ 10m^2 (29,3%).

Con respecto al número de huevos y para la zona Arica - Antofagasta, el invierno de 2006 presentó con respecto al crucero de invierno precedente una tasa de cambio negativa igual a 49,4%, constituyéndose en el décimo cuarto registro más importante en cuanto al número de huevos cuantificados de los últimos 25 años.

Las fases larvarias se presentaron en 56 registros positivos de un total de 103, con una abundancia igual a 106.538 larvas/ 10m^2 , fluctuando ésta entre 34 y 18.172 larvas/ 10m^2 , y una densidad promedio igual a 1.034 larvas por estaciones totales. La media de larvas por estación positiva fue igual a 1.902 (DS= 3215,61).

El patrón de distribución espacial de las larvas de anchoveta en el área de estudio, revela que el desove se verificó en el rango latitudinal comprendido entre Arica y Chañaral y longitudinalmente se extendió hasta una distancia de 100 mn de la costa frente a las localidades de Caleta Bandurria del Sur ($23^{\circ}20'S$), punta Camarones ($19^{\circ}21'S$), punta Pinto ($18^{\circ}40'S$) y Arica ($18^{\circ}25'S$) (**Fig. 83a**).

Con respecto a la fase de huevo, y como habitualmente acontece, las larvas de anchoveta exhibieron una mayor cobertura espacial y menor abundancia relativa, la cual se evidenció por una diferencia porcentual de 93,1% en la frecuencia de estaciones positivas y de -64,8% y -81,8% en la densidad promedio por estaciones



totales y positivas, respectivamente; situación que se produce en el primer caso debido al proceso de dispersión y transporte que afecta a estas fases ontogénicas en el transcurso del desarrollo embrionario, y al efecto combinado de la mortalidad y capacidad de evasión por parte de las larvas más desarrolladas.

Las áreas de desove más significativas (> 3.000 larvas) se localizaron frente a bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$), caleta Herradura de Mejillones ($23^{\circ}10'S$), punta Copaca ($22^{\circ}20'S$), caleta Chipana ($21^{\circ}20'S$), punta Lobos ($21^{\circ}00'S$) y punta Patache ($20^{\circ}48'S$), encontrándose configuradas por 8 registros positivos de un total de 56 (14,3%) los que en conjunto albergaron al 63,8% del total de larvas de anchoveta cuantificadas. El resto de las estaciones positivas, no incluidas las áreas de desove anteriormente mencionadas, presentaron niveles de abundancia comprendidos dentro del rango 34 a 2.860 larvas/10m². En este contexto, la estación positiva más relevante en términos de su densidad para la zona de estudio, fue la designada con el número 73, situada a 1 mn frente a caleta Chipana con 18.172 larvas/10m² (17%).

En relación al número de larvas y para la zona Arica - Antofagasta, el invierno de 2006 exhibe respecto al crucero de invierno precedente una disminución en sus niveles de abundancia, lo que se traduce en una tasa de cambio igual a -13,7%, constituyéndose en el duodécimo registro más importante en cuanto al número de larvas cuantificadas de los últimos 25 años.

Las estimaciones de la densidad media, varianza y coeficientes de variación de la abundancia de huevos y larvas de anchoveta para la zona Arica - Antofagasta obtenidas para septiembre de 2006, se presentan en la **Tabla 22**. En ella se aprecia en general, que los coeficientes de variación más bajos y para ambas fases de desarrollo se obtuvieron para la estimación mediante la distribución Log-normal o distribución delta, desde el invierno de 2003 a invierno de 2005 para el estadio de huevos y hasta otoño de 2004 para las fases larvarias, donde la situación se revierte.

La **figura 84**, muestra los datos de temperatura superficial del mar registrados en invierno de los años 1981 – 2006 y la densidad promedio por estaciones positivas de



larvas de anchoveta y sardina, utilizada como un índice de la intensidad del desove para ambas especies. En ella se aprecia que durante los años 1983, 1987, 1991/92 y 1997-98, los valores promedio de temperatura superficial se presentaron sobre los promedios históricos calculados para la zona norte en período invernal y fueron coincidentes con los últimos eventos de El Niño registrados en el norte del país, períodos en los cuales registramos las menores intensidades del desove.

Con respecto a la temperatura superficial, los huevos de anchoveta se encontraron en aguas cuyo rango de temperatura fluctuó entre 13,22 y 18,50°C, registrándose las mayores abundancias (> 150 (√ N°huevos/10m²)) en aguas con temperaturas comprendidas entre 14,96 y 18,41°C (**Fig. 85**). Análogamente, en cuanto a la variable salinidad, los huevos de esta especie se presentan en salinidades comprendidas entre 34,07 y 35,13 psu, observándose las más altas abundancias en salinidades que fluctuaron entre 34,51 y 35,09 psu. En cuanto al oxígeno disuelto superficial los huevos de esta especie se observaron en aguas cuyo rango fluctuó entre 3,70 y 6,85 mL/L, asociándose las mayores abundancias a aguas cuyo contenido de oxígeno fluctuó entre 4,72 y 5,85 mL/L. Con respecto a las fases larvarias, la situación es más o menos similar con respecto a la descrita para huevos en cuanto a rangos distribucionales de las variables monitoreadas (**Fig. 86**).

En las **figuras 87 y 88**, se muestra el efecto de la concentración de oxígeno sobre la distribución vertical de los huevos y larvas de anchoveta. Se aprecia que el límite superior de la capa de mínimo de oxígeno (ca. 1,0mL/L) en aquellas estaciones estratificadas y positivas a la presencia de huevos y larvas de anchoveta, se localizó entre los 40 y 60 m de profundidad en el sector comprendido entre punta Lobos y Arica, superando los 90 m en las transectas realizadas frente punta Copaca y bahía Moreno. La comparación de las densidades promedio (huevos y larvas/10m²), entre los diferentes intervalos de profundidad muestreados, sugiere en general, la presencia de una barrera a la distribución vertical de ambos estadios de desarrollo localizada en las proximidades de concentraciones de oxígeno de 1mL/L.



6.1.2 Crucero Diciembre de 2006

En diciembre de 2006, anchoveta aparece como la especie más abundante en términos de dominancia numérica con valores de 66,57% para los huevos y de 35,71% en el caso de las larvas, reconociéndose 16 estaciones positivas para huevos y 35 para larvas, lo que representó una frecuencia de 29,6% y 64,8%, respectivamente; identificándose un total de 317.666 huevos/10 m² y 29.604 larvas/10m², lo que señala una importante actividad reproductiva en el área de estudio (**Tabla 20 y 21**).

La fase de huevos exhibió abundancias que fluctuaron entre 41 y 174.491 huevos/10 m². La media de huevos por estación positiva alcanzó a 19.854 (DS= 49238,38), cifra 118,8% y 187,6% mayor respecto a la obtenida en invierno de 2006 y primavera de 2005, respectivamente.

El patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta en el área de estudio, señala que el desove se verificó en todo el rango latitudinal de la I y II Regiones y longitudinalmente estuvieron presentes hasta una distancia máxima de 20 mn frente al puerto de Arica (**Fig. 82b**). No obstante lo anterior, la mayor frecuencia de estaciones positivas se observó en la zona comprendida entre Arica y punta Junín (19°40'S), exhibiendo éstos una modalidad costera en la postura, ya que más del 98% de los huevos de esta especie, se distribuyeron en la franja de estaciones comprendida entre la costa y las 10 mn.

Los focos de desove cuantitativamente importantes (> 17.000 huevos/10 m²) se localizaron en el sector costero frente a bahía Moreno, cuyas abundancias en conjunto importan al total de huevos de anchoveta cuantificados un 89,5 %. En este contexto, la estación más importante en términos de número de huevos (>170.000 huevos), correspondió a aquella designada con el número 52, la cual se localizó a 1 mn al oeste de la transecta realizada frente a bahía Moreno.



Con respecto al número de huevos, la primavera de 2006 presentó con relación al crucero de primavera precedente, una tasa de cambio positiva igual a 70,5%, constituyéndose en el segundo registro más importante de los últimos 24 años (serie 1983 – 2006).

Las fases larvianas de anchoveta presentaron 35 registros positivos con una abundancia igual a 29.604 larvas/10 m², fluctuando éstas entre 36 y 8.395, con una media por estaciones totales igual a 548 larvas/10 m². La media de larvas por estación positiva alcanzó a 846 (DS= 1567,98), cifra 61,8% y 55,6% menor respecto a la obtenida en invierno de 2006 y primavera de 2005, respectivamente.

El patrón de distribución espacial de las larvas de anchoveta en el área de estudio, señala que el desove se verificó en todo el rango latitudinal de la zona prospectada, exhibiendo una cobertura longitudinal máxima frente a caleta Bandurria del Sur (23°20'S), verificándose que ésta, es mucho más amplia con relación a lo señalado para el estadio de huevos, lo que se expresa, por una parte, en un incremento en la frecuencia de estaciones positivas igual a 119% y en una disminución en su densidad promedio por estaciones positivas igual a -96% (**Fig. 83b**).

Las áreas de desove más significativas (>3.000 larvas/10 m²) se localizaron frente a caleta Errázuriz (23°27,8'S) y bahía Moreno, cuyas abundancias en conjunto representaron el 51,6 % del total de larvas de la especie. La estación con la abundancia más importante se localizó al igual que la fase de huevos, a 1 mn al oeste de la transecta realizada frente a bahía Moreno. El resto de las estaciones positivas, no incluídas las áreas de desove anteriormente mencionadas, presentan también niveles de abundancia significativos comprendidos dentro del rango 36 a 1.800 larvas/10 m².

En relación al número de larvas, la primavera de 2006 presentó con respecto al crucero de primavera precedente una significativa disminución en sus niveles de abundancia, lo que se traduce en una tasa de cambio igual a 54,3%, constituyéndose en el quinto registro más importante para la serie 1983 – 2006.



Con respecto a la temperatura superficial del mar, las larvas de anchoveta se distribuyeron en aguas cuyas temperaturas fluctuaron entre 15,45°C y 20,64°C, registrándose las mayores abundancias (> 5.000 larvas) en aguas con temperaturas comprendidas entre 18,81 y 20,64°C (**Fig. 89**).

Para la estación de primavera, las fases larvarias de anchoveta, han experimentado una disminución en sus niveles de abundancia a partir del año 1999, año en el cual se constató la mayor de las abundancias promedio de la serie histórica 1983 – 2005, la que estuvo asociada a un rango de temperaturas superficiales iguales 15,11 y 23,05°C. En primavera de 1983 y con temperaturas superficiales iguales a 17,78 y 23,23°C se reportan las densidades más bajas asociadas a condiciones de “El Niño” 1982/83 (**Fig. 90**). La primavera de 2005, en términos de la intensidad y/o concentración del desove se inserta como el segundo registro más importante de la serie 1983-2006, con temperaturas superficiales similares a las registradas el año 1999. La primavera de 2006, exhibe niveles de abundancia y temperaturas superficiales similares a las registradas durante los años 1992 y 2002.

Análogamente, en cuanto a la variable salinidad, los huevos de esta especie se presentan en salinidades comprendidas entre 34,71 y 35,05 psu, observándose las más altas abundancias en salinidades que fluctuaron entre 34,81 y 35,05 psu.

La distribución vertical adoptada por los huevos y larvas de anchoveta (**Figs. 91 y 92**), con respecto a la distribución de oxígeno disuelto muestra durante diciembre de 2006, una correspondencia entre la profundidad del límite superior de la capa de mínimo de oxígeno y la mayor frecuencia de registros positivos de los estadios tempranos de anchoveta, observándose las mayores abundancias sobre y en las inmediaciones de la isolínea de 1 MI/L, verificándose igual patrón en todas las transectas con registros positivos. Este límite se localizó entre los 35 y 90 metros de profundidad en las estaciones más oceánicas (20 y 40 mn) y entre los 20 y 60 metros en las estaciones más someras (1, 5 y 10 mn) de la zona de estudio.



6.1.3 Crucero Marzo de 2007

En marzo de 2007 y al igual que lo reportado para diciembre de 2006, esta especie aparece como la dominante en términos de su abundancia numérica, con valores de 42,9% para los huevos y de 38,96% para las larvas, registrándose 18 y 32 estaciones positivas, respectivamente, lo que representó una frecuencia de 33,3% estaciones con presencia de huevos y 59,26% con larvas de anchoveta, identificándose un total de 45.275 huevos y 27.056 larvas/10m² (**Tablas 20 y 21**), cifras que señalan que el pick secundario del proceso de desove, correspondiente a la estación de verano, se encontraría en su fase de declinación, dando inicio a la etapa de reposo gonadal.

Las abundancias exhibidas por la fase de huevos fluctuaron entre 37 y 12.438 huevos/10 m²; el promedio de huevos por estación positiva alcanzó a 2.515 (DS= 3874,4), valor 75% menor respecto al obtenido durante el período de verano de 2006 y 87% y 76% menor en relación a diciembre y septiembre de 2006, respectivamente.

En forma general, el patrón de distribución espacial de los huevos de anchoveta en el área de estudio, mostró un área principal de desove, correspondiente a la parte costera, con el 83% de los registros dentro de las primeras 10 mn, situación que se prolongó a lo largo de toda la extensión latitudinal explorada. El porcentaje restante se detectó en estaciones aisladas situadas a 10, 80 y 100 mn frente a las localidades de bahía Moreno y punta Patache (20°48'S). La zona que presentó una mayor recurrencia de estaciones positivas se observó entre punta Chacaya (23°00'S) y punta Lobos (21°00'S), sector donde se concentró el 44% de los huevos censados (**Fig. 82c**).

Los dos focos de desove cuantitativamente más importantes se localizaron a 1 mn frente a punta Junín (19°40'S) y Arica, sus abundancias en conjunto contribuyeron con el 51% del total de huevos de anchoveta, individualmente concentró cada uno un total de 10.612 y 12.438 huevos/10 m², respectivamente. Sin embargo, destacó



durante este período, la estación de monitoreo mensual de Mejillones, realizada en conjunto con el crucero y que albergó un total de 57.769 huevos/10 m², estación que superó ampliamente las densidades de cada una de las estaciones del crucero.

El número de huevos detectados durante el marzo de 2007, presentó con respecto al crucero de verano precedente un porcentaje de cambio igual - 81%, constituyéndose en el undécimo registro de la serie 1982 - 2007.

Las larvas de anchoveta se presentaron en 32 estaciones (59,2%), con una abundancia igual a 27.056 larvas/10 m² (38,9%), fluctuando éstas entre 36 y 4.187, con una media por estaciones totales y positivas igual a 501 y 846 larvas/10 m² (DS= 959.0), respectivamente. Denotando el último valor una diferencia negativa de un 65% respecto de la media observada durante el verano de 2006 y de 55,5% menor respecto a la obtenida en septiembre de 2006, mientras que en relación a la primavera no hubo ninguna diferencia.

Las larvas de anchoveta presentaron una distribución espacial más amplia que la exhibida por los huevos, su presencia al igual que ellos se verificó en todo el rango latitudinal explorado, concentrándose principalmente en la primera milla de la costa. Esta fase a diferencia de los huevos demostró una mayor frecuencia de estaciones positivas entre las 5 y 40 mn, pero revelaron una menor extensión longitudinal, detectándose sólo hasta las 70 mn frente a bahía Moreno y Arica (**Fig. 83c**).

La mayor recurrencia de estaciones positivas se registró al igual que en la fase de huevos, entre punta Chacaya (23°00'S) y punta Lobos (21°00'S), sector que concentró el 52% del total de larvas censadas. Las áreas de desove más significativas (>2.000 larvas/10 m²) se localizaron a 1 mn frente a punta Pinto (18°44'S), punta Lobos (21°00'S), punta Copaca (22°20'S) y punta Chacaya (23°00'S), cuyas abundancias en conjunto representaron el 34 % del total de larvas de la especie. La estación con la abundancia más importante correspondió a aquella situada en esta última localidad, aportando con un total de 2.550 larvas/10 m².



En relación al número de larvas y siguiendo el mismo patrón señalado para el estadio de huevos, marzo de 2007 presentó con respecto al crucero de verano precedente, una notoria disminución en sus niveles de abundancia, lo que se traduce en una tasa de cambio igual a -64%, situándose en la posición número siete de la serie 1982-2007.

Al referirse a la distribución de los huevos de anchoveta con la temperatura superficial del mar, se observó que el mayor número de estaciones con presencia de huevos estuvo asociada a la temperatura de 18°C, correspondiendo a la temperatura más baja registrada en la zona y se relacionó con las estaciones más someras situadas a lo largo del borde costero. Las larvas también en su mayoría se asociaron con este valor de temperatura, pero hubo registros, aunque escasos, que se distribuyeron entre los 20 y 22°C, detectándose no obstante, las mayores abundancias de ambas fases de desarrollo, en las aguas con temperaturas más bajas (**Fig. 93**).

Con respecto, a la salinidad superficial, tanto los huevos como las larvas se presentaron asociadas a aguas de salinidades más bajas (34,6 – 34,7 ups), las que se manifestaron precisamente en las estaciones más costeras a lo largo de toda la extensión latitudinal.

6.2 Sardina española, *Sardinops sagax*

6.2.1 Crucero Septiembre de 2006

Se reconocieron 4 estaciones positivas para huevos en las cuales se colectaron 103 huevos, cifra referida a un área de superficie de 10m², lo que señala para dicho estadio una dominancia numérica de 0,05% respecto del total de huevos, situación que caracteriza una actividad reproductiva muy deprimida, presentando junto a caballa, las constancias numéricas más bajas de las especies analizadas (3,88% y 1,94%) (**Tablas 20 y 21**).



Las estaciones con presencia de huevos se localizaron frente a Arica, Chañaral y Pichidangui, siendo estas esencialmente neríticas y sus bajos niveles de abundancia fluctuaron entre 23 y 92 huevos/10m² (**Fig. 94a**).

En septiembre de 2006, no se registraron estaciones positivas a larvas de esta especie.

6.2.2 Crucero Diciembre de 2006

Durante la diciembre de 2006 y al igual que lo reportado para las primaveras de los años 2001, 2002 y 2003, no hubo registros positivos para huevos y una estación positiva a larvas de esta especie, la cual se localizó a 100 mn al oeste de punta Madrid (**Fig. 95b**).

6.2.3 Crucero Marzo de 2007

En marzo de 2007, no se registraron estaciones positivas para huevos y larvas de sardina.

6.3 Jurel, *Trachurus symmetricus murphyi*

El procesamiento y análisis de las 211 muestras de zooplancton recolectadas durante el transcurso de los cruceros estacionales 2006 - 2007, permitió verificar la presencia de 4.292 huevos y 581 larvas, lo que representó una frecuencia de 5,21% y 4,26% para cada una de las respectivas fases de desarrollo (**Tablas 20 y 21**).

6.3.1 Crucero Septiembre de 2006

En el curso de la prospección se identificaron 10 estaciones positivas para huevos y 5 para larvas con totales de 3.140 huevos y 358 larvas, situación que es característica de un proceso reproductivo en etapa inicial (**Figs. 96a y 97a**). Con respecto a anchoveta, los niveles de abundancia del ictioplancton de jurel se



presentan bajos, exhibiendo para cada una de dichas fases una dominancia numérica de 0,92% y 0,23% (**Tablas 20 y 21**).

La distribución espacial de los huevos de esta especie, comprometió la zona que se entiende entre punta Junín y bahía Salada (27°40'S), no consignándose registros positivos para esta fase de desarrollo frente al puerto de Arica y entre caleta Inglesa y el límite sur de la zona de estudio. Longitudinalmente, alcanzan una cobertura longitudinal máxima de 100 mn frente a bahía Moreno (23°40'S); observándose que la frecuencia de estaciones positivas tendió a incrementarse desde la costa hacia mar afuera.

Los focos de desove de mayor relevancia cuantitativa (> 250 huevos/10m²), se localizaron a 70 mn al oeste de punta Junín y a 1 y 5 mn frente a Chañaral (26°20'S), los cuales se encuentran configurados por 3 registros positivos de un total de 10 consignados, aportando el 86 % al total de huevos de la especie. El resto de los registros positivos, exhibió abundancias que fluctuaron entre 19 y 144 huevos/10m². La mayor abundancia de huevos de jurel se registró en la estación designada con el número 41, la cual se localizó a 5 mn al oeste de Chañaral con 1.546 huevos/10m².

La distribución y abundancia de las fases larvarias (**Fig. 97a**), guarda una buena relación con lo descrito para las zonas de abundancia de huevos, observándose su presencia entre punta Junín y bahía Salada, con abundancias que fluctuaron entre 19 y 203 larvas/10m². Respecto a la distribución de las larvas con relación a la distancia de la costa, ésta adopta una posición más oceánica que la documentada para los huevos, colonizando la franja longitudinal que se extiende desde las 40 a las 100 mn. Entre la costa y la línea de estaciones de las 20 mn no hubo registros positivos a esta fase de desarrollo. La mayor abundancia de larvas de jurel se registró a 70 mn al oeste de punta Junín (19°40'S) con 203 larvas/10m².



En el contexto de este patrón de distribución, la fase de larva presentó una densidad promedio inferior a la de huevo, debido a que durante los meses de agosto – septiembre, el desove tiene un origen reciente, sin descartar la posibilidad de que durante su desarrollo, estas sean afectadas por procesos de transporte y advección fuera de la zona de estudio.

6.3.2 Crucero Diciembre de 2006

Su presencia en la zona de estudio, se verificó en 1 registro positivo para huevos, el cual se localizó a 40 mn de punta Copaca y cuya abundancia fue igual a 1.152 huevos/10m². Por su parte las larvas de esta especie, se reconocieron en cuatro estaciones positivas, las que se presentaron a 40 mn de punta Junín y punta Copaca y a 20 y 70 mn al oeste de bahía Moreno, con abundancias muy bajas las que fluctuaron entre 33 y 77 larvas/10 m² (**Figs. 96b y 97b**). Con respecto al número de larvas, diciembre de 2006 presentó con respecto al crucero de primavera precedente, una tasa de cambio positiva igual a 169%.

6.3.3 Crucero Marzo de 2007

En marzo de 2007, no se registraron estaciones positivas para huevos y larvas de jurel.

6.4 Caballa, *Scomber japonicus*

Durante el transcurso de los cruceros estacionales 2006 - 2007, se verificó la presencia de 841 huevos y 338 larvas, lo que representó una frecuencia de 2,36% y 3,70% para cada una de las respectivas fases de desarrollo (**Tablas 20 y 21**).

6.4.1 Crucero Septiembre de 2006

Durante septiembre de 2006, se registró la presencia de dos estaciones positivas para huevos y una para larvas, las cuales se localizaron a 70 y 100 mn frente a



punta Junín ($22^{\circ}50'S$) respectivamente; con abundancias iguales a 129 huevos y 102 larvas/10m² (**Figs. 98a y 99a**).

6.4.2 Crucero Diciembre de 2006

En diciembre de 2006, los huevos y larvas de caballa se reconocieron en 1 y 4 estaciones, respectivamente, con abundancias iguales a 131 huevos y 170 larvas/10 m² (**Tablas 20 y 21**).

El patrón de distribución espacial de huevos y larvas de caballa en el área de estudio, señala que el escaso desove se verificó frente a Arica, punta Junín y bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$), distribuyéndose los estadios tempranos de esta especie desde las 20 a las 40 mn de la costa (**Figs. 98b y 99b**).

6.4.3 Crucero Marzo de 2007

Durante el crucero de marzo de 2007, se detectaron dos estaciones positivas con huevos y larvas de caballa, con abundancias iguales a 581 huevos y 66 larvas (**Tablas 20 y 21**).

Los huevos de caballa se detectaron a 20 mn frente a Arica y punta Junín, con una abundancia máxima en esta última localidad (540 huevos/10 m²). Por su parte las fases larvianas fueron detectadas a 40 mn de Arica y a 50 mn de caleta Ligate ($20^{\circ}35'S$), ambos registros con igual abundancia (33 larvas/10 m²) (**Figs. 98c y 99c**).

7. Distribución vertical de huevos y larvas de anchoveta

Durante la ejecución de los cruceros estacionales de monitoreo, se obtuvieron muestras estratificadas de zooplancton en los niveles de 0-10, 10-25 y 25-50 m de profundidad, entregándose en la la **Tabla 23** el detalle del número de registros positivos, rangos, media y la desviación estándar de huevos y larvas de anchoveta referido a cada uno de los intervalos de profundidad por crucero.



7.1 Septiembre de 2006

Como se aprecia en la **figura 100**, los huevos de anchoveta se encontraron en los tres intervalos de profundidad muestreados, con niveles de abundancia significativamente mayores en los estratos 10-0 y 50-25 m, exhibiendo con respecto al intervalo intermedio (10-25m), porcentajes de cambio iguales a 92,9% y 25,5%, respectivamente. Las fases larvarias se distribuyen al igual que el estadio de huevos en los tres estratos, con niveles de abundancia cuantitativamente importantes en los estratos 25-10 y 50-25 m, con tasas de cambio respecto al nivel superficial iguales a 329% y 319%, respectivamente (**Fig. 101**).

La distribución espacial de ambos estadios fue similar destacando las localidades de Arica, punta Lobos y punta Copaca.

7.2 Diciembre de 2006

Del total de estaciones muestreadas durante el crucero realizado en diciembre de 2006 (n=25), se derivaron 71 muestras provenientes de los tres estratos de profundidad establecidos. Los huevos fueron detectados en 11 estaciones (44%), con la mayor frecuencia en el estrato de 0-10 m, profundidad donde se verificaron 10 registros positivos de un total de 25, mientras que en el estrato más profundo éstos se observaron sólo en 4 estaciones.

El promedio de huevos por estrato fue mayor en el nivel intermedio, decreciendo considerablemente a mayor profundidad, con abundancias iguales a 1.714, 8.529 y 302 huevos/10 m², para los intervalos 0-10, 10-25 y 25-50 m, respectivamente (**Fig. 102 a**), fluctuando sus abundancias entre 22 y 48.075 huevos/10 m².

Los huevos de esta especie, exhibieron una mayor dominancia numérica y mayor frecuencia de registros positivos frente a bahía Moreno, punta Lobos y Arica, no observándose frente a punta Copaca y con presencia ocasional frente a punta Junín (**Fig. 102 b**). Particularmente las estaciones que albergaron el mayor número de huevos fueron aquellas situadas a 1 y 5 mn frente a bahía Moreno, en los



intervalos de profundidad 0-10 y 10-25m. El resto de las estaciones presentó abundancias comprendidas entre 22 y 1.982 huevos/10 m².

Las larvas mostraron una distribución espacial y vertical bastante diferente y notoriamente más amplia con respecto a la exhibida por los huevos. Se presentaron en todas las transectas y en la mayoría de las estaciones (72%), el estrato más colonizado por ellas fue el intermedio (10-25 m), con 14 registros positivos, los cuales se localizaron dentro de las primeras 5 mn de la costa. La mayor abundancia promedio por estrato, se observó al igual que para la fase de huevos, entre los 10 y 25 m y como suele acontecer en esta fase de desarrollo, con respecto al estadio de huevos, se presentó con una mayor frecuencia de estaciones positivas y una menor abundancia, la cual fluctuó entre 9 y 985 larvas/10 m² (**Fig. 103a**).

Si bien las larvas se determinaron en todas las transectas, su mayor distribución espacial se observó frente a bahía Moreno y punta Lobos (**Fig. 103 b**).

Al comparar la información obtenida de los cruceros de septiembre y diciembre de 2006 (**Tabla 23**), se observa que durante septiembre, las abundancias promedio de larvas de anchoveta para cada intervalo de profundidad muestreado fueron 78% mayores respecto de diciembre. Una situación análoga se observó para el estadio de huevos, en el estrato más superficial y en el más profundo, no así en el nivel intermedio (10-25 m), donde en diciembre de 2006 se detectó una mayor abundancia de huevos, exhibiendo una tasa de cambio positiva igual a 305% respecto al crucero realizado en septiembre.

Verticalmente la mayor concentración de huevos durante el período frío se produce a nivel superficial, mientras que en primavera los huevos se distribuyen mayoritariamente entre los 10 y 25 m, presentando las larvas sus máximos de abundancia en este último nivel en ambas estaciones.



7.3 Marzo de 2007

De las muestras provenientes de las 25 estaciones planctónicas recolectadas durante el crucero de marzo de 2007, se analizaron en total 73 muestras procedentes de los tres estratos de profundidad determinados. Los huevos fueron encontrados en un total de 9 estaciones (36%), con la mayor recurrencia de registros positivos en el estrato más somero (8), y con 4 y 3 en los niveles respectivos de 10-25 m y 25-50 m. La abundancia total registrada en el nivel superficial fue igual a 15.273 huevos (**Tabla 23**).

El número promedio de huevos fue decreciendo con el aumento de la profundidad, encontrándose desde la superficie hasta el estrato más profundo, abundancias iguales a 1.909, 1.250 y 309 huevos/10 m² (**Fig. 104a**). Las densidades entre los tres niveles fluctuaron desde 28 a 8.466 huevos/10 m² y en todas las estaciones, estos exhibieron una tendencia numérica decreciente a mayor profundidad.

Espacialmente los huevos fueron detectados en un mayor número de estaciones en la transecta de bahía Moreno entre 1 y 10 mn, pero estos se concentraron en mayor número en las transectas de punta Junín y Arica, encontrándose particularmente a 1 mn de punta Junín (de menor a mayor profundidad), valores de 5.302 y 4.708 huevos/10 m² y en Arica el máximo, equivalente a 8.466 huevos/10 m² (**Fig. 104b**).

Por su parte las larvas de anchoveta se detectaron en un total de 19 estaciones (76%), se presentaron al igual que los huevos en todas las transectas, pero con una mayor representatividad espacial en cada una de ellas, y siendo más recurrentes los registros positivos en el estrato intermedio (10-25 m), con 14 observaciones, las que se localizaron preferentemente y en mayor número dentro de las 10 mn. El valor promedio mayor y menor se determinó en el estrato más superficial y en el más profundo, respectivamente, con abundancias medias iguales a 214 y 160 larvas/10 m² (**Fig. 105a**). Los valores mínimos y máximos encontrados en las estaciones oscilaron entre 20 y 895 larvas/10 m² y la abundancia total fue mayor en el estrato de 0-10 m.



Su distribución espacial abarcó una mayor extensión geográfica que la exhibida por los huevos, observándose mayor recurrencia de estaciones positivas en las transectas de punta Lobos y punta Junín, mientras que en las estaciones más alejadas de la costa, localizadas entre punta Junín y Arica, se detectó una mayor ausencia de registros positivos (**Fig. 105b**).

8. Sistema de muestreo horizontal continuo, CUFES

8.1 Septiembre de 2006

De las 155 muestras recolectadas con la bomba de huevos en la zona Antofagasta – Arica, se verificó la presencia de huevos de anchoveta en 62 registros con un total de 3.753 huevos. La media de huevos por estación positiva alcanzó a 61 (DS = 138,6), fluctuando sus densidades entre 1 y 762 huevos.

Con respecto a su distribución espacial, éstos se presentaron entre el puerto de Arica y bahía Moreno (**Fig. 106**), encontrándose sectores con altas abundancia, principalmente en la zona nerítica frente a Arica, punta Lobos y entre punta Grande y punta Hornos, extendiéndose su distribución longitudinalmente hasta las 40 mn en las transectas realizadas, frente a Pisagua, punta Lobos y Antofagasta, respectivamente.

La ausencia de huevos entre Arica y Pisagua y desde punta Arenas hasta las cercanías de punta Grande, también se observó en invierno de los años 2004 y 2005

8.2 Diciembre de 2006

Durante la ejecución del crucero realizado en diciembre de 2006, se obtuvo a través del sistema de muestreo CUFES un total de 154 muestras planctónicas, determinándose la presencia de huevos de anchoveta en 48 estaciones, con un total de 655 huevos. La media por estaciones totales fue igual a 13, fluctuando sus abundancias entre 1 y 120 huevos.



Los huevos de esta especie se distribuyeron en todo el rango latitudinal de la zona prospectada, no sobrepasando la línea de estaciones de 5 mn frente a punta Junín, punta Lobos y bahía Moreno, alcanzando una cobertura longitudinal de 25 mn al oeste de Arica y punta Gruesa, respectivamente (**Fig. 107**). La mayor frecuencia de registros positivos, se verificó entre Arica y las inmediaciones de Iquique, zona que albergó a más del 45% del total de huevos cuantificados. El porcentaje restante, se localizó entre punta Lobos y el sur de Tocopilla, entre el sur de punta Cobija y punta Hornos y frente a bahía Moreno. Las estaciones más relevantes en términos del número de huevos, fueron aquellas localizadas a 1 mn al norte de punta Junín y de Tocopilla con 65 y 120 huevos, el resto de las estaciones congregó menos de 38 huevos

8.3 Marzo de 2007

En marzo de 2007 se recolectaron a través del sistema de muestreo CUFES, un total de 183 muestras planctónicas, encontrándose huevos de anchoveta en 44 estaciones, de las que se derivó una abundancia total igual a 1.133 huevos, con una fluctuación entre 1 y 181 y una media por estaciones positivas y totales de 26 y 6 huevos, respectivamente.

Su distribución espacial se registró principalmente en las estaciones de las intertransectas, asociadas a las primeras dos millas de la costa, sólo en las transectas de Arica, punta Junín y bahía Moreno estuvieron presentes, pero no sobrepasaron las 20 mn. La mayor frecuencia de registros positivos se detectó entre Arica y punta Junín, concentrándose en este sector el 48% de los huevos. La menor frecuencia y las menores densidades se registraron hacia la zona sur, desde caleta Chipana a bahía Moreno, donde la máxima densidad fue de 65 huevos. Las estaciones que reunieron los mayores valores (103 – 181 huevos) fueron 4; dos se ubicaron entre punta Lobos y el norte de caleta Chipana; una en punta Junín y la otra al norte de punta Pinto; en todas ellas estuvo localizado el 46 % de los huevos censados de anchoveta (**Fig. 108**).



9. Biomasa Zooplanctónica Estacional

9.1 Septiembre de 2006

La biomasa zooplanctónica como medida estimativa de la productividad secundaria de la zona de estudio, presentó en septiembre de 2006, valores extremos comprendidos entre 9 y 1.691 ml de zooplancton/1.000 m³, con un promedio general para la zona igual a 287 (DS = 302,48); predominando los valores comprendidos en los rangos de densidad categorizados entre 101-300 y 301-900 las que representaron el 54,36% y 23,30%, respectivamente. El 22,34% restante se categorizó dentro de los rangos 0-33 (5,82%), 34-100 (12,62%) y 901-10.000 (3,88%).

El patrón de distribución espacial de la biomasa señala que la categoría de densidad 101-300, se presentó en el rango latitudinal comprendido entre punta Pinto y caleta Maitencillo de Coquimbo, distribución que fue interrumpida por biomazas menores (0 – 33 y 33 -100) en el extremo sur de la zona de estudio y en el sector oceánico frente a Taltal, entre 20 y 40 mn frente a punta Arenas y a 70 mn al oeste de Microal. La categoría de densidad 301-900, se presentó frente a bahía Salada, en el área costera entre esta última localidad y punta Copaca, entre caleta Chipana y punta Camarones y frente a Arica donde presentó una mayor cobertura longitudinal. Se observó además, la presencia de tres pequeños núcleos de altas biomazas ubicados frente a Antofagasta, entre caleta Patillos y punta Lobos y frente a punta Pinto (**Fig. 109^a**).

Las áreas donde se registraron las mayores biomazas promedio (> 500 mL de zooplancton) correspondieron a las observadas frente a punta Pinto, punta Gualaguala, caleta Herradura de Mejillones, punta caleta Errázuriz y bahía Moreno; donde el elemento predominante en la constitución de las muestras, correspondió al mesozooplancton y particularmente al grupo de los copépodos, quetognatos y eufáusidos.



Cabe señalar que la biomasa zooplanctónica promedio estimada en invierno de 2006 para la zona Arica – Antofagasta, presentó con respecto al crucero de invierno precedente una tasa de cambio positiva igual a 17,9%, constituyéndose junto al invierno de 2004, en el tercer registro más importante en cuanto biomasa promedio de los últimos 24 años (**Tabla 24**).

9.2 Diciembre de 2006

La biomasa zooplanctónica para el mes de diciembre de 2006 fluctuó entre 30 y 1.669 ml de zooplancton/1.000 m³, detectándose ambos valores a 10 y 2 mn frente a Arica (18°25'S) y punta Gualaguala (22°45.9'S), respectivamente, con un promedio general para la zona igual a 267 ml/1.000 m³. Con respecto a la composición específica de las muestras, éstas estuvieron constituidas principalmente por copépodos, quetognatos y eufáusidos.

La zona estuvo dominada básicamente por dos categorías de densidad, con un mayor porcentaje del rango de biomazas comprendido entre 101 – 300 ml/1.000 m³ (55,6%), localizándose a lo largo y ancho de la zona de estudio, distribución que fue interrumpida por la categoría de densidad 301 – 900 ml/1.000 m³ (25,9%), entre Arica y el norte de Iquique, frente a punta Lobos y en el sector nerítico comprendido entre caleta Chipana y bahía Moreno (**Fig. 109b**). La mayor biomasa fue observada a 1 mn al oeste de punta Gualaguala, localizándose las más bajas entre Arica y punta Junín, en la línea de estaciones de 1 y 100 mn.

La biomasa zooplanctónica estimada durante la primavera de 2006, reveló una tasa de cambio negativa igual a 16,8% respecto al valor promedio observado durante el período primaveral 2005, situándola entre los cinco primeros registros más altos desde el año 1993 a la fecha, siendo superado por los años 1999, 1996, 1997 y 2003 (**Tabla 25**).

La información histórica de la biomasa zooplanctónica registrada durante los períodos primaverales revela en términos generales, una predominancia de los



rangos de densidad categorizados entre 101-300 y 301-900 ml de zooplancton/1.000 m³, siendo esta última, la que presentó la mayor cobertura geográfica durante los años 1996, 1997, 1999 y 2002. En forma particular, las biomásas más altas han sido observadas próximas a la costa, a excepción de aquellas registradas frente al puerto de Arica, las cuales se han presentado desde las 40 mn hacia el oeste (**Fig. 110**).

9.3 Marzo de 2007

La biomasa zooplanctónica para el crucero de marzo de 2007, fluctuó entre 5 y 1.506 ml de zooplancton/1.000 m³, detectándose ambos valores a 40 mn de bahía Moreno y punta Junín, respectivamente, con un promedio general para la zona de 336. En la zona de estudio se observó la clara predominancia de dos categorías de densidad, con un 49% se detectó el rango comprendido entre 101-300 ml/1.000 m³, la que se extendió desde la primera a las 100 mn entre Arica y bahía Moreno, siendo interrumpida en gran parte por los máximos valores de biomasa registrados en este período (301-900 y 901 – 1506 ml/1000 m³), lo que se produjo en las primeras 40 mn entre Arica y punta Lobos (**Fig. 109c**). Los altos valores de biomasa estimada en las 4 estaciones mas costeras situadas en la transecta de punta Lobos, estuvieron dados por la presencia de grandes concentraciones de fitoplancton, mientras que la estación que exhibió la biomasa más alta (E-39), localizada a 20 mn de punta Junín, estuvo conformada principalmente por doliólidos. Hacia el extremo sur de la zona de estudio se hicieron mas frecuentes las estaciones con biomásas mas bajas.

Con respecto a la composición específica de las restantes estaciones, estas estuvieron constituidas principalmente por copépodos, apendicularias, sifonóforos y quetognatos y en menor grado por eufáusidos, sin dejar de mencionar varias de ellas con un alto contenido de fitoplancton. Cabe destacar que la estación de 40 mn de bahía Moreno, presentó escaso número de organismos zooplanctónicos, prácticamente esta estuvo conformada por microalgas.



La biomasa zooplanctónica estimada durante este período, denotó una tasa de cambio positiva igual a 36 % respecto al valor promedio observado durante el período de verano precedente, correspondiendo al cuarto valor de biomasa mas alto registrado desde el año 1993, siendo solo superada por los valores registrados durante los años 2003, 2000 y 2004 (**Tabla 26**).

Los registros históricos de la biomasa zooplanctónica observada durante los períodos de verano, realizados entre los años 1993 a la fecha (**Fig. 111**), revelan en términos generales, una dominancia de dos categorías de densidad (101-300 y 301-900 ml de zooplancton/1.000 m³), las que se presentaron en forma separada o mezclada a lo largo y/o ancho de la zona de estudio. Particularmente los períodos veraniegos que han exhibido los valores promedios mas altos de biomasa han sido los años 1996, 1997 y 1999, períodos donde la categoría comprendida entre 301-900 ml de zooplancton/1.000 m³, dominó considerablemente la zona, a diferencia de los restantes años.

En cuanto a la variación estacional, la **Figura 112** indica que la biomasa zooplanctónica promedio exhibe notorias diferencias intra e interanuales, lo que se refleja claramente en el porcentaje de cambio entre cruceros consecutivos.

La biomasa zooplanctónica promedio muestra que en durante el período 1993/95, ésta presentó valores bajos, los que no superan los 300 (ml /1000 m³), a excepción del invierno de 1994 en el que la biomasa alcanzó valores superiores a 471 (ml /1000 m³), lo que se refleja en el porcentaje de cambio de este crucero respecto de los precedentes. A su vez, se observa para este período, que las mayores biomazas promedio, se obtuvieron en la estación de primavera, lo que se refleja claramente durante los años 1996, 1997 y 1999 donde se estimaron las mayores biomazas históricas de la serie analizada y a su vez los mayores porcentajes de cambio (**Fig. 112**).

Con posterioridad, y entre los años 2000 y 2007 la biomasa zooplanctónica promedio disminuye considerablemente y no se registran valores superiores a



los 400 ml /1000 m³, particularmente destaca el período 2004-2007, en el cual la biomasa presentó índices bastante bajos los que no superan los 350 (ml zoo/1000 m³), destacándose que en estos años, los mayores valores se asocian a la estación de invierno, en contraposición a los primeros años del período analizado.

10. Análisis estacional de huevos y larvas de peces y estimación del índice de abundancia larval

10.1 Desove de Invierno

El análisis comparativo de las características asociadas a la abundancia del ictioplancton de las especies objetivo en época de pico primario de desove para anchoveta, se efectuó solamente respecto de la fase de larvas debido, fundamentalmente al corto tiempo de residencia del estadio de huevos en el plancton. Por otra parte las fases larvarias presentan un mayor período de vulnerabilidad a las redes de plancton y consecuentemente un mayor tiempo de permanencia en el plancton, por lo tanto sus abundancias reflejan de mejor manera las características generales del desove en cuanto a su intensidad y extensión.

Durante las prospecciones invernales realizadas en los años 1981, 1983 y 1984, predominó el desove de sardina por sobre el de anchoveta, jurel y caballa, situación que experimentó un cambio radical a partir de 1985, donde se registraron niveles de abundancia extraordinariamente elevados para ambos estadios de desarrollo de anchoveta, los cuales no tienen precedentes, ni para el período 1964-1973 (Rojas, 1986).

El parámetro poblacional densidad promedio por estaciones totales ha reflejado con bastante fidelidad los cambios que ha experimentado a nivel de ictioplancton la composición específica de la comunidad pelágica de la zona norte del país, los que se han caracterizado por un período comprendido entre 1964 y 1973 con un claro y absoluto predominio de anchoveta en el ecosistema y un cambio de dicha situación con posterioridad a 1973 hasta 1985, por la dominancia de sardina.



La situación observada a partir del invierno de 1985, señaló que nuevamente estábamos frente a un proceso de cambio, con una categórica predominancia en la abundancia de anchoveta respecto de sardina y jurel, con densidades sin precedentes y que han sido registradas en invierno de los años 1985, 1994 y en menor magnitud en 1989. De la misma manera, las disminuciones más drásticas han estado asociadas a perturbaciones ambientales, como lo ha sido la presencia del evento “El Niño” en la zona de estudio durante los años 1982-1983, 1986-1987, 1991-1992 y 1997-1998 (**Fig. 113**).

En el invierno de 1987, los niveles de abundancia promedio experimentaron una drástica disminución asociada al evento cálido que ese año se presentó; el cual generó condiciones desfavorables para la sobrevivencia larval de anchoveta, situación que se vuelve a registrar en 1991 y 1997-98, con una baja aún mayor. Entre períodos cálidos la anchoveta ha experimentado recuperaciones en su abundancia promedio, las que se han visto claramente reflejadas durante el año 1989, año en el cual las condiciones normales lograron restablecerse, tal como volvió a ocurrir después del evento cálido del año 1991, incrementándose gradualmente estos niveles con el transcurso del tiempo hasta registrarse en 1994 la segunda mayor abundancia de larvas de esta especie después del máximo registrado en el año 1985; año donde a partir de entonces, los niveles de abundancia del ictioplancton de sardina han permanecido muy por debajo de los de anchoveta, situación que no tan solo fue evaluada en términos del índice de la intensidad del desove de estas especies, sino que también estos resultados fueron corroborados por otros métodos de evaluación como lo son las prospecciones hidroacústicas y las evaluaciones indirectas (APV) (Braun, 1995).

Las estimaciones de la abundancia promedio de huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa realizadas en el transcurso de los años 1981-2006, para la estación de invierno, indican que desde el invierno de 1993 persiste el predominio de anchoveta respecto de las otras especies objetivo, situación que se ha mantenido hasta hoy sin alteraciones (**Figs. 114 y 115**) (Braun *et al.*, 2005b).



La abundancia promedio de huevos y larvas de anchoveta obtenida en invierno de 2006, respecto a las reportadas en inviernos precedentes para la serie 1981/2006, muestra que los niveles de abundancia de esta especie analizada en términos de la densidad promedio por estaciones totales, presenta la misma tendencia decreciente para ambas fases de desarrollo, exhibiendo con respecto al invierno de 2005 porcentajes de cambio iguales a $-49,4\%$ y $-13,8\%$, respectivamente.

Las densidades promedio por estaciones positivas, utilizadas como un índice de la intensidad y/o concentración del desove, muestran con respecto al invierno de 2005, una disminución para ambos estadios de desarrollo, con tasas de cambio negativas iguales $47,4\%$ y $11,9\%$, respectivamente.

Con respecto al patrón estacional de distribución de huevos de anchoveta, la serie 1990-2006, nos señala que el desove de invierno presenta un carácter más oceánico, con presencia de huevos a 100 mn al oeste de Arica y de otras localidades, durante los inviernos de los años 1992, 1993, 1994, 1995, 1996 y desde el año 2000 hasta el 2005, respectivamente. Durante los inviernos de 1992, 1993, 1994 y 1995 y debido fundamentalmente a la grilla de muestreo utilizada durante esos años, se obtuvieron las mayores frecuencias de registros positivos a esta fase de desarrollo, destacando como áreas de desove estables y persistentes en el tiempo la zona de Arica, punta Lobos, bahía Moreno y desde el año 2002 en adelante aparece como área de desove importante punta Copaca (**Fig. 116**).

Las larvas muestran un patrón de distribución latitudinal y longitudinal más amplio respecto del estadio de huevos, debido fundamentalmente a los procesos que las afectan (dispersión, transporte, advección, etc). Durante los inviernos de los años 1990-1997, se obtuvieron las mayores frecuencias de registros positivos a esta fase de desarrollo, siendo también importantes los registros de los años 2000, 2002, 2003, 2004, 2005 y 2006. Con respecto a las áreas de desove, las larvas exhiben en general, una tendencia similar respecto a la fase de huevos y no obstante su amplia



cobertura latitudinal y longitudinal, éstas se concentran mayoritariamente frente a las localidades de Arica, punta Junín, punta Lobos y bahía Moreno (**Fig. 117**).

Para ambos estadios de desarrollo, las más bajas frecuencias de estaciones positivas se registraron en invierno de 1998, asociadas a la presencia de El Niño 1997/98 en la zona de estudio, la cual se caracterizó por presentar una modalidad eminentemente costera en la postura y un rango latitudinal que no excedió los 21°00'S en el caso de los huevos y los 22°20'S, para las fases larvarias.

Con respecto al índice de abundancia larval para anchoveta, las estimaciones más altas han sido obtenidas en los inviernos de 1985, 1989, 1994 y 2003 y las más bajas han estado asociadas a la presencia de eventos “El Niño”, registrados durante los años 1987, 1991 y 1998. Durante los inviernos de 1995, 1996 y 1997 el índice se mantuvo prácticamente constante, fluctuando entre 5 y 7 para disminuir drásticamente en 1998. A partir de 1998 se observa una tendencia general ascendente en sus valores para experimentar una nueva disminución en el invierno de 2001 e incrementarse significativamente en invierno de 2002 y 2003, observándose en invierno de 2004 una situación a la baja que se traduce en un porcentaje de cambio igual a -43,6% con respecto al año 2003. En invierno de 2006, se obtuvo un índice muy similar a los estimados en invierno de 1996, 2004 y 2005, siendo este último 5% mayor con respecto al año 2006 (**Fig. 118, Tablas 27 y 28**).

En invierno de los años 2002, 2003, 2005 y 2006, no hubo presencia de larvas de sardina. Con respecto a los niveles de abundancia del ictioplancton de jurel analizados a través de los diferentes índices utilizados, revelan ausencia de huevos y larvas durante los inviernos de 2000 y 2001 y presencia de estos estadios de desarrollo para el invierno del año 2002 y ausencia de las fases larvarias para el 2003 y 2005. En invierno de 2006, el estadio de huevos, exhibe con respecto al invierno de 2005 una disminución en la intensidad del desove y en su cobertura geográfica, lo que se traduce en tasas de cambio iguales a 39,9 % y 67,6%, respectivamente.



En relación a caballa, en invierno de 2006 hubo dos registros positivos a huevos y uno a larvas de esta especie, situación que para el estadio de huevos no se presentaba desde el año 1999 y que en el caso de las larvas y para la estación de invierno corresponde al segundo registro de la serie analizada.

Desde Antofagasta al sur, existe menos información y para efectos comparativos se utilizó información proveniente de cruceros realizadas para la estación de invierno en la década de los 80_s y 90_s a la zona Antofagasta – Coquimbo y cuyo detalle se entrega en las **Tablas 29 y 30**. En invierno de 2006 y para la zona Antofagasta –Coquimbo se observaron 3 estaciones positivas a huevos y ausencia de larvas de sardina.

En relación a la intensidad del desove de anchoveta, las densidades promedio por estaciones positivas utilizadas como un índice de la concentración del desove, muestran con respecto al invierno de 2005, un incremento para ambas fases de desarrollo iguales a 2800% y 27,9%. Con respecto a su cobertura geográfica tanto huevos como larvas de anchoveta presentan un incremento, con tasas de cambio respecto al año 2005 iguales a 1800% y 4%.

10.2 Desove de Primavera

En primavera de 2006, se aprecia una vez más a nivel del ictioplancton, la predominancia de anchoveta, sobre sardina, jurel y caballa, situación que es corroborada al examinar el parámetro comunitario dominancia numérica, cuyos valores fueron iguales a 66,57% para huevos y 35,71% para fases larvarias (**Tablas 20 y 21**).

La estimación de la abundancia promedio de huevos y larvas de anchoveta por estaciones totales, analizada como un índice de la extensión del desove, señala una situación diferente para ambos estadios de desarrollo. Es así, como el estadio de huevos exhibe una tasa de cambio positiva con respecto a la primavera precedente igual a 70,5%, presentando las fases larvarias un porcentaje de cambio



igual a -54,4%, señalando una situación característica de una actividad reproductiva en proceso inicial (**Figs. 119 y 120**).

En relación a la intensidad del desove, las densidades promedio por estaciones positivas utilizadas como un índice de la concentración del desove, muestran con respecto a la primavera de 2005, un significativo incremento para la fase de huevos igual a 187,6%, observándose para las fases larvarias una baja importante en sus niveles de abundancia, lo que se traduce en un porcentaje de cambio igual a -55,6%.

Con respecto al patrón estacional de distribución de huevos de anchoveta, la serie histórica 1983-2006, nos señala que el desove de primavera presenta una modalidad más nerítica en la postura y es de menor intensidad con respecto al desove de invierno; con registros positivos de huevos de esta especie hasta una distancia máxima de 100 mn durante las primaveras de los años 1984, 1990, 1999, 2002 y 2005. Las mayores frecuencias de estaciones positivas (>17) a esta fase de desarrollo han sido registradas durante los años 1985, 1986, 1998, 2002 y 2005, destacando como áreas de desove estables y persistentes en el tiempo la zona de Arica, punta Lobos y bahía Moreno (**Fig. 121**).

Por su parte las fases larvarias muestran un patrón de distribución latitudinal y longitudinal más amplio respecto del descrito para el estadio de huevos, debido fundamentalmente a los procesos que las afectan, dispersión, transporte, advección entre otros. Durante las primaveras de los años 1985, 1988, 1990, 1993, 2005 y 2006, se detectan las mayores frecuencias de registros positivos (>30). Las áreas de desove exhiben la misma tendencia observada para los huevos, en el sentido de concentrarse frente a las localidades de Arica, punta Lobos y bahía Moreno (**Fig. 122**).

La estimación del índice de abundancia larval de anchoveta para el período de primavera, desde el año 1985 a la fecha, muestra que el valor obtenido durante la primavera de 2006 se encuentra dentro de los seis índices más altos, de un total de 18 períodos analizados, siendo superado por los años 1985, 1988, 1996, 1999 y



2005, mientras que los más bajos se detectaron en 1987, 1991 y 1993, años en que el índice se mantiene entre 0 y 1 (**Tabla 31**). Posterior a la primavera de 1999, donde se registró el índice mas alto de todos, se produce una tendencia decreciente hasta incrementarse en el período 2005, aumentando significativamente a un valor cercano a 4, lo que equivale al segundo índice más importante de la serie histórica, pero hacia el año 2006 nuevamente decrece a un valor inferior a 2 (**Fig. 123**).

Con relación al índice de abundancia larval de sardina, el valor estimado durante el año 2006 fue el mas bajo de todos los períodos primaverales analizados a contar de 1983, sin considerar sin embargo, los años 1984, 1989, 1993-1996; 2001-2005, períodos donde esta variable no fue estimada por no existir cruceros de monitoreo durante esos períodos o por la ausencia de sardina en las muestras planctónicas. Los únicos dos años donde se detectaron índices de abundancia altos fue en 1986 y 1987, produciéndose posteriormente un decaimiento importante de los valores (**Fig. 123; Tabla 32**).

10.3 Desove de Verano

En las **Figuras 124 y 125** se aprecia y confirma una vez más, la persistencia y predominio temporal del ictioplancton de anchoveta sobre sardina, jurel y caballa, especies que han demostrado ser muy vulnerables a perturbaciones ambientales interanuales (El Niño – La Niña). La dominancia en el plancton de huevos y larvas de anchoveta se ha mantenido sin alteraciones a partir de 1990.

El análisis de la abundancia promedio de huevos y larvas de anchoveta por estaciones totales, señala que durante el verano de 2007, ambas fases de desarrollo experimentan una significativa disminución en la extensión de las áreas de desove, con tasas de cambio negativas iguales a 81,2% y 63,8%, respectivamente.



El seguimiento del parámetro poblacional, densidad promedio por estaciones positivas, utilizado como un índice de la intensidad del desove para la estación de verano de los años 1982-2007, muestra con respecto al verano de 2006, un importante decremento exhibiendo las respectivas fases de desarrollo porcentajes de cambio iguales a -74,9% y -64,9%.

Con respecto al patrón estacional de distribución de huevos de anchoveta, la serie histórica 1982-2007, nos confirma el carácter costero que adopta esta especie en su pico secundario de desove, siendo este de menor intensidad con respecto al desove de invierno, con presencia de huevos hasta las 70 mn frente a punta Lobos, en el verano de 1994 y 2003 (**Fig. 126**). Las mayores frecuencias de estaciones positivas (>20) a esta fase de desarrollo han sido registradas durante los años 1990, 1994, 1995, y 2006 destacando como áreas de desove estables y persistentes en el tiempo la zona de Arica, punta Lobos y bahía Moreno.

Por su parte las fases larvarias muestran un patrón de distribución latitudinal y longitudinal más amplio respecto del descrito para el estadio de huevos, debido fundamentalmente a los procesos que las afectan, dispersión, transporte, advección, entre otros. En verano de los años 1989, 1990, 1991, 1994, 1995, 1999, 2006 y 2007, se consignaron las mayores frecuencias de registros positivos (>30). Para este estadio de desarrollo, las áreas de desove muestran a través del tiempo la misma tendencia observada para los huevos, en el sentido de distribuirse particularmente frente a Arica, entre punta Lobos y punta Copaca y bahía Moreno (**Fig. 127**).

Las estimaciones más altas del índice de abundancia larval de anchoveta para la estación de verano se han obtenido durante los años 2000, 2003 y 2006 y las más bajas se han registrado en verano de los años 1987 y 1998. En el verano de 1999, se apreció una tendencia general ascendente en los valores de este índice, situación que se mantuvo hasta el año 2000, disminuyendo significativamente en verano de los años 2001 y 2002, donde los valores del índice fluctuaron entre 2,25



y 1,82, respectivamente, para experimentar en el verano de 2003 un importante incremento, insertándose como el valor más alto de la serie analizada. Con respecto al año 2003, el índice de abundancia larval exhibe una disminución igual a 26,2% (**Figura 128; Tablas 33 y 34**).

11. Intensidad de desove

La variación temporal de la intensidad del desove de anchoveta, estimada a través del seguimiento del parámetro poblacional densidad promedio por estaciones positivas, revela que para el período invierno de 1995 – verano de 2007, los huevos de anchoveta han presentado una tendencia general ascendente, con ocho picks de abundancias significativamente importantes (> 18.000 huevos/10m²), los que se han registrado en la estación de primavera de los años 1996 y 1997, invierno de 1998, primavera de 2000, invierno de 2001 y 2002, verano e invierno de 2003 y 2004 y primavera de 2006. De la misma manera se han detectado drásticas disminuciones en la intensidad del desove durante los períodos de verano-otoño de 1997, 1999, 2000 y 2004 y verano de 2001. Con relación a las fases larvares, estas muestran una tendencia similar a la exhibida por el estadio de huevos, con abundancias superiores a 4100 larvas/10m², las que han sido reportadas en verano de 1999, 2000 y 2001, otoño de 2002 y verano e invierno de 2003 (**Fig. 129**).

12. Análisis cartográfico de la distribución del ictioplancton respecto de la temperatura superficial del mar obtenida mediante sensores remotos.

Para explorar las relaciones entre ambas variables se realizó un análisis visual de las imágenes satelitales de TSM, a las cuales se superpusieron la distribución de huevos y larvas de anchoveta, registrados en los cruceros bio-oceanográficos efectuados en el transcurso del proyecto.

En los cruceros realizados se monitorearon estaciones bio-oceanográficas, en las cuales se registraron las variables predictoras, latitud, longitud, salinidad y



temperatura superficial del mar, de igual manera se contabilizó el número de huevos y/o larvas y por consiguiente, la presencia o ausencia de éstos. En septiembre de 2006, del total de estaciones analizadas el 47% de éstas registró la presencia de huevos; en tanto, que el porcentaje de estaciones con presencia de larvas alcanzó al 87%.

De manera general, la temperatura superficial del mar en el área de estudio presentó un rango de variación entre los 14° y 19°C, con un predominio de aguas de TSM de 16 y 17°C (color azul), ubicándose los máximos en el sector oceánico y los mínimos en el sector costero. En la semana del 11-17, la estructura térmica superficial exhibió una disminución de las TSM respecto de la semana anterior, especialmente en el sector oceánico, lo que se observa por la desaparición de la isoterma de 19°C, por otro lado, hay una leve disminución de las temperaturas en la franja costera que son indicativas de un fortalecimiento de eventos de surgencias. Respecto a la repartición de huevos y larvas, en este crucero se obtuvieron una gran cantidad de estaciones positivas (con presencia de ictioplancton). En el caso de los huevos de anchoveta, éstos alcanzan grandes densidades y son más costeros que las larvas, no obstante que frente a Pisagua alcanzan las 70 mn de la costa y con grandes concentraciones frente a Arica y punta Lobos, que superan los 20.000 huevos/m². Con respecto a las larvas, éstas exhiben una mayor cobertura espacial con una distribución más oceánica que alcanza las 100 mn de la costa, con dos áreas principales: en los alrededores de punta Lobos (latitud 21°S) donde se localizaron preferentemente sobre las 10 mn de la costa y a la cuadra de Antofagasta con una distribución más costera (**Fig. 130**).

En el mes de diciembre de 2006, del total de estaciones analizadas, sólo en un 29% de éstas se registró la presencia de huevos; en tanto, que el porcentaje de estaciones con presencia de larvas alcanzó al 65%. Por su parte, la temperatura superficial del mar en el área de estudio presentó durante el crucero un rango de variación entre los 17° y 22,5°C, destacándose la presencia de aguas de temperaturas mayores a 21°C en el sector oceánico del extremo norte de la zona. En este período se observó un aumento de las TSM respecto de semanas



anteriores, lo que se refleja en la presencia de aguas de 22°C y en el desplazamiento de las isotermas de 20 y 21°C en dirección sureste. Asimismo, se mantiene la franja de aguas frías en la costa y con ello los gradientes térmicos latitudinales (este-oeste) (**Fig.131**).

Respecto a la repartición del ictioplancton, en este crucero no se obtuvieron una gran cantidad de estaciones positivas, no obstante lo anterior, en el caso de los huevos de anchoveta, éstos alcanzan grandes densidades y son más costeros que las larvas, no superando las 20 mn de la costa, a su vez se destaca las grandes concentraciones de huevos de anchoveta que se localizaron a la cuadra de Antofagasta y que superan los 100.000 huevos/10m². Con respecto a las larvas, éstas exhiben una gran cobertura espacial con una distribución más oceánica que alcanza las 100 mn de la costa, presentando el 65% de estaciones positivas con un sector principal que se ubico en los alrededores de Antofagasta en las primeras millas de la costa (**Fig. 131**).

Durante el crucero de marzo de 2007, solamente en 21 estaciones se registró la presencia de huevos; en tanto, que el porcentaje de estaciones con presencia de larvas alcanzó al 61%. A su vez, la repartición espacial de las TSM en el área de estudio presentó un rango de variación entre los 17° y 25,5°C, destacándose el dominio de aguas de mayores temperaturas (> 22°C) en la zona oceánica y una banda de aguas más frías en los sectores más ribereños. En este período se registro un incremento de las temperaturas en aproximadamente +0,5°C respecto de las semanas precedentes. En la **figura 132** se observa un desplazamiento de las isotermas de 23 y 24°C hacia áreas más costeras, asimismo se destaca un gran foco de aguas surgentes que se localizo entre Pisagua y el río Loa y que presento temperaturas más frías, lo que sigue generando importantes gradientes laterales, a su vez se advierte la virtual desaparición de aguas menores a 18°C.

En cuanto a la repartición del ictioplancton, en este crucero no se obtuvieron una gran cantidad de estaciones positivas (con presencia de ictioplancton), no obstante lo anterior, en el caso de los huevos de anchoveta, éstos alcanzan grandes densidades y



son más costeros que las larvas presentándose a lo largo de toda la costa, casi no superando las 10 primeras millas, a su vez se destaca las grandes concentraciones de huevos de anchoveta que se localizaron frente de Mejillones y que superan los 50.000 huevos/10m². Con respecto a las larvas, éstas exhiben una gran cobertura espacial con una distribución más oceánica que alcanza las 70 mn de la costa, presentando el 61% de estaciones positivas con un sector principal que se ubico en los alrededores de Iquique en las primeras millas de la costa (**Fig. 132**).

12.1 Asociaciones entre la densidad del ictioplancton y el gradiente térmico

Con la base de datos del ictioplancton y satelital se analizaron las relaciones entre la densidad de los huevos y larvas y el gradiente térmico. Para ello, a cada dato de huevos y larvas de la especie se le extrajo el diferencial térmico de la carta satelital correspondiente, mediante la utilización de los comandos de los SIG.

Como se mencionó anteriormente, el crucero de septiembre del 2006 muestra una repartición de huevos más costera que las larvas pero que alcanzan altas densidades, en este período se ajustó una regresión polinomial que exhibe una buena asociación y que explica el 46% de la varianza y que da cuenta de que las mayores densidades se alcanzan entre los 1 y 2 °C/mn (**Fig. 133**). Por su parte las larvas manifiestan una distribución más oceánica con una gran cobertura espacial y 46 estaciones positivas, en este caso no se ajustó ningún modelo de regresión, no obstante se aprecia que a gradientes mayores a 2 °C/mn las densidades de las larvas disminuyen considerablemente.

En el caso del crucero de diciembre de 2006, la repartición geográfica de los huevos fue muy costera y no sobrepaso las 20 mn de la costa, en este período se ajustó una regresión polinomial que da cuenta de una muy buena asociación y que explica el 61% de la varianza y que indicó que las mayores densidades se alcanzan entre los 1,0 y 1,5 °C/mn. Por su parte las larvas manifiestan una distribución más oceánica con una gran cobertura espacial y 35 estaciones positivas, en este caso no se ajustó ningún modelo de regresión, no obstante se aprecia que a gradientes



mayores a 1,5 °C/mn las densidades de las larvas disminuyen considerablemente (**Fig. 134**).

Finalmente, en el crucero de marzo de 2007, la distribución espacial de los huevos no sobrepasó las 10 mn de la costa, en este período se ajustó una regresión polinomial que da cuenta de una asociación que explica el 36% de la varianza y que indicó que las mayores densidades se alcanzan en gradientes menores a 2,0 °C/mn. Asimismo, las larvas manifiestan una distribución más oceánica con una gran cobertura espacial y 35 estaciones positivas, en este también se ajustó una regresión polinomial que da cuenta del 45% de la varianza y que indica que las mayores densidades también se registran en gradientes menores a 2,0 °C/mn (**Fig. 135**).

13. Modelamiento estadístico de la densidad de huevos y larvas de anchoveta, asociado a variables ambientales.

El modelamiento de la densidad de huevos y larvas de anchoveta, se realizó considerando dos líneas de análisis, una asociada al modelamiento histórico para los cruceros realizados en el periodo de invierno y otro considerando las campañas del actual proyecto, septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007. A continuación se presentan los resultados del análisis histórico de los cruceros realizados en invierno y posteriormente los resultados del análisis asociado al actual proyecto.

13.1 Análisis histórico de cruceros realizados en el período de invierno

El período analizado comprende los años 1993 a 2006, para los cruceros realizados en invierno, desde donde se han monitoreado un total de 825 estaciones, en las cuales se registraron las variables predictoras, latitud, longitud, salinidad y temperatura superficial del mar, de igual manera se contabilizó el número de huevos y/o larvas y por consiguiente, la presencia o ausencia de éstos. Del total de estaciones analizadas, un 40 % de éstas registró la presencia de huevos; en tanto,



que el porcentaje de estaciones con presencia de larvas alcanzó al 86 %, registrándose una densidad media por estación positiva del orden de 5 mil huevos y 2000 larvas/10 m² (**Tabla 35**).

En la **Tabla 35** se detalla por año el número de estaciones totales, el número de éstas con presencia y ausencia de huevos/larvas y la densidad promedio de las estaciones positivas. En cuanto a la presencia de huevos, los años 1993, 1994, 2002 y 2004 al 2006 presentaron la mayor proporción de estaciones positivas con valores entre un 47 % y un 58 %; mientras que el menor número de estaciones con presencia de huevos correspondió a los años 1998 y 1999, con un 6 % y un 19 % (**Fig. 136a**). Respecto a la densidad de huevos, los mayores índices se han registrado los dos últimos años con una densidad media de 17 mil y 9 mil huevos/10 m², estos periodos coinciden con años donde se observan una alta proporción de estaciones positivas, al igual que en 1994. En 1996 y 2001, las densidades medias estuvieron por sobre el promedio histórico, sin embargo con una baja proporción de estaciones positivas, en 1998 y 1999 se obtuvieron los menores registros de densidad del orden de los 400 huevos/10 m², siendo consistente con el menor número de estaciones con presencia de huevos (**Fig. 136a**).

Para las estaciones con presencia de larvas los primeros cuatro años presentaron una alta proporción de estaciones con presencia de larvas, mayores al 90 % de igual forma que los años 1997 y 2004 donde se presenta un 100 % de estaciones positivas, los últimos dos años la proporción de estaciones con presencia de larvas esta entorno al 86 % con una densidad media de entre las 2200 y 2500 larvas/10 m². De manera similar, a como ocurre para la presencia de huevos, los años 1998, 1999 y 2001 presentan el menor número de estaciones positivas con un 57 %, 67% y un 55 % respectivamente (**Fig. 136b**). Respecto a la densidad de larvas, el mayor índice se registró el año 1994 con 4500 larvas/10 m², coincidiendo con una gran proporción de estaciones positivas registrada en dicho año. La menor densidad media de larvas se registró en 1998 y fue del orden de las 550 larvas/10 m², año que registró una de las menores proporciones de estaciones con presencia de



larvas 57 %. Los años 1995, 1996 y 1997 presentan una densidad media entorno a los 1500 larvas/10 m², no obstante representan altos índices de presencia de estaciones con larvas (**Fig. 136b**).

Las estadísticas descriptivas de las variables predictoras latitud, longitud, temperatura superficial y salinidad superficial, junto a las variables de interés densidad de huevos/larvas se presentan en la **Tabla 36**. En los distintos años se cubrió un área muy similar, que abarca latitudinalmente cerca de los 18° 40' hasta los 23°67' S, a excepción de los años 2001 y 2002 donde latitudinalmente llegó a los 24°33' S. Longitudinalmente el área cubierta estuvo en torno a los 70°14' y los 72°18' W. La temperatura superficial del mar promedio por año se concentro entorno a los 16° C, registrándose para el año 1997 una valor por sobre el promedio histórico de 19 °C. Para la salinidad superficial, en los distintos años, se observaron promedios en torno a los 35 psu con un rango de variación entre los 0,45 y 0,75 psu.

13.2 Modelamiento estadístico cruceros en el periodo de invierno

Los resultados del ajuste de los modelos aditivos generalizados para cada set de datos se resumen en las **Tablas 37 y 38**. Los modelos de efectos principales de cuatro covariables (latitud, longitud, temperatura y salinidad) y un factor correspondiente al año (invierno de cada año), fueron significativos, con pseudo-R² de 0,16 y 0,37 para los modelos de presencia de huevos y larvas y de 0,15 y 0,24 para la densidad de huevos y larvas de las estaciones positivas, respectivamente.

13.3 Análisis de presencia/ausencia de huevos y larvas

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



Los predictores incorporados en el modelo tanto de huevos como de larvas, en su mayoría presentaron un comportamiento no-lineal, confirmado a través de la prueba F (**Tabla 37**). Se exceptúa la temperatura superficial del mar para el caso de huevos, y además de ésta, la salinidad para larvas, los cuales no siguen este comportamiento. La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines cúbicos en las Figuras **136 y 137**.

En el caso de la presencia de huevos, se puede observar que latitudes (Lat) entre los $20^{\circ} 36'$ y los 23° S se tienen un efecto positivo, mientras que entre los $18^{\circ} 42'$ y los $20^{\circ} 36'$ y superior a los 23° S. La influencia es negativa sobre la probabilidad de éxito de estaciones con huevos. Por su parte, la longitud (Lon) tiene un efecto positivo para valores inferiores a $71^{\circ} 6'$ W y negativo a longitudes mayores, es decir el proceso de desove esta vinculado hacia la zona costera. En relación con la variable temperatura superficial (**TSM**), se observa un leve efecto positivo sobre la probabilidad de éxito de estaciones con huevos para valores entre los 16° C y los 18° C, mientras que para temperaturas inferiores o superiores no es posible determinar si éstas afectan de forma negativa, dada la alta incertidumbre presentada por el suavizador spline y reflejada en amplias bandas de confianza. La variable salinidad (**Sal**) muestra una alta incertidumbre en el suavizador a salinidades inferiores a los 34,7 psu y superiores a los 35,2 psu, sin mostrar un efecto entre los 34,8 y 35,1 psu en la presencia de huevos por estación (**Fig. 9**).

En relación al modelamiento de la variable presencia de estaciones positivas de larvas, se puede apreciar que el predictor latitud refleja un efecto positivo al norte de los 21° S, mientras que a latitudes inferiores a ésta el efecto es negativo, indicando una mayor sobrevivencia hacia el norte del área de estudio. Por su parte la variable longitud, de la misma forma en que afecta a la presencia de huevos por estación, muestra un efecto positivo para longitudes cercanas a la costa ($< 71^{\circ}$ W) y un efecto negativo gradual a medida que aumenta la longitud. La función suave ajustada para la variable temperatura superficial presenta una alta incertidumbre a temperaturas inferiores a los 16° C y superiores a los 17° C, y se observa que a



diferencia de los huevos, para temperaturas superiores a los 17° C presenta un efecto positivo en la probabilidad de éxito de estaciones con larvas. Por su parte el predictor salinidad, muestra un efecto positivo a niveles menores a los 34,85 psu, mientras que para salinidades superiores el efecto es negativo, cabe señalar que salinidades menores a los 34,7 psu y superiores a los 35 psu poseen una alta incertidumbre en la estimación del suavizador reflejada en amplias bandas de confianza (**Fig. 138**).

Finalmente, a partir de los modelos ajustados se puede observar una señal interanual de la respuesta. En el caso de los huevos, la señal asociada a los distintos años analizados indica que existió una mayor probabilidad de éxito de encontrar estaciones positivas en los años 1993, 1994, 1997, 2000, 2002 y los últimos tres años; en tanto en larvas, no es posible visualizar años con mayores o menores probabilidades de éxito de encontrar la característica de interés dado la alta incertidumbre en la estimación para los años 2001 y 2005, reflejada por las amplias bandas de confianza.

13.4 Análisis de la densidad de huevos y larvas

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

Los predictores incorporados en el modelamiento de la densidad de huevos y que presentaron un comportamiento no-lineal fue solo la latitud, mientras que para larvas correspondieron a la latitud y longitud, que se refleja en estadísticos F significativos (**Tabla 38**). La longitud, temperatura y salinidad superficial para el caso de huevos y la temperatura y salinidad para el caso de las larvas, no siguieron este comportamiento. La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines cúbicos en las **figuras 139 y 140**.



Las estaciones con presencia de huevos se observan en todo el rango de latitud cubierto, con un efecto positivo sobre la densidad de huevos en latitudes inferiores a los 19°20' S. (zona norte). Por su parte, el efecto de la función suavizada para la longitud muestra que el proceso de desove aparece vinculado a una zona más costera que oceánica, con una alta concentración de estaciones con huevos, teniendo un impacto positivo gradual en la densidad de huevos el área localizada al este de los 71° W. En relación a la temperatura, se puede observar que las estaciones con huevos se localizaron principalmente entre los 15° C y 18° C y que temperaturas inferiores a los 16° C tienen un efecto negativo sobre la densidad de los huevos, mientras que temperaturas entre los 16°C y 18°C, tienen un efecto positivo, cabe destacar que temperaturas fuera del intervalo de los 15°C y los 18°C, poseen una alta incertidumbre en la estimación reflejada por las amplias bandas de confianza.

La figura relacionada con la variable salinidad, muestra que los huevos estuvieron presentes en un rango que va entre las 34,5 y 35,36 psu, favoreciendo la densidad de huevos las aguas con salinidades superiores a las 35 psu (**Fig. 139**)

En cuanto a la variable densidad de larvas, en la **figura 140** se presentan los suavizadores splines cúbicos para cada predictor incorporado en el modelo. Se puede apreciar, que al igual que lo observado en los huevos, las larvas estuvieron presentes en todo el rango latitudinal monitoreado, registrándose un efecto positivo gradual sobre la densidad de larvas en latitudes inferiores a los 19°20'S. Nuevamente, el efecto de la función suavizadora para la longitud confirma que el desove de anchoveta es un proceso más costero y que longitudes localizadas al este de los 70°35'W ejercen un efecto gradual positivo sobre la densidad de las larvas. En relación a la temperatura, las larvas se distribuyeron entre los 14° C y 20°C, donde la función suavizada presentó una alta variabilidad para temperaturas inferiores a los 15°C y superiores a los 18°C, reflejada en la amplitud de las bandas de confianza; no obstante, dentro de este intervalo se observa que la temperatura posee un efecto positivo sobre la densidad de larvas a temperaturas superiores a los 16,5° C. El predictor salinidad, muestra que las larvas dentro del intervalo en



que estuvieron presentes (34,5 – 35,37 psu), ven favorecida su densidad en aguas con salinidades entre las 34,8 y las 35 psu (**Fig. 140**).

La contribución parcial del factor año indica que desde 1994 a 1996, 2002, 2004 y 2005 se tuvo un efecto positivo en la densidad de huevos, registrándose la mayor densidad este último año. Mientras que para la densidad de larvas los años 1993, 1994 y 2005 presentaron efectos positivos.

13.5 Análisis cruceros realizados en septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007

Los datos analizados corresponden a los cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007, en donde se han monitoreado un total de 162 estaciones registrándose las variables latitud, longitud, salinidad, temperatura superficial del mar, densidad del agua, clorofila integrada, oxígeno superficial y capa de mezcla, de igual manera se contabilizó el número de huevos y/o larvas y por consiguiente, la presencia o ausencia de éstos. Del total de estaciones analizadas en un 36 % se registró la presencia de huevos; en tanto, que el porcentaje de estaciones con presencia de larvas alcanzó al 70 %, estimándose una densidad media por estación positiva del orden de 5.000 huevos y 1.000 larvas/10 m², respectivamente (**Tabla 39**).

Las estadísticas descriptivas de las variables predictoras latitud, longitud, temperatura, salinidad superficial, densidad, clorofila integrada, oxígeno superficial y capa de mezcla se presentan en la **Tabla 40**. La temperatura superficial del mar promedio entorno a los 19° C, registrando una mínima de 15° C y una máxima de 24,8° C. Para la salinidad superficial, el rango de variación fue de 0,92 psu, con un promedio en torno a los 34,9 psu. La densidad promedio fue de 24,8 (sigma-t)(kg/m³) y varió entre los 23,5 y 25,78 (sigma-t)(kg/m³), mientras que la clorofila superficial promedió los 59 µg/L, con un importante rango de variación que alcanzó los 465 µg/L. El oxígeno superficial se concentró en torno a los 5,5 (ml/L) con un



mínimo de 2,5 y un máximo de 7,7 (ml/L) y la profundidad de la capa de mezcla bordeó en promedio los 5 m.

13.5.1 Modelamiento estadístico cruceros septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007

Los resultados del ajuste de los modelos aditivos generalizados para cada set de datos se resumen en la **Tablas 41 y 42**. Los modelos de efectos principales de ocho covariables (latitud, longitud, temperatura, salinidad, densidad, clorofila, oxígeno y capa de mezcla), fueron significativos, con pseudo- R^2 de 0,57 y 0,69 para los modelos de presencia de huevos y larvas y de 0,59 y 0,43 para la densidad de huevos y larvas de las estaciones positivas, respectivamente.

13.5.2 Análisis de presencia/ausencia de huevos y larvas

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

Los predictores incorporados en el modelo de huevos que presentaron un comportamiento no-lineal fueron latitud, longitud, clorofila integrada y oxígeno superficial (**Tabla 41**). En cambio para el modelamiento de larvas, solo la latitud se presenta significativa. La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines cúbicos en las **Figuras 141 y 142**.

En el caso de la presencia de huevos, se observa que latitudes al sur de los 22° S tienen un efecto positivo sobre la probabilidad de éxito de estaciones con huevos, mientras que al norte de esta latitud el efecto positivo disminuye. Por su parte, la longitud tiene un efecto positivo para valores menores a los 70° 40' W y negativo a longitudes mayores, es decir el proceso de desove se encuentra vinculado a la zona costera más que al área oceánica. Las covariables temperatura superficial



(tsm) y densidad (dsm), presenta una relación lineal con la probabilidad de encontrar estaciones con presencia de huevos, mostrando un efecto positivo para temperaturas superiores a los 19° C y densidades del agua superiores a 24,8 ($\sigma\text{-t}$)(kg/m³). Por otro lado cantidades de oxígeno superiores a 5,6 (ml/L), favorecerían la presencia de huevos de anchoveta. Finalmente las covariables salinidad superficial (ssm), clorofila integrada y profundidad de la capa de mezcla, no muestran ningún tipo de relación con la presencia de huevos, explicada por una alta variabilidad reflejada en amplias bandas de confianza (**Fig. 141**).

En relación al modelamiento de la variable presencia de estaciones positivas de larvas, se puede apreciar que el predictor latitud refleja un efecto positivo al sur de los 23° S y al norte de los 19° S, similar a lo observado en huevos, que indicaría que existen condiciones más favorables para la presencia de huevos y larvas hacia el sur del área de estudio. Por su parte la variable longitud, de la misma forma en que afecta a la presencia de huevos por estación, muestra un efecto positivo para áreas cercanas a la costa (< 71° W) y un efecto negativo gradual a medida que aumenta la longitud, confirmando el carácter costero del proceso reproductivo.

La función suave ajustada para las restantes covariables presenta una alta incertidumbre en la estimación del suavizador reflejada en amplias bandas de confianza, mostrando una relación nula con la presencia de estaciones con larvas (**Fig. 142**).

Finalmente, a partir de los modelos ajustados se puede observar una señal estacional de la respuesta (**Fig. 143**). En el caso de los huevos, la señal asociada a los distintos meses indica que existió una mayor probabilidad de éxito de encontrar estaciones positivas en marzo de 2007, en tanto en larvas, correspondió a septiembre de 2006, aunque con una alta incertidumbre en la estimación, reflejada por las amplias bandas de confianza.



13.5.3 Análisis de la densidad de huevos y larvas

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

La mayoría de los predictores incorporados en el modelamiento no aportaron significativamente a explicar la variación observada en la densidad de huevos (**Tabla 42**), salvo la longitud, que presenta un aporte significativo y la salinidad con un efecto entorno a la significancia. Esto puede atribuirse a por lo menos dos factores, primero a la alta variabilidad observada en la densidad de huevos, reflejada en amplias bandas de confianza (**Fig. 144**) y por otra parte a la baja presencia de estaciones con presencia de huevos (36 %), lo que dificulta detectar a través del modelamiento una relación entre la densidad y las variables ambientales. No obstante, para la longitud se observa un efecto negativo hacia longitudes menores a los 70° 40' W, concentrándose una mayor frecuencia densidades en el intervalo entre los 70° 6' W y los 70° 40' W, ratificando que el proceso de desove se encuentra vinculado a la zona costera más que al área oceánica.

En el modelamiento de la densidad larvas se observó algo similar, con la diferencia que la clorofila integrada y el oxígeno superficial presentaron valores entorno a la significancia (**Tabla 42**). Se observó la presencia de larvas en todo el rango latitudinal monitoreado, observándose un efecto positivo y una segmentación de la frecuencia de densidades hacia longitudes menores a los 71° W. La función suave ajustada para las restantes covariables presenta una alta incertidumbre en la estimación del suavizador reflejada en amplias bandas de confianza (**Figs. 145 y 146**).

La contribución parcial del factor crucero indica que septiembre de 2006 fue el mes con un menor efecto en la densidad de huevos. Mientras que para la densidad de



larvas, el mes de septiembre de 2006 posee un mayor efecto sobre la densidad en comparación con los demás meses.

C. Objetivo específico 2.3

“Caracterizar los recursos pelágicos presentes en la zona de estudio, mediante índices de abundancia relativa y de cobertura geográfica, en relación a las condiciones bio-oceanográficas”

14. Calibración electroacústica

Los resultados de las calibraciones electroacústicas del sistema EK-500 de B/C Abate Molina presentan variaciones inferiores a $\pm 0,2$ dB confirmando la estabilidad histórica del equipo (**Tabla 43**).

14.1 Distribución espacial de los recursos

14.1.1 Total de especies

Las especies detectadas en la prospección acústica en los cruceros realizados en el año 2006 (MOBIO 0609-invierno; MOBIO 0612-primavera) y el verano de 2007 (MOBIO 0703-verano) fueron anchoveta (*Engraulis ringens*), jurel (*Trachurus murphyi*), caballa (*Scomber japonicus*), pez linterna (*Vinciguerria lucetia*), langostino (*Pleuroncodes sp.*), caballa (*Scomber japonicus*) y bacaladillo.

En términos globales, las mayores densidades acústicas se registraron en la primavera (MOBIO 0612), ($S_a = 1.383.055$), el que superó en más del 40% al invierno ($S_a = 817.619$) (MOBIO 0612) y verano ($S_a = 812.269$) (MOBIO 0703).

Por especie, el langostino, el pez linterna y el jurel fueron las más abundantes en los cruceros de invierno (MOBIO 0609) (Arica-Antofagasta); primavera (MOBIO 0612) y verano (MOBIO 0703) con un 41,5%; 47,4% y 41,3% de las lecturas acústicas totales, respectivamente. La anchoveta en invierno, primavera y verano



representó el 26,3%, 43,7% y 41,0% de las lecturas acústicas por crucero. El jurel tuvo las mayores abundancias relativas en primavera (7,8%) y verano (41,3%) y sólo el 2,7% en invierno. La caballa hizo aportes marginales en invierno y verano con valores inferiores al 0,4%, no siendo detectada en primavera. El bacaladillo solo estuvo presente en primavera con un 1,1% (MOBIO 0612) (**Tabla 44**).

14.1.2 Anchoqueta

En invierno (MOBIO 0609) esta especie se ubicó principalmente entre Arica y bahía Salado (27° 40´S) con una presencia escasa y esporádica al sur de punta Coloso (23° 50´S). En general, la anchoqueta se caracterizó por una distribución espacial amplia que llegó hasta las 90 mn de costa, con una mayor cobertura espacial entre Arica y punta Coloso (23° 50´S), con focos aislados y de baja densidad al sur de este sector. Las mayores concentraciones de anchoqueta, se registraron en tres focos ubicados entre la costa y las 20 mn a la cuadra de Arica; Iquique; y punta Grande (22° 25´S). Otros sectores de menor densidad se ubicaron a 50 mn de Pisagua; 20 mn de punta Lobos y; a 20, 55 y 85 mn frente a Antofagasta. Al sur de punta Amarilla, se registró un foco de concentración relativamente mayor ubicado a 100 mn al oeste de bahía Salado (27° 40´S) y a 90 mn al oeste del paralelo 24° 20´S. El sector costero aledaño a Taltal-punta Grande (25° 25´S) registró presencia de anchoqueta (**Fig. 147a**).

En primavera (MOBIO 0612), esta especie se registró en toda la zona de estudio, destacándose su presencia hasta las 100 mn de la costa, hecho que es poco usual en las primaveras- veranos y que es más típica de los inviernos. Las mayores densidades de anchoqueta se detectaron entre la costa y las 60 mn a la cuadra de Arica y en el sector costero hasta el paralelo 19° 20´S. Es posible que estas altas densidades también estuvieron presente en áreas oceánicas al sur de Arica, las que no son evidentes en el presente caso debido al patrón de muestreo aplicado. El sector costero entre punta Lobos (21°00´S) y punta Arenas (21°50´S); a 80 mn al oeste de punta Patache (20°50´S); en las cercanías de Antofagasta y a 100 mn de



este puerto se presentaron densidades intermedias a altas pero de menor extensión que hacia el límite norte de la zona de estudio (**Fig. 147b**).

En verano (MOBIO 0703), esta especie registró focos de tamaño y densidad variable en toda la zona de estudio entre la costa y las 25 mn, con un comportamiento costero típico para los periodos estivales. En el sector prospectado destacan cinco focos de alta densidad de anchoveta, localizados en las cercanías de Arica; en las primeras 10 mn entre el paralelo 19°20'S y punta Pichalo (19°30'S); entre las 10 y 25 mn desde punta de Lobos (21°00'S) a caleta Chipana (21°20'S); a 5 mn de río Loa (21°25'S); entre la costa y las 5 mn desde 22°30'S a 23°00'S y; en las primeras 9 mn al oeste de Antofagasta. En estos dos últimos focos se presentaron la mayor extensión y densidad relativa (**Fig. 147c**).

En invierno se apreció la mayor presencia de ecotrazos entre las 06:00 y las 18:00 horas, pero las mayores densidades acústicas se registraron entre las 15:00 y las 24:00 horas, sin embargo en primavera se observó presencia de ecotrazos durante todo el día, pero con mayores densidades entre las 03:00 y las 12:00 horas. En verano se apreció la mayor presencia de ecotrazos entre las 12:00 y las 24:00 horas, no detectando ecotrazos entre las 06:00 y las 09:00 horas (**Fig. 148**).

14.1.3 Jurel

En el invierno de 2006 (MOBIO 0609) el jurel se distribuye entre Pisagua y puerto Huasco, registrándose en forma aislada y esporádica entre Coquimbo y Los Molles. Esta especie se caracterizó por sus bajas densidades y algunas agregaciones aisladas de densidad media (**Fig. 149a**).

En la primavera del año 2006 (MOBIO 0612), esta especie se registró hacia el sur de Pisagua entre las 15 y 100 mn de la costa, con densidades medias a bajas. Las concentraciones relativamente mayores de jurel se ubicaron entre las 40 y 80 mn desde Pisagua a punta Grande (22°20'S). Este patrón de distribución relativamente



oceánico, es típico de esta especie y se ha presentado frecuentemente en los periodos primaverales de otros años (**Fig. 149b**).

En el verano del año 2007 (MOBIO 0703), esta especie se registró en focos de alta densidad entre la costa y las 40 mn entre Iquique y Antofagasta. Las concentraciones relativamente mayores de jurel se ubicaron a 40 mn al oeste de punta Lobos; en las primeras 30 mn desde el paralelo 22°20'S hasta punta Barrancos (22°40'S) y en las cercanías de Antofagasta. Este patrón de distribución relativamente costero y en densidades altas es atípico para esta especie, puesto que en periodos similares se ha caracterizado por sus distribuciones oceánicas y relativamente dispersas (**Fig. 149c**).

Al igual que la anchoveta, durante el invierno se apreciaron ecotrazos de jurel durante todo el día, pero el mayor número de cardúmenes se detectaron en el período entre las 03:00 y las 21:00 horas, en primavera también se observaron cardúmenes durante todo el día detectando las mayores densidades acústicas entre las 09:00 y las 15:00, en verano se detectaron ecotrazos durante las 09:00 y las 24:00 horas (**Fig. 148**).

14.1.4 Caballa

En los tres cruceros la caballa se presentó en forma aislada y en bajas densidades entre la costa y las 90 mn entre Tocopilla y punta Talca (31° 00'S) (**Fig. 150**).

La profundidad promedio de la caballa en invierno varió entre 19,5 m (>13, <50,5 m); en primavera de 13,1 m (>11, <17,5 m) y 15,07 m (>9, <23 m) en el verano. En invierno más del 80% de los cardúmenes estuvieron entre 20 y 30 m; en primavera el 100% estuvieron entre 10 y 20 m y en el verano el 91,78% de los cardúmenes se registraron entre 10 y 20 m (**Fig. 151**).

Las temperaturas promedio en que se distribuyó la caballa en invierno fueron de 16,3° C (norte de Antofagasta) y 15,3° C (sur de Antofagasta), con preferencia por



el estrato 16-17° C al norte de Antofagasta (86,4% de los cardúmenes) y 15-16° C al sur (100%) (**Fig. 152**).

Las salinidades promedio de las agregaciones de caballa en invierno al norte de Antofagasta fueron de 34,711 psu y rangos entre 34,607 y 34,882 psu, mientras que al sur fueron 34,365 y rangos entre 34,007 y 34,601 psu. Los rangos de preferencia de salinidad en ambas zonas fueron diferentes, variando entre 34,7 y 34,9 psu al norte de Antofagasta (92,9% de los cardúmenes) y 34,3 a 34,6 psu al sur (86,8% de los cardúmenes) (**Fig. 153 y Tabla 45**).

En invierno el mayor número de cardúmenes de esta especie se registra entre las 6 y 21 hrs, en verano solo se detectó entre las 9 y 12 horas (**Fig. 148**).

14.1.5 Pez linterna

En invierno (MOBIO 0609) esta especie se registró preferentemente entre Arica y caleta Chipana (21° 20'S) entre las 20 y 90 mn de costa y al oeste de caleta Inglesa (29° 00'S) entre las 70 y 90 mn de costa. Su distribución se caracterizó por focos aislados de altas densidades (**Fig. 154a**).

En la primavera (MOBIO 0612) el pez linterna se registró en toda la zona de estudio, con una tendencia a aumentar su cobertura espacial entre las 20 y 100 mn, las mayores concentraciones del pez linterna se presentaron a 100 mn entre Arica y punta Madrid (19°05'S); 70 mn al oeste de Pisagua; 40 mn al oeste de punta Gruesa (20°20'S) 50 mn de punta Lobos (21°00'S) y a 100 mn al oeste de la península Mejillones (**Fig. 154b**).

En verano (MOBIO 0703) esta especie se registró en focos en toda la zona de estudio con una tendencia a aumentar su cobertura espacial y densidad hacia el sur de la zona prospectada, las mayores concentraciones del pez linterna se presentaron a 80 mn al oeste de Antofagasta. Sectores de menor concentración se detectaron a 100 mn al oeste de punta Argolla (18°50'S); 65 mn al oeste de caleta



Patillos (20°40'S) a 15 mn desde caleta Chipana a Tocopilla y a 100 mn desde punta Tames (22°40'S) a Antofagasta (**Fig. 154c**).

Verticalmente en invierno, esta especie presentó una amplia distribución con promedios de 152,6 m en la zona Arica-Antofagasta (<42,0 m; >245,5 m) y 221,3 m (<46,0 m; >251,0 m) entre Antofagasta y Pichidanguí, mientras que en la primavera esta especie se localizó a una profundidad promedio de 124,5 m variando entre 12,5 y 293,5 m, el 24,3 % de los cardúmenes se localizaron entre 30 y 50 m y el 39,4% entre los 90 y 170 m (**Fig. 151**). En verano (MOBIO 0703), esta especie se localizó a una profundidad promedio de 134,9 m variando entre 22 y 287,5 m, con una distribución homogénea en todo el rango.

En invierno del 2006 (MOBIO 0609) la distribución vertical estuvo asociada a las isoterma promedio de 12,7° C (<11,5° C; >16,0°C) entre Arica-Antofagasta y 11,8°C (<10,71; > 13,72° C) al sur de Antofagasta. En primavera esta distribución vertical estuvo asociada a las isotermas entre 10,88 y 21,07 ° C (media 14,09 ° C) el 68,5% de los cardúmenes estuvieron ubicados entre los 12 y 14° C. En verano estuvo asociada a las isotermas entre 10,17 y 19,3 ° C (media 13,03 ° C), el 77,5% de los cardúmenes estuvieron ubicados entre los 12 y 14° C (**Fig. 152**).

En invierno las salinidades promedio fueron de 34,804 psu (<34,683; >34,918 psu) entre Arica-Antofagasta y 34,707 (<34,441; >34,783 psu) al sur de Antofagasta, salinidades menores a lo observado en la misma estación el año anterior. En primavera las salinidades promedio fueron de 34,796 psu con salinidades que fluctuaron entre 34,444 y 35,250 psu, donde el 84,8% de las agregaciones estuvieron entre 34,7 y 34,9 psu, se observaron salinidades menores al promedio (34,823 psu, <34,716, 35,143 psu >), pero dentro del rangos de variación. En verano esta distribución vertical estuvo asociada a salinidades entre 34,48 y 34,89 psu con una media de 34,74 psu, donde el 82,1% de las agregaciones estuvieron entre 34,7 y 34,9 psu (**Fig. 153**).



Históricamente este pez ha registrado las mayores densidades acústicas promedio en invierno ($3.488,8 \pm 114,04$) y primavera ($3.300,2 \pm 48,57$), reduciéndose de manera importante en otoño ($315,0 \pm 18,17$) y verano ($930,3 \pm 74,49$) (**Tabla 46**).

14.1.6 Langostino

Esta especie se registró solamente en el invierno (MOBIO 0609), ubicándose entre Arica y caleta Chipana desde las 5 a 95 mn de la costa. En general los focos de alta densidad se localizaron al oeste de las 30 mn de la costa, destacándose los sectores ubicados entre las 80 y 100 mn al oeste de Arica; entre las 30 y 45 mn frente a Pisagua; y entre las 80 y 90 mn al oeste de punta Lobos (**Fig. 155**). La profundidad promedio del langostino alcanzó a 24,4 m, con mínimos y máximos de 13,5 y 51,5 m, los estratos 20-40 m fueron preferidos por la especie, con el 93,4% de los cardúmenes. Los promedios y los rangos preferidos de las variables hidrológicas en que se ubicó el langostino fueron: temperatura $16,4^\circ \text{C}$ y estratos entre 16 y 18°C (96,1%); salinidad 34,895 psu, con estratos entre 34,9 y 35,1 (81,6%) y; oxígeno 3,2 ml/l con estratos entre 3,4 y 4,0 ml/l (64,5%). El 72,4% de los cardúmenes se registraron durante las horas de luz diurna.

14.2 Distribución batimétrica de anchoveta y jurel respecto a las variables hidrográficas

14.2.1 Anchoveta

En invierno la anchoveta detectada entre Arica y Antofagasta se localizó en profundidades promedio de 16,9 m variando entre 9 y 41 m concentrándose el 95,9% de los cardúmenes y de las densidades acústicas en el estrato entre 20 y 30 m. Al sur de punta Amarilla la anchoveta se localizó en profundidades levemente mayores, con promedio de 19,6 m y extremos entre 10 y 32 m, en esta zona el 90% de las agregaciones de anchoveta se localizaron en el estrato 20-30 m (**Tabla 45, Fig. 151**).



En primavera la anchoveta, se localizó en profundidades promedio de 18,6 m variando entre 10,5 y 90,5 m concentrándose el 92,1% de los cardúmenes y de las densidades acústicas en el estrato entre 20 y 30 m (**Tabla 45 , Fig. 151**).

En el verano la anchoveta se ubicó en profundidades promedio de 12,4 m variando entre 7,5 y 65,0 m, concentrándose el 97,8% de los cardúmenes y de las densidades acústicas en el estrato entre 10 y 20 m (**Tabla 45, Fig. 151**).

14.2.2 Jurel

En el invierno el jurel registrado entre Arica y Antofagasta presentó una profundidad promedio de 27,7 m (<12,5; >52,5 m), con el 91,5% de las agregaciones en el estrato 20-30 m (**Tabla 45, Fig. 151**).

En la primavera, el jurel presentó una distribución vertical promedio de 86,7 m (<14,5; >214m), registrándose las mayores frecuencias de las agregaciones en dos estratos, entre 20-40 m (23,8%) y 60-120 m (48,4%) (**Tabla 45, Fig. 151**).

En el verano, el jurel presentó una distribución vertical promedio de 15,53 m (<7,5; >31,5m), registrándose el 99,2% de las agregaciones entre 10 y 30 m (**Tabla 45, Fig. 151**).

14.3 Temperatura

14.3.1 Anchoveta

La temperatura promedio en que se localizó la anchoveta en invierno fue 16,2°C con un rango entre 14,2 y 18,2°C, disminuyendo al sur de Antofagasta a promedio de 15,3° C (mín 13,1 y máx 16,0° C). El número de agregaciones que se distribuyeron al norte de Antofagasta (89,3%), se ubicaron centradas entre las isotermas de 16 y 17° C (**Fig. 152, Tabla 45**).



En primavera la distribución batimétrica de la anchoveta estuvo asociada a isotermas promedio de 16,4°C con un rango entre 12,6 y 21,4°C. El 80,3% de las agregaciones distribuidas al norte de Antofagasta ubicaron entre los 15 y 18° C.

En verano las isotermas promedio de distribución de la anchoveta alcanzaron 15,8° C y extremos entre 13,3 y 21,2° C. El 93,7% de las agregaciones estuvieron centradas entre las isotermas de 15 y 17° C (**Fig. 152**).

14.3.2 Jurel

En invierno la distribución vertical del jurel estuvo asociada a las isotermas de 16,8°C con un rango entre 14,5 y 18,0°C, centrándose la mayor frecuencia de cardúmenes (91,5%) entre los 16 y 18° C (**Tabla 45, Fig. 152**).

En primavera la distribución vertical del jurel estuvo asociada a las isotermas promedio de 14,6° C (<11,7 ° C; > 21,4 ° C), centrándose la mayor frecuencia de cardúmenes (72,1%) entre los 12 y 15° C. (**Tabla 45, Fig. 152**).

En el verano las isotermas promedio fueron de 16,02° C (<12,8 ° C; > 20,4 ° C), centrándose la mayor frecuencia de cardúmenes (78,9%) entre los 15 y 18° C (**Tabla 45, Fig. 152**).

14.4 Salinidad

14.4.1 Anchoveta

Entre Arica y Antofagasta las salinidades promedio de la distribución vertical de anchoveta en el invierno fueron de 34,81 psu (<34,56; >35,11 psu), registrándose dos modas en el valor de este parámetro, el 69,3% de los cardúmenes estuvieron entre 34,7 y 34,9 psu y el 26% entre 35 y 35,1 psu (MOBIO 0609). (**Fig. 153**). Al sur de Antofagasta, las salinidades tendieron a ser levemente inferiores a los de la zona norte, con un promedio de 34,6 psu (<34,2 y >34,7 psu) en el 2005 y de 34,417 psu (<34,25 y >34,63 psu) para el 2006 (**Tabla 45**).



En la primavera del 2006, las salinidades promedio de la distribución vertical de anchoveta fueron de 34.798 (<34,528; >35.259 psu), registrándose el 91% de los cardúmenes entre 34,7 y 34,9 psu (MOBIO 0612).

En verano del 2007 las salinidades promedio de la anchoveta fueron de 34,67 (<34,41; >34,85 psu), registrándose el 92,2% de los cardúmenes entre 34,6 y 34,8 psu. (**Tabla 45, Fig. 153**).

14.4.2 Jurel

El jurel en invierno registró salinidades promedio de 34,88 psu (< 34,4; > 35,09 psu), apreciándose dos grupos modales, entre 34,7 y 34,8 psu con el 34,1% de los cardúmenes y entre 35,0 y 35,1 psu con el 56,1% (MOBIO 0609) (**Tabla 45, Fig. 153**). Para el año 2006 en esta estación, las salinidades también corresponden a las condiciones típicas del recurso en invierno, con media similar a los registros históricos, pero con una leve tendencia a ampliarse los extremos superior e inferior.

En primavera la salinidad promedio fue de 34,769 psu (<34,472; > 35,245 psu), apreciándose que el 80,3% de los cardúmenes se ubicaron entre 34,6 y 34,9 psu. Las salinidades promedio en las primaveras de la serie 1997-2003 han variado entre 34,776 psu, mínimos de 34,285 psu y máximos de 35,532psu (**Tabla 45, Fig. 153**). Para el 2005 se observa que, las salinidades promedio fueron inferiores al promedio histórico y confirma la tendencia negativa de los últimos tres cruceros primaverales anteriores. Del mismo modo, el rango de las salinidades fue el mayor de la serie disponible. En tanto para el año 2006 la situación es distinta el valor promedio y el rango de variación concuerda con la serie histórica.

En verano la salinidad promedio fue 34,59 psu (<34,43; > 35,85 psu), apreciándose que el 91,7% de los cardúmenes se ubicaron entre 34,6 y 34,8 psu (MOBIO 0703). En este caso, las salinidades promedio fueron similares a la media histórica que se presentó (34,167 psu < 34,746 psu < 35,595 psu), siendo similares a los registrados en los años 2000 y 2002, y es ligeramente inferior al año 2004 (**Tabla 45, Fig. 153**).



14.5 Índices de Cobertura y Densidad

En invierno en la zona Arica-Antofagasta, la anchoveta fue la especie que ocupó el mayor espacio con un IC de 8,6%, seguido por el langostino y el pez linterna con un IC de 3,5 y 3,6%, respectivamente; el jurel con 3,2 % y la caballa con 1,9% de las observaciones acústicas totales. Entre Antofagasta y Pichidangui el jurel ocupó un mayor espacio (6,1%), seguido por la caballa (2,1%) la anchoveta (1,8%) y el pez linterna (1,6%) (MOBIO 0609). (**Tabla 47**).

En primavera la anchoveta registró un IC de 12,5 %, seguido por el pez linterna con 7,5% el jurel con 2,4% y el bacaladillo con un 0,4% (MOBIO 0612).

En verano la anchoveta fue la especie que ocupó el mayor espacio con un IC de 6,07%, seguido por el jurel con un 5,83%; el pez linterna con 2,75% y la caballa con 0,7% (MOBIO 0703) (**Tabla 47**).

En el invierno los mayores ID en la zona Arica-Antofagasta, lo presentaron el langostino y el pez linterna con 642,1 y 439,5 t/mn², respectivamente, mientras que la anchoveta y el jurel presentaron ID de 208,2 y 34,1 t/mn², respectivamente; la caballa registró un ID de 9,4 t/mn² (MOBIO 0609). Entre Antofagasta y Pichidangui se aprecia que las densidades de anchoveta se incrementaron en un 34% (316,8 t/mn²) y el jurel en más del 50% (72,4 t/mn²) respecto a la zona norte, la caballa también presentó un aumento en el ID (13,9 t/mn²), mientras que el pez linterna bajó a 377,4 t/mn².

En la primavera los mayores ID lo presentaron, la anchoveta y la vicinuerria con 285,8 y 394,2 t/mn², respectivamente, mientras que el jurel y el bacaladillo presentaron ID de 232,9 y 175,3 t/mn², respectivamente (MOBIO 0612).

En el verano 2006 los mayores ID, lo presentaron la anchoveta y el jurel con 478.64 y 442.73 t/mn², respectivamente, mientras que el pez linterna y la caballa registraron ID de 338.66 y 30.31 t/mn² (MOBIO 0703).



D. Objetivo específico 2.4

“Desarrollar una serie de tiempo de frecuencia mensual de las variables señaladas en los objetivos específicos 2.1 y 2.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras dentro de la zona de estudio”

15. Condiciones oceanográficas

15.1 Distribución de temperatura

En Arica, la distribución de temperatura en el periodo julio de 2006 a junio de 2007 (**Fig. 156a**) muestra dos períodos de profundización de las isotermas, ejemplificado por la isoterma de 15° C, la cual llega a los 20 m de profundidad durante el período julio-agosto de 2006 y enero-marzo de 2007 (verano austral), mientras que asciende a 10 m de profundidad en los períodos noviembre-diciembre de 2006 y marzo-junio de 2007. Durante el primer período señalado, la TSM superó los 17°C y abarcó hasta los 10 m de profundidad. Por otro lado, durante el verano, la profundización de la isoterma de 15°C estuvo acompañada de un incremento de la temperatura superficial del mar, llegando a superar los 21°C durante el mes de enero, incrementando el gradiente vertical de temperatura respecto del periodo julio-agosto de 2006. En ambos períodos, la presencia de temperaturas <14°C bajo los 40 m fue mínima o inexistente, tal como se observa en verano. Estos dos períodos estuvieron separados por un descenso de la temperatura superficial (<17°C), ascenso de la isoterma de 15°C llegando a los 8 m de profundidad y el incremento de área que ocupan las temperaturas entre 13° y 14° C, mostrando un máximo en noviembre de 2006. A partir de febrero y hasta junio de 2007 se observó un enfriamiento superficial, donde temperaturas entre 14° y 15°C ocuparon la capa superficial y la isoterma de 15° C ascendió hasta alcanzar a superficie en junio de 2007, mientras que la isoterma de 14°C mostró una tendencia ascendente llegando a 20 m de profundidad en el último mes de observación.



En Iquique (**Fig. 156b**), sobre los 10 m de profundidad se observó un ciclo similar a Arica, pero donde las TSM fueron significativamente menores. De hecho, entre julio-agosto de 2006 las TSM no alcanzaron a los 17°C, disminuyendo a menos de 16°C entre octubre y diciembre, para posteriormente incrementar nuevamente a valores menores entre 18°C y 19°C en el periodo enero - marzo de 2007. A partir de abril de 2007, se observó un descenso de la TSM superficial a temperaturas menores a 17°C en marzo-abril y bordeando los 16° C en mayo-junio. En profundidad, la isoterma de 15° C alcanzó la máxima profundidad en julio de 2006 (30 m), para posteriormente mostrar una serie de oscilaciones en forma de picos asociados a variaciones de profundidad entre los 10 y 15 m de profundidad. La isoterma de 14°C casi no estuvo presente entre julio y agosto de 2006 y febrero de 2007, pero alcanzó su máxima cobertura entre septiembre de 2006 y enero de 2007. A partir de febrero y hasta junio de 2007, después del mínimo relativo de febrero, la presencia de la isoterma de 14 incrementó su importancia gradualmente, al igual que Arica, llegando a los 26 m de profundidad en junio de 2007.

La estación de Mejillones (**Fig. 156c**) mostró un comportamiento cíclico similar al observado en Arica e Iquique, pero con una variabilidad en la intensidad de los cambios. En este sentido, hubo menores TSM (< 16° C) entre julio y agosto a las observadas en Arica e Iquique, cuando la isoterma de 15° C alcanzó la mayor profundidad (24 m). A diferencia de Arica e Iquique, entre octubre y diciembre las TSM de Mejillones aumentaron levemente pero no alcanzaron los 18°C, para luego descender levemente a modo de pulso. La isoterma de 15°C reflejó este segundo máximo relativo con una profundización hasta los 14 m. Posteriormente, a partir de enero se incrementaron las temperaturas hasta alcanzar un máximo mayor a 20°C que llega a menos de 7 m de profundidad. El descenso de TSM a partir de febrero-mayo de 2007 estuvo acompañado por el incremento de la presencia de temperaturas menores a 14° C que alcanzaron un máximo en abril, donde la isolínea de 14°C llegó a 6 m de la superficie. A partir de mayo-junio se presentaron en superficie temperaturas levemente superiores a 15°C, mientras que en profundidad la isolínea de 14°C comenzó a profundizarse.



15.2 Distribución de salinidad

En las estaciones de Arica e Iquique (**Fig. 157a y b**) predominaron salinidades que se oscilaron entre 34,7 a 34,9 psu. En el periodo anterior a julio de 2006 las salinidades presentaron en casi toda la columna de agua a valores entre 34,7 y 34,8. A partir de julio, en Arica e Iquique aparece la presencia de mayores salinidades (34,8 a 34,9) en la capa superficial (0-12 m) con un núcleo superficial en Arica ($> 34,9$ psu). Esta influencia superficial disminuyó en septiembre, donde el máximo superficial solamente llegó hasta los 6 m de profundidad. Posteriormente, las mayores salinidades abarcaron hasta los 50 m de profundidad por un corto lapso de tiempo (en diciembre en Arica y Noviembre en Iquique). A partir de diciembre y hasta marzo, menores salinidades ($< 34,8$ psu) parecen ocupar la capa superficial (0-20 m) en forma permanente en Arica y a pulsos en Iquique. Salinidades mayores a 34,8 psu ($< 34,9$ psu) predominan en superficie y fondo a partir de marzo de 2007 en Arica, mientras que, en Iquique, se insinúa la presencia de un nuevo mínimo ($< 34,8$ psu) entre los 6 y 20 m de profundidad.

Entre julio de 2006 y junio de 2007, en la estación de Mejillones (**Fig. 157c**) predominaron salinidades entre 34,7 y 34,8 psu en toda la columna. Sólo entre noviembre y febrero de presentó un máximo ($> 34,8$ psu) bajo los 30 m de profundidad, el que desapareció en marzo y reaparece en abril pero con menor intensidad. Paralelamente, en la capa superficial se observó la presencia de un mínimo (34,6-34,7 psu) que llegó hasta los 28 m de profundidad en marzo y abril, el cual presentó un núcleo (34,5-34,6 psu) que abarcó entre los 0 y 4 m. Este núcleo desapareció en mayo para luego insinuarse nuevamente su presencia en junio de 2007.

15.3 Distribución del oxígeno disuelto

En Arica (**Fig. 158a**), la distribución vertical de oxígeno disuelto (OD) durante el período de estudio agosto 2006 a junio 2007, presentó casi en forma permanente altos valores, > 5 mL/L, en la capa superficial. Esta capa tuvo un espesor variable, entre aproximadamente 2 m en septiembre 06 y mayo 07, a 20 m como fue el caso



de enero de 2007, mes donde se midieron las concentraciones más altas del periodo (> 9 mL/L). Solo en dos oportunidades, abril y junio de 2007, las concentraciones subóxicas, < 5 mL/L, interceptaron la superficie. La profundidad del límite superior de la capa de mínimo OD (LSCMOD, isolínea de 1 mL/L), presente durante todo el período dentro de los 50 m, se ubicó preferentemente entre los 10 y 20 m, salvo en los meses de agosto 06 y enero 07 cuando se profundizó hasta aproximadamente los 35 m.

En la estación de Iquique (**Fig. 158b**), de los once meses de muestreo, en cinco ocasiones los valores $< 4,9$ mL/L se registraron en superficie. De los restantes, las concentraciones > 5 mL/L ocuparon capas relativamente pequeñas, entre 2 y 6 m. Los valores más altos, > 6 mL/L, se registraron en el mes de enero 07. El LSCMOD en agosto 06 se registró cercano a los 42 m, nivel más profundo dentro del periodo muestreado. Desde septiembre 06 a junio 07 este límite se mantuvo entre los 10 y 28 m aproximadamente. Los menores niveles (10 m) se registraron en los meses de febrero y mayo de 2007.

En Mejillones (**Fig. 158c**) concentraciones de entre 4,1 a 4,3 mL/L se registraron a nivel superficial en los meses de agosto, septiembre y diciembre de 2006 y junio de 2007. Entre octubre y noviembre 06, la capa oxigenada, > 5 mL/L, tuvo un espesor aproximado de 7 m, con valores que superaron los 8 mL/L en superficie. Entre enero y mayo altos valores, > 5 mL/L, se registraron la capa superficial, con máximos > 6 mL/L. En este período el mayor espesor se vio en enero (12 m) y el menor (2 m) entre marzo y mayo. El LSCMOD durante el periodo de estudio, se mantuvo entre los 8 y 28 m aproximadamente. Los menores niveles de profundidad (< 10 m) correspondieron a los meses de noviembre de 2006 y mayo de 2007, y los más profundos (> 25 m) a los meses de agosto de 2006 y junio de 2007.

15.4 Distribución de la biomasa fitoplanctónica

La distribución de clorofila-a (cloa) presentó en Arica (**Fig. 159a**), núcleos con concentraciones > 1 $\mu\text{g/L}$ durante todo el período de muestreo agosto 2006 - junio



2007. Esta capa tuvo un espesor que varió ente 5 m en abril de 2007 y 35 m en noviembre de 2006, con permanente presencia de máximos subsuperficiales (5 a 10 m). En los meses de octubre, noviembre de 2006, y, febrero y abril de 2007 se registraron bajas concentraciones superficiales, $< 0,8 \mu\text{g/L}$. Dentro de la capa productiva, las mayores concentraciones se registraron desde octubre a diciembre, y en marzo y mayo, con concentraciones $> 10 \mu\text{g/L}$. La concentración más alta del período de estudio, se midió en abril con un valor de, $15,5 \mu\text{g/L}$.

En Iquique (**Fig. 159b**) concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ se observaron en todos los muestreos entre agosto 2006 y junio 2007. Los espesores de esta capa variaron entre un mínimo de sólo un par de metros en mayo, hasta un espesor de 45 m en marzo de 2007. En esta serie, bajos valores superficiales, $< 0,8 \mu\text{g/L}$, se registraron en los meses de enero, abril y mayo. En esta estación altas concentraciones se registraron diciembre de 2006 y marzo de 2007 con máximos $> 5 \mu\text{g/L}$, en diciembre de 2006, donde superó los $10 \mu\text{g/L}$, y febrero de 2007, mes en que se registró el valor más alto de la serie, $> 40 \mu\text{g/L}$.

La estación de Mejillones (**Fig. 159c**) al igual que las anteriores, presentó concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ en todo el período de muestreo, agosto 2006-junio 2007. El espesor de esta capa varió entre 8 y 26 m, correspondiendo el menor de estos valores a los meses de agosto 2006 y marzo 2007, y el mayor a enero de 2007. Los menores valores superficiales $< 1 \mu\text{g/L}$, se registraron en los meses de enero y junio 2007. Entre septiembre y diciembre las concentraciones superaron los $4 \mu\text{g/L}$, con un máximo de $8 \mu\text{g/L}$ en este último mes. En febrero el núcleo de cloa superó los $10 \mu\text{g/L}$. En abril las concentraciones fueron $> 5 \mu\text{g/L}$ y aumentaron al triple, $> 15 \mu\text{g/L}$, en mayo de 2007.

15.5 Clorofila satelital

Las imágenes de clorofila satelital (**cloas**) correspondientes a los meses de agosto de 2006 a junio de 2007 se entregan en las **Figuras 160 a 164**.



Agosto

Durante la primera semana de agosto se observó poca información en la imagen de **cloas** dada la presencia de nubosidad en casi toda la zona de estudio, sin embargo, al norte de Mejillones la cloas alcanzó valores superiores a los 3 $\mu\text{g/L}$. En la segunda semana, en la parte sur de la zona de estudio estuvo dominada por valores cercanos a los 1,3 $\mu\text{g/L}$, mientras que, valores por sobre los 5 $\mu\text{g/L}$ fueron observados en la franja costera cercana al río Loa y al sur de Iquique. En la tercera semana la cobertura nubosa cubrió la totalidad de la zona de estudio, salvo algunos sectores de la franja costera, al norte de Mejillones y al este de Antofagasta e inmediaciones de los 21°S, donde se presentaron valores superiores a los 5 $\mu\text{g/L}$. Durante la cuarta semana se observan dos focos principales, con valores superiores a los 10 $\mu\text{g/L}$, el primero se ubicó en los 21,5°S y el segundo en los alrededores del río Loa, mientras que, al sur de Antofagasta el foco alcanzó un máximo de 5 $\mu\text{g/L}$. En la parte oceánica de la zona de estudio se presentan valores cercanos a los 2 $\mu\text{g/L}$. Ya en la última semana del periodo analizado, en la franja costera no se registra información, sin embargo, en la parte oceánica se observó un foco principal con valores por sobre los 7 $\mu\text{g/L}$ al sur de los 22°S y al oeste de los 72°W.

Septiembre

Las imágenes del 12, 15 y 17 de septiembre presentaron gran cantidad de nubes por lo que no se pudo hacer una descripción acabada del área de estudio. Sólo en el sector costero de Mejillones y Antofagasta se pudo observar la distribución de cloas en las tres imágenes. El día 12 un foco de concentraciones > 3 $\mu\text{g/L}$ abarcó desde la bahía de Mejillones hasta punta Copaca, y alcanzó máximos en el rango 5 a 9,9 $\mu\text{g/L}$. En la imagen del día 15 este foco disminuyó notoriamente su extensión y concentración registrándose valores máximos en el rango 3 a 3,9 $\mu\text{g/L}$ en el sector más costero. En la imagen del día 17, se recuperó el foco de altas concentraciones, > 5 $\mu\text{g/L}$, al norte de los 23 °S. En el sector de Antofagasta, las concentraciones de **cloas** estuvieron en el rango > 1 a 1,9 $\mu\text{g/L}$ en la imagen del 12



de septiembre, aumentando a $> 5 \mu\text{g/L}$ en la imagen del 15, volviendo a disminuir a $>1 \mu\text{g/L}$ en la última imagen. En las tres imágenes se registró parte de un foco oceánico en las inmediaciones de Arica con una concentración $> 1 \mu\text{g/L}$.

Octubre

Las imágenes de **cloas** corresponden a los días 6 y 10 de octubre y a pesar de la diferencia en la fecha, las imágenes tienen una similar distribución de concentraciones, con una banda de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ a lo largo de toda la zona costera que abarcó entre las 20 a 30 mn, la que se contrae hacia la costa en el sector de punta Arenas–Tocopilla. También coincidieron en algunos focos ($> 3 \mu\text{g/L}$) repartidos entre Arica e Iquique y en el sector de Mejillones, donde la cloas alcanzó valores $> 4 \mu\text{g/L}$. En el sector oceánico en tanto, se observaron amplias áreas tanto desde Iquique al norte como de punta Copaca al sur, con valores $> 0,5 \mu\text{g/L}$. Las mayores diferencias entre las imágenes, se restringen a que en la imagen del día 10 se observó la desaparición del foco de Arica ($> 3 \mu\text{g/L}$), que apareció claramente en la imagen del día 6, y al aumento del área cubierta por concentraciones $> 4 \mu\text{g/L}$ en el sector de Antofagasta y Mejillones, más un pequeño foco de valores $> 5 \mu\text{g/L}$ en esta última localidad.

Noviembre

La imagen de **cloas** correspondió al día 12 de noviembre. En general, la zona de estudio este mes presentó mucha nubosidad. En la figura se pudo apreciar una franja continua de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ desde el río Loa hasta el sur de bahía Moreno, en la que destacó un foco de concentraciones entre 3,0 y 4,9 $\mu\text{g/L}$ que se localizó a la cuadra de Iquique. A su vez, también se apreció un foco de altos valores entre Tocopilla y Mejillones que alcanzó las 10 mn de la costa con concentraciones entre 5 y 9,9 $\mu\text{g/L}$. En Antofagasta, muy restringido al sector costero, se observaron similares concentraciones a las del foco de más al norte. En el sector oceánico se detectaron amplias zonas con valores menores a los 0,5 $\mu\text{g/L}$.



Diciembre

Las imágenes de **cloas** del mes de diciembre corresponden a los días 8, 10 y 12. Los valores de **cloas** de las imágenes de los dos primeros días, en el sector oceánico fluctuaron en gran parte del área, entre 0,2 y 0,49 $\mu\text{g/L}$. En la imagen del día 8, en Arica, la franja de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ llegó hasta casi los 71°W , aumentando las concentraciones a $> 2 \mu\text{g/L}$ en las primeras 35 millas. En torno a los 21°S se observó un segundo sector donde el foco de cloas se extendió hacia el oeste aproximadamente hasta 25 mn, con la presencia de pequeños focos costeros con valores que superaron los $4 \mu\text{g/L}$. Desde punta Copaca hasta bahía Moreno la franja costera continua de valores $> 1 \mu\text{g/L}$, presentó dos filamentos, uno al sur de punta Copaca con dirección noroeste y valores máximos ($> 4 \mu\text{g/L}$), similar dirección que el ubicado en la punta sur de la península de Mejillones ($> 0,5 \mu\text{g/L}$). Entre el sector costero de la península y bahía Moreno se registró un núcleo de valores $> 3 \mu\text{g/L}$, el que superó los $5 \mu\text{g/L}$ en un foco de gran tamaño en la bahía. En la imagen del día 10, se observó el crecimiento de los focos al sur de Arica, frente a Iquique y el filamento al sur de punta Copaca (5 y $9 \mu\text{g/L}$). Por otra parte el foco de bahía Moreno mantuvo el rango de concentración máxima observado en la imagen del día 8, pero disminuyó su extensión.

En la imagen del día 12, los sectores oceánico y costero de Mejillones a Antofagasta estuvieron cubiertos por nubes. En la franja costera desde Arica a punta Copaca, se observó una disminución de las concentraciones en los focos señalados previamente para la imagen del día 10, ya que se registraron concentraciones máximas en el rango de 3 a $3,9 \mu\text{g/L}$ y desapareció el filamento en la parte sur de punta Copaca.

Enero

Las imágenes **cloas** de ese mes correspondieron a los días 3 y 9 de enero. En la imagen del día 3, las nubes cubrieron la parte del extremo norte, y partes del sector costero. Se pudo observar una delgada franja, 10 mn, de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$,



que cubri3 desde el norte de Pisagua ($20^{\circ}40'S$) hasta el norte de punta Lobos, donde las concentraciones alcanzaron un m3ximo de $> 5 \mu\text{g/L}$. M3s al sur, continu3 desde el r3o Loa hasta punta Copaca, donde las concentraciones m3s altas fueron $>3 \mu\text{g/L}$. El foco de mayor extensi3n costa-oc3ano se ubic3 en las inmediaciones de Mejillones y Antofagasta, con concentraciones en este 3ltimo lugar que superaron los $5 \mu\text{g/L}$.

En la imagen del d3a 9, las nubes cubrieron gran parte del sector oce3nico y el sector costero de Arica. En la costa se observ3 una franja casi continua de valores $>1 \mu\text{g/L}$ desde Pisagua a Antofagasta, con un aumento general en la extensi3n del foco hacia el oeste en relaci3n a la imagen del d3a 3. Los focos de concentraciones $>5 \mu\text{g/L}$, en el sector de Pisagua disminuyeron su extensi3n, y se presentaron casi en forma continua desde el sur de Iquique hasta punta Arenas. Registr3ndose un m3ximo de $10,4 \mu\text{g/L}$ en un foco localizado al NW de punta Lobos. En el sector de Antofagasta, el foco de concentraciones $> 5 \mu\text{g/L}$, se dividi3 en dos, disminuyendo su cobertura.

Febrero

En la imagen del d3a 10 de febrero, las nubes cubrieron gran parte del sector costero desde Pisagua al norte. Hacia el sur se observ3 una franja casi continua de concentraciones $> 5 \mu\text{g/L}$, que se extendi3 hasta bah3a Moreno. La mayor distribuci3n hacia el oeste se centr3 entre Pisagua y punta Lobos, con un filamento de concentraci3n $> 1 \mu\text{g/L}$ que se extendi3 hasta los 71°W . Otros dos filamentos se observaron en la pen3nsula de Mejillones, los que se extendieron aproximadamente hasta las 20 mn. Las mayores concentraciones, $> 10 \mu\text{g/L}$, se observaron en el 3rea del r3o Loa y al sur de Iquique. El 3rea de punta Copaca es el que present3 la mayor angostura de la franja productiva.

En la imagen del d3a 11, la distribuci3n de cloas fue muy similar a la del d3a anterior. La cobertura de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ se extendi3 hasta los 19°S por el norte, y hacia el oeste el filamento sobrepas3 los 71°W . Se observ3 un filamento al norte de Pisagua



con valores $> 5 \mu\text{g/L}$. El área de punta Copaca es el que presentó las menores concentraciones del sector costero ($> 3 \mu\text{g/L}$).

Marzo

La imagen del día 22 mostró focos de valores de cloas $> 1 \mu\text{g/L}$, ubicados en la punta norte de la península de Mejillones y en las inmediaciones del río Loa. Por otra parte, desde punta Lobos hasta Arica se observó una franja continua de estos valores, la que presentó extensiones hacia el oeste en Pisagua y al sur de Arica. Valores mayores a $5 \mu\text{g/L}$, se observaron en tres focos distribuidos entre los 19° y 20°S y uno pequeño a la cuadra de Arica, a su vez, al sur de Pisagua los valores del foco superaron los $10 \mu\text{g/L}$.

En la imagen del día 24, la nubosidad impidió visualizar el desarrollo del núcleo de la punta norte de la península de Mejillones. En cambio se pudo observar que los valores superaron los $3 \mu\text{g/L}$ en un núcleo que se extendió desde Mejillones al norte. También se observó que aumentaron los valores dentro de la franja de punta Lobos–Arica. En el sector de Pisagua los registros superaron los $4 \mu\text{g/L}$, con máximos $> 5 \mu\text{g/L}$, en tanto que, entre el norte de Iquique y norte de Arica, se observó una franja casi continua de valores $> 5 \mu\text{g/L}$. En Arica la cloas superó los $10 \mu\text{g/L}$.

En la imagen del 25 de marzo, se observó nuevamente el foco de valores $> 1 \mu\text{g/L}$, ubicado en la punta norte de la península de Mejillones. En la franja de punta Lobos – Arica, disminuyó la concentración de los valores más altos. En el sector de Pisagua, los valores superaron los $3 \mu\text{g/L}$, con máximos $> 4 \mu\text{g/L}$.

Abril

En la figura se aprecia que ambas imágenes presentaron gran cantidad de nubes. En la imagen del día 14, se observó en el sector costero en general altos valores, $> 5 \mu\text{g/L}$, al norte de Arica, entre Iquique y el río Loa y en bahía Moreno, siendo éste el de mayor extensión hacia el oeste, alcanzando las 6 millas de la costa. La



concentración más alta ($> 10 \mu\text{g/L}$) se detectó al sur de los 19°S . Por otra parte, valores $> 1 \mu\text{g/L}$ se observaron en un extenso foco en el sector de Mejillones y en filamentos cercanos a los 19°S y 21°S los que sobrepasaron las 20 mn.

En la imagen del día 15, se observaron muy altas concentraciones ($> 5 \mu\text{g/L}$) en el sector de Arica y sur de Perú, los que se extendieron hasta aproximadamente las 9 mn de la costa. Desde Iquique al sur se detectó una muy alta nubosidad tanto en el sector costero como oceánico.

Mayo

La figura del día 14 mayo presentó gran cantidad de nubes, quedando totalmente cubierto el sector oceánico. En el sector costero, se observó un foco de valores $>1 \mu\text{g/L}$ en las inmediaciones de Arica, el que se extendió hasta las 10 mn. Dentro de éste, los valores más altos superaron los $3 \mu\text{g/L}$ en el área más pegada a la costa. En las inmediaciones de Iquique y hasta punta Copaca, se observó una franja discontinua de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ muy costera, con la excepción de punta Lobos donde el foco se extendió hasta las 30 mn, con máximos $> 2 \mu\text{g/L}$. En el extremo sur del área de muestreo, en Mejillones y bahía Moreno los focos de cloas de altas concentraciones presentaron máximos superiores a $5 \mu\text{g/L}$.

En la imagen del día 30, hubo una cobertura importante de nubes tanto en el sector costero como oceánico. A pesar de lo anterior, de ella se advierten altas concentraciones de cloas ($> 4 \mu\text{g/L}$) en el sector más próximo a Arica. Desde Pisagua a punta Lobos, una gran lengua con valores $> 1 \mu\text{g/L}$ se extendió dirección sur oeste sobrepasando los 71°W . Además, en punta Lobos separado del foco anterior, se observó la presencia de un filamento (valores $> 1 \mu\text{g/L}$) que se extendió aproximadamente 30 mn, el que presentó concentraciones máximas, $> 5 \mu\text{g/L}$, en la cercanía del río Loa. Al sur de punta Lobos y hasta punta Copaca las concentraciones bajaron a $> 0,5 \mu\text{g/L}$. En Mejillones el foco sólo tuvo concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ y en bahía Moreno, el núcleo observado en la imagen



anterior se dividió, manteniendo concentraciones $> 3 \mu\text{g/L}$ en el sector más cercano a la bahía.

Junio

Las tres figuras de junio presentan similares condiciones de distribución de la **cloas**. En ellas se apreció una gran lengua de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ que se extendió en dirección sur-oeste, entre Arica y punta Lobos alcanzando cerca de los 72°W en esta última localidad. Desde Arica al norte, la extensión del foco productivo costero superó los 72°W en la tres fechas. Desde el Río Loa hasta el norte de Mejillones las concentraciones de cloas $> 1 \mu\text{g/L}$ se mantuvieron pegadas a la costa, aumentando su extensión hacia el oeste desde Mejillones al sur, observándose un núcleo de estos valores en los 73°W en los días 12 y 19 de junio. En las tres imágenes se observó una gran cantidad de nubes en el sector oceánico. Las concentraciones máximas, dentro de los núcleos descritos anteriormente, fueron disminuyendo desde el día 9 al 19, a la vez que, las $> 1 \mu\text{g/L}$ aumentaron su cobertura espacial. En este sentido, el día 9 se observaron núcleos de concentraciones $>10 \mu\text{g/L}$ al norte de Arica, los que se reducen hasta pequeños focos de $>5 \mu\text{g/L}$ el día 19. La lengua al sur de los 19°S , presentó varios núcleos oceánicos con concentraciones $> 3 \mu\text{g/L}$ y otros costeros con valores $> 5 \mu\text{g/L}$, los que posteriormente desaparecieron. Esta lengua se unió con el foco de más al norte formando una gran franja de valores $> 1 \mu\text{g/L}$. Similar situación se observó en el sector de Antofagasta donde los máximos $> 3 \mu\text{g/L}$ del día 9, se reducen a > 2 en focos muy costeros el día 19.

15.6 Asociación clorofila satelital-clorofila *in situ*

Para los datos de las estaciones fijas pareados con los datos de las imágenes de color, el análisis exploratorio del ploteo sugirió como mejor modelo a una relación lineal (**Fig. 165a**).



El ajuste del modelo, mediante el método de mínimos cuadrados de todos los datos disponibles, arrojó un coeficiente de determinación en el caso de cloa v/s cloas de $R^2 = 0,6885 (r \cong 0,83)$. Siendo este resultado mejor que el obtenido con la clorofila total o integrada.

15.6.1 Descripción de la serie de tiempo mensual de penetración de luz, en las estaciones fijas de vigilancia.

En la estación de Arica la profundidad del 1% de luz varió entre 9 y 17 m, para el período comprendido entre los meses de agosto y diciembre de 2006. Entre enero y junio de 2007, este rango se redujo a profundidades entre 9 y 14 m. En estos mismos períodos la clorofila integrada varió entre 25 y 140 mg/m² en el 2006 y entre 29 y 240 mg/m² en 2007 (**Fig. 165b**).

En la estación de Iquique la profundidad del 1% de luz varió entre 9 y 14 m entre los meses de agosto 2006 y junio de 2007. La clorofila integrada presentó un máximo principal - > 200 mg/m² - entre febrero y marzo de 2007 y uno secundario en octubre de 2006 - > 100 mg/m² -.

En la estación de Mejillones la profundidad de penetración de la luz del 1% varió entre 9 y 14 m entre los meses de agosto y diciembre de 2006 y entre 12 y 17,5 m entre enero y junio de 2007. La clorofila integrada varió entre 20 y 120 mg/m² en todo el período muestreo.

La serie de la profundidad de penetración de la luz de Arica, fue la única que tuvo continuidad en la serie para realizar una correlación con los diferentes parámetros oceanográficos de la misma localidad. De estos, la única serie que presentó un alto valor de correlación con la penetración de la luz, con un $r = 0,9$ esto en escala mensual con desfase cero, fue el de clorofila integrada (**Fig. 165c**). En las otras dos estaciones costeras, la falta de datos no permitió realizar correlaciones.



15.7 Huevos y larvas de peces en estaciones costeras de monitoreo

Durante el per3odo de estudio comprendido entre agosto de 2006 a junio de 2007, se identific3 en las tres estaciones de monitoreo mensual solo la presencia de sardina y anchoveta, especies 3cticas recolectadas mensualmente durante los primeros 10 d3as de cada mes mediante arrastres verticales con una red WP-2.

15.7.1 Anchoveta

La mayor frecuencia de estaciones positivas para el estadio de huevos se registr3 en la estaci3n de Arica y Mejillones, con 9 registros de un total de 11 per3odos mensuales analizados, sin embargo, en t3rminos generales, la mayor abundancia exhibida por los huevos de esta especie se observ3 en Arica y particularmente en los meses de agosto y septiembre de 2006, con valores iguales a 67.947 huevos/10 m² y 52.823 huevos/10 m², respectivamente. Contrariamente, las menores abundancias se detectaron entre los meses de noviembre y diciembre de 2006 y marzo a junio de 2007, per3odos donde el n3mero de huevos no super3 los 406 huevos/10 m² (**Fig. 166a**).

En Iquique fue detectada la menor frecuencia temporal respecto a la presencia de huevos, los que se presentaron de manera recurrente y constante desde octubre de 2006 a marzo de 2007, con una abundancia fluctuante entre un m3nimo de 69 huevos/10 m² en noviembre de 2006 y un m3ximo de 2.615/10 m² en el mes de febrero de 2007. Desde abril de 2007 a la fecha, esta fase ha estado ausente en esta estaci3n. Cabe destacar su exclusiva presencia en esta estaci3n durante el mes de octubre con un total de 2.504 huevos/10 m², no observ3ndose en Arica ni en Mejillones (**Fig. 166b**).

En Mejillones se reuni3 en general despu3s de Arica, la segunda abundancia mas alta, pero a diferencia de esa estaci3n, la mayor abundancia exhibida en Mejillones se detect3 en el mes de marzo de 2006 con 57.767 huevos/10 m², siendo este mes el de mayor representatividad num3rica en comparaci3n con Arica e Iquique, mientras que en el mes de mayor actividad reproductiva para la especie, como lo es agosto, se registr3 la segunda mayor abundancia, alcanzando esta a 28.296 huevos/10 m², un tercer valor



importante se observó en noviembre con 15.288 huevos/10 m². los restantes períodos con presencia de huevos exhibieron valores comprendidos entre 28 y 5.726 huevos/10 m² (**Fig. 166c**).

En relación a las larvas de anchoveta, estas al igual que los huevos, se presentaron con mayor frecuencia temporal en Arica y Mejillones, y con las mayores abundancias en Arica en la mayoría de los meses analizados en comparación a las otras dos estaciones fijas, así los meses de mas altos niveles de abundancia fueron septiembre y junio, con representaciones iguales a 14.074 y 6.215 larvas/10 m². El resto de los meses se mantuvo con abundancias comprendidas entre 33 y 3.189 larvas/10 m², encontrándose los valores más bajos entre octubre y diciembre de 2006 y en mayo de 2007 (**Fig. 167a**).

En Iquique se presentó la menor frecuencia de ocurrencia temporal de larvas, registrándose solo en 6 períodos mensuales. Entre agosto y enero sus abundancias no superaron las 103 larvas/10 m², sin embargo, en los meses de febrero y marzo se registraron los máximos valores de esta fase, superando lo detectado en el mismo mes en Arica y Mejillones, siendo estos valores iguales a 2.150 y 3.948, respectivamente, a partir de abril estas no son nuevamente detectadas en esta estación (**Fig. 167b**).

Las larvas de anchoveta en Mejillones solo se ausentaron en el mes de junio de 2007, las abundancias exhibidas en esta estación fueron por lo general bastante parejas, no existiendo entre uno y otro período alzas importantes, siendo sus valores no superiores a las 630 larvas/10 m² y no inferiores a las 31 larvas/10 m² (**Fig. 167c**). No obstante, existió un único registro que escapó a esto, presentándose en el mes de marzo y al igual que lo exhibido por los huevos, la máxima abundancia de larvas, las que alcanzaron a un total de 2.806 larvas/10 m².

15.7.2 Sardina

La presencia de huevos y larvas de sardina en las estaciones costeras durante la serie analizada no fue positiva, verificándose el registro más reciente de huevos exclusivamente en la estación de Iquique en el mes de julio de 2006, con una abundancia igual a



59 huevos/10 m². Siendo su última incidencia en Arica en el mes de octubre de 2005 y 2003, además de diciembre de 2002 en Iquique y febrero de 2002 en Mejillones.

Los últimos registros para larvas de sardina se detectaron en los años 2000 en el mes de mayo en Mejillones, 2001 en junio para Iquique y en el año 2003 para el mes de octubre en Arica, con abundancias que no superaron las 173, 62 y 44 larvas/10 m², respectivamente.

15.8 Ictioplancton por estratos de profundidad

La presencia de huevos y larvas de anchoveta se verificó en los tres intervalos de profundidad de las estaciones costeras, siendo mayormente recurrentes en el nivel mas superficial de las estaciones de Arica y Mejillones.

En Arica y durante los meses de agosto y septiembre se detectaron en los tres estratos de profundidad las abundancias mas altas (agosto: 25.660; 14.753 y 5.334 huevos/10 m² en los estratos de 0-10, 10-25 y 25-50 metros, respectivamente; septiembre; 23.944; 14.574 y 2.009 huevos/10 m², en cada estrato respectivo). Mientras que para los siguientes meses no se observaron valores que superaran los 235 huevos/10 m², exceptuando el mes de enero de 2007 (1.639 huevos/10 m²). En esta estación la menor recurrencia de registros se verificó en el estrato intermedio, donde los huevos solo se presentaron en agosto y septiembre (**Fig. 168**).

En Iquique la presencia de huevos estuvo concentrada principalmente entre los meses de octubre y enero en los tres estratos, presentándose dentro de este período las mayores abundancias en el nivel más somero. Los huevos en esta estación mostraron una fluctuación comprendida entre 19 y 2.782 huevos/10 m², correspondiendo ambos valores a lo observado durante diciembre en el estrato intermedio y a enero en el superficial, respectivamente.

En Mejillones la mayor abundancia estuvo dada en el mes de marzo de 2007 en el estrato 10-25 metros (25.562 huevos/10 m²), sin embargo, también a través del



tiempo, los valores en la abundancia de huevos en el estrato superficial fueron altos, particularmente en agosto, noviembre y marzo, donde se concentraron valores hasta 11.792 huevos/10 m².

Al igual que en el caso de los huevos, las larvas se presentaron en mayor frecuencia en el estrato mas superficial en cada una de las estaciones, aunque comparativamente, sus niveles de abundancia fueron notoriamente mas bajos.

Las mayores ausencias se registraron en la estación de Iquique, donde se consignó además una de las abundancias más bajas en el estrato mas profundo (31 larvas/10 m²).

Dos de las mayores abundancias de larvas se observaron en Arica durante el mes de septiembre en el estrato intermedio (8.125 larvas/10 m²) y en junio entre los 0-10 metros (5.578 larvas/10 m²) (**Figuras 168 y 169**).

15.9 Variabilidad mensual del zooplancton en las estaciones fijas de monitoreo

15.9.1 Biomasa zooplanctónica

La información registrada a lo largo del período de estudio, mostró una fluctuación entre 11 ml/1000 m³ en junio de 2007 en la estación de Mejillones y un máximo de 2.485 ml/1000 m³ en marzo de la estación de Arica.

Entre los 11 períodos mensuales analizados, esta variable fue mayormente predominante en la estación de Arica, donde dominaron los valores detectados entre los meses de marzo y junio de 2007 por sobre las otras dos estaciones, mientras que entre los meses de septiembre y enero hubo un mayor predominio de las biomásas exhibidas en la estación de Mejillones, exceptuando el mes de octubre, donde destacó el mayor valor de biomasa de la estación de Iquique, con 781 ml de zooplancton/1.000 m³.

En general, las menores biomásas de todo el período analizado se presentaron entre los meses de diciembre a febrero en las tres localidades (**Tabla 48**).



15.9.2 Biomasa por estrato de profundidad

Las mayores biomásas zooplanctónicas por estrato de profundidad se registraron en abril (Arica), enero (Mejillones) y marzo (Iquique) de 2007, en los estratos de 0-10; 50-25 y 0-10, respectivamente, con valores iguales a 2.532, 2015 y 1.845 ml/1.000 m³ en cada caso. Pero en general, la mayor persistencia de altas biomásas y la mayor continuidad de éstas en el tiempo se detectó en Arica entre abril y junio en el estrato de profundidad más somero

Contrariamente las biomásas más bajas fueron observadas en enero y junio en las estaciones costeras de Iquique y Mejillones (**Fig. 170**).



IX. DISCUSIÓN

Condiciones Ecuatoriales y Condiciones locales durante los cruceros

Durante el período 2006 y hasta enero de 2007 el Pacífico Ecuatorial presentó una fase de transición frío-cálido, que luego se invirtió a cálido-frío a partir del mes de febrero siguiente, llegando el mínimo del Índice MEI durante el período mayo / junio siguiente (**Fig. 171**). Esta condición de transición muestra inestabilidades oceánicas asociadas a períodos de neutralidad de las condiciones generales. La influencia que tiene el Pacífico Ecuatorial sobre la zona del norte de Chile es notoria, especialmente en eventos extremos tales como el Niño (Yang *et al.*, 2005). Así, las condiciones de transición en esa área del Pacífico promueven una situación poco definida en el norte de Chile, asociada a un período de normalidad y sin una tendencia en los parámetros y variables oceanográficas.

La información recolectada en septiembre de 2006 (invierno) confirma lo señalado en el párrafo precedente, pues mostró que la zona de estudio se encuentra con condiciones de temperatura superficial (**TSM**) dentro de rangos considerados normales debido a que la mayor parte de la zona registró anomalías positivas menores a 1°C (ver **Anexo 1**). Las anomalías (**ATSM**) mayores a +1°C formaron focos de tamaño reducido y no señalan una tendencia cálida para el período de estudio, reflejando probablemente sólo eventos sinópticos de mesoescala. La salinidad superficial (**SSM**), por su parte, presentó valores de anomalía (**ASSM**) negativos y significativos como se observaron hasta punta Junín, frente a Tocopilla y en el extremo suroeste de la zona. Desde la latitud de Antofagasta hacia el sur las anomalías negativas están asociadas probablemente a advección de agua de menor salinidad que son transportadas hacia el norte (Strub *et al.*, 1998).

En diciembre de 2006 (primavera), los resultados muestran que las **ATSM** y **ASSM** no presentaron evidencias directas de condiciones anormales, a pesar que se destacan dos núcleos de reducida área con valores significativos positivos (> +1°C



y +0,1 psu), los que estarían asociados a la presencia de un foco de aguas cálidas de origen subtropical.

Por otro lado, en marzo de 2007 (verano), las **TSM** de crucero y satelitales, muestran que la zona está bajo un régimen de normalidad, lo que es consistente con los boletines regionales que indican el comienzo de una fase fría dentro del contexto del descenso estacional de temperatura. Estos resultados muestran que la limitada intensidad de los cambios registrada en la zona Ecuatorial no permite observar evidencias claras de cambios o tendencias en las condiciones oceanográficas de la zona norte de Chile sólo con la información de los cruceros, en la que prevalece la variabilidad asociada al ciclo anual y a eventos sinópticos como la surgencia costera.

Vientos

Los vientos constituyen el principal forzante de la circulación superficial en la zona norte de Chile, presentando la predominancia del viento hacia el Ecuador prácticamente todo el año, pero aún así, presenta un ciclo anual de una amplitud reducida y de bajas intensidades (Bakun & Nelson, 1991; Pizarro, 1999).

Serie de tiempo de la banda costera de Transporte de Ekman, TSM y Clorofila

La distribución temporal de los vientos durante el período 2006-2007 y mostrada como transporte perpendicular a la costa (transporte de Ekman), evidencia una distribución dependiente de la latitud con mínimos relativos cerca de los 18°S y 20°30'S. A partir de los 21°S la intensidad del transporte se incrementa hasta un máximo relativo a los 24°S. Esto implica que la componente efectiva del viento que produce surgencia se incrementa hacia el sur, hasta alcanzar un máximo al sur de Antofagasta, donde luego aparece nuevamente un mínimo pronunciado en los 26°30'S. Este tipo de mínimo está asociado a bajas magnitudes del viento y una dirección en la cual la componente hacia el Ecuador del viento no está favorecida (Bakun & Nelson, 1991). Entre los 28° y 31°S el máximo transporte muestra que el viento está alineado con la dirección de la costa y



que hay un incremento de la magnitud (Pizarro, 1999) asociado a la posición del Anticiclón del Pacífico. Así como la magnitud, la amplitud de la señal del transporte se incrementa hacia el sur, de hecho presenta dos máximos, en el período febrero/marzo y agosto/diciembre de 2006, pero aun así presenta una señal semi anual intensa. La mayor parte de la variabilidad de la señal anual está dada por el transporte al sur de los 27°S, ya que al norte, aunque los valores permanecen relativamente constantes, estos tienden a ser muy bajos debido a la limitada intensidad del viento a lo largo de la costa (Pizarro, 1999).

Paralelamente, el ciclo anual de la **TSM** en la banda oceánica está dominado por la radiación solar, al igual que en la banda costera, pero que a diferencia de la oceánica está influenciada por la surgencia y la advección de agua más frías y menos salinas desde el sur (Strub *et al.*, 1998). Existe una sincronía en los máximos de la **TSM** en ambas bandas, pero la diferencia en la amplitud de estos máximos corrobora la afirmación anterior. En ambas distribuciones la mayor temperatura a lo largo de todas las latitudes se alcanzó entre diciembre de 2006 y marzo 2007, con una tendencia latitudinal. En un sentido inverso, las menores **TSM** se alcanzaron entre junio y agosto de 2006 en la zona oceánica y entre mayo y noviembre en la banda costera producto de la surgencia y la advección desde el sur.

La variabilidad de la clorofila satelital en la banda costera, mostrada a través del diagrama Hovmoller, no permite apreciar patrón espacio-temporal fácilmente reconocible. Los principales rasgos de esta distribución señalan que la zona norte de Chile, durante el período 2006-2007, hubo una separación de condiciones al norte y sur de los 23°36'S (península de Mejillones). Entre los 18° y 23°36'S predominan niveles altos de clorofila durante prácticamente todo el año, mostrando una débil estacionalidad. Al sur de la península de Mejillones las mayores concentraciones predominan entre agosto de 2006 y marzo de 2007, incorporando además la de enero a mediados de abril de 2006. Estos resultados muestran que la concentración de clorofila al sur de Mejillones tiene patrones estacionales marcados, y no así al norte de esta localidad. Este patrón espacio-temporal es muy



coherente con la distribución espacial del transporte de Ekman, pero muestra que aunque el transporte de Ekman sea intenso no necesariamente repercute en un incremento en la clorofila en la banda costera. Así por ejemplo, entre abril y julio de 2006, al sur de la península de Mejillones, la intensidad del transporte no es consistente con la baja concentración de clorofila en la costa, pero sí entre agosto-octubre y diciembre de 2006. Estos resultados muestran que la surgencia costera, representada a través del transporte de Ekman perpendicular a la costa, no siempre está relacionada con el incremento de la producción biológica en la zona la cual puede estar limitada por otros factores o una combinación de ellos, como lo son la turbulencia, la luz o nutrientes (Lalli & Parsons, 1995; Mann & Lazier, 1996).

Integración de Captura de anchoveta y series de tiempo ambiental.

Durante el período enero-diciembre de 2006, la variabilidad espacio-temporal de la captura de anchoveta, observada en el Hovmoller, tiene tres características significativas: 1) ésta se concentró en las primeras 30 millas de la costa, 2) presentó una diferencia latitudinal evidente, ya que la mayor concentración se observa al norte de los 23°S, y 3) mostró una cierta estacionalidad debido a que los mayores valores se concentran en el período enero-mayo y septiembre-diciembre de 2006.

La distribución espacial y la variabilidad temporal de la información analizada sugieren una relación de correspondencia espacio temporal entre ellas, la cual puede ser explicada en función de una relación de causalidad físico-biológica. La **TSM** muestra claramente la influencia del ciclo anual, observándose las mayores **TSM** en el período enero-mayo y septiembre 2006 a abril de 2007 al norte de los 24°S. En la costa, aunque la **TSM** está acoplada a este ciclo anual, la amplitud es significativamente menor debido a la presencia de la surgencia costera.

La surgencia al norte de la Península de Mejillones es casi permanente durante todo el año con una baja estacionalidad y débil intensidad respecto a la zona al sur de la península de Mejillones, lo que concuerda con lo descrito por Pizarro *et al.*



(1994). Esta surgencia, producida por un viento débil, genera que la banda costera tenga un constante aporte de nutrientes de aguas subsuperficiales, que en Arica, Iquique y Mejillones tiende a ser del tipo Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) debido a que muestra una mayor presencia sobre la plataforma continental desde el año 2002 (observado en serie de estaciones costeras). Esta surgencia efectiva se ve reflejada en una banda costera de relativamente altas concentraciones de clorofila durante casi todo el año a diferencia de la zona al sur de los $23^{\circ}36'S$, que se caracteriza por una estacionalidad marcada en la clorofila superficial (Yuras *et al.*, 2005). Los resultados de este proyecto muestran que la distribución de las capturas de anchoveta están localizadas coincidentemente dentro del área de influencia de la surgencia casi permanente al norte de la península de Mejillones y en la banda costera de relativa y casi permanente alta concentración de clorofila.

En términos temporales, la estrecha amplitud en la estacionalidad de la **TSM** en la costa, el viento y por lo tanto la surgencia, como también la clorofila en la zona norte de Chile es coincidente con la estacionalidad que muestran las capturas de anchoveta. Esta relación no es instantánea y muestra un desfase de 1 a 2 semanas entre el valor máximo de **TSM** - expresado como el primer modo de variación, es decir, el ciclo anual - y el máximo de captura en la primera mitad del año, como también en la segunda mitad del año cuando sucede el mismo desfase con un máximo relativo secundario de **TSM** y el pico de las máximas capturas anuales. Cabe señalar, que la relación entre ambas variables muestra primero un pico en la **TSM** y después aparece el máximo en las capturas. Pero a mediados de 2006 cuando las curvas cambian de pendiente, es decir, después de llegar a un mínimo, las capturas preceden al incremento de la **TSM** en la costa por 3 semanas. Este aumento estacional de las **TSM** es menor en la costa que en el océano abierto debido al incremento de la surgencia en la costa. Así, durante los períodos de febrero-abril y septiembre-diciembre de 2006 se incrementa, en forma de pulsos, el transporte al norte de la península de Mejillones, lo cual va acompañado con pulsos de **TSM** más frías en la costa e incrementos estacionales de clorofila en la banda



costera a las cuales están asociadas mayores capturas de la anchoveta en las primeras 30 millas de la costa.

Los resultados señalan una clara relación especial inversa entre el transporte de Ekman y la cantidad de pesca durante el periodo enero a diciembre de 2006. Esta relación muestra que la pesca se concentró en zonas donde el transporte perpendicular a la costa fue mínimo, no nulo, con valores menores a $1000 \text{ m}^3/\text{s}$. Este Transporte es un indicador indirecto de la intensidad de la surgencia en la zona, por lo cual, una surgencia moderada parece ser un factor preponderante en la distribución espacial de la captura de anchoveta en la zona norte de Chile.

Al respecto, diversos procesos han sido sugeridos como los que unen la variabilidad ambiental y las poblaciones biológicas. De estos, tres clases de procesos parecen determinar los ambientes favorables para poblaciones de peces: el enriquecimiento, la concentración y la retención (Bakun, 1996). El enriquecimiento es producido por procesos de surgencia, mezcla y formación de giros. Por otro lado, los procesos de concentración están presentes con la formación de zonas frontales, la presencia de convergencia de Ekman y limitada dispersión por procesos turbulentos. Por último, los procesos de retención debido a la ausencia de pérdida hacia el océano por transporte producido por la deriva de Ekman y la presencia de procesos de circulación cíclicos, regulares y estables que permiten la deriva hacia el mismo lugar e origen (Bakun, 1996; Cury *et al.*, 2000; Polovina *et al.*, 2001; Bakun & Broad, 2003; Bakun, 2006). Estos procesos oceanográficos están presentes en la zona norte de Chile y han sido documentados (Strub *et al.*, 1998; Hormazabal *et al.*, 2001), pero aun no han sido estudiados en profundidad en cuanto a su desarrollo y variabilidad espacio-temporal. La combinación óptima de estos procesos parece determinar la distribución latitudinal de la pesca de anchoveta. Es lógico pensar que la relación encontrada está asociada a la variabilidad latitudinal de la productividad de la zona, la variabilidad



latitudinal de la concentración de alimento disponible para la anchoveta los cuales, aunque dependen de la surgencia (transporte de Ekman), también dependen de que el transporte no sea tan intenso que genere pérdida hacia la zona oceánica y, probablemente también, de la formación de frentes de surgencia. Mucho de estos conceptos deben ser abordados en proyectos futuros cuyo objetivo sea relacionar la variabilidad ambiental con la distribución y abundancia de los recursos en la zona norte de Chile.

Cruceros

Dentro de este contexto anual se puede observar que durante septiembre de 2006 la componente hacia el Ecuador del viento predomina tanto en la zona costera como en el océano. Esta componente tiene la capacidad de generar transporte perpendicular a la costa, llamado transporte de Ekman, el cual es el forzante de la surgencia costera (Smith, 1968). Este efecto es notorio entre punta Arenas (21°40'S) y península de Mejillones, el que ha sido descrito como un activo centro de surgencia (Fonseca & Farías, 1987). No obstante lo anterior, frente a caleta Chipana (21°20'S), se registraron los mayores índices de surgencia del período. Esto último también puede ser observado en la distribución espacial de la magnitud del índice de surgencia (**IS**) y menor mediada por el índice de turbulencia (**IT**). Este último índice muestra que los mayores valores se encuentran alejados de la costa entre Chañaral y bahía Salada. Posteriormente, en diciembre de 2006 los vientos presentan en general una intensidad débil, siendo esto consistente con la profundidad media de la capa de mezcla que fue menor a los 5 m, y con bajos valores del **IT**. Aun así, la dirección del viento fue favorable a la surgencia en casi el 90% de las mediciones, destacándose el área entre los 20° y 21°S con el mayor valor relativo para el período, tal como lo muestra la distribución espacial del **IS**.

Los valores observados de estas variables, durante diciembre de 2006, son casi el 50% de menor magnitud a los observados durante diciembre de 2003 y 2005 (Braun *et al.*, 2005b; Braun *et al.*, 2006). En marzo de 2007, el viento registrado



durante el crucero muestra el comportamiento espacial típico de la zona de estudio, donde predomina la dirección desde el sur sur-oeste, con mayores intensidades en el sector oceánico respecto del costero (Bakun & Nelson, 1991). Sólo un evento local, al sur de los 23°S rompe la distribución espacial típica, en el cual la dirección del viento se invierte y las magnitudes del sector oceánico tienden a ser menores que en el costero correspondiente a la parte media de la península de Mejillones hacia el sur. Las publicaciones e informes realizados en la zona muestran que este evento sólo podría ser de naturaleza local y de escala sinóptica (Bakun & Nelson, 1991; Pizarro *et al.*, 1994). En general, durante marzo de 2007 los valores de IS e IT fueron comparativamente menores a septiembre y diciembre, pero con una mayor similitud entre todos los puntos de observación. Junto con lo anterior, en este mes la magnitud del viento, la intensidad del transporte fuera de la costa y la magnitud del IT son menores a los observados durante los cruceros de marzo de 2006, 2004, 2003 y febrero 2002 (Braun *et al.*, 2005a; Braun *et al.*, 2004; Braun *et al.*, 2005b; Braun *et al.*, 2006). Los resultados son consistentes con el ciclo anual del año 2006 observado en el transporte perpendicular a la costa descrito anteriormente (Hovmoller).

Estructura Superficial del océano

Dentro del contexto de transición descrito para la región y normalidad de los indicadores oceanográficos principales (**TSM**, **ATSM**, **SSM** y **ASSM**), es posible apreciar particularidades asociadas a procesos locales de escala sinóptica que modifican la estructura de los parámetros superficiales y subsuperficiales analizados dentro de cada crucero (profundidad de la isoterma de 15°C, profundidad de la capa de mezcla, concentración de oxígeno disuelto y Clorofila-a).

La banda costera que caracteriza la zona norte de Chile, de bajas temperaturas y salinidades, es característica de los sistemas de borde oriental, producida por la surgencia costera, la que es forzada por la componente del viento hacia el Ecuador. La diferencia de las características de esta agua, respecto de las oceánicas, genera



la existencia de un gradiente costa-océano, que típicamente está asociado a un frente de surgencia. Este gradiente oeste-este se une a la presencia de un permanente gradiente norte-sur, asociado al ciclo anual de la radiación solar y el intercambio de sal y calor entre el Ecuador y los polos (Strub *et al.*, 1998; Tomczak & Godfrey, 1994).

Durante septiembre es clara la formación de una banda costera de aguas frías al norte de punta Arenas y alrededor de la península de Mejillones, la cual es consistente con la distribución espacial del **IS**, y en el caso de Mejillones con la influencia de la topografía, en el desarrollo de la surgencia a pesar de un viento débil (Castelao & Barth, 2005; Marin *et al.*, 2001). Durante este período aparecen distribuciones oceanográficas del orden de la mesoescala (40-300 km) asociadas a un incremento y disminución de la profundidad de la isoterma de 15° (**I15**) y la profundidad de la capa de mezcla. Estos parámetros son modificados a esa escala espacial (ascensos y descensos de las isolíneas), debido a la presencia de zonas de convergencia, divergencia y giros ciclónicos y anticiclónicos. De hecho, la **I15** está casi en superficie en la zona de divergencia (observada en la circulación geostrófica), frente a punta Arenas e Iquique, mientras que, en esta última localidad la capa de mezcla se profundiza en la zona exterior adyacente debido a la convergencia presente. Por otro lado, la distribución horizontal de la profundidad de la capa de mezcla también muestra una clara evidencia de que el aumento del espesor que sufre frente a rada Paposó, es responsabilidad de un giro ciclónico presente durante el crucero. La profundización de este parámetro superficial en dicha área coincide con la dinámica característica de un giro de esta naturaleza (Bakun, 2006; Rhines, 2001; Robinson, 1983). El límite de la capa profunda de mínimo oxígeno (1 mL/L), refleja también la influencia de la circulación sobre la columna de agua, ya que asciende frente a punta Arenas e Iquique e incrementa su profundidad frente a punta Paposó.

En diciembre de 2006 se presentó una banda costera de menores temperaturas relativas a las oceánicas, lo que se asocia a un incremento en las **TSM** (~ 2°C en la



costa y $\sim 4^{\circ}$ C en el océano) debido al ciclo anual de la radiación solar (Fuenzalida, 1971). Esta diferencia térmica presenta un incremento del gradiente costa-océano respecto al mes de septiembre. La banda costera parece desarrollarse hacia el océano al sur de Arica, frente a punta Arenas y a la península de Mejillones, pero no coincide con la posición del mayor valor del **IS**. Esta inconsistencia puede ser explicada por que los valores del **IS** son relativamente bajos y a que la surgencia al sur de punta Camarones esta inhibida por un flujo intenso hacia el sur. Este patrón de circulación, observado durante diciembre de 2006, no es típico de la zona y sólo se tiene registro de él durante períodos cálidos intensos y especialmente durante el Niño 97/98 (Blanco *et al.*, 2002). Este flujo produce un hundimiento a lo largo de la costa de los parámetros oceanográficos de la columna de agua, así la profundidad de la **I15** se incrementa frente a punta Copaca, punta Lobos y Pisagua. Paralelamente, la débil intensidad de los vientos, que en general conducen las corrientes superficiales hacia el norte, produce una capa de mezcla somera (< 5 m). La presencia de esta corriente es coherente con el máximo del índice multivariado de El Niño (**MEI**) que se alcanza en diciembre de 2006. Esta relación sugiere que durante ese período hay una influencia Ecuatorial importante en la zona norte de Chile. La influencia ecuatorial decae a partir de enero de 2007, por lo que no se ve reflejada en las anomalías de la **TSM** o en las anomalías de salinidad, ya que no alcanzarían a mostrar valores positivos significativos al tiempo del cruce y, de hecho, en marzo se observa la situación contraria, anomalías significativamente negativas. En marzo de 2007, cuando la distribución de la **TSM** es similar a diciembre de 2006, se produce una banda costera de bajas temperaturas más desarrolladas espacialmente debido a valores levemente superiores en el transporte perpendicular a la costa, observados mediante el **IS**. La mayor intensidad de la surgencia es revelada por valores significativamente negativos de las anomalías de la **TSM** en la banda costera. Es especialmente intenso el desarrollo de filamentos del orden de 50 km (27 mn) de largo frente a península de Mejillones. En este período, los patrones de circulación no alcanzan a explicar las



anomalías negativas de **TSM** y especialmente de salinidad que se observa en la zona media del área de estudio (entre la costa y la zona más alejada).

Los valores de salinidad observados sólo permiten especular sobre dos posibles hipótesis: una intensa advección de agua menos salina desde la zona sur (apoyada por una rápida disminución de la influencia Ecuatorial en la zona y un incremento de la influencia del agua subantártica) ó el ascenso de agua subantártica (ASAA) por surgencia costera durante un período significativo de tiempo antes del crucero. Por el contrario, las anomalías significativamente negativas observadas en la salinidad en la zona exterior, pueden ser explicadas por flujos convergentes que ingresan transportando aguas de origen subtropical (35,2 psu) a la zona de estudio. La presencia de tan variada distribución de anomalías negativas de **TSM** y salinidad evidencian posiblemente un evento regional que afecta al norte de Chile, pero que no fue registrado por ningún boletín regional salvo el potencial desarrollo de un evento La Niña.

En la vertical, las transectas dan cuenta de los procesos de mesoescala presentes en la zona de estudio. La surgencia costera produce la elevación de las isolíneas hacia la costa mostrando el patrón superficial típico de la zona costera del norte de Chile. La inclinación señalada aumenta al incrementarse la intensidad de la surgencia tal como ocurre al sur de Iquique en septiembre de 2006 y marzo de 2007. Bajo los 200 m de profundidad y sobre el talud continental las isolíneas de temperatura y salinidad se invierten, apuntado hacia abajo, lo cual es evidencia indirecta de la presencia de la corriente subsuperficial hacia el polo. La corriente subsuperficial descrita parece estar asociada al AESS que se presenta principalmente entre los 150 y 200 m adyacente al talud continental (Reyes, 2004; Shaffer *et al.*, 1999). A escala estacional, las distribuciones verticales paralelas a la costa (100 mn de la costa), muestran mejor los cambios que sufre la columna de agua en la zona norte de Chile. Sobre los 100 m, y especialmente sobre la **I15**, los cambios en la temperatura son evidentes, ya que en superficie se aprecia el avance



hacia el sur de las isothermas de mayor temperatura desde septiembre de 2006 a marzo de 2007, lo cual está asociado al ciclo anual de la radiación solar.

Bajo la **I15** los cambios estacionales son evidenciados en la variabilidad espacio temporal de la salinidad. La salinidad mostró en septiembre de 2006 una intrusión de aguas que originaron un mínimo centrado en los 50 m de profundidad (asociado al ASAA) que incrementa su presencia (área) en diciembre y retrocede hacia el sur en marzo de 2007. Bajo los 100 m se presentó un máximo salino relativo (asociado al agua ecuatorial subsuperficial, AESS) que predomina en septiembre pero disminuye en diciembre y marzo. El máximo salino es acompañado por una zona de mínimo oxígeno (1 mL/L) característico del norte de Chile (Morales *et al.*, 1999; Strub *et al.*, 1998) y muestra la misma evolución espacio temporal de la columna de agua. Cabe señalar que los resultados muestran que el AESS ocupa mayor área durante el mes de septiembre de 2006, no asociado claramente al invierno austral, si no que más bien, a la condición cálida ecuatorial que es mostrada por el índice multivariado (MEI)

En diciembre, la columna de agua presentó gradientes de menor intensidad que lo observado en el 2005 (Braun *et al.*, 2006). Este mes, tanto en las transectas perpendiculares a la costa como en la paralela a 100 mn, se registraron valores de OD más bajas dentro de la capa oxigenada con una menor presencia de valores > 6 mL/L que en igual mes de los años 2005 y 2003 (Braun *et al.*, 2005a; Braun *et al.*, 2006). También se advierte un aumento en el espesor de la capa mínima de OD (valores menores a 1 mL/L) en relación al muestreo de 2003, período que tiene similar nivel de profundidad de observación que el actual crucero.

Eddies

En el área oceánica se observan, simultáneamente, zonas de convergencia y divergencia de corrientes y giros ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala que perturban la distribución vertical de temperatura, salinidad y densidad de la columna de agua (Bakun, 2006). Como ejemplo, aparecen frente a rada Paposos y punta



Copaca en septiembre de 2006, como también en la transecta frente a punta Lobos en marzo de 2007. A este respecto, la altimetría satelital mostró que septiembre 2006 evidencia la mayor presencia de giros de mesoescala, pero espacialmente ubicados más al sur de Antofagasta. Al norte de este punto predominan meandros de gran extensión a los cuales se asocian áreas de convergencia como la presente frente a punta Copaca y al norte de Pisagua. En diciembre de 2006, al norte de Antofagasta predomina un flujo hacia el sur acompañado de un gran giro anticiclónico fuera de la zona del muestreo directo. Posteriormente, en marzo de 2007, se presentó un número importante de giros de mesoescala en un sistema de pares de giros de dirección inversa: un giro anticiclónico frente a punta Gruesa acompañado de uno ciclónico más al sur, y además unidos a dos giros gemelos de sentido inverso en el sector exterior. Aun así, predomina un flujo divergente hacia fuera de la costa entre Arica y el sur de Iquique, mientras que al sur de punta Chipana se proyecta un meandro en dirección sur. La real dimensión de la influencia de estas estructuras en el transporte costa-océano y la surgencia oceánica es aún tema de investigación, especialmente frente a la costa de Sudamérica que carece de información cuyo objetivo sea estudiar estos procesos oceanográficos en particular.

Masas de agua

Aunque los procesos de circulación sinóptica de mesoescala modifican la distribución vertical de las propiedades oceanográficas, no modifican sustancialmente la presencia de masas de agua típicas de la zona norte de Chile, las cuales se ven afectadas por procesos estacionales, anuales y fuertemente por procesos interanuales como El Niño (Reyes, 2004; Silva, 1983). En superficie (0-60m), se encuentra típicamente el agua subtropical (AST), la que incrementa su participación de septiembre a diciembre de 2007, permaneciendo relativamente constante hasta marzo de 2007. Por el contrario, el agua ASAA disminuye su participación en la capa superficial a medida que llega el verano austral, de hecho, tiene influencia desde los 150 m hasta superficie en septiembre y pasa a un núcleo



centrado entre los 40 y 75 m de profundidad en marzo. Al igual que el AST, el AESS incrementa en área e intensidad a medida que se presenta la primavera y posteriormente el verano austral. Esta masa de agua centra su influencia entre los 80 y 300 m de profundidad, adyacente al talud continental, pero presenta núcleos oceánicos que parecieran desprenderse desde la costa y parecieran estar asociados a perturbaciones de la isolíneas similares a las producidas por giros de mesoescala. El incremento del AST y AESS va en decremento del ASAA, y esto se debe principalmente al origen de este tipo de aguas, las cuales provienen de la zona subtropical y Ecuatorial, por lo tanto, aumentan su intensidad en el verano austral al aumentar el transporte hacia el polo, mientras que el ASAA de origen subpolar aumentan su presencia al aumentar el transporte hacia el Ecuador en el invierno austral (Reyes, 2004; Schneider *et al.*, 2003; Strub *et al.*, 1998). Esto queda en evidencia al analizar la disminución de la presencia del AST y AESS al aumentar la latitud o al disminuir la latitud en el caso del ASAA.

Clorofila

En general, las concentraciones de clorofila responden a procesos oceanográficos de diversa escala espacio-temporal incluyendo el ciclo anual de la radiación solar (Thomas *et al.*, 2004; Yuras *et al.*, 2005). En Septiembre de 2006 las concentraciones de clorofila-**a** (**cloa**) estuvieron de moderadas a altas en comparación con igual mes de los dos años anteriores ya que el rango de valores superficiales (0,2 a 12,8 $\mu\text{g/L}$) fue menor que el reportado en el crucero MOBIO de 2005 (0,2 a 21 $\mu\text{g/L}$) y levemente inferior al crucero MOBIO 2004 (0,1 y 15,5 $\mu\text{g/L}$) (Braun *et al.*, 2005a; Braun *et al.*, 2006). En comparación con los resultados de la serie histórica de invierno, septiembre de 2006 es uno de los períodos que contiene mayores niveles de concentración superficial, siendo este superior a aquellos de los años: 1995, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002 y 2003; similar a los rangos de los años 2003 y 2004; e inferior a los años 1998 y 2005. Paralelamente los feopigmentos (feop) indicarían un óptimo estado fisiológico de las células principalmente desde bahía Salada al norte. En diciembre de 2006, la **cloa** presentó relativamente altas



concentraciones para la época a lo largo de toda la zona costera. A nivel superficial, las más altas concentraciones se registraron en los sectores de Iquique, Tocopilla y Mejillones y los más bajos en punta Copaca, punta Camarones y punta Lobos. De la serie histórica de **cloa** superficial en primavera (diciembre), la distribución del diciembre de 2006 resultó ser similar a la del año anterior siguiéndole en importancia de concentración el muestreo de primavera de 2000 con 7,4 µg/L, mientras que en los años 1998, 1999, 2001 y 2002, las concentraciones más altas fueron < 4,5 µg/L. Similar distribución a la actual fue entregada por Morales *et al.* (1996a) para la primavera de 1993, con la diferencia de que en ese año los valores > 1 µg/L se registraron en todo el sector costero, sin interrupción de la franja productiva. Paralelamente, al igual que en diciembre de 2005 en el presente muestreo, en todas las transectas se registraron núcleos de altas concentraciones, siendo algunos de ellos subsuperficiales (Braun *et al.*, 2006).

Posteriormente, en Marzo de 2007, la distribución superficial de **cloa**, **cloa** integrada y **cloa** satelital, son coherentes espacialmente con el área de surgencia costera. Esta relación queda particularmente clara al observar la banda costera interrumpida en la zona de punta Arenas, tal como es observado en la **TSM** y en la densidad superficial. La consecuencia biológica de la surgencia costera queda en evidencia especialmente en la zona norte de Chile (Morales *et al.*, 1996a). Los valores superficiales de **cloa** son similares a los observados en los meses de verano durante el período 1999 -2002 y 2006, a la vez que son menores a los registrados durante marzo de 2003 y 2002. Por otra parte, la distribución de **cloa** integrada exhibió focos que no estuvieron representados en la distribución superficial *in situ*, debido a que la **cloa** más bien presentó núcleos subsuperficiales de altas concentraciones en todas las transectas, especialmente en las estaciones costeras en Iquique y en la punta norte de la península de Mejillones. Lo anterior estuvo asociado a profundidades de la isolinia de 1 mL/L inferiores a 30 m, es decir, a la presencia de AESS en la plataforma continental. A pesar de una condición de surgencia débil durante el crucero, el aporte nutritivo al fitoplancton no habría sido limitante para la mantención de la población, ya que las bajas



concentraciones de feopigmentos en toda la zona costera, estarían indicando un buen estado fisiológico del fitoplancton.

De la comparación entre la **cloa *in situ*** y la clorofila satelital, reportados en el presente informe, se puede indicar que la buena asociación de los valores permite comprobar la información rescatada de las imágenes. Sin embargo, se debe hacer notar que los valores más altos del muestreo son suavizados por la imagen, perdiéndose los focos puntuales de alta producción.

En cuanto a la fluorescencia in vivo (**fliv**), al ser esta una respuesta de la célula fitoplanctónica a la estimulación luminosa en una longitud de onda específica para la **cloa**, es esperable que ésta se asocie en forma funcional y significativa con la concentración de clorofila, aunque eventualmente podrían existir algunas desviaciones en la linealidad de esta asociación (Castillo *et al.*, 2001). Esto puede significar que la respuesta de fluorescencia de las células fitoplanctónicas está asociada con otros factores tales como, el estado fisiológico, la historia de luz, autosombreado y otros (Castillo *et al.*, 1996).

Por otra parte, la distribución de **fliv** confirma la presencia de núcleos subsuperficiales de clorofila en el sector oceánico y que éstos abarcaron en general una mayor área a nivel subsuperficial, extendiéndose en la mayoría de los casos hasta los 30 m en septiembre y algo más profundos en diciembre, hasta los 50 m. Lo anterior ya no como una aproximación matemática, sino por las lecturas directas del sensor de **fliv** (Castillo *et al.*, 1996) que confirma lo descrito utilizando el muestreo discreto de **cloa**. La mayor extensión de área a nivel subsuperficial fue observado también en febrero-marzo de 1994 por Morales *et al.* (2001).

Los modelamientos de variables oceanográficas con la **cloa** no entregó resultados concluyentes respecto a una variación estacional superficial, debido probablemente a la distribución subsuperficial de la **cloa** en verano, situación ya observada en 2006 (Braun *et al.*, 2006). En este contexto y tomando en cuenta la distribución de



concentraciones del pigmento, se puede indicar que a nivel superficial las concentraciones del mes de diciembre fueron m1s altas que las del mes de septiembre. Mientras que en la vertical las menores concentraciones de los tres per3odos corresponder3an al mes de septiembre y las mayores al de diciembre.

El hecho de que se encontraran diferencias significativas en el modelamiento de la clorofila total con la **fliv**, de marzo con los otros dos per3odos, es coincidente con lo observado en las distribuciones tanto superficiales como verticales, con respecto al desacople de la **fliv** con el pigmento en marzo.

Por 3ltimo, atendiendo las recomendaciones de Jeffrey **et al.** (1997), en cuanto a la utilizaci3n de filtros, y dado que la comparaci3n entre los dos tama1os de poro (0,7 μm y 0,2 μm) no entregaron diferencias significativas, se mantendr1 la utilizaci3n del filtro MFS G/F.

Series Costeras

Las series costeras contienen informaci3n mensual de la columna de agua a partir de enero de 1997, y constituyen una de las series de mayor continuidad temporal y calidad del Pac3fico sur oriental, ya que entregan evidencias de la variabilidad intra estacionales (ondas atrapadas a la costa y surgencia), estacionales o anuales, variabilidad interanual (El Ni1o) y decadal que sufre el oc3ano costero frente a la costa norte de Chile (Blanco, 2004; Pizarro, 1999; Pizarro **et al.**, 1994).

Dentro de este contexto, las series de temperatura y salinidad presentan en Arica, Iquique y Mejillones claramente dos per3odos de 5 a1os: el primero entre 1998 y finales de 2002 caracterizado por el ascenso de la isoterma de 13° C sobre los 40 m de profundidad con una frecuencia semi anual. El segundo, entre finales de 2002 y mediados de 2005, cuando esta isoterma casi no est1 presente. La isoterma de 13°C es indicadora de lo que sucede bajo los 10 m de profundidad en la columna de agua de la costa, por lo tanto el per3odo 1998-2002 fue m1s fr3o que el per3odo 2002-2005, al igual que el 3ndice multivariado ecuatorial del ENSO (**MEI**). Estos cambios de fase



también son observados en la salinidad pero no tan claramente en el oxígeno o la clorofila-a. La salinidad presenta valores mayores a partir de finales de 2002. Los cambios de fase señalados son coherentes con cambios de período frío, entre 1998 y 2002, a cálido, desde 2002 a 2005, indicados por el **MEI**, el cual muestra que a escala de 5 años la fase del océano Ecuatorial determina la estructura vertical de la temperatura y salinidad en la costa entre Arica e Iquique y en menor grado en Mejillones. La conclusión anterior se ve reforzada por que a finales de 2005 y principio de 2006, es cuando la zona ecuatorial muestra una fase fría que dura 6 meses según el índice MEI, y se produce un ascenso de la isoterma de 13° C acompañado de un pulso de bajas salinidades en la columna de agua en las estaciones de Arica, Iquique y Mejillones. Posteriormente, durante el período entre mediados de 2006 y enero de 2007 vuelve a predominar una fase cálida en el océano Ecuatorial y la isoterma de 13°C desaparece y las salinidades tienden a incrementarse excepto en Mejillones, localidad que al encontrarse más retirada muestra una respuesta más débil a los cambios en la zona ecuatorial. A partir de Enero 2007, las condiciones ecuatoriales según el **MEI** muestran una transición hacia una fase fría que no ha sido observada en las estaciones costeras y cuyo último registro fue junio de 2007. La isoterma de 13°C debería aparecer en las estaciones costeras en los meses posteriores. Estas evidencias señalan que hay un desfase de al menos 1 mes entre lo que muestra el **MEI** para la zona ecuatorial y lo observado en las estaciones costeras.

La distribución costera del oxígeno disuelto muestra una variabilidad asociada al ascenso del límite de la mínima de esta variable (1 mL/L, indicativa del AESS) hacia la costa, y muestra periodicidades anuales y bianuales. Claramente, el AESS a partir de inicios del 2000 incrementó su presencia en la zona costera, llegando a ser casi permanente desde el julio de 2005 hasta junio de 2007 en Arica, y desde mayo/julio de 2006 hasta junio de 2007 en Iquique y Mejillones. Lo señalado trae consigo una serie de consecuencias biológicas como también aquellas asociadas a la productividad de la zona norte de Chile. De hecho, la distribución de clorofila-a en la columna de agua, muestra precisamente un aumento en la intensidad y en la extensión de los períodos de máxima concentración de clorofila cerca de la costa. El mayor potencial de



afloramiento de AESS, ya que está casi permanentemente sobre la plataforma, hace que la consecuencia biológica del enriquecimiento por esta agua con alta concentración de nutrientes sea más intensa y permanente, lo que es especialmente patente durante el 2007 en Iquique. Las diferencias encontradas entre las estaciones obedecen a su separación de la zona Ecuatorial y dinámicas locales (Blanco *et al.*, 2002; Blanco *et al.*, 2001; Bravo, 2003; Pizarro *et al.*, 1994).

Huevos y Larvas de Anchoveta en función de variables ambientales

En relación al medio ambiente, el régimen oceanográfico de la zona norte del país está determinado en general por el sistema de corrientes de Humboldt, que en promedio transporta aguas de poca salinidad desde la región subantártica; la intrusión desde el norte hacia la costa de aguas subtropicales y Ecuatoriales subsuperficiales ricas en nutrientes y pobres en oxígeno; y por los procesos de surgencia costera provocadas por los vientos del sur y suroeste (Pizarro, 1999; Tomczak & Godfrey, 1994). En efecto, el sistema de corrientes de Humboldt, es un sistema de borde oriental (**SBO**) donde el afloramiento de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes promueve una alta producción fitoplanctónica disponible para el zooplancton y peces (Jacob, 2002). Este **SBO**, al igual que Benguela, Canarias y California, muestra una fuerte correlación espacial entre frentes de surgencia y la presencia de altas concentraciones de fitoplancton y variabilidad asociada a varias escalas espacio temporales (Bakun, 2006; Franks, 1992), las que podrían influir en el estado de condición de las larvas de *Engraulis ringens* (Pizarro *et al.*, 1998).

Los resultados de los huevos y larvas de anchoveta en función de la **TSM** (ver **Figs. 85, 86, 89 y 93**) indican que los estadios tempranos de esta especie, se ubican principalmente en zonas que están bajo la influencia de la surgencia y asociados a la zona exterior y principalmente interior de frentes térmicos moderados. Dicho resultado concuerda con lo expresado por diferentes autores que han estudiado la distribución y abundancia del ictioplancton y de ejemplares adultos de anchoveta en



la zona norte (Braun *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2003; Oliva *et al.*, 2002; Yáñez *et al.*, 2005, entre otros).

Cabe destacarse que los huevos se ubican principalmente entre temperaturas entre 15° y 18°C, y cuya distribución espacial está más restringida a la costa en diciembre de 2006 y marzo de 2007, al igual que las temperaturas señaladas. La distribución espacial de larvas es más amplia que la de los huevos, de hecho aunque la distribución de larvas está asociada principalmente a temperaturas entre 15° y 18°C, se observan presentes en temperaturas mayores a 18°C, hasta incluso 22°C en los meses de diciembre de 2006 y marzo de 2007. Esta diferencia podría asociarse a mecanismos físicos que permiten el transporte de huevos desde la costa hacia el sector oceánico, tales como el mismo transporte de Ekman, lenguas de surgencia, giros y meandros de mesoescala. Además, debe considerar la mayor temperatura en el sector oceánico que permite un paso más rápido de huevo a larva. Este desplazamiento está evidenciado, ya que los focos más importantes de huevos de anchoveta tienden a ubicarse en las primeras millas de la costa en los bordes internos de gradientes térmicos y salinos (Oliva *et al.*, 2002).

Además, al interior de los gradientes térmicos zonales, la banda costera donde se concentra la distribución de huevos y larvas de anchoveta también presentó la mayor concentración de clorofila, no siendo evidente en septiembre cuando es la época de mayor desove de anchoveta, pero si claramente en diciembre de 2007 y marzo de 2007 cuando es la época de reclutamiento de la anchoveta. La conclusión de estas observaciones muestra que a pesar de encontrarse la mayor producción biológica en términos de clorofila en los meses de finales de primavera y verano, la anchoveta presenta su mayor desove a fines de invierno (Morales *et al.*, 1996b). Esto podría ser explicado por que a pesar de la baja amplitud del ciclo anual de la surgencia (transporte de Ekman) y la clorofila al norte de la península de Mejillones, solamente durante finales de septiembre las condiciones ambientales son óptimas para el desove principal de la anchoveta.



Mecanismos de transporte y agregación

Como se mencionó anteriormente, los mecanismos de transporte (surgencia, lenguas, filamentos, meandros y giros) desde la zona costera hacia la zona oceánica, al parecer juegan un importante rol en la historia de vida de la anchoveta en invierno, primavera y verano (Bakun, 1996; Bakun & Hutchings, 1994; Blanco, 2004). Así, las zonas de mayor abundancia de huevos de anchoveta en septiembre de 2006 están más alejados de la costa comparados con diciembre de 2006 y marzo de 2007. Esto es evidente entre los 19° y 21°S, pues frente a Pisagua la mayor abundancia de este estadio se concentró en una zona de convergencia (las corrientes geostroficadas convergen hacia la costa), pero fuera del frente térmico. Entre Iquique y caleta Chipana los máximos de abundancia de huevos de anchoveta fuera de la plataforma continental, están explicados por la divergencia de la corriente desde la costa. Esta zona no muestra mayor consistencia entre el flujo divergente y la presencia de plumas de agua fría o alta clorofila. Alrededor de la península de Mejillones las corrientes convergentes asociadas a máximos de abundancia de huevos y altas clorofilas muestran evidencias de las zona de retención presentes en bahía Mejillones y bahía Moreno (Marín *et al.*, 2003). La distribución espacial de larvas en septiembre de 2006 confirman esta conclusión al proyectar al patrón espacial descrito para los huevos.

En diciembre, las corrientes juegan un rol de agregación, ya que no aparecen flujos divergentes desde la costa, de hecho atípicamente se presenta una intensa corriente hacia el sur que comprime la expansión hacia el oeste de la surgencia costera, intensifica el gradiente del frente térmico, produce la generación de núcleos costeros localizados de clorofila y la retención de huevos y larvas de anchoveta. Este patrón muestra leves excepciones como frente a punta Lobos, donde el flujo al girar hacia al oeste genera una divergencia desde la costa, efecto inverso al observado más al sur, en la bahía de Mejillones. En marzo, la correspondencia es similar a septiembre pero donde la dispersión se ve afectada por el incremento del frente térmico, al interior del cual se concentran los huevos y



las altas concentraciones de clorofila a lo largo de la zona. Mientras que en fase de larva, aparecen núcleos oceánicos asociados a corrientes que provienen de la costa, especialmente frente a Iquique y punta Copaca.

El efecto de dispersión y agregación que juegan las corrientes se combina con la ubicación de los huevos y larvas respecto al frente térmico y la intensidad de éste. Así, los huevos tienden a encontrarse al interior del frente, es decir, en la zona de influencia de las aguas surgentes, más frías y ricas en clorofila. Aunque también es posible encontrarlos en la zona exterior adyacente al frente o llevado a hacia fuera de la costa por corrientes costa-océano. Las larvas, que llevan más tiempo en el mar, tienen una distribución más extendida, pero aun así la mayor parte se concentra cerca de la zona costera, al interior del frente térmico. Pero en el caso donde los huevos se encontraban anteriormente fuera del frente térmico o éste estuviera debilitado, se observan núcleos significativos de abundancia lejanos a la costa asociados con un flujo hacia fuera de la costa en dicho lugar, tal como sucede en punta Lobos durante septiembre de 2006. Estas evidencias muestran que la interacción entre procesos físicos-biológicos son importantes en el desove, retención y pérdida de huevos y larvas en la zona norte de Chile durante el período 2006/2007, tal como ha sido propuesto para el sistemas de surgencia de Benguela (Bakun & Hutchings, 1994; Bakun, 1996; Bakun, 2006).

Abundancias

En términos de las abundancia de huevos y larvas de anchoveta, en septiembre y diciembre, la presencia y dominancia de huevos y larvas de anchoveta en la zona de estudio está por sobre la de sardina, caballa y jurel. Esta es una situación que se ha hecho habitual a través del tiempo durante la estación de primavera, ya que de los registros existentes en la zona norte de Chile, desde el año 1984 a la fecha, muestran que ha sido la especie con la abundancia promedio más alta. La abundancia durante diciembre a superado con creces las abundancias registradas en los años previos, destacando particularmente lo detectado durante los años 1996, 1997, 1998, 2000 y 2006, mostrando que esta especie también desova durante esta época del año y si



bien no alcanza los niveles registrados durante la época invernal, no deja de ser importante en términos cuantitativos. Por otro lado, aun cuando la dinámica y la distribución espacial son similares, la abundancia de huevos de anchoveta observada en marzo de 2007 ha sido una de las más bajas registradas desde el año 1982. Estos valores están indicando que el proceso de desove de marzo de 2007, se encontraría en una fase de declinación, dando inicio a la etapa de reposo gonadal, lo que se traduce de la información obtenida de los IGS semanales del mes de marzo y que mostraron una tendencia decreciente desde la primera semana de ese mes (Martínez, *com. pers.*, Martínez *et al.*, 2006).

Modelamiento Estadístico

Modelos aditivos generalizados muestran evidencias de la relación no lineal entre algunos de los factores de localización y oceanográficos con la presencia y densidad de huevos y larvas de anchoveta en la zona norte del país. El modelo propuesto fue capaz de explicar una fracción importante de la variabilidad en los datos cuando se modeló la presencia y densidad de huevos y larvas para los cruceros realizados en el actual proyecto, vale decir existió una ganancia substancial en el modelo que incorpora las covariables latitud, longitud, salinidad y temperatura superficial del mar frente a uno sin incorporar dichas variables explicatorias.

Para el análisis histórico de los cruceros realizados en invierno, el efecto de las funciones suavizadas indica que si bien el desove se produce en todo el rango latitudinal analizado, el área norte presentaría condiciones más favorables para la presencia en mayores densidades de huevos y el área norte y sur para larvas, lo cual es consistente con las observaciones. Lo que si se confirma, claramente, es que éste es un proceso costero. En cuanto a las condiciones oceanográficas, temperaturas entre los 15° y 17°C favorecieron la presencia de huevos de anchoveta, verificándose un efecto positivo sobre las densidades en el rango de los 16° a 17°C; en tanto en larvas, los resultados indican que temperaturas superiores a 16°C tienen un efecto positivo tanto en la presencia como en la densidad de



larvas de anchoveta. Estos rangos son más estrechos a los encontrados en los cruceros. Las salinidades superiores a los 35 psu ejercen un efecto positivo sobre la densidad de huevos, mientras que salinidades entorno a los 34,9 psu también ejercen un efecto positivo en larvas. Asimismo, el análisis integrado de los años, indica que las mayores probabilidades de éxito de encontrar huevos y larvas de anchoveta junto con las mayores densidades correspondieron al año 1994 y 2005.

Asimismo, el análisis integrado de los cruceros, indica similar probabilidad de encontrar estaciones con presencia de huevos o larvas de anchoveta en los distintos cruceros, con un leve aumento en marzo de 2007, para huevos y septiembre de 2006 para larvas. Lo anterior refleja un comportamiento distinto respecto al período máximo de desove, que según los antecedentes se circunscribe al bimestre agosto – septiembre.

Finalmente, el análisis de la información recopilada en el actual proyecto y asociado a la densidad de huevos y larvas indica que, las covariables empleadas en el modelamiento en general no determinan patrones espaciales de distribución. Esto sería explicado por una alta variabilidad asociada a las densidades de huevos y larvas la cual no permite recoger las posibles relaciones existentes entre la densidad y las variables predictoras consideradas en el modelo. Una alternativa posible de evaluar corresponde a un análisis multivariado, de forma tal de identificar cluster o grupos de distribución y en función de estos caracterizar las condiciones oceanográficas asociadas a dichos grupos.

El modelo descrito anteriormente no permite incorporar en forma cuantitativa las estructuras oceanográficas que tienen distribución espacial relevante en la distribución de las capturas, y abundancia de huevos y larvas de anchoveta.

En síntesis, las condiciones superficiales observadas en el crucero de invierno, realizado en el mes de septiembre, como también la información de las estaciones fijas de vigilancia del mismo mes, señalan que la zona se encuentra con condiciones oceanográficas dentro de los rangos normales. En diciembre, aunque



los parámetros marcan normalidad, se observó la presencia de un flujo anormalmente intenso hacia el sur que predominó en toda la zona de estudio inhibiendo la extensión de la surgencia costera al norte de los 21°S. En marzo, sólo las anomalías de salinidad muestran un patrón atípico de la zona al ser intensamente negativas, lo cual sólo podría estar asociado a un proceso de advección de aguas menos salina desde el sur.

A pesar de la normalidad general que muestran los cruceros, el índice multivariado de El Niño (**MEI**) y la distribución vertical de temperatura, salinidad y oxígeno en las estaciones costeras muestran que entre enero de 2006 y junio de 2007, tanto el océano ecuatorial como la zona costera de Arica, Iquique y Mejillones, están influenciadas de un período de transición frío-cálido-frío. Este último estado parece proyectarse para el resto de 2007. Las condiciones en la zona costera han favorecido la presencia de AESS sobre la plataforma continental desde el año 2002, la cual va acompañada por eventos de altas concentraciones de clorofila en la costa que tienen una mayor intensidad y duración que antes de 2002.

Tanto en septiembre (invierno), diciembre (primavera) y marzo (verano), la distribución de huevos y larvas sigue un patrón establecido a pesar que las abundancias podrían llegar a cambiar. La mayor abundancia de huevos se concentra al interior del área de influencia de la surgencia costera mientras que las larvas tienen una mayor distribución espacial debida probablemente a mecanismos de transporte costa-océano y a potencial de llegar a estado larval más rápido en el sector oceánico debido a la mayor temperatura. Aun así, la distribución espacial de huevos y larvas está siendo afectada por mecanismos de transporte como corrientes y la presencia e intensidad de los frentes de surgencia.

El ciclo anual característico de la zona al norte de la península de Mejillones, 18° - 23° 36'S, presenta una estrecha amplitud en las variaciones estacionales de viento, **TSM** y clorofila. Aun así, es suficientemente fuerte para producir una distribución estacional de las capturas y las épocas de desove de la anchoveta y la distribución espacial de



huevos y larvas de anchoveta. En relación al ciclo anual, al sur de la península de Mejillones la amplitud del ciclo anual (la intensidad de las estaciones), reflejada en el viento, surgencia, **TSM** y clorofila puede ser no óptimo ambientalmente para el desove y desarrollo de la anchoveta durante el período de análisis, ya que su presencia y abundancias son evidentemente menores que al norte de Mejillones.

Distribución espacial de anchoveta y jurel

El patrón típico de distribución espacial de la anchoveta (Braun *et al.*, 1998; 1999) se ha caracterizado por presentar altas concentraciones del recurso en áreas costeras que han aumentado su vinculación con la costa en los períodos primaverales y estivales y una distribución relativamente más oceánica en el invierno y otoño.

En los cruceros analizados en el presente caso, se repite la distribución más oceánica en invierno, período en que se detectó hasta las 90 mn de costa registrándose diferencias en primavera – verano con respecto a los patrones históricos, puesto que en ambos, la anchoveta se localizó en sectores mas oceánicos hasta las 100 mn de la costa en primavera, situación más típica de los inviernos y hasta las 40 mn en verano.

En términos generales, desde 1996 al 2002, el jurel en la zona Arica-Antofagasta se ha presentado en bajas densidades, tendiendo a aumentar su concentración en las cercanías de la costa en otoño y ocasionalmente en primavera, ocupando una mayor cobertura espacial en el invierno. En el período analizado en el presente caso (invierno y primavera de 2006 y verano de 2007), el jurel presentó una amplia cobertura espacial y un relativo incremento de la asociación con la costa en la primavera, con un notable incremento en las concentraciones en verano, situación que escapa a la distribución habitual para esta especie.



Distribuci3n vertical de anchoveta y jurel respecto a las variables hidrográficas

Las profundidades medias en las que se ha distribuido la anchoveta en el período 1994-2005, exceptuando el año 1997 en otoño, invierno y primavera y 1998 en verano, han sido de 19,5 m ($\pm 7,5$ m) en otoño; 17,0 m ($\pm 3,27$ m) en invierno; 14,5 m ($\pm 5,45$ m) en primavera y 12,83 m ($\pm 2,19$ m) en verano (ver **Tabla 46; Fig. 172**). El Niño 1997-98 afectó a la profundizaci3n de la anchoveta, detectándose en el invierno y primavera de 1997 con valores promedio de 31,36 m ($\pm 7,96$ m) y 50,82 m ($\pm 7,91$ m), respectivamente, alcanzando el máximo valor promedio en el verano de 1998 con 58,25 m ($\pm 5,94$ m) y otoño con 51,54 m $\pm 6,33$ m. En el invierno y primavera de 1998 las profundidades medias empezaron a disminuir siendo de 15 y 8,5 m, respectivamente. La mayor profundizaci3n de esta especie fue más notable en los límites máximos de los rangos, puesto que en 1997 aumentó desde 73,0 m en el otoño a 109,0 m en invierno y 117 m en primavera. Durante el verano de 1998, se registraron las mayores profundidades de esta especie, siendo de 130 m, volviendo paulatinamente a niveles normales en las estaciones posteriores, con 93,0 m en otoño, 52,0 m en invierno y 59,0 m en primavera.

En los cruceros considerados en el período 2006-2007, la anchoveta se localizó preferentemente en los primeros 20 m de profundidad, con valores medios que fluctuaron entre 12,4 m ($< 7,5, 65,0\text{m} >$) en el verano y 18,6 m ($> 10,5; 90,5\text{m} >$) en primavera (ver **Fig. 151 y Tabla 45**), niveles que se encuentra dentro de los rangos de fluctuaci3n típica, apreciándose un leve aumento de los límites inferior de la distribuci3n batimétrica respecto a la serie histórica, situaci3n que se aprecia desde el invierno.

En el caso del jurel, las profundidades en períodos “normales” han fluctuado entre 52,7 m ($\pm 8,1$ m) en otoño; 24,9 m ($\pm 4,06$ m) en invierno; 30,2 m ($\pm 9,54$ m) en primavera y 21,3 m ($\pm 7,85$ m) en verano (ver **Fig. 172, Tabla 45**). Sin embargo, los límites superiores del rango son mayores en primavera, variando entre 6,5 y 59,5 m en verano, 5 y 48,5 en otoño, 5 y 40,5 en invierno y 7 a 144 en primavera. El Niño



1997-98, también afectó la distribución batimétrica de esta especie, notándose, al igual que en anchoveta, a partir del invierno y primavera de 1997, un aumento en las profundidades medias, las que variaron entre 69,2 m ($\pm 10,05$ m) y 81,9 m ($\pm 7,8$ m) en dichas estaciones llegando a un máximo de 135,7 m ($\pm 3,98$ m) en el otoño de 1998. Este cambio fue más notorio en los límites máximos de los rangos de profundidad, puesto que durante 1997 se registró en niveles cercanos a los 143 m (otoño e invierno) y 184,5 m en la primavera alcanzando un máximo histórico de 233 m en el otoño de 1998.

En la primavera, la profundidad media (86,7 m) fue mayor que el valor de referencia histórico (profundidad media= 30,3 m; >7 ; 184,5 m) variando dentro del rango de fluctuación típica, apreciándose un leve aumento de los límites superiores de la distribución batimétrica, situación que se aprecia desde el 2002 y 2005. Este aparente cambio en la distribución batimétrica de la especie, se normalizó en invierno con una profundidad media (27,7 m) dentro del rango de fluctuación típica de este indicador (15 a 32,9 m), apreciándose un leve aumento de los límites inferiores de la distribución batimétrica.

En cambio en el verano, la profundidad media (15,53 m) se verificó una distribución media levemente más somera respecto al valor histórico de los períodos estivales normales (profundidades medias de 21,1 m, con mínimos de 6,5 m y máximos de 61,5 m), apreciándose un importante incremento del límite superior de la distribución batimétrica, alcanzando los 120 m.

Las temperaturas promedio de anchoveta, en períodos normales, presentan una leve estacionalidad, siendo menores en invierno, con un promedio de 15,2° C ($\pm 1,42$ ° C) (ver **Fig. 173; Tabla 45**) con rangos entre 13,0 y 18,2° C. Mientras que en verano, otoño y primavera los promedios fueron 16,8 ($\pm 3,02$ ° C), 16,2 ($\pm 2,49$ ° C) y 16,1° C ($\pm 0,27$ ° C), respectivamente con rangos entre 12,9 y 25,5° C. El Niño 1997-98 incrementó las temperaturas promedio de distribución de la anchoveta, en invierno y primavera de 1997 en alrededor de 2,7° C (17,9° C en invierno y 18,7° C



en primavera); $0,82^{\circ}\text{C}$ en verano ($17,7^{\circ}\text{C}$) y $0,46^{\circ}\text{C}$ en el otoño ($15,7^{\circ}\text{C}$). Llama la atención el brusco cambio que se aprecia en las temperaturas registradas en los veranos del período previo al 2001, en que el promedio fue de $18,2^{\circ}\text{C}$ ($\pm 2,71^{\circ}\text{C}$) y a partir del 2002 en que el promedio fue de $15,1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1,57^{\circ}\text{C}$).

En el periodo considerado, las temperaturas promedio en que se localizó la anchoveta variaron entre $15,8^{\circ}\text{C}$ en verano y $16,4^{\circ}\text{C}$ en primavera, valores que son comparables a los registros históricos estacionales. En efecto, en primavera las isotermas promedio fueron de $16,4^{\circ}\text{C}$ con un rango entre $12,6$ y $21,4^{\circ}\text{C}$, mientras que el promedio histórico es $16,1^{\circ}\text{C} \pm 0,27^{\circ}\text{C}$ y rangos entre $12,9$ y $25,5^{\circ}\text{C}$). En verano las isotermas promedio fue $15,8^{\circ}\text{C}$ y extremos entre $13,3$ y $21,2^{\circ}\text{C}$., comparable al promedio histórico 1997 – 2007, que alcanza los $16,8^{\circ}\text{C}$ ($\pm 1,59^{\circ}\text{C}$). En el verano (MOBIO 0703), la temperatura promedio ($15,4^{\circ}\text{C}$) es comparable a la misma temporada del 2005 ($15,8^{\circ}\text{C}$), 2004 ($15,7^{\circ}\text{C}$) y 2002 ($15,4^{\circ}\text{C}$) siendo inferior a los valores registrados entre 1998 y 1999 ($17,7^{\circ}\text{C}$), 2000 ($18,2^{\circ}\text{C}$) y 2001 ($19,2^{\circ}\text{C}$) (ver **Fig. 173**).

En el invierno el valor promedio de la temperatura en que se distribuyó el jurel fue levemente mayor (en 1°C) que el promedio histórico (con temperaturas promedio entre $15,0$ y $16,5^{\circ}\text{C}$ y límites extremos de $12,1$ y $18,4^{\circ}\text{C}$, sin embargo se encuentra dentro del rango de variación.

En primavera la isoterma media en que se registró el jurel fue menor al promedio histórico en períodos normales ($15,9^{\circ}\text{C}$), pero se encuentran dentro del rango de variación ($11 - 23^{\circ}\text{C}$).

Durante el verano esta especie se presentó en valores de temperatura media comparable a la misma estación del 2002 ($16,8^{\circ}\text{C}$).

Las salinidades promedio típicas en que se distribuye la anchoveta presenta las mayores diferencias entre el invierno ($34,808 \pm 0,17$ psu) y el verano ($34,700 \pm 0,23$ psu) ($0,108$ psu), existiendo leves desviaciones ($< 0,06$ psu) entre otoño ($34,748 \pm 0,33$



psu), primavera (34,762 \pm 0,27 psu) y el verano (ver **Tabla 45**). Los datos atípicos, se presentaron durante todo 1997 hasta el invierno de 1998, con aumentos en los promedios, los que se ubicaron entre 34,9 en los otoños de 1997 y 1998, llegando a un máximo de 35,2 psu en la primavera de 1997 (ver **Fig. 174**). Los rangos son levemente más estrechos en el invierno, que con las excepciones ya indicadas, se ubican entre 34,3 y 35,2 psu, mientras que en los períodos excepcionales los rangos estuvieron entre 34,6 y 35,6 psu, siendo mayores en el otoño e invierno de 1998. Es interesante destacar que en los veranos posteriores a 1999 las salinidades presentan la tendencia a aumentar discreta y sostenidamente variando entre 34,618 psu en 1999 y 34,814 psu en 2004.

En el crucero de invierno las salinidades promedio en que se distribuyó la anchoveta (34,81 psu) son similares a los históricos (34,8 psu). En la primavera el valor promedio 34,798 (<34,528; >35,259 psu) es levemente superior al histórico, manteniéndose dentro del rango de variación. Para el verano el promedio 34,67 (<34,41; >34,85 psu) es inferior al histórico, manteniéndose dentro del rango de variación.

Las condiciones de salinidad promedio típicas en que se ha distribuido el jurel por estación, descartando los años 1997 y 1998, han variado entre 34,592 (\pm 0,01063) en otoño; 34,803 (\pm 0,006684 psu) en invierno; 34,776 (\pm 0,010577) en primavera y 34,745 (\pm 0,0097028) en verano (ver **Fig. 174**). De acuerdo a estos patrones de comparación el promedio de invierno es mayor que el histórico (34,88 psus), una situación similar se presenta en primavera verificándose que el jurel se ubicó en salinidades promedio (34,769 psu) mayores que los valores históricos (34,745 psu). En cambio en el verano, las salinidades en que se localizó el jurel (34,59 psu) fueron menores que los valores típicos (34,745 psu).

Índices de Cobertura y Densidad

La evolución histórica interestacional de los índices de cobertura (IC) de anchoveta en el período 1996-2004, presenta tres etapas (ver **Fig. 175**):



- entre los inviernos de 1996 y 1997 caracterizado por su relativa estabilidad en sus valores variando entre 11 y 18,1%;
- entre el verano y primavera de 1998 en que se presenta un período de crecimiento alcanzando hasta un máximo de 47,3% en el otoño de 1998 y,
- una caída a valores de 1,8% en 1999 y una recuperación lenta y sostenida a partir del invierno del 2000 que se ha mantenido hasta el verano del 2006, donde alcanzó un máximo relativo de 36,7%, valor que es comparable con los altos registros de 1998.

Históricamente los más altos valores de los IC de anchoveta se han registrado en los períodos de primavera-verano con promedios de 13,4% y 14,8%, respectivamente, siendo particularmente notoria en el otoño de 1998 (9803) en que se registra el IC más alto de la serie con un valor cercano al 49% y en la primavera de 1998 (9812) con un IC levemente superior al 30%. Las primaveras del 2000, 2001 y 2002 también presentan valores relativamente altos de IC junto con el verano del año 2000 (0002). Sin embargo es notable el incremento en el IC en el invierno de 1997, con un valor cercano al 20%, asociado a las alteraciones asociadas a El Niño 1997-98: Este índice se mantuvo alto en todo el período que estuvo presente El Niño 1997-98 (primavera-1997 y verano-otoño de 1998). En el invierno del 2004 se verifica un incremento del IC del 50,5% respecto a la misma estación del 2002 y del 61% en relación al 2003 (ver **Fig. 175**). En este caso, el incremento relativo del IC de invierno aparentemente no se explica en alteraciones ambientales, pudiendo asociarse a una tendencia positiva presente en los inviernos desde el 2002. De igual modo el IC determinado en el verano del 2006 representa un importante incremento relativo, llegando al 36,7%, siendo uno de los valores históricamente más altos. En general, a partir del verano del 2006 (MOBIO 0602) los IC de anchoveta presentan una tendencia decreciente hasta llegar a un mínimo en el verano del 2007 variando entre 36,7% en el verano del 2006 y 6,1% en el verano de 2007



Estos valores extremos de los IC de anchoveta en los veranos del 2006 y 2007 se escapan de los promedios para la estación (14,8%), en el caso del 2006 superándolo un 147,9% y para el 2007 siendo menor en un 58,8%.

Los IC de jurel en el período 1996-2003 presentan dos etapas (ver **Fig. 175**):

- la primera registrada antes del invierno de 1998 (1996-98), en que los IC se caracterizaron por una fuerte inestabilidad entre los distintos cruceros, con valores máximos que alcanzaron el 25,3% (MOBIO 9805 FII) ó 19,7% (MOBIO 9708) y mínimos del 2,5% (MOBIO 9705); 1,6% (MOBIO 9895 I) y 1,2 % (MOBIO 9808), pudiéndose calcular un IC promedio para el periodo de 9,3% y
- una segunda que se registró a partir del invierno de 1999 (MOBIO 9909) y que se ha mantenido hasta la fecha, en que los IC se han caracterizado por la desaparición de los valores más altos presentes en la etapa anterior, variando entre 0,8 y 12,3% y con un promedio de 5,2%.

En general se puede señalar que los IC de jurel en cada crucero fueron inferiores que los promedios estacionales correspondientes (**ver Fig. 176**). Es así que el IC de verano (MOBIO 0703) (5,8%) fue menor al promedio estacional (7,6%); el de invierno (MOBIO 0609) (3,2%) fue menos de la mitad del promedio de los inviernos (7,0%) al igual que el de primavera (MOBIO 0612) (2,4%) respecto al promedio (5,9%).

Los índices de densidad (ID) de anchoveta presentan cuatro períodos (ver **Fig. 175**):

- Entre el invierno de 1996 hasta el invierno de 1999, con valores que fluctuaron entre 105,7 y 191,2 t/mn² con mínimos de 46,8 t/mn² (MOBIO 9803), 82,6 t/mn² (MOBIO 9708) y 54,2 t/mn² (MOBIO 9808). El promedio del ID en este periodo fue de 119,0 t/mn².
- A partir de la primavera de 1999 (MOBIO 9912) y hasta el invierno del 2001 (MOBIO 0109) se registraron los valores más altos en los ID variando entre



415,5 t/mn² y 662,6 t/mn², con un mínimo en la primavera del 2000 (MOBIO 0009) en que se registró un ID de 66,7 t/mn². En este periodo el ID alcanzó a 315 t/mn².

- Entre el invierno de 2001 (MOBIO 0109) y la primavera del 2002 (MOBIO 0212) se aprecia un período de relativa estabilidad en este indicador, fluctuando entre 179,3 t/mn² y 230 t/mn². El promedio del ID en este periodo alcanzó a 183,3 t/mn².
- Entre el verano del 2003 (MOBIO 0302) y el verano del 2006 (MOBIO 0602), se vuelve a registrar un incremento en el ID, alcanzando un valor máximo 467,1 t/mn² en el otoño de 2004 y con la excepción de la situación registrada en el otoño de 2003 (Mobio 0305) se puede distinguir un período de crecimiento en el ID. El ID promedio en este periodo alcanzó a 257,3 t/mn².

A partir del invierno de 2006 (MOBIO 0609) se verifica un crecimiento constante y sostenido en el ID, llegando a un máximo de 478,6 t/mn² en el verano del 2007.

El ID de jurel registrado desde 1996, presenta cuatro etapas (ver **Fig. 175**):

- la primera entre 1996 y el invierno de 1998 (MOBIO 9808) en que sus valores variaron entre 8,9 y 52,1 t/m², con un máximo de 110,7 t/m². En este caso el promedio fue de 29,3 t/mn².
- la segunda se presentó entre la primavera de 1999 (MOBIO 9912) y el otoño del 2003 (MOBIO 0305), con valores entre 28 y 254,3 t/mn². Se ha exceptuado de este periodo el extraordinario valor registrado en el invierno de 1999 (MOBIO 9909) en que se llegó a 683,4 t/mn². El promedio en este periodo alcanzó a 111,2 t/mn².
- la tercera etapa se presentó entre el otoño del 2003 (MOBIO 0305) y el invierno del 2004 (MOBIO 0408) con ID que fluctuaron entre 123,3 y 301,7 t/mn² y un promedio de 175,9 t/mn².



- una cuarta etapa que se presenta a partir del invierno del 2005 (MOBIO 0509), que se caracteriza por una estabilidad en valores bajos en los ID, variando entre 19,4 en el invierno del 2005 (MOBIO 0509) y 36,4 t/mn² en el invierno del 2004 (MOBIO 0408). El promedio en este periodo alcanzó a 26,6 t/mn².

Finalmente, a partir de la primavera de 2006 (MOBIO 0612) se verifica, al igual que en anchoveta, una tendencia creciente en el ID variando entre 232,2 en primavera y 442,7 t/mn² en el verano, con un promedio de 337,8 t/mn², constituye el más alto de las etapas identificadas en la serie (ver **Fig. 160**).

El análisis conjunto de ambos indicadores señala que a partir de la primavera de 2006 (MOBIO 0612) las dos especies, registran un incremento en su comportamiento gregario, reduciendo su espacio ocupado pero con agregaciones de mayor densidad.



X. CONCLUSIONES

La zona norte de Chile no presentó condiciones anormales en los parámetros oceanográficos durante el período 2006-2007, sino que dos situaciones puntuales asociadas a un flujo inusualmente intenso hacia el sur en diciembre y anomalías significativamente negativas en marzo de 2007 producto de advección desde el sur.

La zona de estudio exhibió un gradiente latitudinal en la magnitud del transporte de Ekman, registrando los mínimos valores entre los 18° y 20° 36'S, un mínimo relativo en los 26° 30'S y con valores mayores entre los 28° y 31° S.

Variaciones asociadas a perturbaciones de una amplitud de 5 años y también 6 meses en la zona ecuatorial modificaron la estructura vertical y las propiedades oceanográficas presentes en la costa de Arica, Iquique y Mejillones.

El período 1999-2002 se presentó más frío, menos salino, más oxigenado y menos productivo que el período 2002-2007, a excepción de los meses entre septiembre de 2006 y -enero de 2007.

Las zonas costeras de Arica, Iquique y Mejillones sufren la influencia de cambios en la zona ecuatorial con un desfase de al menos 1 mes entre lo que muestra el índice **MEI** para la zona ecuatorial y lo observado en las estaciones costeras.

La influencia de los cambios en la zona Ecuatorial en la zona costera del norte de Chile decrece al aumentar la latitud.

La mayor presencia de AESS cerca de la costa a partir de 2002 viene acompañada por una mayor intensidad y permanencia de los máximos de clorofila.

La distribución espacial de los huevos y larvas de anchoveta durante 2006 – junio 2007 siguió un patrón típico para la zona. La mayor abundancia de huevos



está asociada a la zona interior de influencia de la surgencia a diferencia de la distribución espacial de las larvas que abarca mayor extensión espacial.

La variabilidad de la zona costera del norte de Chile (18°S - 30°S) durante el período 2006-junio 2007 define dos subzonas latitudinales separadas por la península de Mejillones ($23^{\circ} 36' \text{S}$). La variabilidad costera al norte de la península de Mejillones, mostró una menor amplitud estacional (diferencia entre verano e invierno) en los rangos del transporte de Ekman, **TSM** y clorofila que la registrada al sur de la península de Mejillones.

Las capturas de anchoveta durante el año 2006, no se extienden más allá de las 30 mn de la costa y presentan una variabilidad estacional asociada al ciclo anual de la **TSM** con un desfase de 1 a 2 semanas y pulsos de viento estacionales en la banda costera entre los 18° y $23^{\circ} 36' \text{S}$.

La abundancia de huevos y larvas de anchoveta durante el período 2006-junio 2007 estuvo concentrada en la banda costera al norte de la península de Mejillones, dentro del área de influencia de la surgencia, es decir, en el área costera al interior del frente de surgencia. Corrientes en dirección costa-oceano, fuera del frente térmico, explicarían máximos de abundancia de huevos y larvas en la zona oceánica.

Los huevos y larvas de anchoveta se ubicaron principalmente entre temperaturas entre 15° y 18°C . Aunque la distribución espacial de larvas fue más amplia y se observan presentes en temperaturas mayores a 18°C , hasta incluso 22°C en los meses de diciembre de 2006 y marzo de 2007.

El modelo aditivo generalizado aunque es capaz de presentar o describir parte de la variabilidad no permite incorporar las estructuras oceanográficas presentes en la zona y que tienen una importancia relevante en la distribución de las capturas, y abundancia de huevos y larvas de anchoveta.



La distribución espacial de los huevos de anchoveta es más costera que las larvas, no obstante que alcanzan altas densidades, en este período se ajustaron regresiones polinomiales que indican significativas asociaciones y que dan cuenta de que las mayores densidades se alcanzan en gradientes entre 1,0 y 1,5 °C/mn.

En el caso de las larvas, éstas manifiestan una distribución más oceánica con una gran cobertura espacial, en este caso no se ajustaron modelos de regresión, no obstante se observa que a gradientes mayores a 2,0 °C/mn las densidades decrecen notablemente.

En términos globales las mayores densidades acústicas se registraron en la primavera (MOBIO 0612), el que superó en más del 40% al invierno y verano.

Por especie, el langostino, el pez linterna y el jurel fueron las más abundantes en los invierno (Arica-Antofagasta); primavera y verano. La anchoveta en invierno, primavera y verano representó el 26,3%, 43,7% y 41,0% de las lecturas acústicas por crucero. El jurel tuvo las mayores abundancias relativas en primavera (7,8%) y verano (41,3%) y sólo el 2,7% en invierno. La caballa hizo aportes marginales en invierno y verano con valores inferiores al 0,4%, no siendo detectada en primavera. El bacaladillo solo estuvo presente en primavera con un 1,1%.

La anchoveta en invierno, se distribuyó en áreas oceánica hasta las 90 mn de costa, situación típica para la estación. En verano y primavera se registró una situación atípica en la distribución de esta especie puesto que ocupó hasta 100 mn de la costa, periodos en que usualmente se registra en sectores más costeros. En el sentido vertical esta especie se localizó en los primeros 20 m de profundidad, con valores medios que fluctuaron entre 12,4 m en el verano y 18,4 m en primavera.



El jurel, por su parte, presentó una amplia cobertura espacial y un relativo incremento de la asociación con la costa en la primavera, resalta el incremento de las densidades en el verano. La distribución vertical promedio varió entre 27,7 m en el invierno y 86,7 m en primavera.

En los tres cruceros analizados la anchoveta y el jurel presentan menores IC y mayores ID que en estaciones equivalentes de años anteriores recientes.



XI. ESTRUCTURA BASE DE DATOS

La estructura de las bases de datos con toda la informaci3n b3sica que se obtuvo durante la ejecuci3n del proyecto FIP N° 2006-01 "Monitoreo de las condiciones bio-oceanogr3ficas entre la I y IV Regiones, A±o 2006" se encuentra almacenada en registros magn3ticos, los archivos y el formato de grabaci3n de cada una de las componentes del proyecto se detallan a continuaci3n:

1. Datos oceanogr3ficos y meteorol3gicos

La informaci3n oceanogr3fica y meteorol3gica de cada una de las estaciones oceanogr3ficas realizadas durante los cruceros de monitoreo, se encuentran en los siguientes archivos: **CRUCE487**, **CRUCE489** y **CRUCE493** cuyo formato de grabaci3n (Formulario de codificaci3n), corresponde a una modificaci3n del formato **NODC**. El formato **IFOP** est3 compuesto por un registro de identificaci3n y varios registros de informaci3n:

a) Registro de identificaci3n

Campo	Columna de inicio	Formato
país	1	E 2
buque	3	A 2
latitud grados	5	E 2
minutos	7	R 3.1
longitud grados	10	E 2
minutos	13	R 3.1
marsden	16	E 3
a±o	19	E 2
mes	21	E 2



continuaci3n

Campo	Columna de inicio	Formato
día	23	E 2
hora local	25	R 3.1
instituci3n	28	E 2
crucero	30	E 3
estaci3n	33	A 3
prof.ecosonda	36	E 4
máxima profundidad	40	E 2
nº observaciones	42	E 2
trans. Secchi	44	E 2
direcci3n olas	46	E 2
altura olas	48	E 1
período olas	49	E 1
direcci3n viento	50	E 2
velocidad viento	52	E 2
presi3n barométrica	54	R 3.1
bulbo seco	57	R 3.1
bulbo húmedo	60	R 3.1
tiempo	63	E 2
tipo nubes	65	E 1
cant. Nubes	66	E 1
visibilidad	67	E 1
latitud n-s	68	A 1
longitud w-e	69	A 1
tipo de datos	76	A 1
control	80	E 1



b) Registros de datos

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

Observaciones:

Formato tipo: A n: Alfanumérico

E n: Entero

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

n: Número de columnas

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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



2. Clorofila –a

Crucero MOBIO de invierno	2006	cru-487- clo
Crucero MOBIO de primavera	2006	cru-489- clo
Crucero MOBIO de verano	2007	cru-493- clo
Nombre del archivo		

cru-487- clo: indica el número del crucero - variable clorofila

Estructura interna:

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

3. Huevos y larvas de peces

La información zooplanctónica de cada una de las estaciones bio-oceanográficas obtenida durante la realización de los cruceros estacionales de monitoreo, se almacenaron en los archivos cru487, cru489 y cru493, cuyo formato de grabación se detalla a continuación:



Columna	Tipo de informaci3n
1	C3digo estaci3n
2,3,4	A3o, mes y d3a
5 y 6	Hora estaci3n: hora, minuto
7	Latitud grados
8	Latitud minutos
9	Longitud grados
10	Longitud minutos
11	Profundidad
12	C3digo de la red
13	Abertura de malla de la red
14	C3digo fluj3metro
15	N3mero inicial revoluciones
16	N3mero final revoluciones
17 y 18	Tiempo calado minuto, segundo
19 y 20	Tiempo virado minuto, segundo
21	Metros cable arriado
22	Angulo del cable
23	Factor de estandarizaci3n
24 y 25	Huevos y larvas de anchoveta
26 y 27	Huevos y larvas de sardina
28 y 29	Huevos y larvas de jurel
30 y 31	Huevos y larvas de caballa
32 y 33	Huevos y larvas otras especies
34	biomasa zooplanct3nica



4. Acústica

La informaci3n concerniente a la evaluaci3n hidroacústica estacional estar3 contenida en dos tipos de archivos: BIOMA-XX.DAT y POSIC-XX.DAT. En el nombre de estos archivos se indica el númerode la transecta por las letras XX.

Los archivos BIOMA-XX.DAT contienen la informaci3n de las lecturas acústicas por especie en cada IBM indicando la frecuencia del ecosonda, la especie, las profundidades superior e inferior, tipo de agregaci3n y lectura acústica.

Los archivos BIOMA-XX.DAT est3n estructurados segùn:

Línea	Columna	Línea columna Tipo de informaci3n
1	1-	nombre del crucero
2	2-	Barco
3	3-	Zona
4 y +	1 a 3	númerode la Y BM
	4	Espacio
	5	especie (1 a 4) (ver 1)
	6	Espacio
	7	ecosonda (1=38 khz)
	8	Espacio
	9	tipo de agregaci3n (ver 2)
	10	Espacio
	11 a 13	profundidad superior (m)
	14	Espacio
	15 a 17	profundidad inferior (m)
	18	Espacio
	19 a 23	lectura acústica



(1) Códigos de especie

Sardina española	Código de especie	=	1
Jurel	Código de especie	=	2
Anchoveta	Código de especie	=	3
Caballa	Código de especie	=	4
Otras	Código de especie	=	5

(2) Códigos del tipo de agregación

Cardumen	=	1
Agregación (estrato)	=	2
Individual (aislado)	=	3

Los archivos POSIC-XX.DAT contienen la información del número de la IBM, hora, latitud y longitud.

Los archivos POSIC-XX.DAT están estructurados según:

Columna	Tipo de información
1 a 3	número de IBM
4	coma (,)
5 a 12	hora (HHMMSS)
13	coma (,)
14 a 20	Latitud (GGMM.mm)
21	coma (,)
22	S (sur)
23	coma (,)
24 a 31	longitud (GGGMM.mm)
32	coma (,)
33	W (weste)



5. Estaciones costeras

La informaci3n de temperatura, salinidad, ox3geno y clorofila **a** en las estaciones fijas de vigilancia mensual, de las localidades de Arica, Iquique y Mejillones para el per3odo agosto 2006 a junio de 2007, se entrega en el siguiente archivo:

FIJAS FIP2006-01.xls

Descriptor: FIJAS FIP2006-01.XLS

Columna A: estaci3n

Columna B: a3o

Columna C: mes

Columna D: d3a

Columna E: profundidad

Columna F: temperatura

Columna G: salinidad

Columna H: ox3geno

Columna I: cloa

Detalles

Estaci3n : texto, indicando Arica, Iquique o Mejillones

profundidad : num3rico, metros

temperatura : num3rico, °C

salinidad : num3rico, psu

ox3geno : num3rico, mL/L

clorofila a : num3rico, µg/L

Datos de ictioplancton y biomasa zooplanct3nica en las estaciones fijas.

La informaci3n de ictioplancton de anchoveta y biomasa de los muestreos integrados y estratificados de las estaciones fijas de vigilancia mensual, de las localidades de Arica, Iquique y Mejillones para el per3odo agosto 2006 a junio 2007, se entrega en dos hojas al interior del siguiente archivo:



Base plancton_Fijas FIP2006-01.xls

Descriptor hoja ictio y bio 0-100:

Columna A: estación

Columna B: año

Columna C: mes

Columna D: huevos de anchoveta

Columna E: larvas de anchoveta

Columna F: biomasa

Descriptor hoja ictio y bio estratos:

Columna A: estación

Columna B: año

Columna C: mes

Columna D: huevos de anchoveta entre 0-10 metros

Columna E: huevos de anchoveta entre 10-25 metros

Columna F: huevos de anchoveta entre 25-50 metros

Columna G: larvas de anchoveta entre 0-10 metros

Columna H: larvas de anchoveta entre 10-25 metros

Columna I: larvas de anchoveta entre 25-50 metros

Columna J: biomasa entre 0-10 m

Columna K: biomasa entre 10-25 m

Columna L: biomasa entre 25-50 m

Detalles

Estación : texto, indicando Arica, Iquique o Mejillones



XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aitchison, J., & J. A.C. Brown. 1957. The lognormal distribution. Cambridge University Press, Cambridge, MA. 387 p.
- Alheit, J. & P. Bernal. 1993. Effects of physical and biological changes on the biomass yield of the Humboldt Currents Ecosystem, IN: Large marine ecosystem. V: Stress, migration and sustainability, K. Sherman, L. M. Alexander and B. D. Gold, editors, American Association for the Advancement of Science, Washington D.C., pp 53-68.
- Aron, A.1980. Taxonomía, Distribución y Abundancia de las larvas de Peces en la bahía de Concepción (36°04'S,73°02'W),Chile. Tesis para optar al título de Biólogo Marino. Universidad de Concepción.68 p.
- Augustin, H.N. D.L. Borchers, E.D. Clarke, S.T. Buckland & M. Walsh. 1998. Spatiotemporal medelling for the annual egg production method of stock assessment using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat .Sci.* 55: 2608-2621.
- Bakun, A. 1973. Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America, 1946 – 1971. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 671, 103 pp.
- Bakun, A. 1975. Daily and weekly upwellind indices, West Coast of North America, 1967 – 1973. U.S. 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., C. Nelson.** 1991. The Seasonal Cycle of Wind-Stress Curl in Subtropical Eastern Boundary Current Regions. Jour. of Phys. Ocean. Pág. 1815-1834.
- Bakun, A. & Hutchings, L.** 1994. Upwelling in the Southern Benguela Current. *Progress in Oceanography*, 9, 1-81
- Bakun, A.** 1996. Patterns in the ocean. Ocean process and population dynamics. California Sea Grant College System, National Oceanic and Atmospheric Administration in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (1996), Roma, Italia. 323 pp.
- Bakun, A., K. Broad.** 2003. Environmental 'loopholes' and fish population dynamics: comparative pattern recognition with focus on El Niño effects in the Pacific. *Fish. Oceanogr.* 12:415-458; 12(4/5):458-473.
- Bakun, A.** 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage, *Scientia Marina*, 70S2, 105-122.
- Balbontín, F.M. Garretón.** 1977. Desove y primeras fases de desarrollo de la Sardina Española, *Sardinops sagax*, en Valparaíso. *Rev. Biol. Mar.* 16(2): 171-181.



- Balbontín, F. y R. Pérez.** 1980. Descripción de los estados larvales de *Normanichthys crockeri* Clark (Perciformes: Normanichthyidae) del área de Valparaíso. Rev. Biol. Mar. Valparaíso, 17:81-95.
- Barber R.T. y Chávez, E.P.** 1983. Biological consequences of El Niño. Science 22: 1203-1210.
- Barría, P., A. Aranís, S. Mora, G. Böhm, V. Catasti, G. Muñoz, H. Peña, C. González, F. Vejar y S. Nuñez.** 2001. Monitoreo de las capturas de jurel, 2000. Informe Final Proyecto FIP N° 2000-02. 123pp + Fig.s.
- Bjornsson, H & S.A. Venegas.** 1997. A Manual for EOF and SVD Analyses of Climate Data. Department of Atmospheric and Oceanic Sciences and Centre for Climate and Global Change Research. McGill University. 52 pp.
- Blanco, J.L.** 1996. Variabilidad térmica y salina en la zona norte de Chile, Informe Interno para IFOP.
- Blanco, J. L. A. C. Thomas, M. E. Carr y P. T. Strub.** 2001. Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. Journal Geophysical Research, 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. Journal Geophysical Research , 107, C3.
- Blanco, J.L.** 2004. Inter-annual to inter-decadal variability of upwelling and anchovy population off northern Chile. Dissertation submitted to Faculty of Old



Dominion University in partial Fulfillment of the requirement for the Degree of Doctor of Philosophy. December 2004.

Boltovskoy, 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación especial del INIDEP. Mar del Plata, Argentina.

Braun, M, 1995. Determinación de la distribución espacial y la abundancia de huevos y larvas de sardina española, anchoveta y jurel. En: Evaluación Hidroacústica de los Stocks de Sardina Española, Anchoveta y Jurel en la Zona Norte, I a IV Regiones. Informe Final - Proyecto FIP.

Braun, M., J. L. Blanco, J. Osses y J. Castillo. 1998. Monitoreo mensual de las condiciones bioceanográficas en la I y II Regiones. Informe Final FIP N°96-07. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 128 pp + Tablas y Figuras. (monitoreo mayo 97 a dic 97)

Braun, M., J. Blanco, J. Osses, J. Castillo, H. Miles. 1999. Monitoreo acústico estacional de los recursos pelágicos en la I y II regiones. Informe final FIP 97-02. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 145 pp + Tablas y Figuras.

Braun M. y J. Osses. 2000. Testing CUFES in Northern Chile, September 1999. Report of a workshop on the use of the continuous underway fish egg sampler – CUFES – for mapping spawning habitats of pelagic fish. GLOBEC Report N° 14. 9-11 February 2000, San Sebastián, Spain.

Braun, M., H. Reyes, V. Valenzuela, J. Castillo, E. Pizarro y V. Catasti. 2004. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2003. Tercer Informe de Avance FIP 2003–01. 88 pp.



- Braun, M., H. Reyes, J. Castillo, V. Catasti, V. Valenzuela, M. Pizarro y J. L. Blanco.** 2005a. Monitoreo de las condiciones Bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2003. Informe Final proyecto FIP N° 2003-01.
- Braun, M.; H. Reyes; E. Pizarro, J. Castillo, J. Saavedra, V. Catasti y V. Valenzuela.** 2005b. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y IV Regiones, año 2004. Informe Final FIP N°2004-01. Instituto de Fomento Pesquero (Valparaíso, Chile). 300 pp + Anexos.
- Braun, M., Valenzuela, V., Reyes, H., Castillo, J., Pizarro, M., Catasti, V., Saavedra, J., Pizarro, E. & Letelier, J.** 2006. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas entre la I y IV regiones, año 2005. Informe Final Corregido. (p. 336). Valparaíso: Fondo de Investigación Pesquera
- Bravo, J.L.** 2003. Variabilidad anual e interanual de la profundidad de la capa de mezcla y de la termoclina en la zona norte de Chile (18°20'-24°S). *Escuela de Ciencias del Mar* (p. 84): Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- 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.
- Cañon, J. R.** 1986. Variabilidad ambiental en relación con la pesquería pelágica de la zona norte de Chile. In: "La pesca en Chile", P. Arana (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso:195 – 205.
- Carpenter, J.H.** 1965. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. And Oceanogr.*, 10:141-143.



- Castelao, R. & Barth, J. 2005.** Coastal ocean response to summer upwelling favorable winds in a region of alongshore bottom topography variations off Oregon. *Journal of Geophysical Research*, 110, doi:10.1029/2004JC002409.
- Castillo, J. y O. Guzmán. 1985.** Variaciones de la distribuci3n espacial de la sardina española y jurel durante El Niño 1982-83. *Inv. Pes. (Chile)*, 32: 79-93.
- Castillo, J., J. Blanco, M. Braun, H. Reyes, H. Robotham. 1994.** Evaluaci3n directa del stock de sardina española, anchoveta y jurel (regiones I a IV). Informe Final. FIP/ IT 93 01. 256 p.
- Castillo, J., M. A. Barbieri y A. González. 1995a.** Relationships between sea surface temperatura, salinity and the pelagic fish distribution off northern Chile. ICES, Inter. Symp. On Fisheries and Plankton Acoustic, Paper N°157, 13 pp.
- Castillo, J., M. Barbieri, A. Paillamán, U. Parker, J. L. Blanco, M. Braun, H. Reyes y J. Osses. 1995b.** Evaluaci3n directa del stock de sardina española, anchoveta y jurel (Regiones I a IV). IFOP. Informe final de proyecto al FIP. 109p + Anexos. Enero 1995.
- Castillo, J., M. Barbieri, J. Córdoba, S. Lillo, U. Parker, J. L. Blanco, M. Braun y J. Osses. 1996.** Evaluaci3n hidroacústica de los recursos anchoveta, jurel y sardina española, de las Regiones I a IV. IFOP. Informe final de proyecto al FIP. 165p + Anexos.
- Castillo, J., Córdoba, J., Saavedra, A., Espejo, M., Gálvez, P., Barbieri, M., Osses, J., Reyes, H., Arriagada, G., Barría., P., Gili, R., Oliva, E., Brieba, C. 2001.** Evaluaci3n del Reclutamiento de anchoveta en la I y II Regiones,



Temporada 2001-2002. Informe Final proyecto FIP 2001-11. Inst., Fom., Pesq., Chile. 207pp+Anexos

- Chávez FP, PG Strutton & MJ McPhaden. 1998. Biological-physical coupling in the central equatorial Pacific during the onset of the 1997-98 El Niño. *Geophysical Research Letters* 25: 3543-3546.
- Checkley, D. M., Jr., P.B. Ortner, S.R. Cummings and L.R. Settle. 1997. A continuous underway fish egg sampler. *Fish. Ocean.* 6: 58-73.
- Chiechowski, J.D. de.1971. Distribución regional y cuantitativa de huevos de anchoita (*Engraulis anchoita*), caballa (*Scomber japonicus marplatensis*) y sardina fueguina (*Sprattus fueguensis*) en el mar Argentino. *CARPAS Doc. Ocas.,(5/D.Téc.6):12p.*
- Cipollini, P., D Cromwell, P.G. Challenor, & S. Raaglio. 2001. Rossby waves detected in global ocean colour data. *Geophys. Res. Lett.*, 28(2), 323-326.
- Cirke, J. y G.D. Sharp. 1984. Informes de la consulta de expertos para examinar los cambios en la abundancia y composición por especies de recursos de peces neríticos. *FAO Inf. Pesca* N° 291, Vol. 1: 104 pp.
- Cochran, W.G. 1977. *Sampling techniques*. 3rd edition. Wiley and Sons. New-York, 413p.
- Cole, J. 1999. Environmental conditions, satellite imagery, and clupeoid recruitment in the northern Benguela upwelling system. *Fish. Oceanog.* 8:1, 25-38.
- Cole, J.F.T. & J.McGlade. 1998. Temporal and sspatial patterning of sea surface temperatura in the northern Benguela upwelling system: posible



environmental indicators of clupeoid production. In: Benguela Dynamics, (Eds.) Pillar, S.C., C.L. Moloney, A.I.L. Payne & F.A. Shillington. S. Afr. J. Mar. Sci. 19: 143-157

COPAS, 2005. Boletín Oceanográfico. Febrero a Diciembre de 2005. <http://www.profc.udec.cl/boletin/Boletinesanteriores/Boletines2005>).

Córdova, J., M.A. Barbieri, A. Paillamán, H. Robotham y M. Rojas. 1997. Evaluación Hidroacústica de jurel. En: Evaluación Hidroacústica de jurel en la zona centro-sur, V a IX regiones. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile, 219pp.

Cury, P., A. Bakun, R. J. M. Crawford, A. Jarre, R. Quiñones, L. Shanon & H. Verheyes. 2000. Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in "wasp-waist" ecosystems. Journal of Marine Science. 57 (3): doi:10.1006/jmsc.2000.0712.

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

Einarsson, H. y B.Rojas de Mendiola.1963. Descripción de Huevos y larvas de anchoveta peruana (*Engraulis ringens* J.) Bol.Inst.Rec.Mar., Callao, 1(1):1-23.



- Espejo, M. y J. Castillo. 1997. SIMBAD un nuevo enfoque de procesamiento de datos acústicos. En Resúmenes XVII. Congreso de Ciencias del Mar. pp 186-187.
- Espino, M. 2002. Cambios decadales en el Pacífico Sudeste. Rev. Chile Pesq. 2002. pag. 16-21.
- Fahay, M.P.1983. Guide to the early stages of marine fishes occurring in the Western North Atlantic Ocean, cape hatteras to the southern scotian shelf J. north west Atl.Fish.Sci.4,423p.
- Feeley, R.A., R. Wanninkhof, T. Takahashi and P. Tans. 1999. Influence of El Niño on the equatorial Pacific contribution to atmospheric CO2 accumulation, Nature, 398, 597 – 600.
- Fischer, W.1958. Huevos, crías y primeras prelarvas de la "anchoveta"(*Engraulis ringens*) Jenyns.Rev.Biol.8(1,2 y 3):111-124.
- Fonseca, T. & Farías, M. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. *Investigaciones Pesqueras*, 34, 33 - 46.
- Foote, K., H. Knudsen, G. Vestnes, D. Mac Lennan and J. Simmonds. 1987. Calibration of acoustic instruments for fish density estimation: A practical guide. ICES Cooperative Research Report 144, Palaegade 2, 1261 Copenhagen K, Denmark.
- Francis, R. I. C. C. 1984. Variability in hidroacoustic biomass estimate (comment). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 825-826.



- Franks, P.** 1992. Sink or swim: Accumulation of biomass at fronts. *Marine Ecology Progress Series.*, 82, 1-12.
- Frontier, S.** 1966. Zooplancton de la región de Nosy-Bé I (Programa des recortes et techniques d'étude. II). Plancton de surface aux stations 5 et 10. *Cah Orstom (océanogr.)*, 4(3):3-37.
- Glantz, Stanton A., Slinker, & Bryan K.** 1990. *Primer of Applied Regression and Analysis of Variance*, McGraw Hill International Edition. 777 p.
- 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.
- Greenwood, P., D. Rosem, S. Weitzman y G. Myers.** 1966. Phyletic studies of teleosteam fishes, with a provisional classification of living forms. *An. Mus. Nat. Hist.*, Bull 131(4):341-455.
- Guzmán, O., J. Castillo, S. Lillo, P. Pineda, L. Rodríguez e Y. Giakoni.** 1983. Estudio de recursos Pelágicos. Programa Monitoreo de los recursos Pelágicos 1. Prospección zona Arica-Coquimbo
- Hannachi, A.** 2004. *A Primer for EOF Análisis of Climate Data*. Department of Meteorology, University of Reading, U.K. 33 pp.
- Hastie, T. J. and Tibshirani, R.J.** 1990. *Generalized Additive Models*, Chapman & Hall, London.
- Hormazábal, S., G. Shaffer, J. Letelier & O. Ulloa.** 2001. Local and remote forcing of sea surface temperature in coastal upwelling system off Chile. *Journal of Geophysical Research*. 106(C8): 16657-16671.



- Hormazábal S., S. Núñez, D. Arcos, F. Gomez y G. Yuras, 2004a. Mesoscale eddies and pelagic fishery off central Chile (33-40°S). *Gayana* (Concepc.), 2004, vol. 68, N°2, suppl, p.291-296. ISSN 0717-6538.
- Hormazabal S., G. Shaffer, O. Pizarro & M. Ramos. 2004b. Interannual modulation of seasonal-scale variability in Alongshore flow off Chile. Draft submitted to *Geophysical Research Letter*.
- Hormazábal S., S. Núñez, D. Arcos, F. Gomez y G. Yuras, 2006. Mesoscale eddies and jack mackerel (*Trachurus murphyi*) distribution in the eastern South Pacific. Draft submitted to *Fisheries Oceanography* (2006).
- Iriarte J.L., G. Pizarro, V. Troncoso y M. Sobrazo. 2000. Primary production and biomass of size fractionated phytoplankton off Antofagasta, Chile (23°-24° S) during pre-El Niño and El Niño 1997. *Journal of Marine Systems* 26: 37-51.
- Jacob, B. 2002. Variabilidad espacio temporal de las condiciones oceanográficas físicas y biológicas asociadas a la anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile, durante los períodos pre El Niño (1995-96) y El Niño (1997-98). Tesis para optar al título de Ingeniero de Ejecución en Pesca y Acuicultura. Univ. del Mar.
- Jeffrey, S. W., R. F. C. Mantoura y S. W. Wright. 1997. Phytoplankton pigments in oceanography: methods. *Monographs on Oceanographic Methodology*. SCOR and UNESCO
- Jurecková J. & J. Pícek, 2006. *Robust Statistical Methods with R*. Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, Florida, 2006.



- Lalli, C., and T. Parsons.** 1993. *Biological Oceanography: An Introduction*, 301 pp., Pergamon Press.
- Lillo, S., J. Córdova and A. Paillamán.** 1996. Target strength measurements of hake and jack mackerel. *ICES. J. of Mar. Sci.* 53: 267-271.
- 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.
- Mamayev, O.I.** 1975. Water masses of the South East Pacific Ocean. En: R.Frase, (ed.) *Oceanography of the South Pacific, 1972. Papers presented at the International Symposium on the Oceanography of the South Pacific, Wellington, New Zealand, 9-12 February 1972.* Wellington, New Zealand National Commission for UNESCO, pp, 71-99.
- Mann, K.H., and J.R.N. Lazier.** 2006. *Dynamics of marine ecosystem: Biological-Physical interactions in the oceans*, 394 pp., Blackwell Science Ltd, Massachusetts, USA., 1996.
- Marin, V., Escribano, R., Delgado, L., Olivares, G. & Hidalgo, P.** 2001. Nearshore circulation in a coastal upwelling site off the Northern Humboldt current system. *Continental Shelf Research*, 21, 1317-1329.
- Marin, V., L. Delgado & R. Escribano.** 2003. Upwelling shadows at Mejillones Bay (northern Chilean coast): a remote sensing in situ analysis. *Investigaciones Marinas.* 31(2): 47-55.



- Martínez, C., G. Böhm, L. Caballero, E. Díaz, A. Aranís, F. Espíndola, F. Cerna, C. Machuca, V. Bocic, L. Muñoz, R. Aravena, M. Ayala, H. Reyes, C. Vera y Z. Young. 2006.** Programa de Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Informe Final Proyecto Investigación Situación Pesquería Pelágica Zona Norte, 2005. Instituto Fomento Pesquero, 171pp + 9 Anexos.
- Martínez, C., G. Böhm, E. Díaz, F. Cerna, M. Ayala, R. Aravena, H. Reyes, M. Troncoso, V. Bocic, C. Machuca & L. Muñoz. 2007.** Programa: Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Proyecto: Investigación de la Situación de la Pesquería Pelágica de la Zona Norte, 2006. Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile.
- Matarese, A.C., A.W. Kendall, Jr., D.M. Blood and B.M. Vinter. 1989.** Laboratory guide to early life history stages of northeast Pacific fishes. NOAA Technical Report NMFS80.
- McCullagh, P. and Nelder, J.A. 1989.** Generalized Linear Models (2nd Edition), Chapman & Hall, London.
- McGillicuddy, JR., D. J., D. A. Siegel, H. W. Jannasch, R. Johnson, T. D. Dickey, J. McNeil, A. F. Michaels and A. H. Knap. 1998.** Influence of mesoscale eddies on new production in the Sargasso Sea. *Nature*. 394: 263-266.
- Microimages. 1997.** TNTmips The Map & Image Processing System 5.8, User's Guide and Technical References. MicroImages, Inc, Nebraska, USA.
- Millero, F. and A. Poisson 1981.** International one atmosphere equation of state of seawater. *Deep Sea Res.*, 28A, 625-629.



- Morales, C., Blanco, J.L., Braun, M., Reyes, H. & Silva, N. (1996a)** Chlorophyll-a distribution & associated oceanographic conditions in the upwelling region off northern Chile during the winter & spring 1993. *Deep Sea Research I*, 43, 267-289.
- Morales, C.E., Braun, M., Reyes, H., Blanco, J.L. & Davies, A.G. (1996b)** Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: the effect of low dissolved oxygen concentrations & of a cold-warm sequence (1990-95). *Investigaciones Marinas*, 24, 77-96.
- Morales, C.E., Hormazabal, S.E., Blanco, J.L., 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.
- Morales, C.; J. L. Blanco; M. Braun; and N. Silva. 2001.** Chlorophyll-a distribution and mesoscale physical processes in upwelling and adjacent oceanic zone off northern Chile (summer-autumn 1994). *J. Mar. Biol. Ass. U. K.* Vol. 81, 193-206.
- Moser, H.G. and E.H. Ahlstrom.1970.** Development of lantern fishes family Myctophidae) in the California Current. Part I: Species with Narrow-eyed larvae.*Bull.Los Ang.Cty.Mus.Nat. Hist. Sci.*7:1-145.
- Neter J., W. Wasserman & M. Kutner. 1990.** Applied Linear Statistical Models. 3rd ed. R. D. IRWIN, INC. 1181 p.
- 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.

Olivar, M. P. and J.M.Fortuño.1991.Guide to Ichthyoplankton of the southeast Atlantic (Benguela Current Region) *SCI. Mar.*, 55(1):1-383.

Orellana, M.C. y F.Balbontín.1983.Estudio comparativo de las larvas de clupeiformes de la costa de Chile. *Rev.Biol.Mar.*, Valparaíso, 19(1):1-46.

Parsons, T.R, Y. Maita y C.M. Lalli. 1984. A manual of chemical and biological

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

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

Pérez, R.1978. Identificación de huevos y larvas planctónicas de peces de la bahía de Valparaíso, Informe de Práctica Profesional para optar al título de Técnico Marino. Universidad Católica de Chile. Sede regional Talcahuano, 238 pp.

Pizarro, O., S. Hormazabal, A. Gonzalez y E. Yañez. 1994. Variabilidad del viento, nivel de mar y temperatura en la costa norte de Chile. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 22:85-101.

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



- Pizarro, O.** 1999. Low frequency fluctuations in the eastern boundary current off south America: Remote & local forcing., *Department of Oceanography* (p. 36). Göteborg, Sweden: Earth Sciences Centre.
- Polovina J.J. & E.A. Howell.** 2005. Ecosystem indicators derived from satellite remotely sensed oceanographic data for the North Pacific. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 319-327.
- Polovina, J., E. Howell, D. R. Kobayashi & M. P. Seki.** 2001. The transition zone chlorophyll front, a dynamic global feature defining migration and forage habitat for marine resources. *Progress in Oceanography*. 49: 469-483.
- Postel, L., H. Fock and W. Hagen.** 2000. Biomass and abundance. In: *Zooplankton methodology manual*. Ed: R.P Harris, P.H. Wiebe, J.Lenz, H.R. Skjoldal and M. Huntley. ICES.
- Reddy, R., V. Lyne, R. Gay, A. Easton y S. Clarke.** 1995. An application of satellite-derived sea surface temperatures to southern bluefin tuna and albacore off Tasmania, Australia. *Sci. Mar.*, 59 (3-4): 445-454.
- Reyes, H.** 2004. Variación espacio-temporal de las masas de agua Subtropical, Subantártica y Ecuatorial Subsuperficial en la zona norte de Chile (18°15'S-24°00'S) en el período 1980 – 2001. Tesis para optar al título de oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso, 114 pp.
- Reynolds, R.** 1982. A monthly averaged climatology of Sea Surface Temperature. Techival Report NNS-31, National Metereological Center, NOAA, Silver Springs, Md.



- Rhines, P. 2001. Mesoscale Ocean Eddies. Resumen of :Encyclopedia of Ocean Sciences. Academic Press (2001). Teaching Notes.
- Robinson, A.R. 1983. Eddies in Marine Science. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Rojas, O. Y A. Mujica. 1981. Delimitación de las áreas de desove, prereclutamiento y estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces pelágicos de importancia económica. Santiago, Chile, IFOP:82p.
- Rojas, O., A. Mujica, M. Labra, G. Ledermann y H. Miles.1983. Estimación de la abundancia relativa de huevos y larvas de peces. AP83/31. Santiago, Chile, IFOP-80p.
- Rojas, R. y N. Silva. 1996. Atlas Oceanográfico de Chile. (18°21'S – 50°00'S). Volumen I. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada. 234 pag.
- Sameoto, D., P. Wiebe, J. Runge, L. Postel, J. Dunn, C. Miller and S. Coombs. 2000. Collecting Zooplankton. En: ICES. Zooplankton Methodology Manual. 55-81 pp.
- Sakamoto, Y., Ishiguro, M., and Kitagawa G., 1986. Akaike Information Criterion Statistics. D. Reidel Publishing Company.
- Santander, H. y O.S. de Castillo.1972. Desarrollo y distribución de huevos y larvas de "jurel" *Trachurus symmetricus murphyi* (Nichols) en la costa peruana. Inf.Inst.Man. Perú-Callao (36):1-22.
- Santander, H.,J.Alheit y P.E.Smith.1984. Estimación de la biomasa de la población desovante de Anchoveta Peruana *Engraulis ringens*, 1981 por aplicación del "Método de Producción de Huevos".mimeo.



SERNAPESCA, 2004. Anuario Estadístico.

Shaffer, G., Hormazabal, S., Pizarro, O. & Salinas, S. 1999. Seasonal & interannual variability of currents & temperature off central Chile. *Journal of Geophysical Research*, 104, 29951-29961.

Shotton, R. y G. P. Bazigos. 1984. Techniques and considerations in the design of acoustic survey. *Rapp. P. V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer.* 184: 34-57.

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.

Silva, C., E. Yañez. M. A. Barbieri y K. Nieto. 2003. Asociaciones entre la pesquería de pequeños pelágicos, la clorofila *a* y la temperatura superficial del mar en la zona norte de Chile. *In: Actividad pesquera y de acuicultura en Chile*. Valparaíso, 157-162.

Simmonds, E. J., N. Williamson, F. Gerlotto and A. Aglen. 1991. Survey desing and analysis procedures: a comprehensive review ogf good practice. ICES C.M. 1991, 113 p (figures).

Sinclair, M. y M.J. Tremblay. 1984. Timing of spawning of Atlanctic herring *Clupea harengus* populations and the match-mismatch theory. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41: 1005-1065.

Sinclair, M., M.J. Tremblay y P. Bernal. 1985. El Niño events and variability in a Pacific mackerel (*Scomber japonicus*) survival index: support for Hjort's second hypothesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42:602-608.



- Smith, P. E., R. C. Counts and R. I. Clutter.** 1968. Changes in filtering efficiency of plankton nets due to clogging under tow. *J. Ciens. CIEM*, 32(2):232-48.
- Smith, P.E. y S.L. Richardson.** 1979. Técnicas modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. *FAO. Doc. Téc. Pesca* (175):107 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.
- Stefansson, G.** 1996. Analysis of groundfish survey abundance data: combining the GLM and delta approaches. *ICES. Journ. of Mar. Sci.* 53(3). pp. 577-588 (12).
- Strub, P., P. Kosro y A. Huyer.** 1991. The nature of the filaments in the California Current System. *J. Geophys. Res.*, 96: 14743 – 14768.
- Strub, T., J. Mesias, V. Montecinos, J. Rutllant y S. Salinas.** 1998. Coastal Ocean Circulation off western South America. En: *The Sea*, vol II, cap 10. A. Robinson and Kenneth H. Brink Editores. John Wiley & Sons. Inc., New York. 273-313pp.11A
- Thomas, A., P. T. Strub, M. E. Carr, and y R. Weatherbee.** 2004. Comparisons of chlorophyll variability between the four major global eastern boundary currents. *International Journal of Remote Sensing*. 25(7-8): 1443-1447.
- Tomczak, M. & Godfrey, J.S** 1994. *Regional Oceanography: An introduction*. London: Pergamon Press.



- Ulloa, O.,** Escribano, R., Hormazabal, S., Quinonez, R., Gonzalez, R. 2001. Evolution and biological effects of the 1997-98 El Niño in northern Chile. *Geophysical Research Letters*. 28: 1591-1594.
- UNESCO** 1968. Zooplankton sampling. Monographs on oceanographics methodology 2. Geneve. 174 p.
- UNESCO**, 1981a. The practical salinity scale 1978 and the international Equation of State of Seawater 1980. UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci., N°36.
- UNESCO**, 1981b. Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978. UNESCO Tech. Papers in Mar. Sci., N°37.
- UNESCO**, 1981c. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater. Unesco Tech. Papers in Mar. Sci. N°38.
- Uz BM, Yoder JA, Osychny V.** 2001. Pumping of nutrients to ocean surface waters by the action of propagating planetary waves. *Nature* 409:597–600
- Venegas, S.A.** 2001. Statistical Methods for Signal Detection in Climate. Danish Center for Herat System Science (DCESS), Niels Bohr Institute for Astronomy, Physics and Geophysics, University of Copenhagen, Denmark. 96 pp.
- Venrick, E.** 1978. Systematic sampling in a planktonic ecosystem. *Fishery Bulletin*. 76(3): 617 – 627.
- Yang, H., Zhang, Q., Zhong, Y., Vavrus, S. & Liu, Z.** 2005. How does extratropical warming affect ENSO? *Geophysical Research Letters*, 32, L01702, doi:01710.01029/02004GL021624.



- Yañez, E., M.A. Barbieri, A. González, O.Pizarro, M. Bravo, C.Canales & S. Salinas. 1994. Sea surface thermal structure associated to the pelagic fish resources distribution in northern Chile. In: Remote Sensing for Marine and Coastal Environments: Needs, Solutions and Applications. ERIM, USA, Vol. II, 149 -162.
- Yañez E.; V. Catasti. and M. A. Barbieri. 1997. Relationships between the small pelagic resources distribution and the sea surface temperature by NOAA satellites from Chile central. In: Proceedings of the Fourth International Conference "Remote sensing for marine and coastal environments: technology and applications". ERIM, Michigan, USA. Vol II.
- Yañez, E., M García y M.A. Barbieri. 1998. Pelagic fish stocks and environmental changes in the south-east Pacific. In: Global *versus* Local Changes in Upwelling Systems. M. Durand, P. Cury, R. Mendelssohn, C. Roy, A. Bakun y D. Pauly (Eds.), ORSTOM Editions, Paris, 275-291.
- Yañez, E., M.A. Barbieri, C. Silva, K. Nieto & F. Espíndola. 2001. Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. Progress in Oceanography 49,581-596.
- Yañez, E., M. A. Barbieri & C. Silva. 2003. Fluctuaciones ambientales de baja frecuencia y pesquerías pelágicas chilenas. En: Actividad Pesquera y de Acuicultura en Chile. E. Yañez (ed.), Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 109-121.
- Yañez, E., C. Silva, A. Órdenes, 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.



Yuras, G., O. Ulloa, & S. Hormazábal. 2005. On the annual cycle of coastal and open ocean satellite chlorophyll off Chile (18° - 40° S). *Geophysical Research Letters*, 32, 1029-1033.

Zar, J. H. 1974. "Biostatistical analysis", Ed. Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 619 p.

FIGURAS

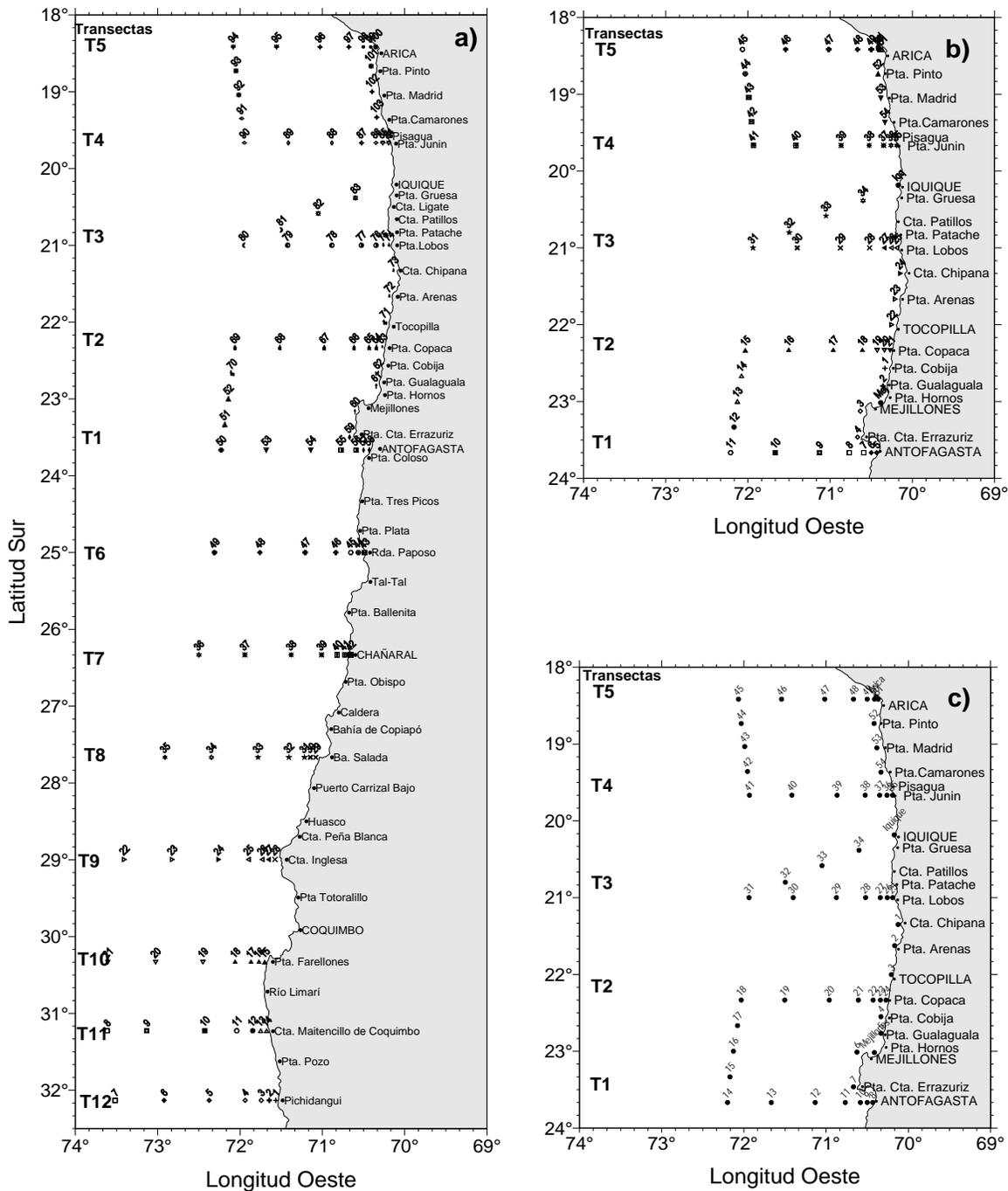


Figura 1. Posici3n de las estaciones y transectas de muestreo bio-oceanoogr3fico dispuestas en el 3rea de estudio, a) septiembre de 2006, b) diciembre de 2006 y c) marzo de 2007.

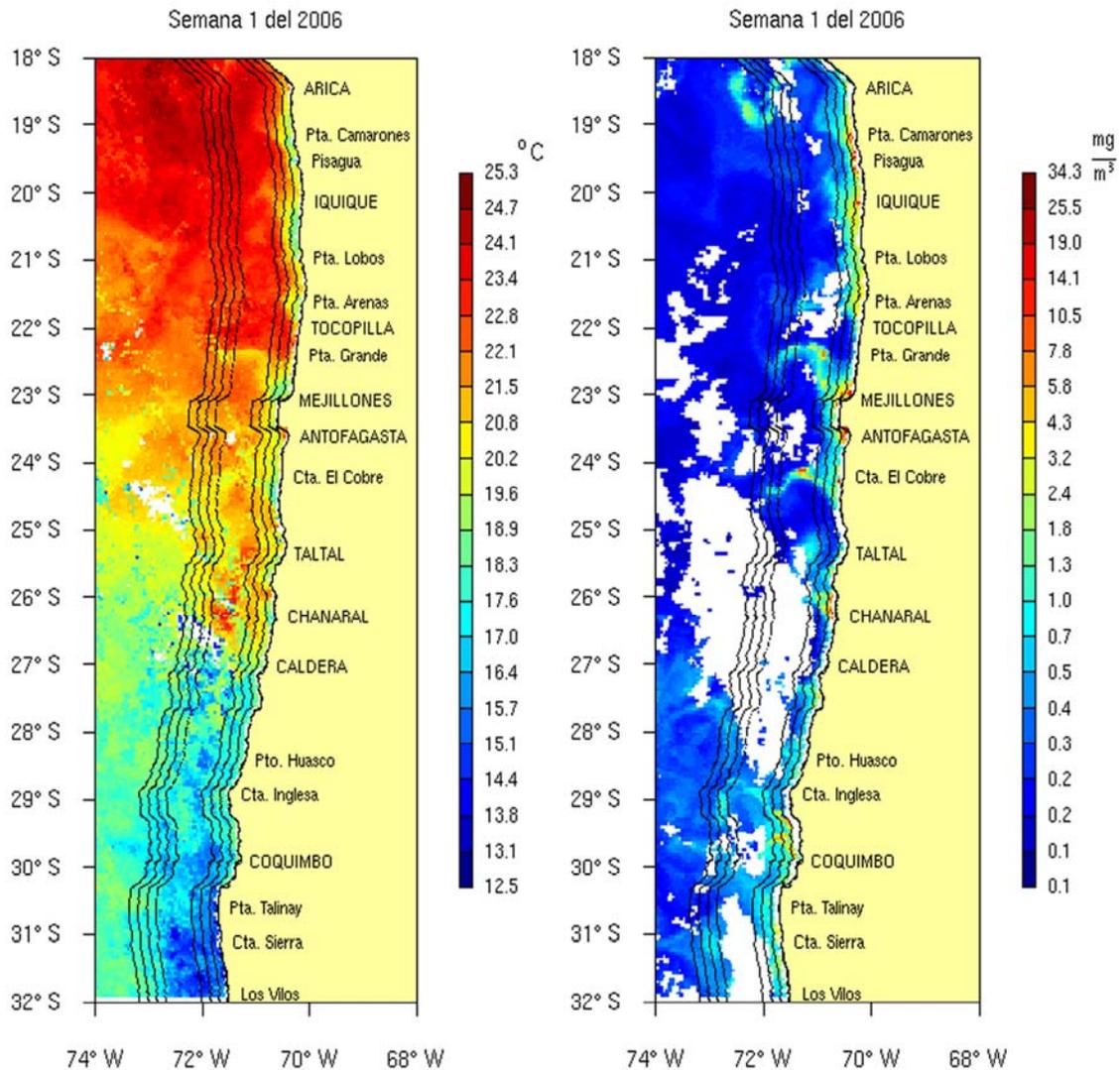


Figura 2. Promedios semanales para la TSM y la Cloa para la zona norte de Chile (18°-32°S) desde la costa hasta los 74°W. Se muestran los polígonos que definen los perfiles de 10, 20 y 30 millas náuticas para un área costera y los de 70, 80 y 90 millas náuticas para un área oceánica.

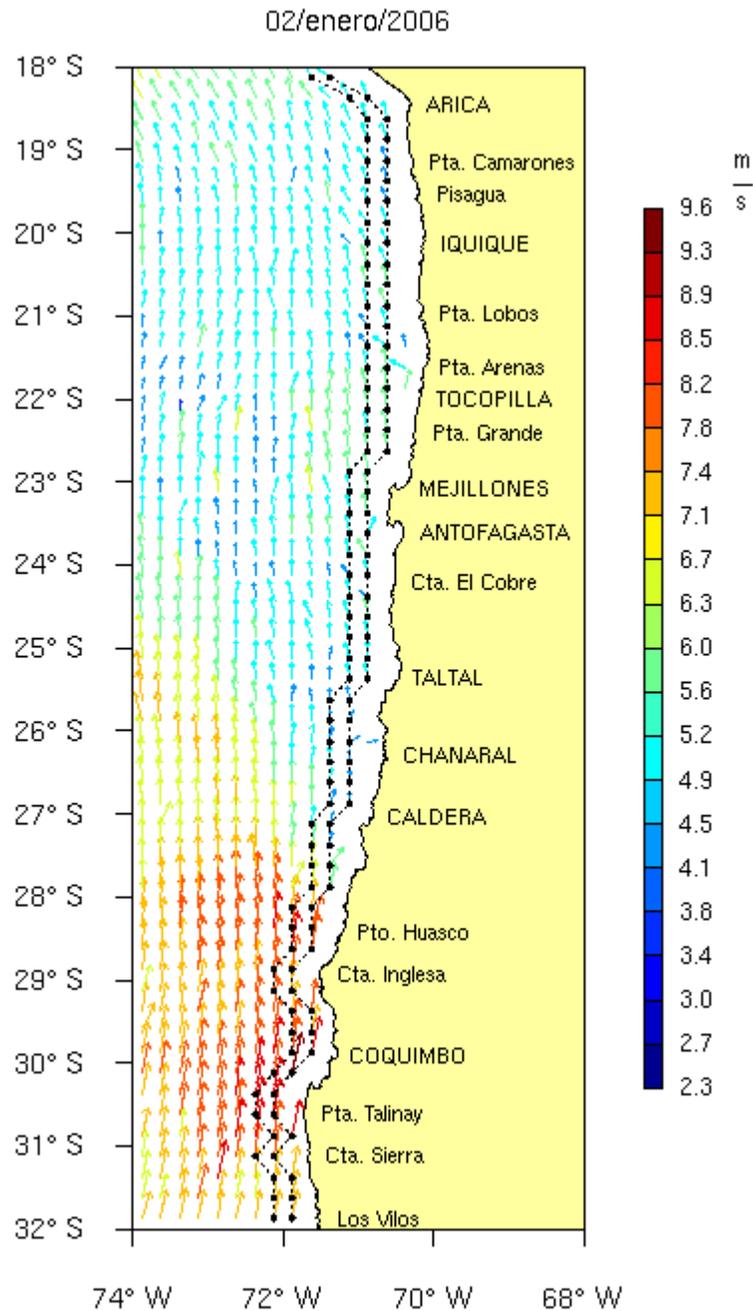


Figura 3. Perfiles de extracci3n m3s cercanos a la l3nea de costa para el campo vectorial superficial del viento sobre el oc3ano obtenidos del Jet Propulsi3n Laboratory SeaWinds Project de la NASA.

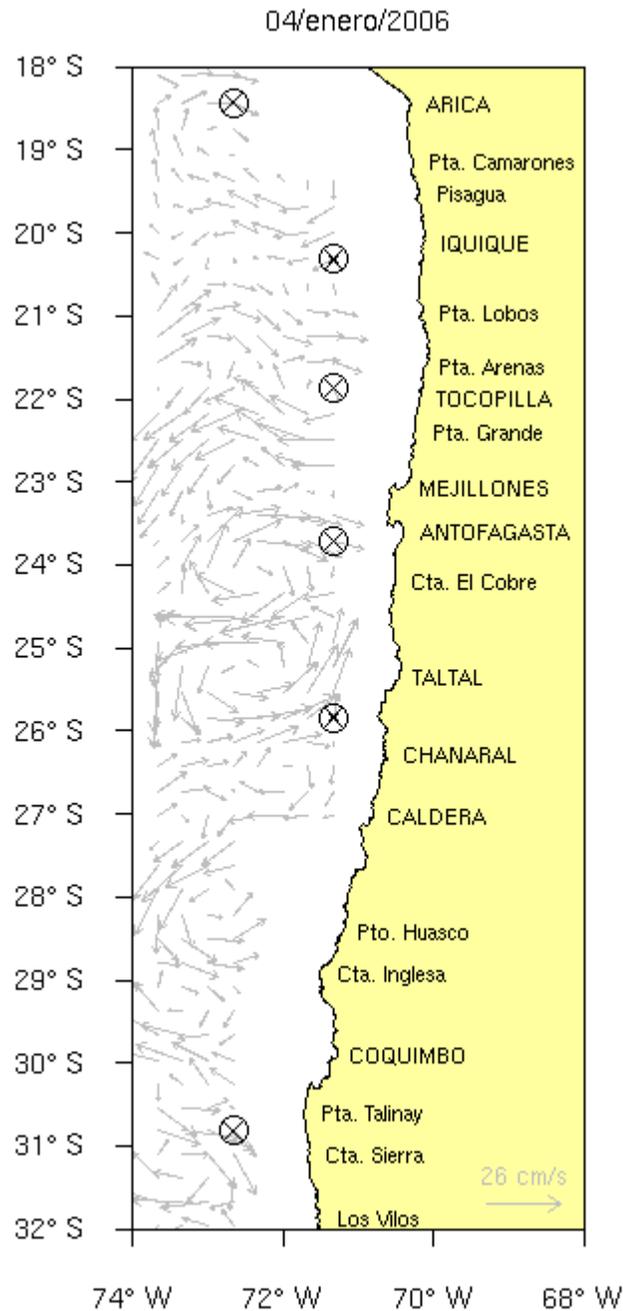


Figura 4. Estaciones de muestreo oceánicas para el campo superficial de corrientes geostróficas provenientes del centro de distribución de datos AVISO.

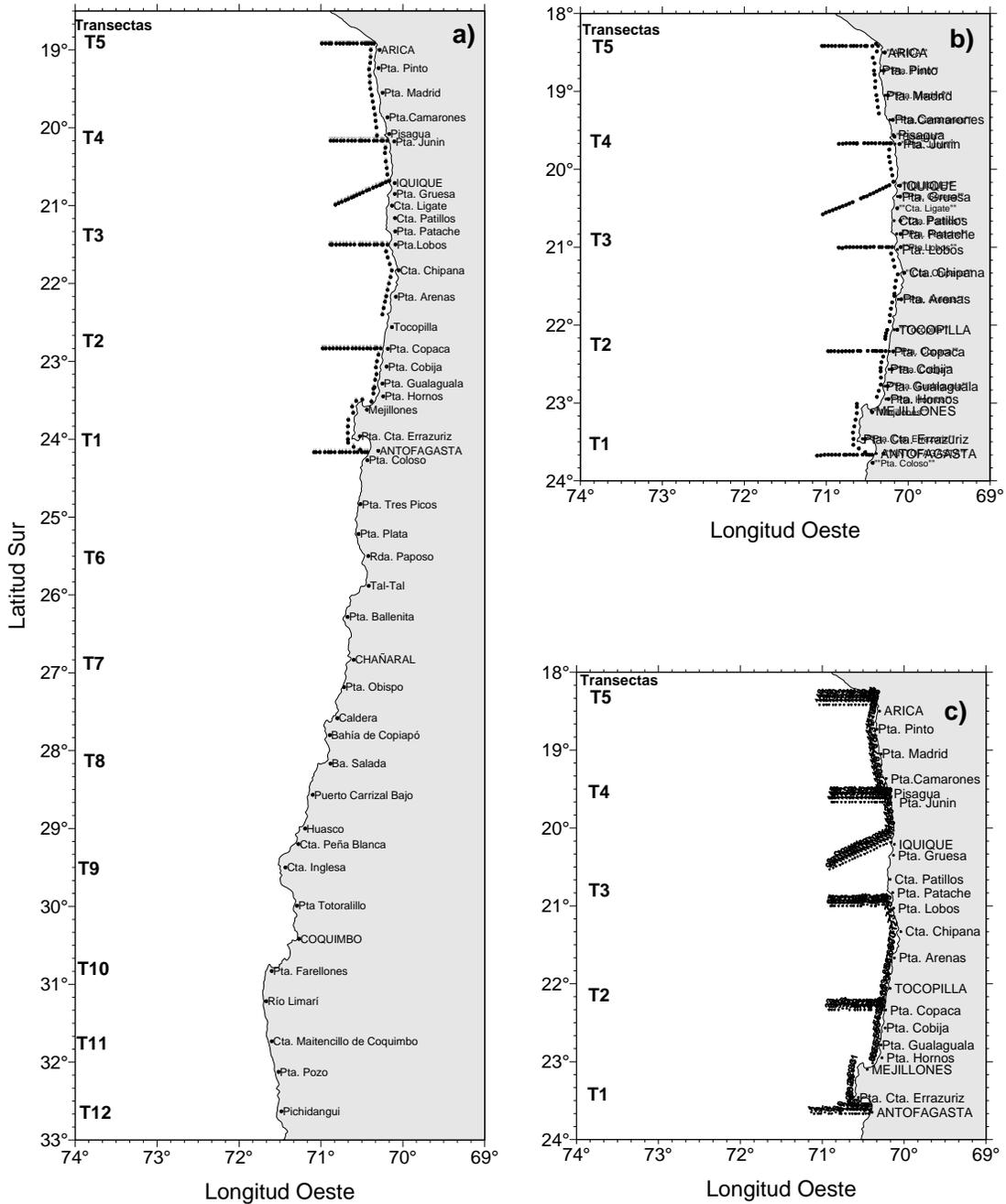
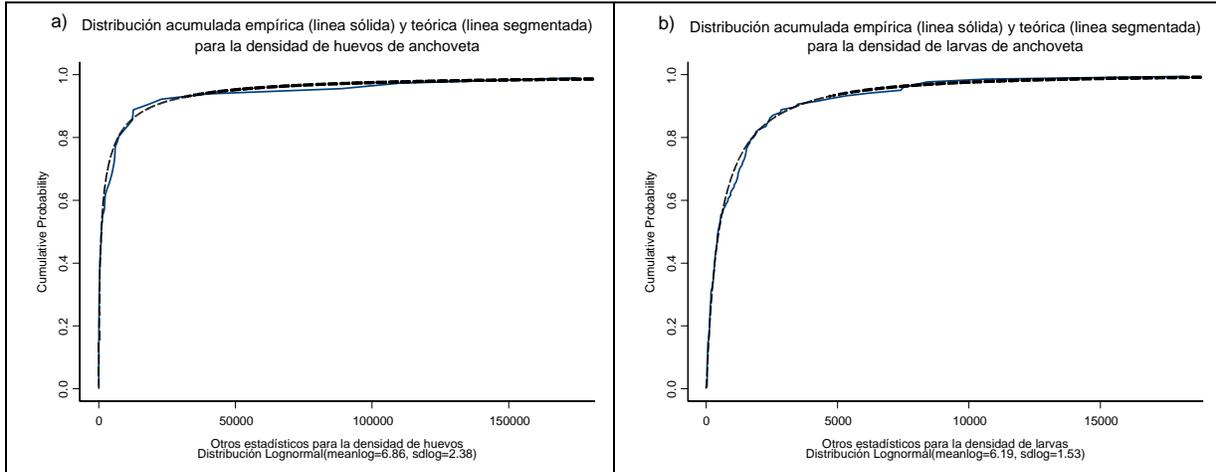


Figura 5. Posición geográfica de estaciones CUFES dispuestas en el área de estudio, a) septiembre de 2006, b) diciembre de 2006 y c) marzo de 2007.



Cruceros septiembre - diciembre 2006 y marzo 2007



Cruceros de invierno de 1993 a 2006

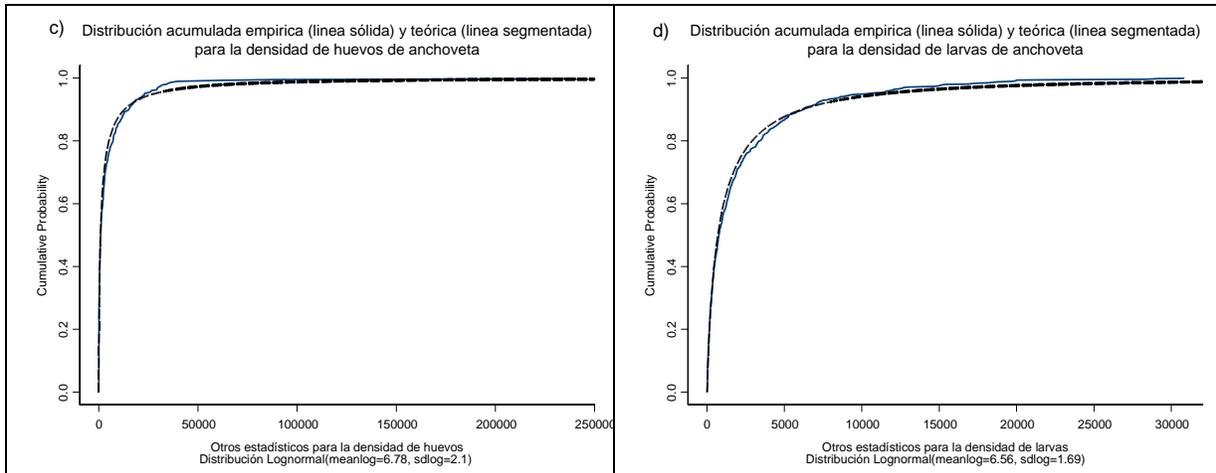


Figura 6. Funci3n de distribuci3n acumulada empírica y te3rica para la variable densidad de huevos (a - c) y larvas (b - d), para los cruceros realizados en septiembre-diciembre de 2006 y marzo 2007 y los cruceros correspondientes al periodo de invierno desde 1993 a 2006, en la I y II Regi3n.

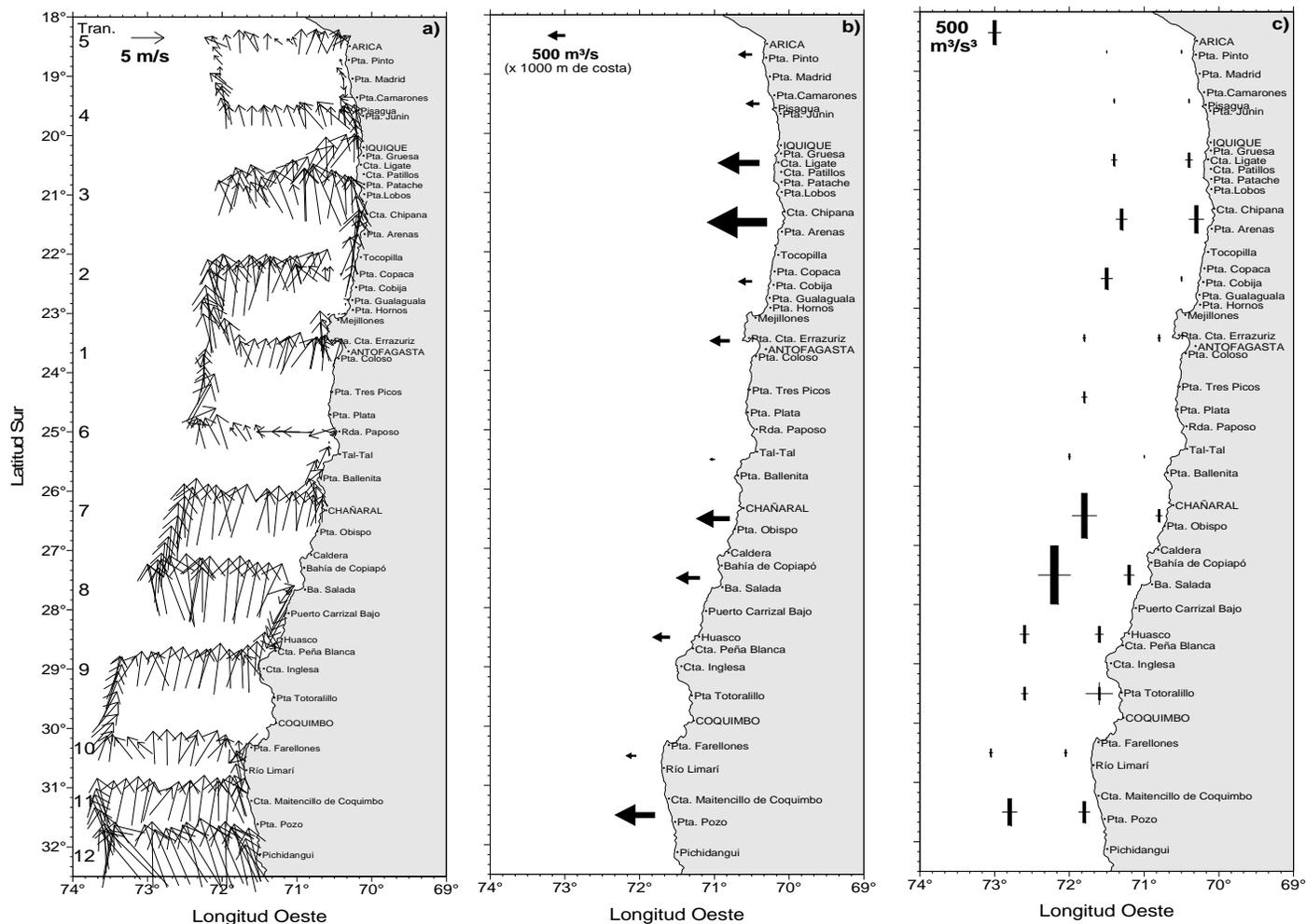


Figura 7. Cartas de a) Direcci3n e intensidad del viento (m/s) registrado cada una hora sobre el track de navegaci3n, b) promedios del Índice de Surgencia costero y c) promedios de turbulencia costero y oceánico. Los promedios se obtuvieron de mediciones del viento horario dentro de 1° de latitud en las primeras 30 mn en el caso costero y entre 30 y 100 mn en el caso oceánico. Crucero de septiembre - 2006.

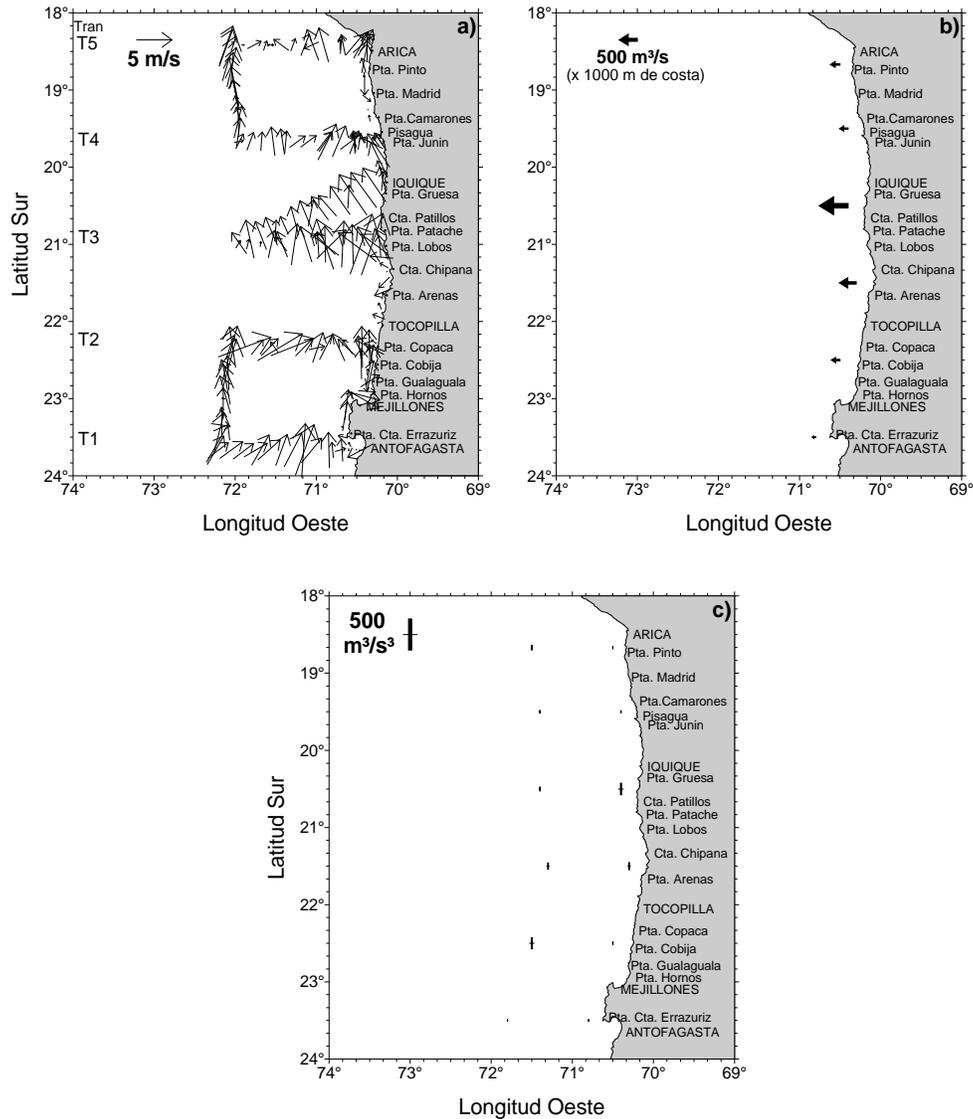


Figura 8. Cartas de a) Direcci3n e intensidad del viento (m/s) registrado cada una hora sobre el track de navegaci3n, b) promedios del Indice de Surgencia costero y c) promedios de turbulencia costero y oceánico. Los promedios se obtuvieron de mediciones de viento horario dentro de 1° de latitud en las primeras 30 mn en el caso costero y entre 30 y 100 mn en el caso oceánico. Crucero de diciembre 2006.

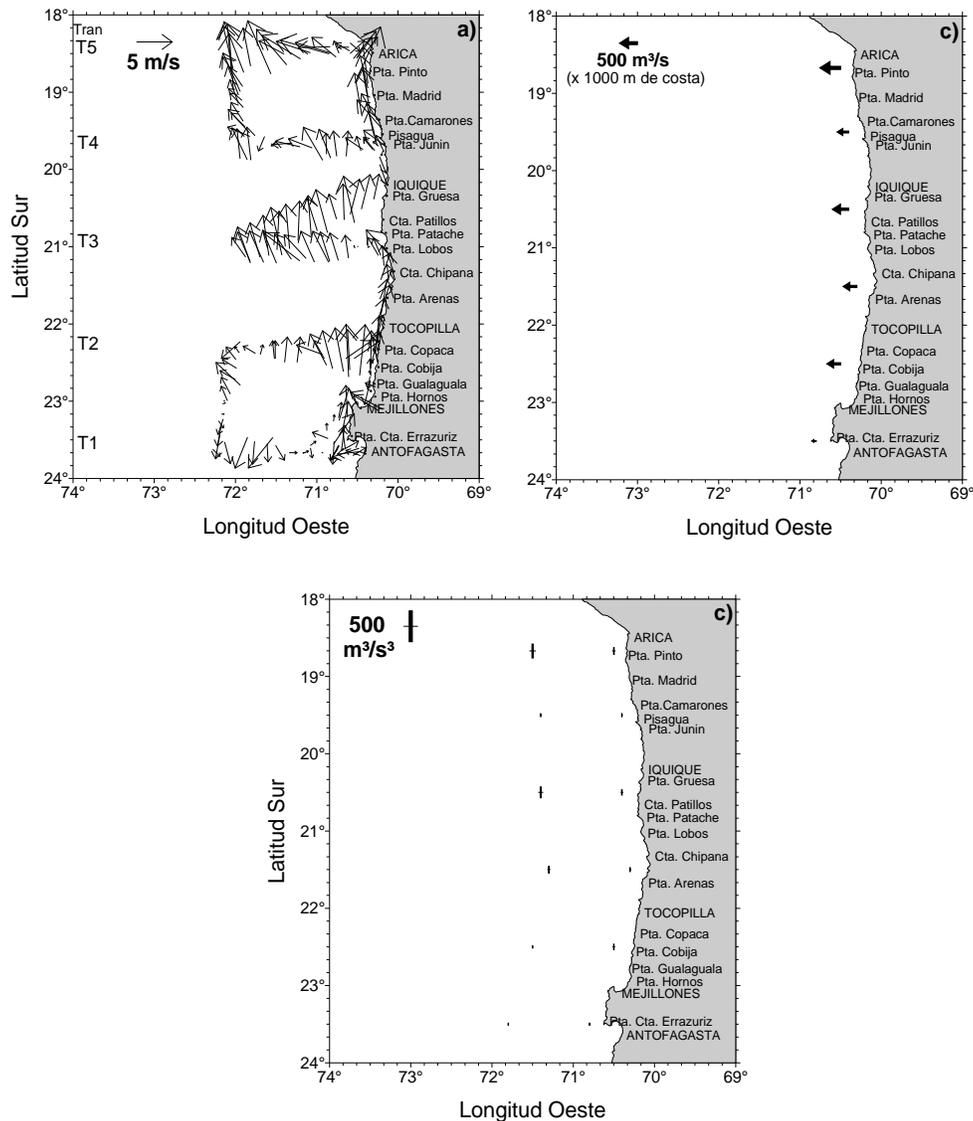


Figura 9. Cartas de a) Direcci3n e intensidad del viento (m/s) registrado cada una hora sobre el track de navegaci3n, b) promedios del Índice de Surgencia costero y c) promedios de turbulencia costero y oceánico. Los promedios se obtuvieron de mediciones de viento horario dentro de 1° de latitud en las primeras 30 mn en el caso costero y entre 30 y 100 mn en el caso oceánico. Crucero de marzo 2007.

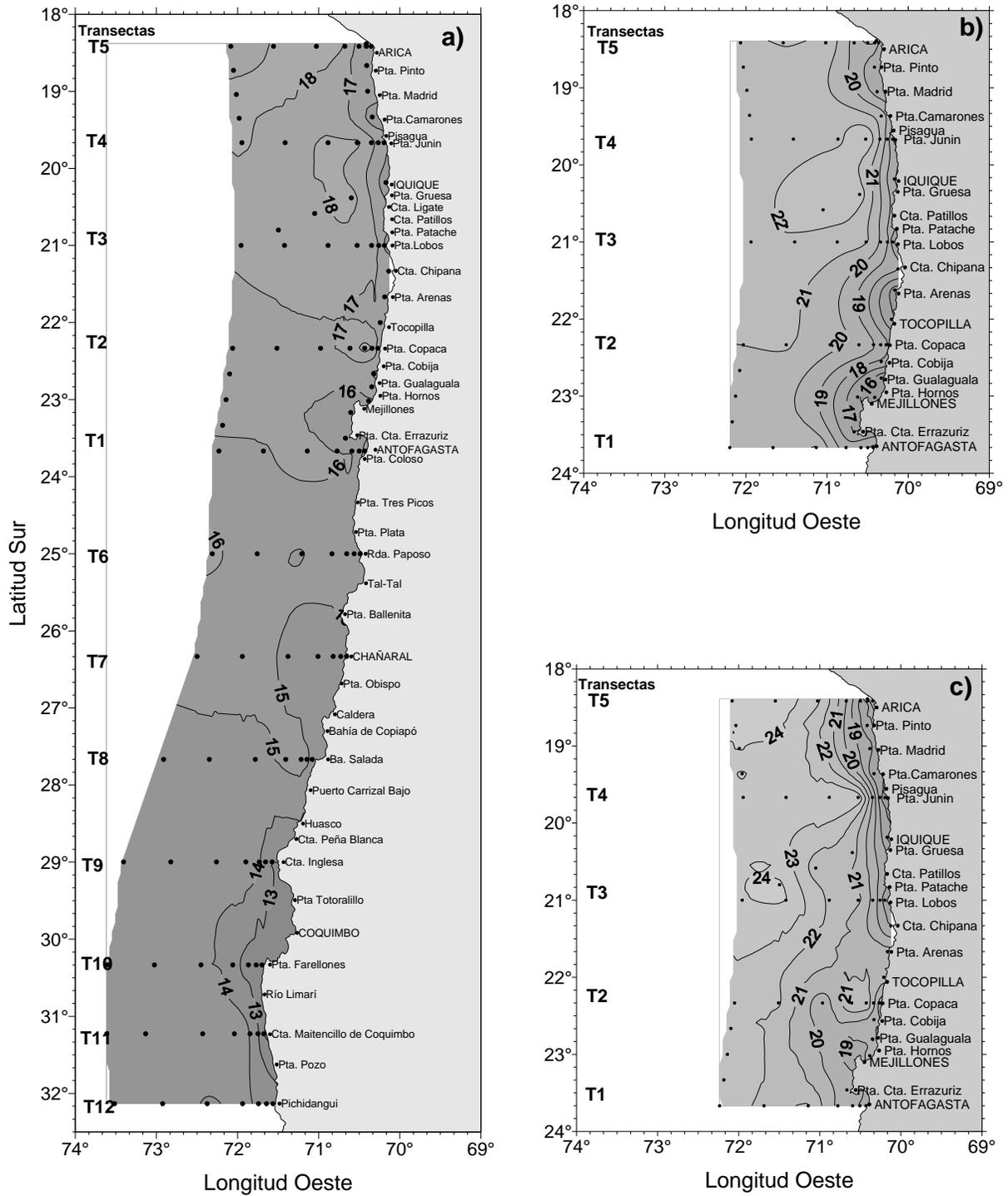


Figura 10. Distribuci3n superficial de temperatura (°C) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

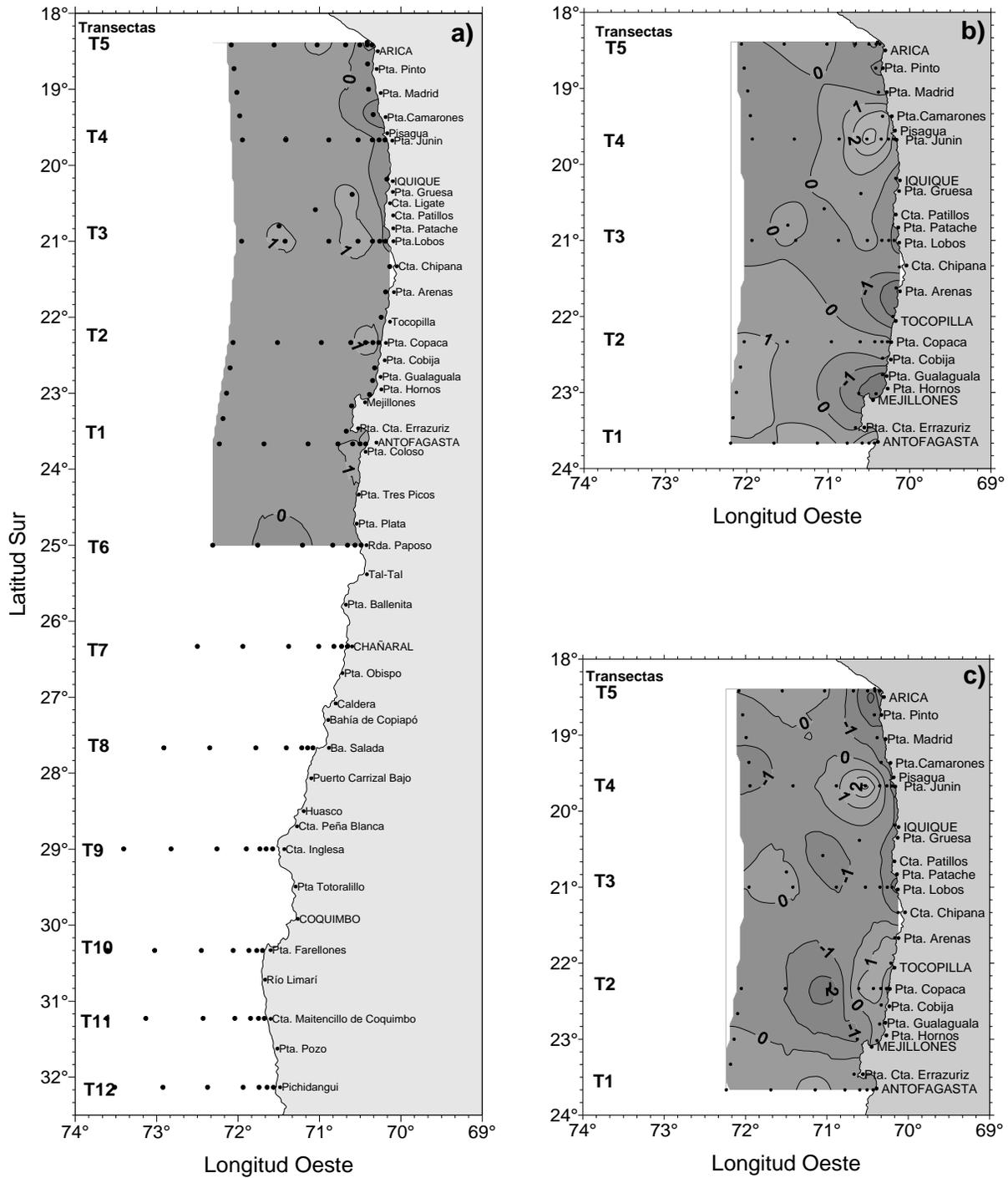


Figura 11. Distribuci3n superficial la anomalía de temperatura (°C) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

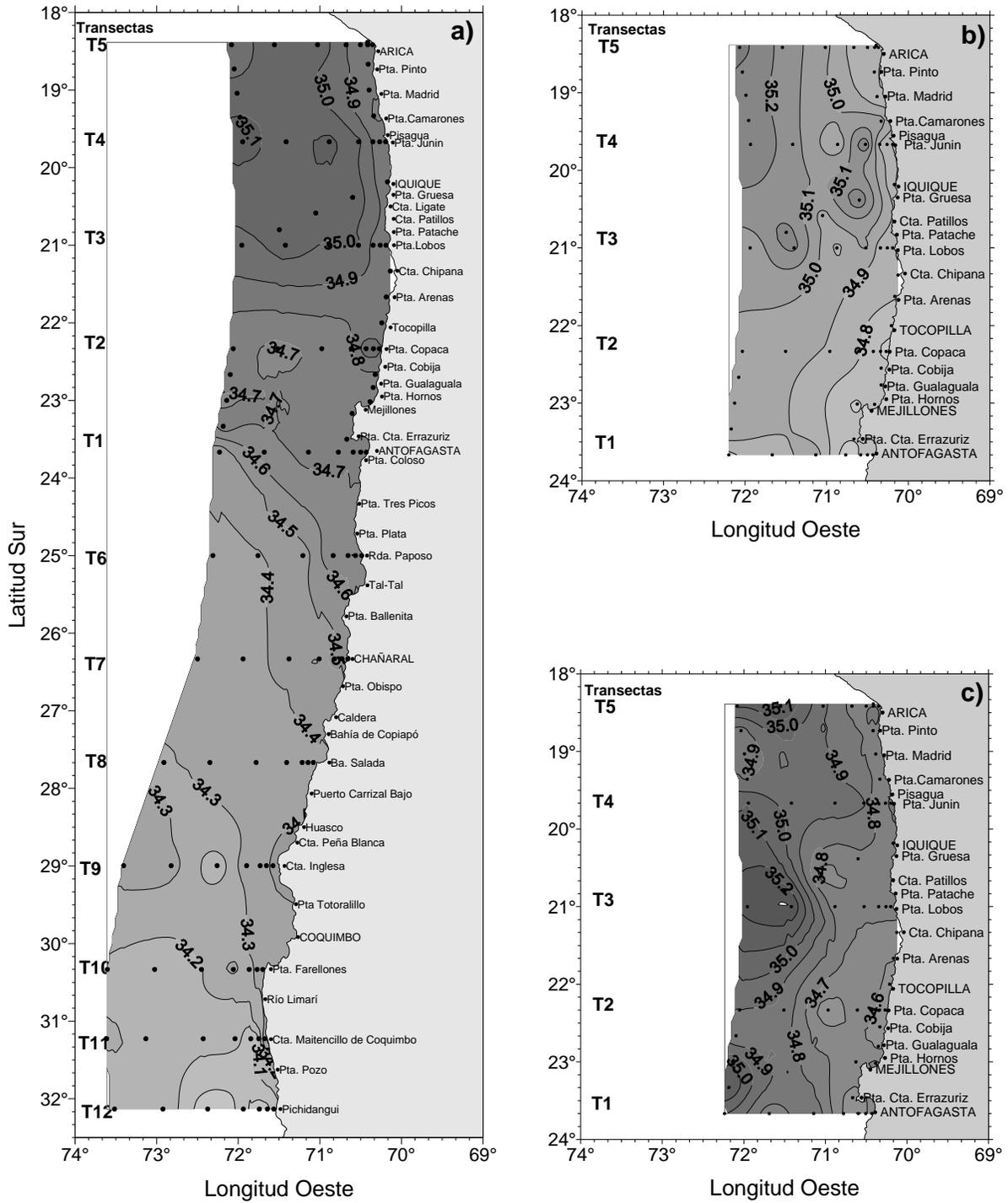


Figura 12. Distribuci3n superficial de salinidad (psu) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

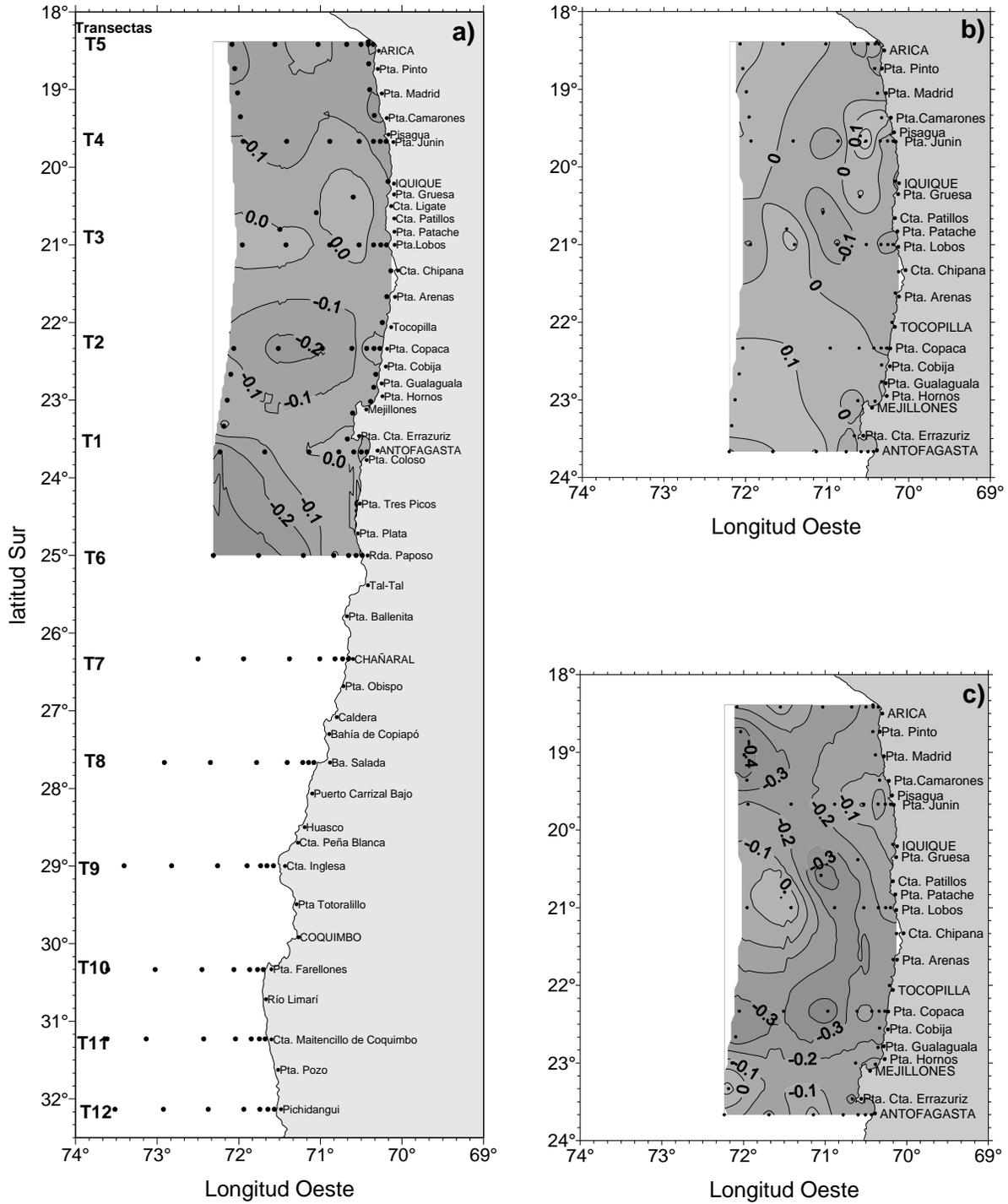


Figura 13. Distribuci3n superficial de anomalía de salinidad (psu) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

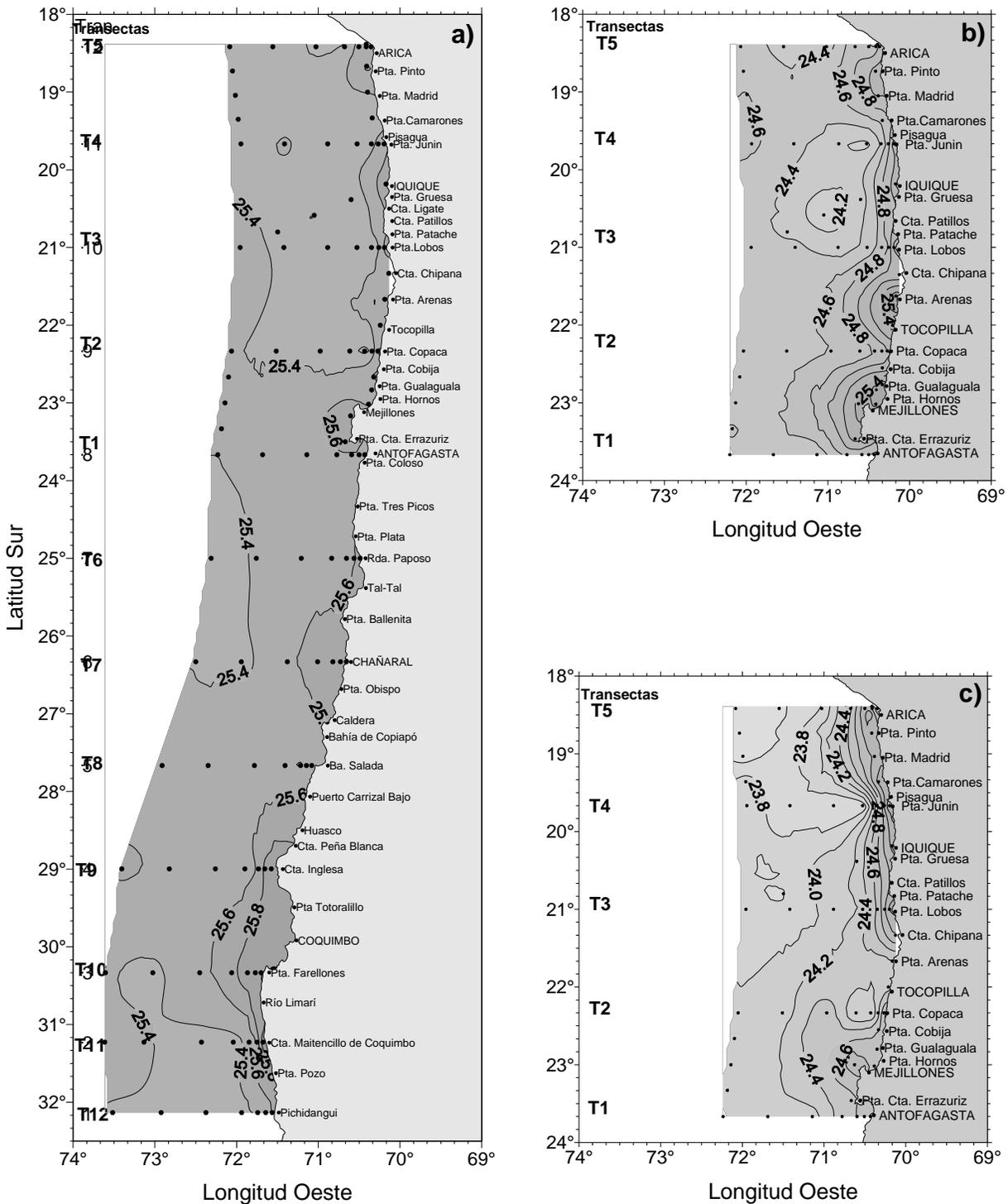


Figura 14. Distribuci3n superficial de la densidad del mar (σ_t) (kg/m³) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

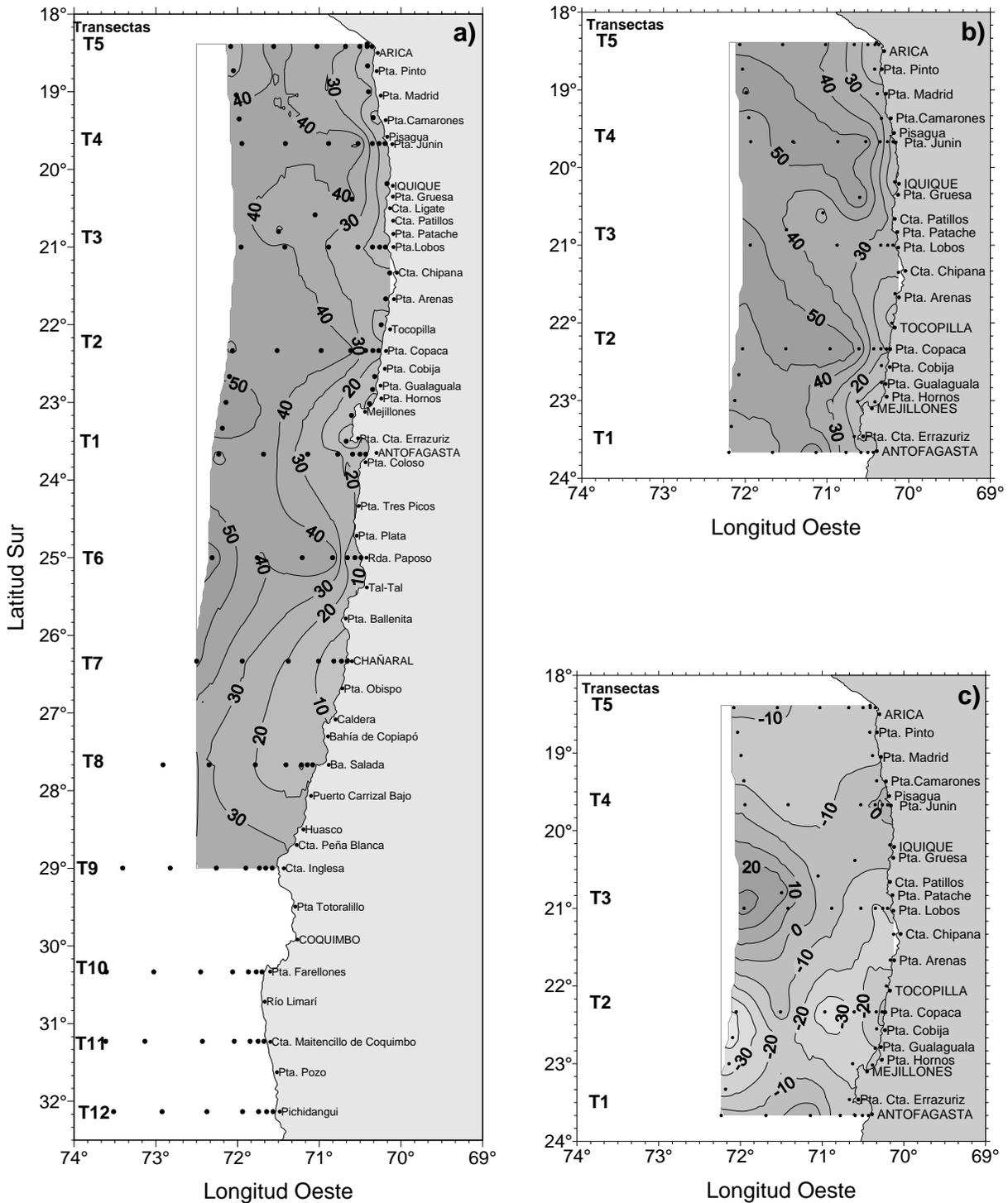


Figura 15. Profundidad de la isoterma de 15°C (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

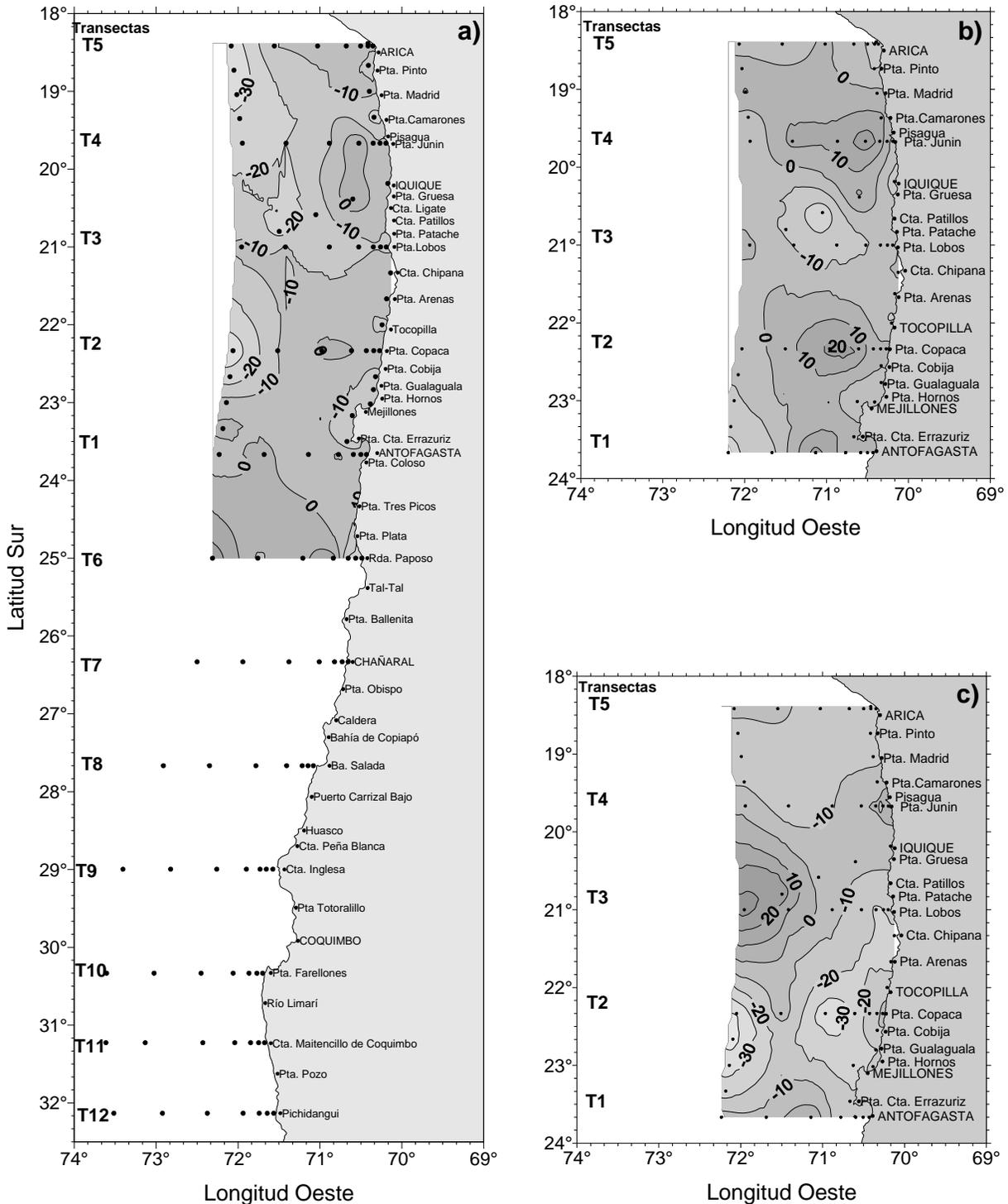


Figura 16. Anomalia de profundidad de la isoterma 15°C (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

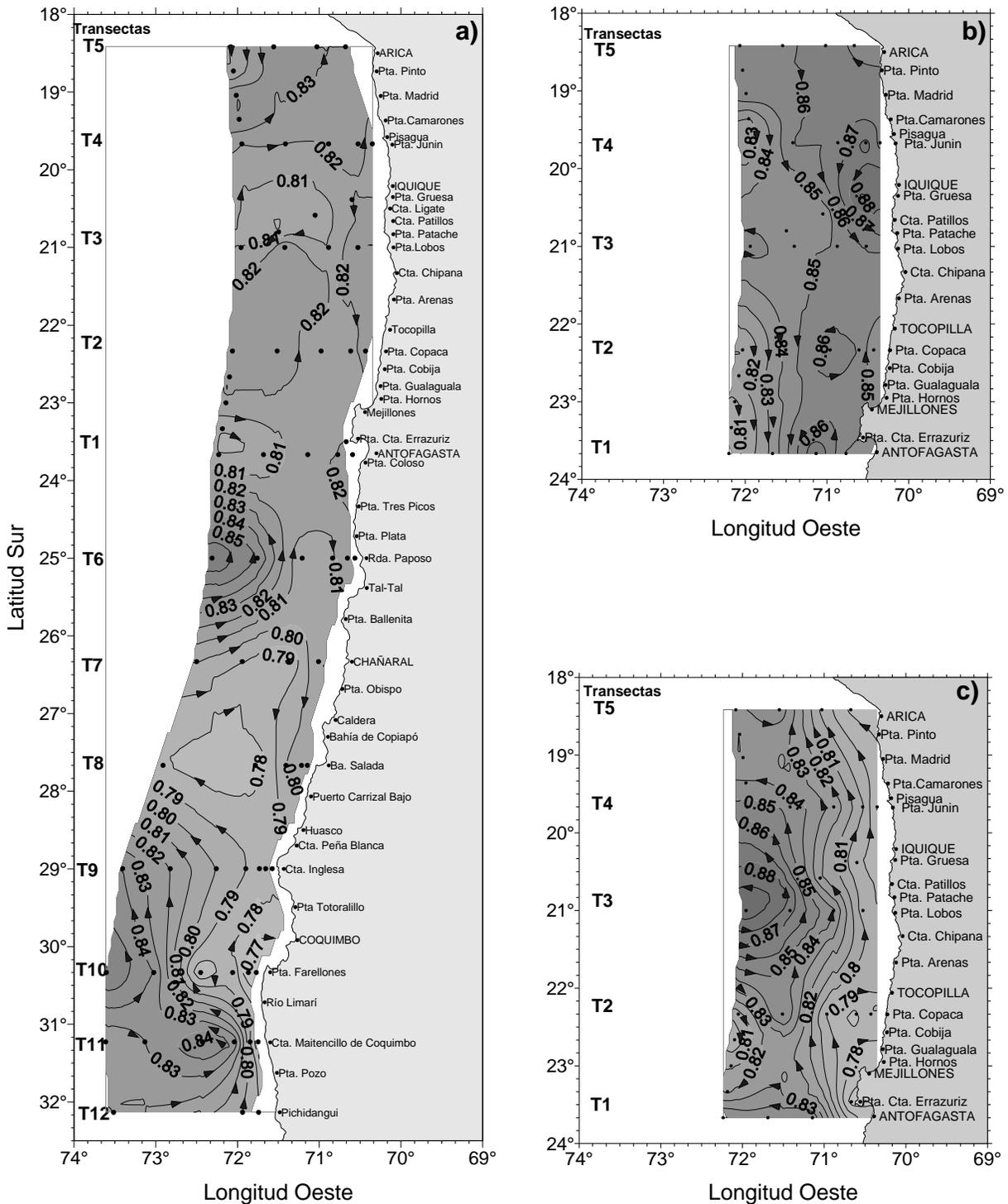


Figura 17. Anomalia geopotencial de superficie referida a 500 (db) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

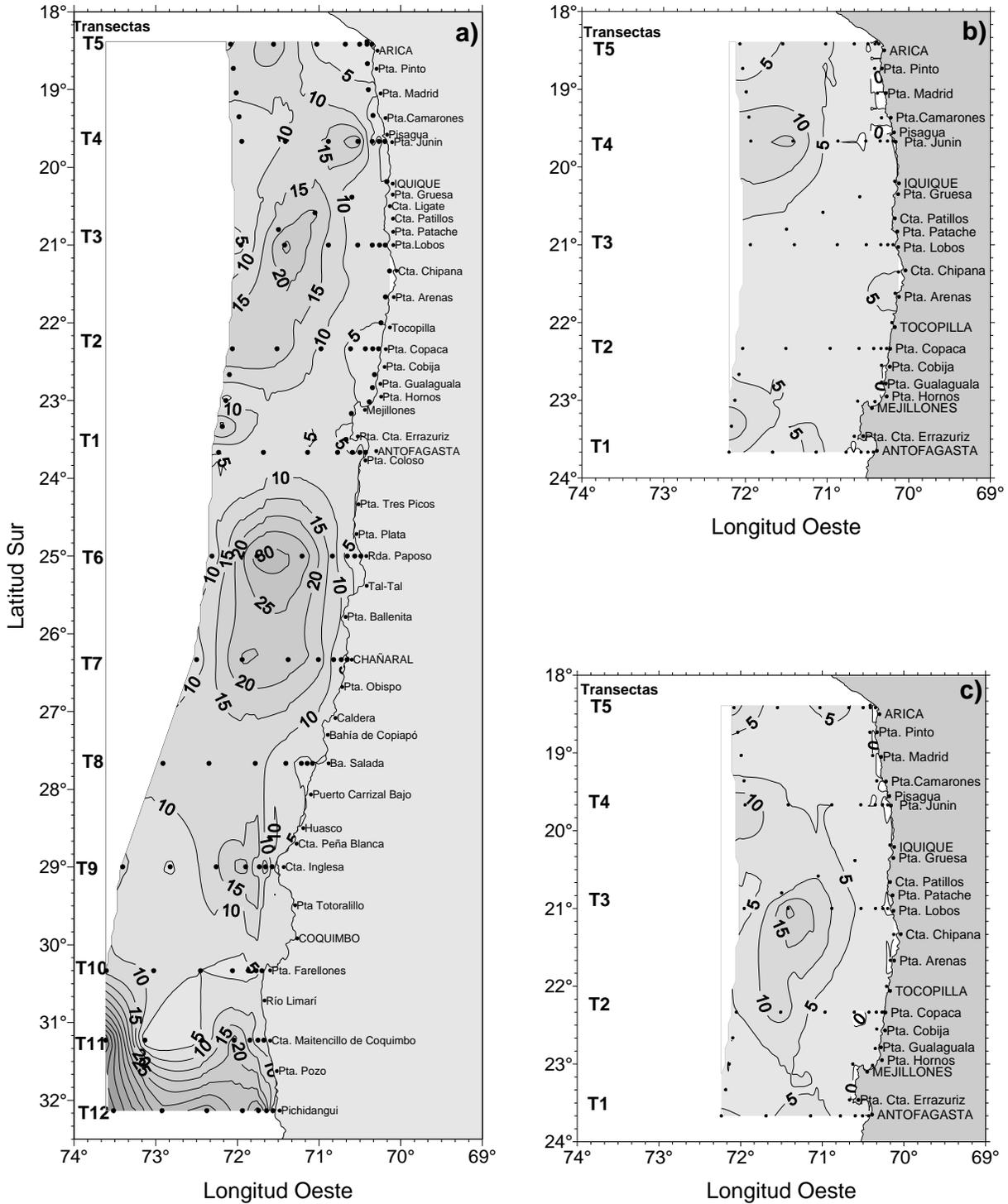


Figura 18. Espesor de la capa de mezcla (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

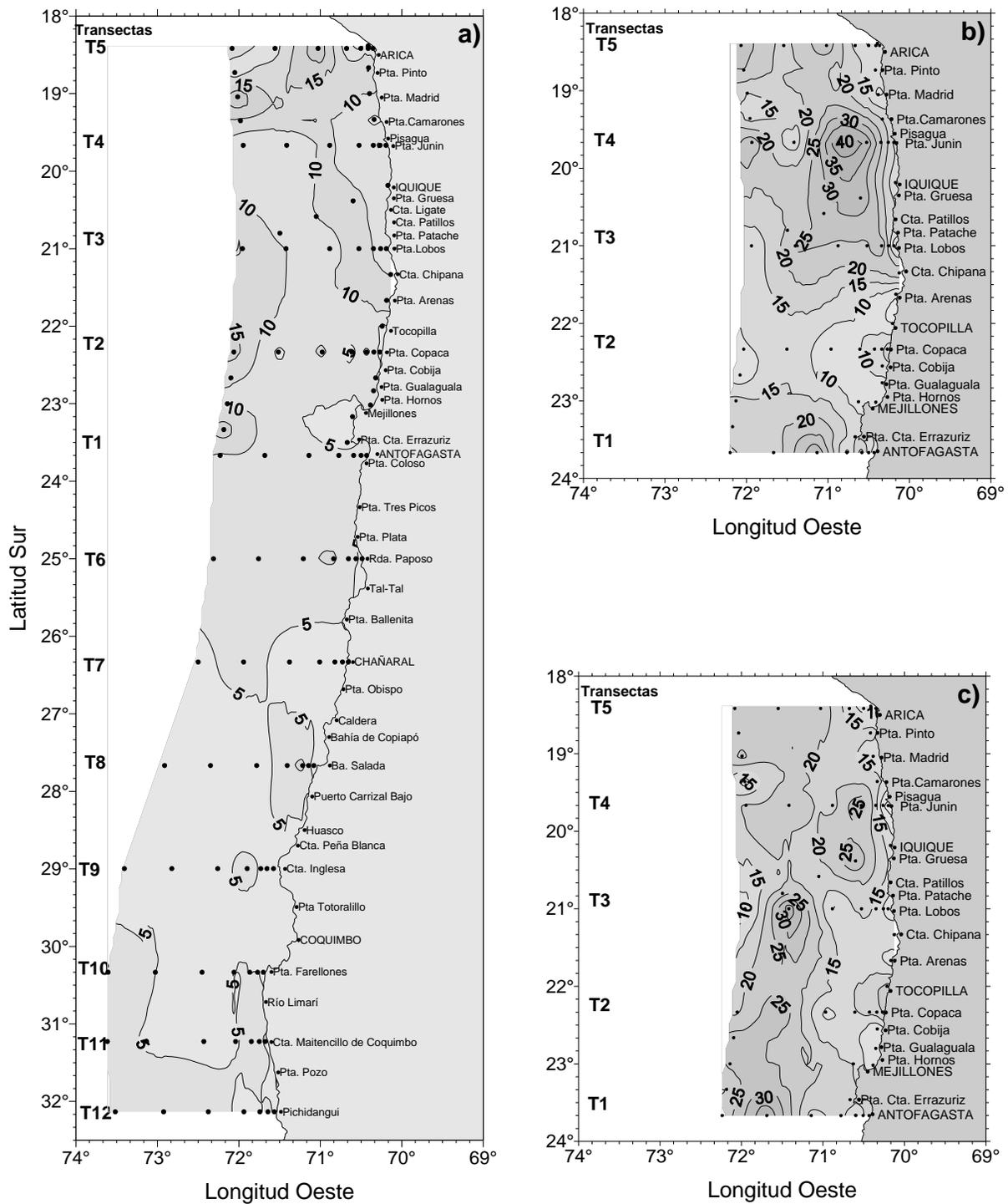


Figura 19. Espesor de la termoclina (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

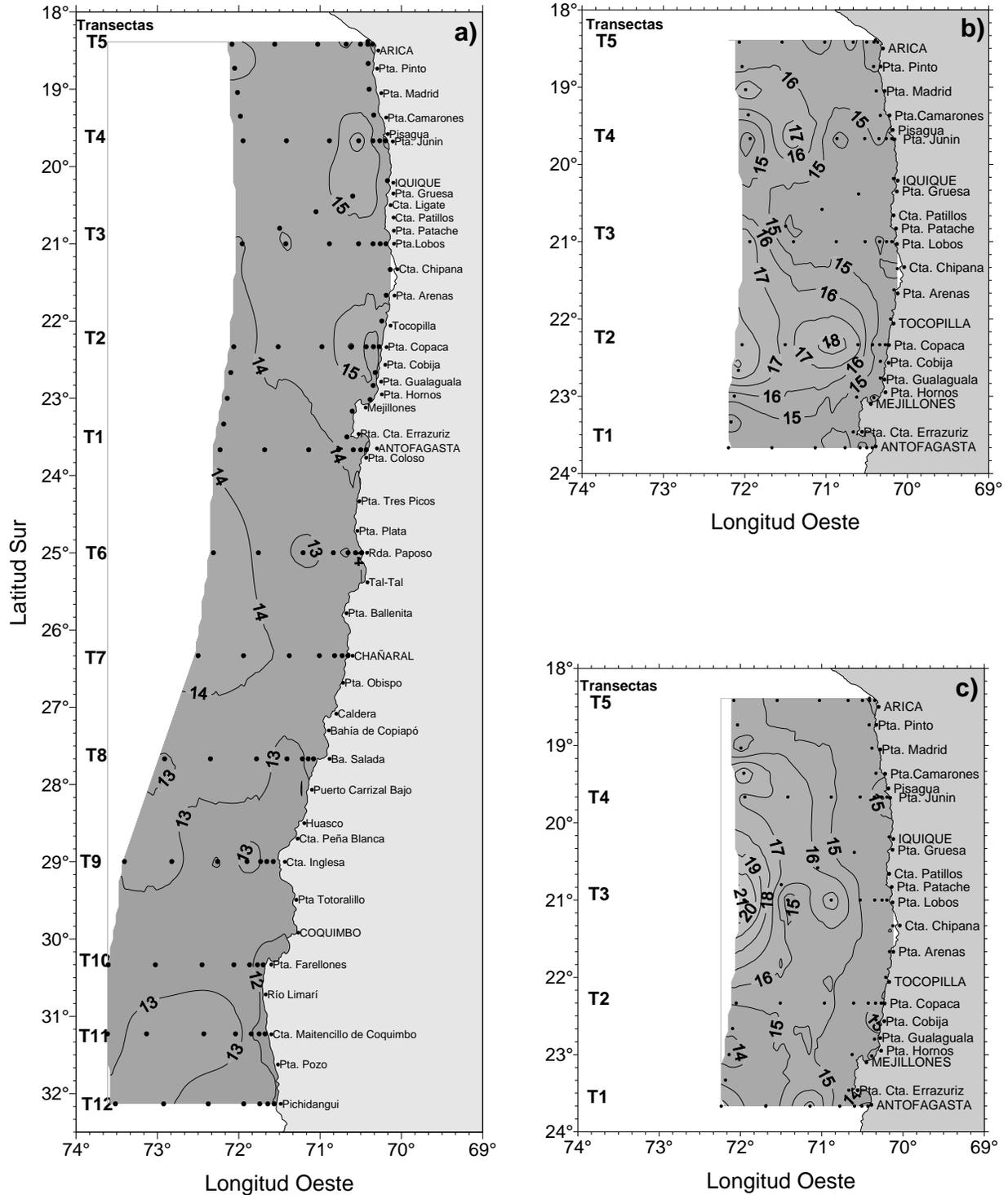


Figura 20. Temperatura base de la termoclina (°C) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

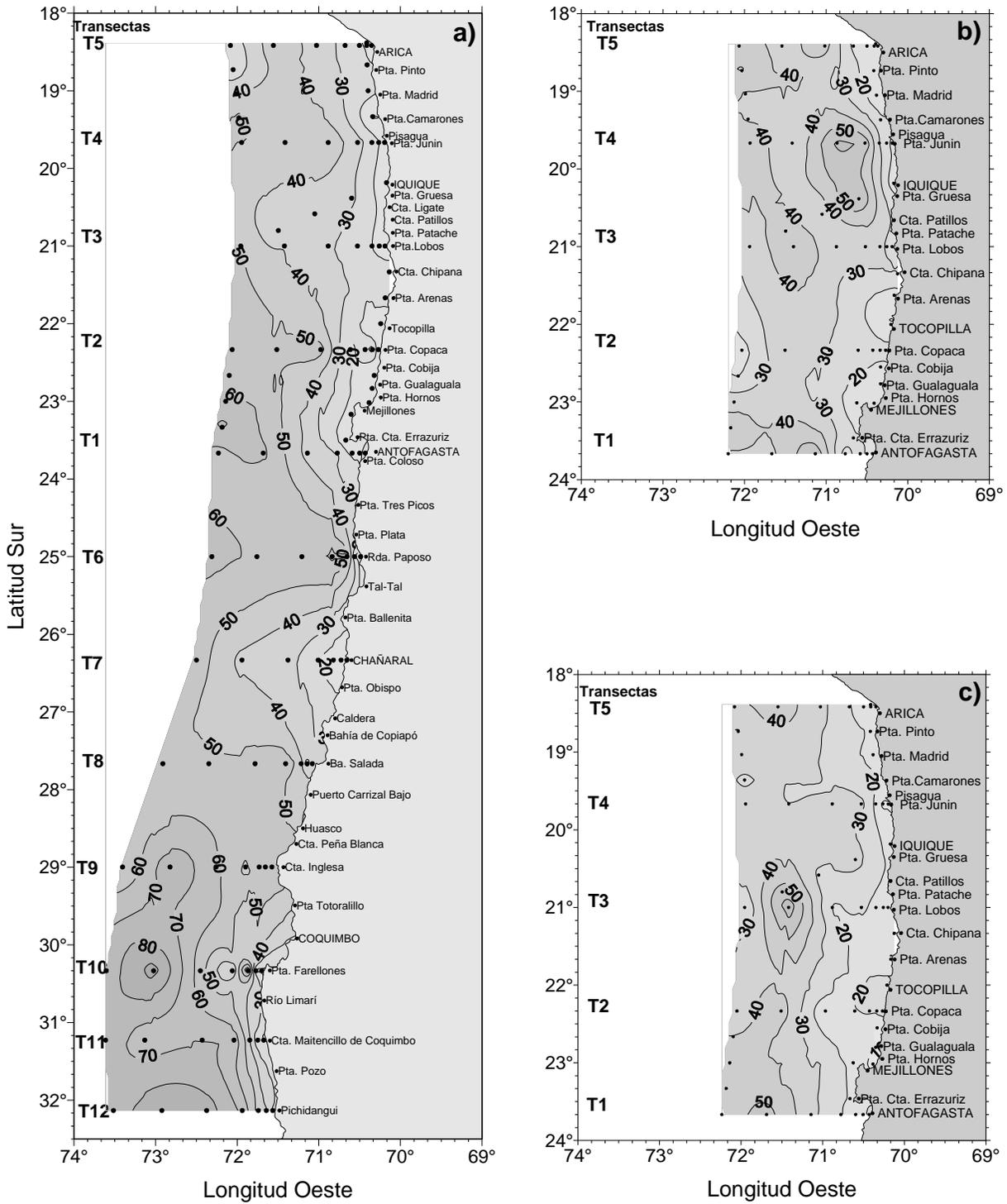


Figura 21. Profundidad base de la termoclina (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007

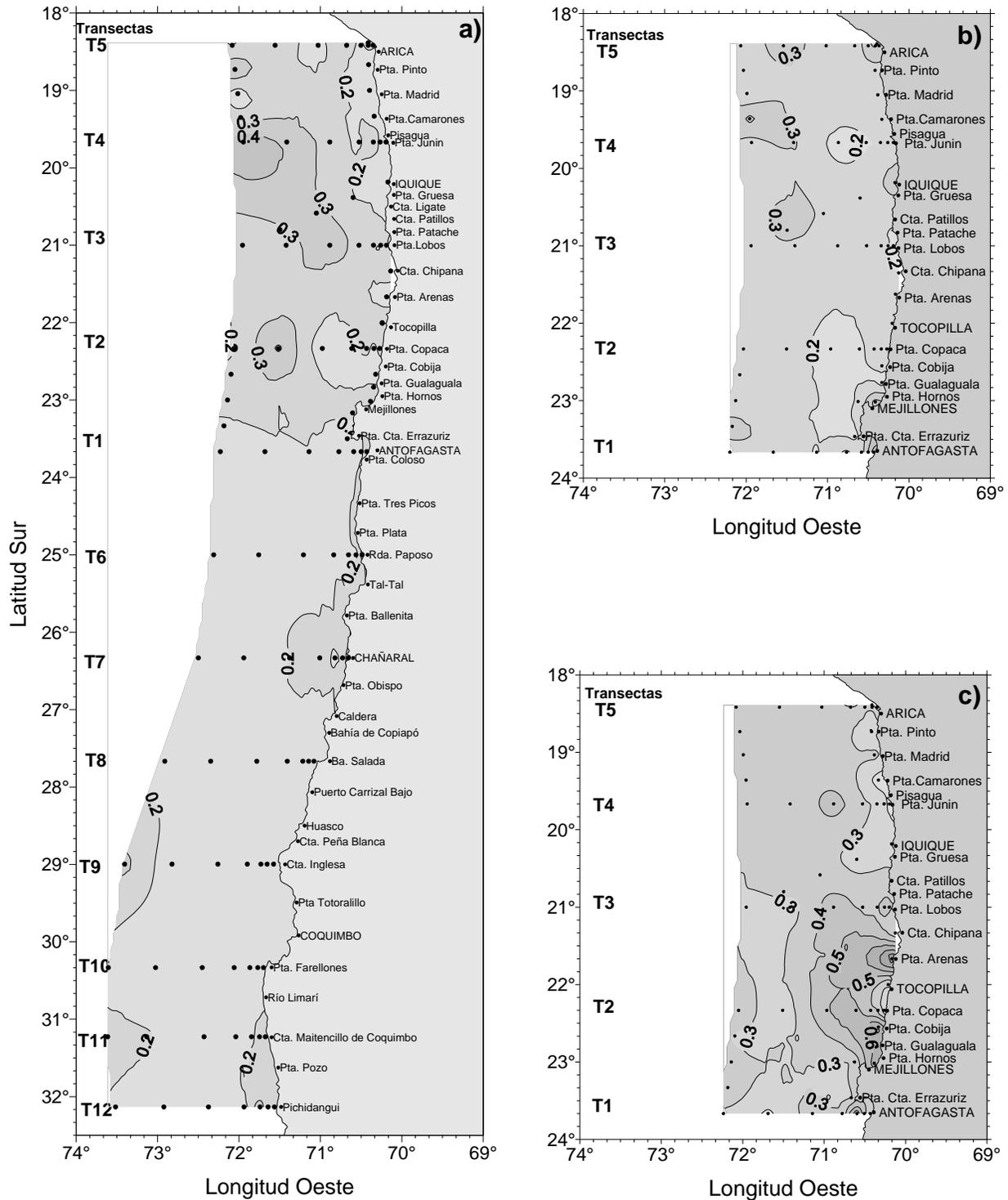


Figura 22. Gradiente de temperatura promedio de la termoclina (°C/m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

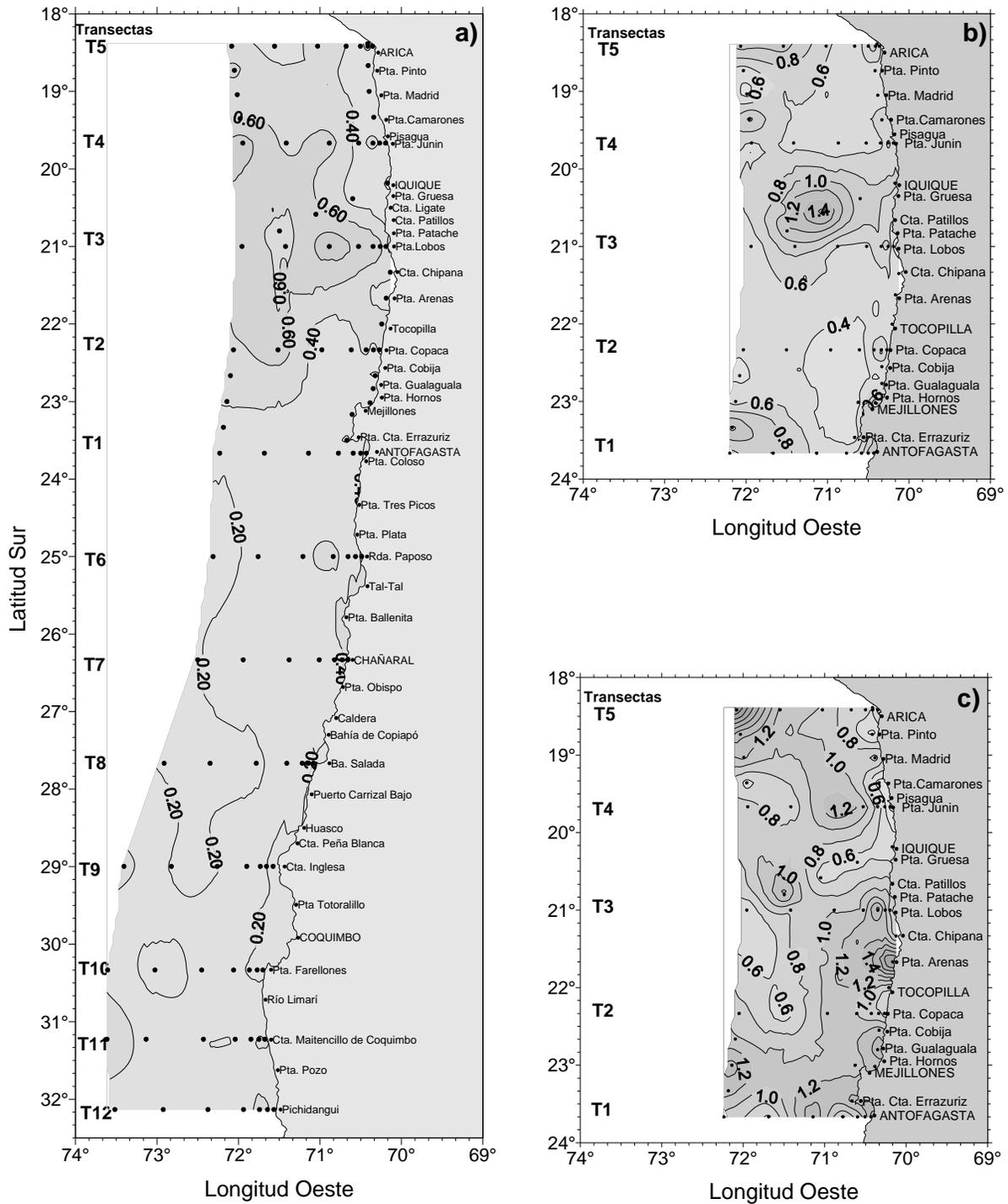


Figura 23. Máximo gradiente de temperatura en la termoclina (°C/m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

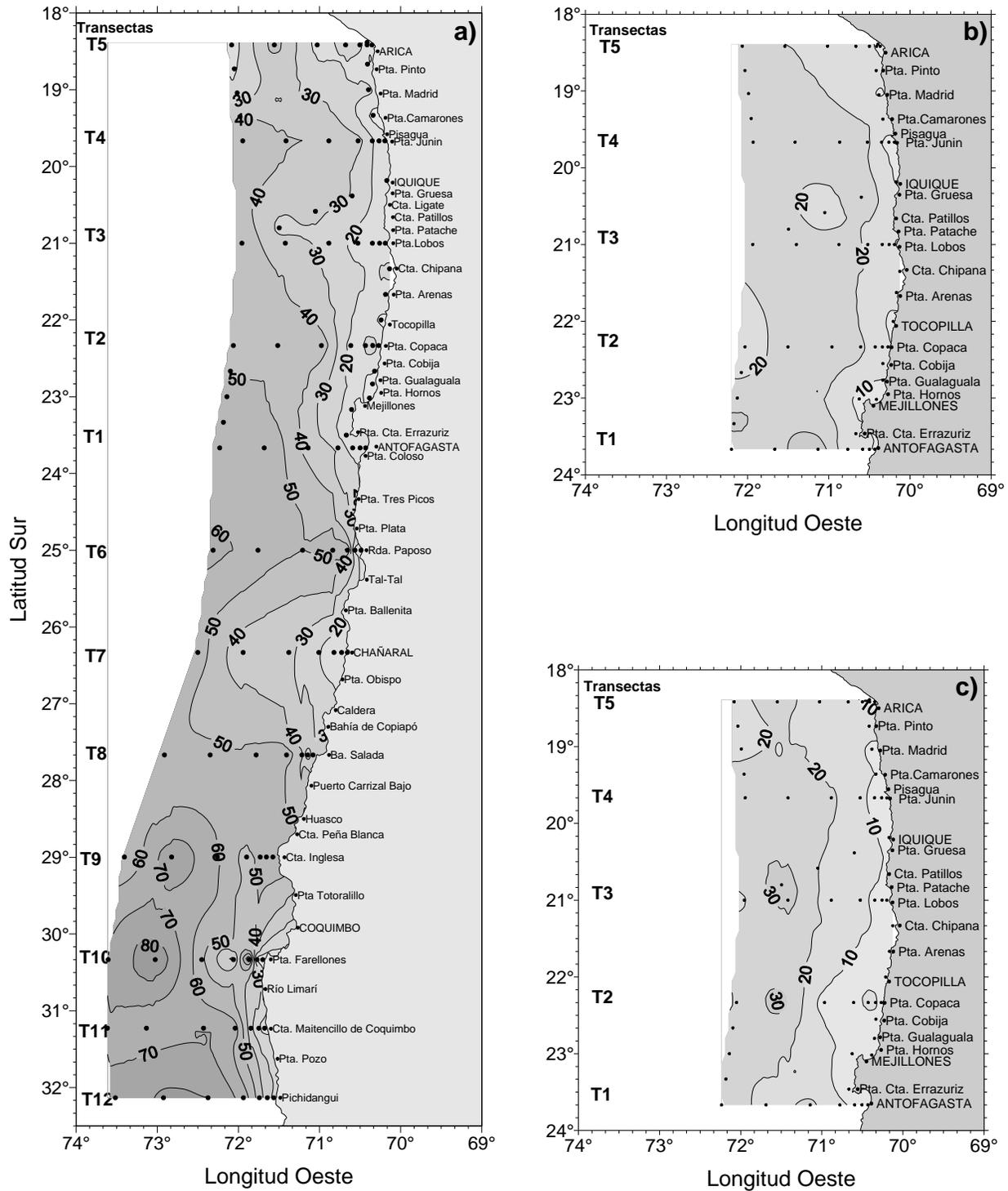


Figura 24. Profundidad del máximo gradiente de temperatura en la termoclina (m) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

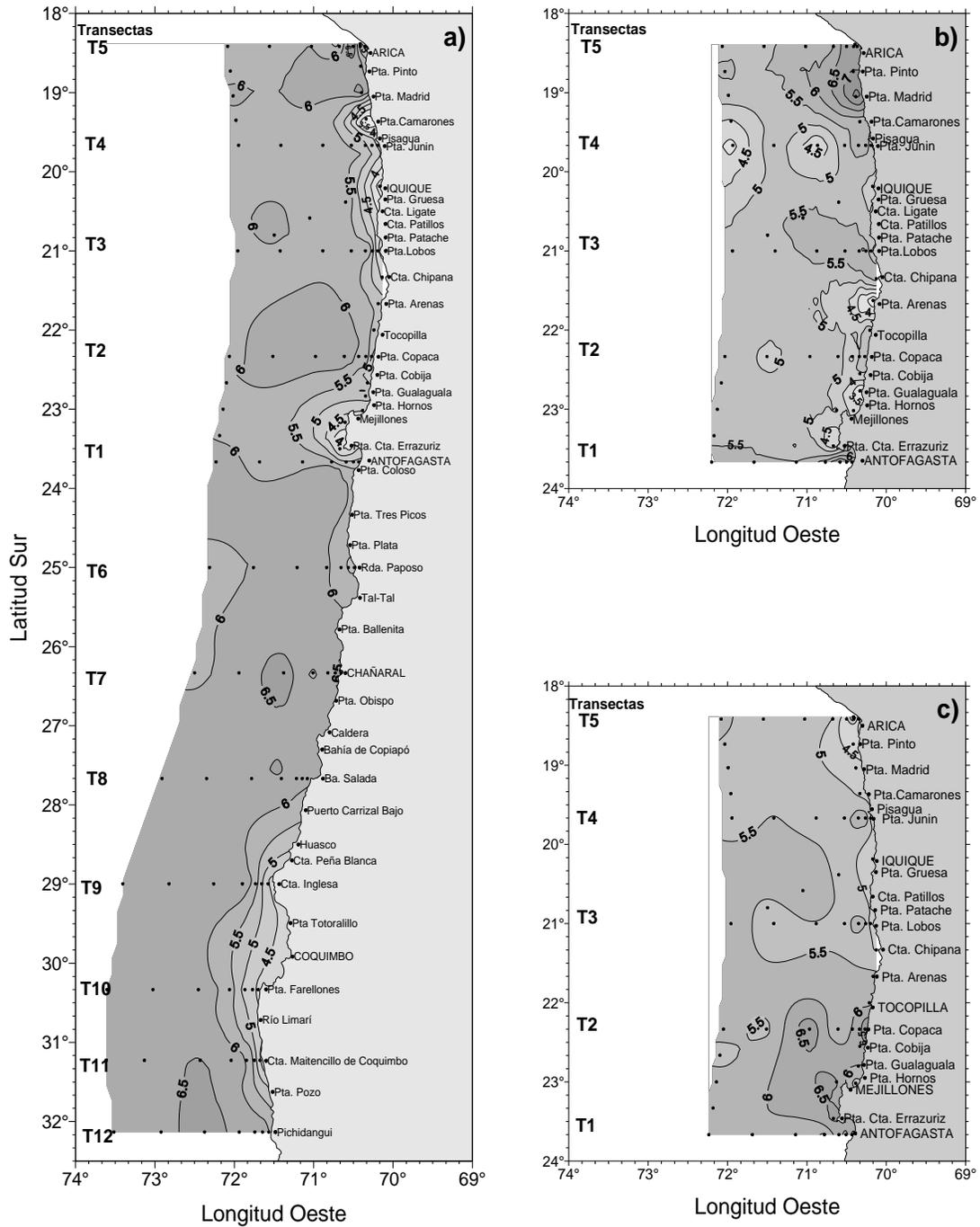


Figura 25. Distribuci3n superficial del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

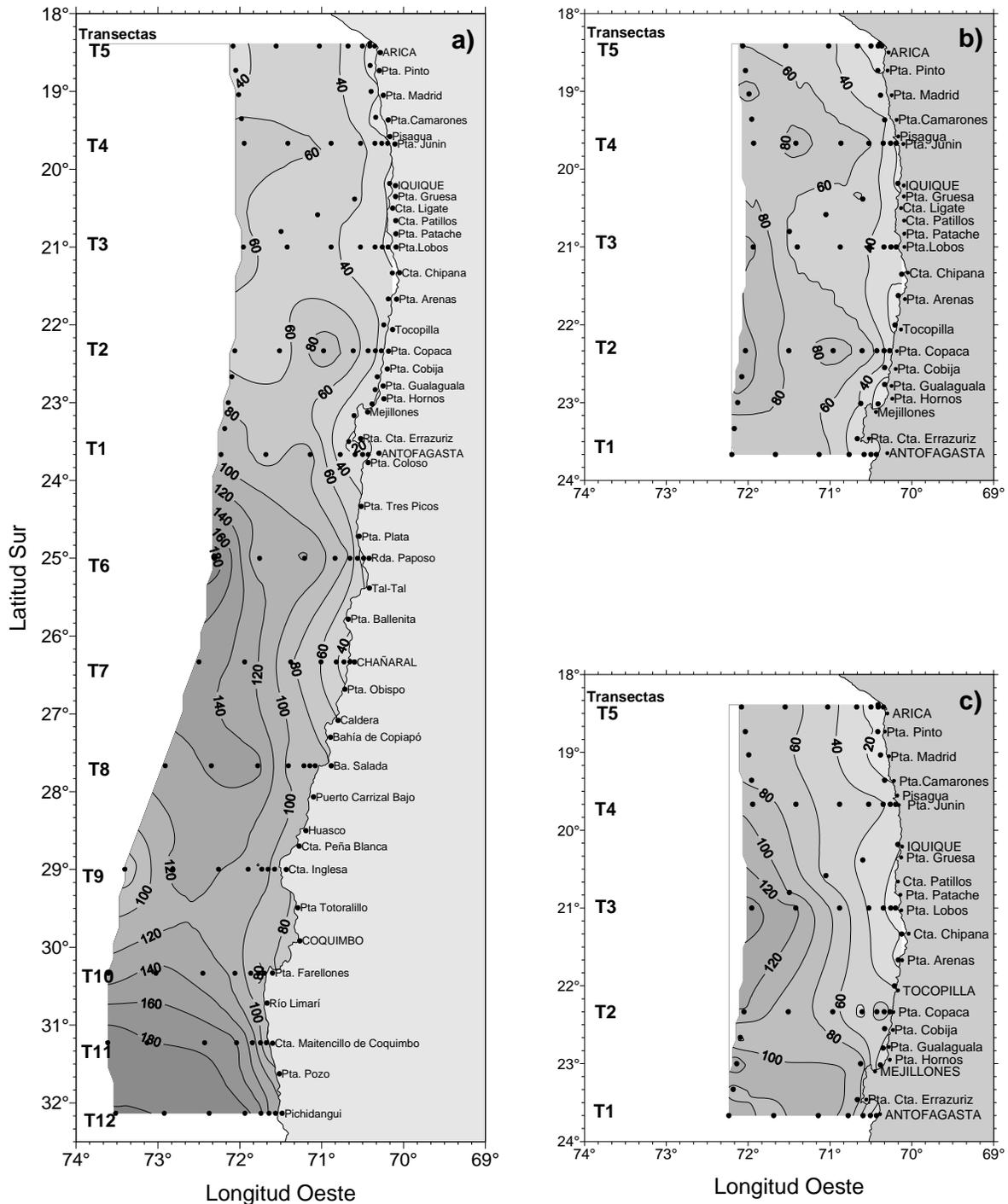


Figura 26. Profundidad de la isolnea de oxígeno correspondiente a la concentraci3n de 1 mL/L, como indicadora del l3mite superior de la capa de m3nimo ox3geno disuelto en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

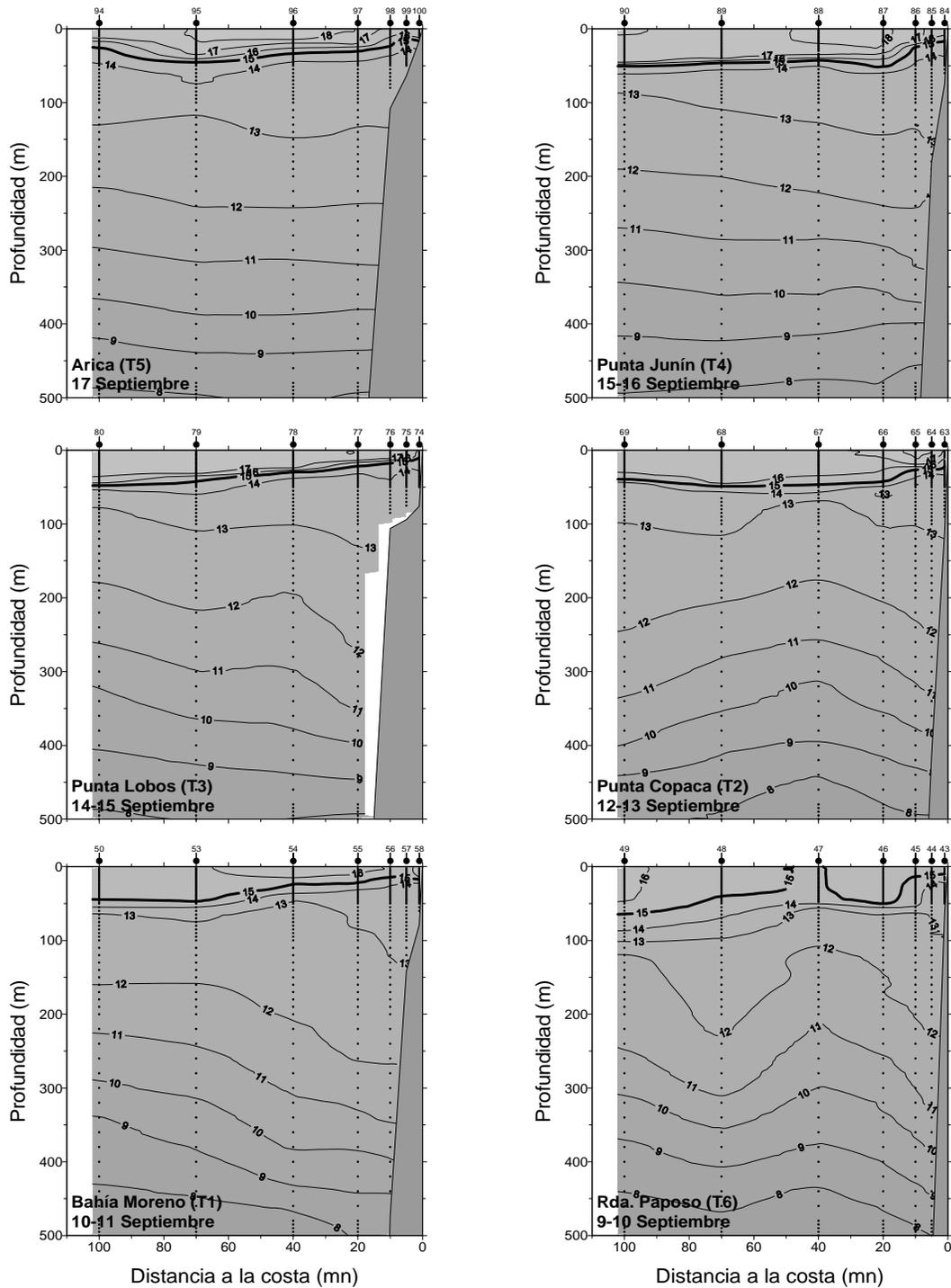


Figura 27. Distribuci3n vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^{\circ} 25'\text{S}$), punta Jun3n (T4; Lat. $19^{\circ} 40'\text{S}$), punta Lobos (T3; Lat. $21^{\circ} 00'\text{S}$), punta Copaca (T2; Lat. $22^{\circ} 20'\text{S}$), bah3a Moreno (T1; Lat. $23^{\circ} 40'\text{S}$) y rada Paposo (T6; Lat. $25^{\circ} 00'\text{S}$). Crucero de septiembre 2006.

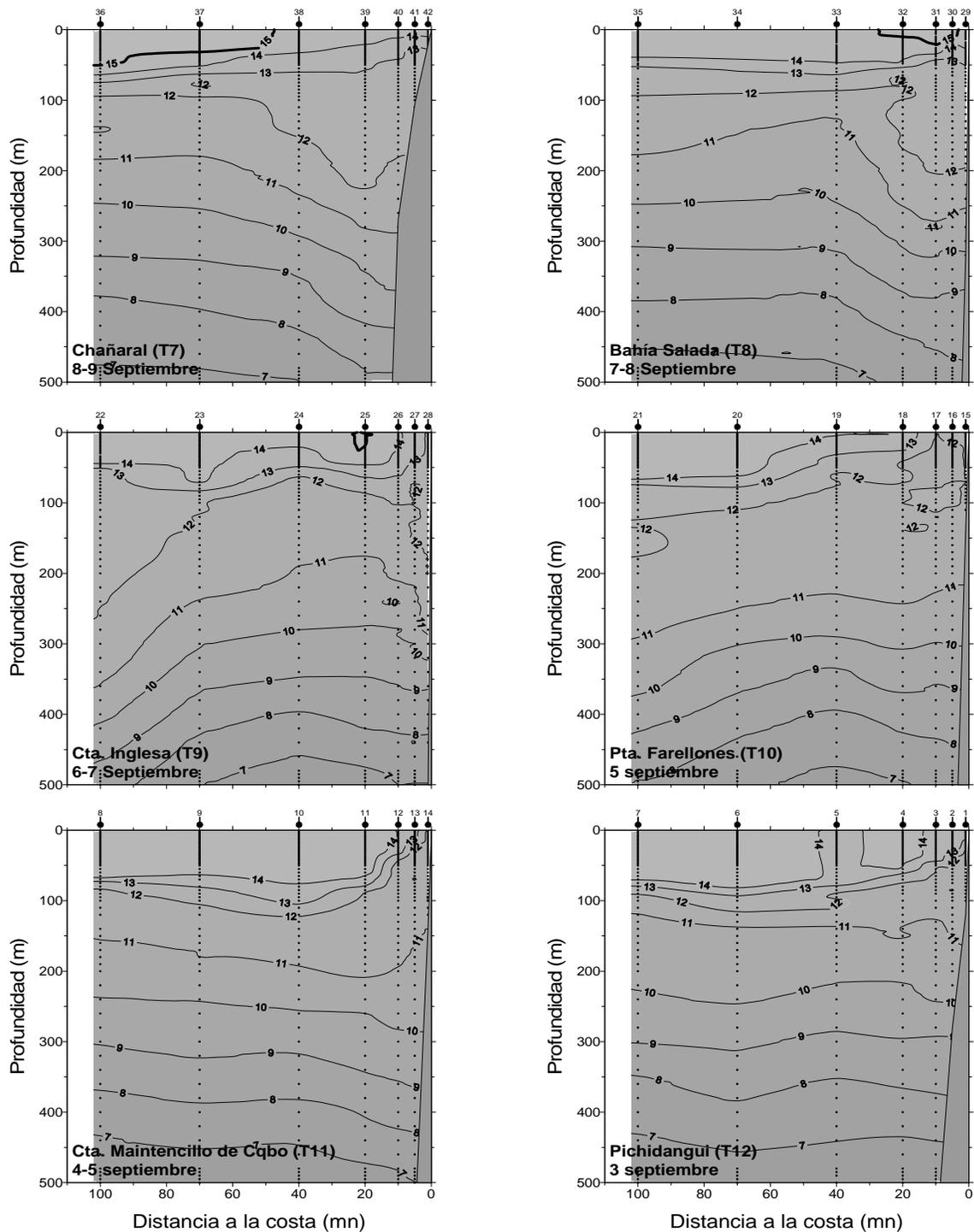


Figura 28. Distribuci3n vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. $26^{\circ} 20'S$), bahía Salada (T8; Lat. $27^{\circ} 40'S$), caleta Inglesa (T9; Lat. $29^{\circ} 00'S$), punta Farellones (T10; Lat. $30^{\circ} 20'S$), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat. $31^{\circ} 15'S$) y Pichidangui (T12; Lat. $32^{\circ} 10'S$). Crucero de septiembre 2006.

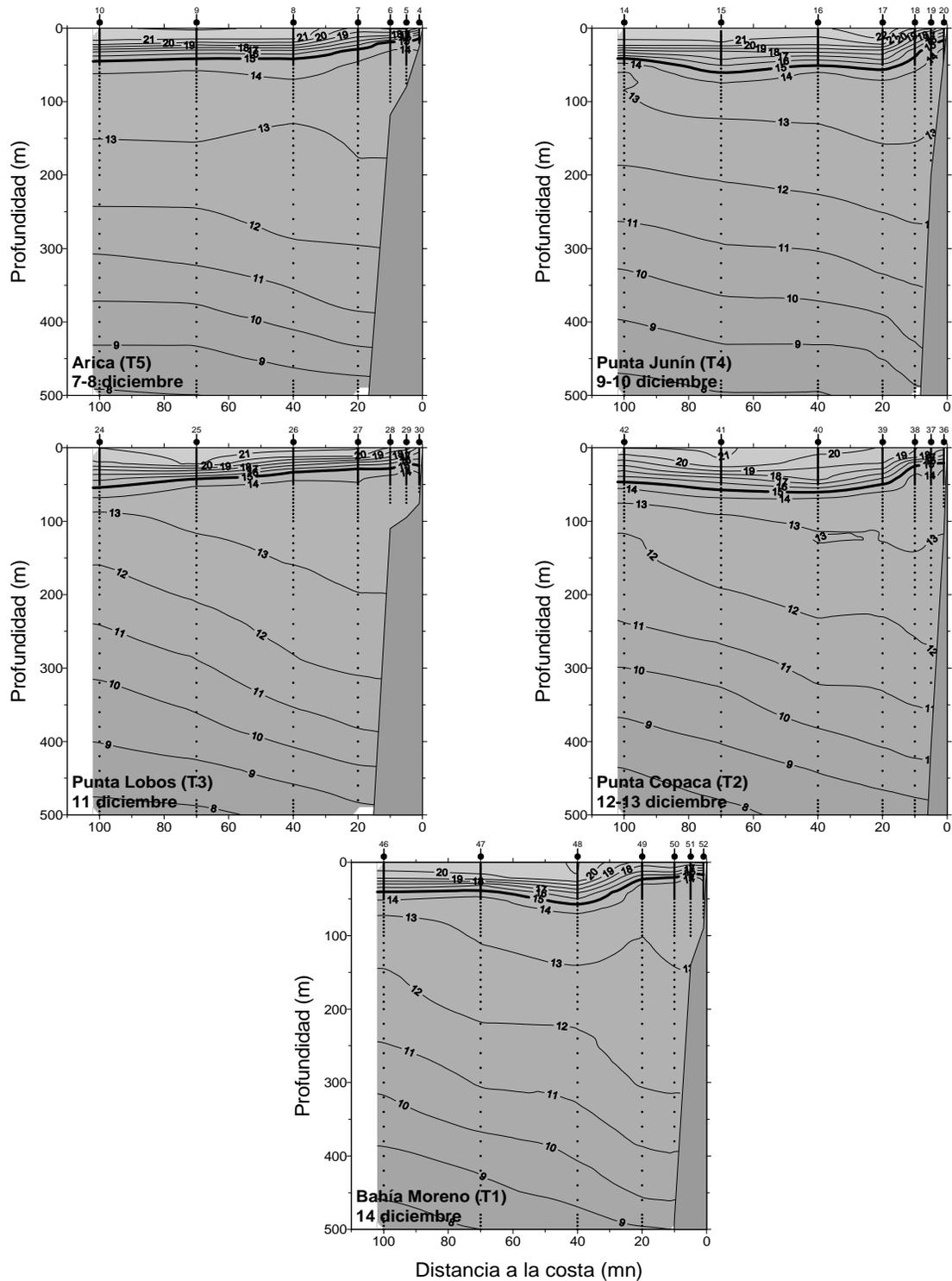


Figura 29. Distribuci3n vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^{\circ} 25'S$), punta Junin (T4; Lat. $19^{\circ} 40'S$), punta Lobos (T3; Lat. $21^{\circ} 00'S$), punta Copaca (T2; Lat. $22^{\circ} 20'S$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^{\circ} 40'S$). Crucero de diciembre 2006.

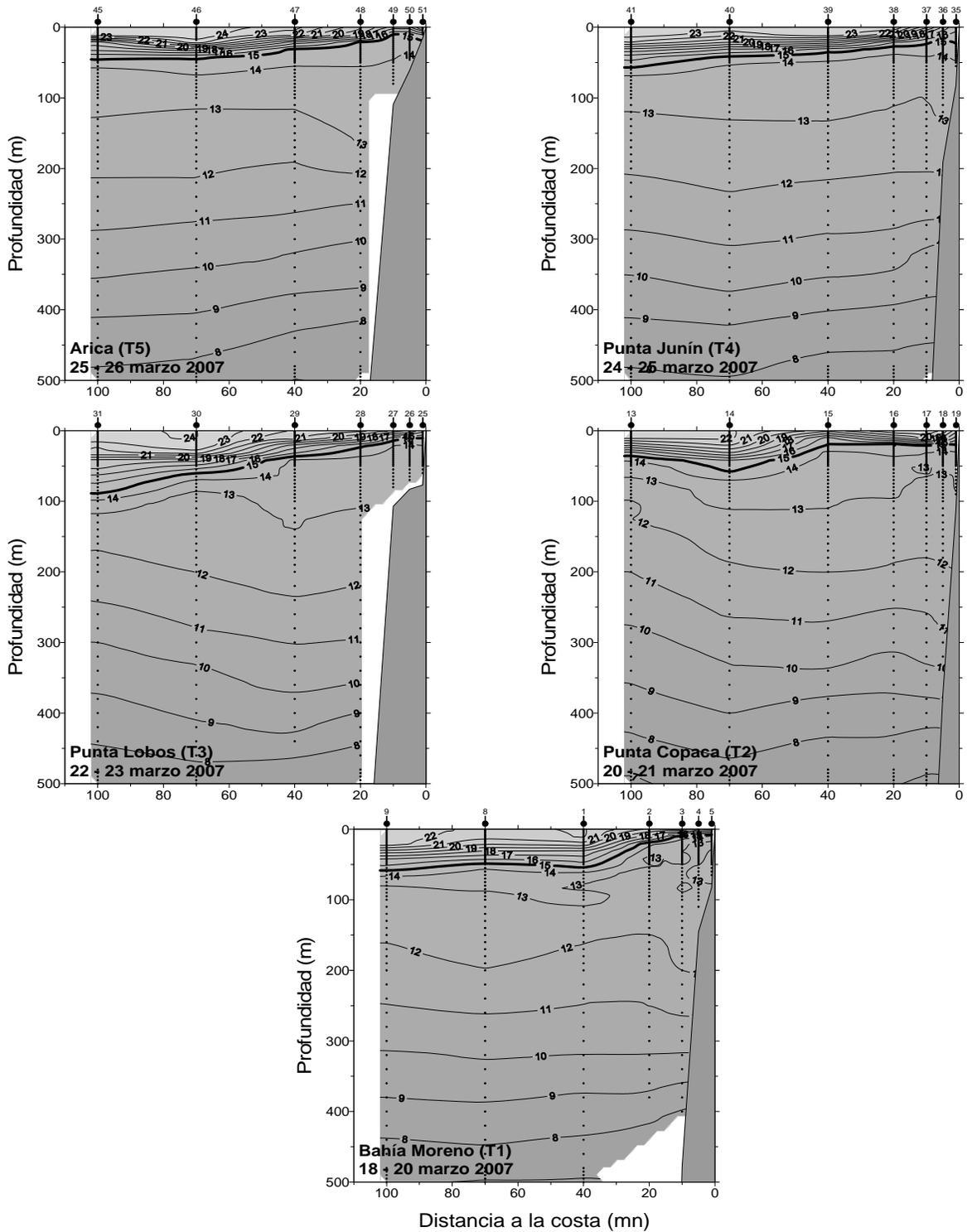


Figura 30. Distribuci3n vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^{\circ} 25'S$), punta Junin (T4; Lat. $19^{\circ} 40'S$), punta Lobos (T3; Lat. $21^{\circ} 00'S$), punta Copaca (T2; Lat. $22^{\circ} 20'S$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^{\circ} 40'S$). Crucero de marzo 2007.

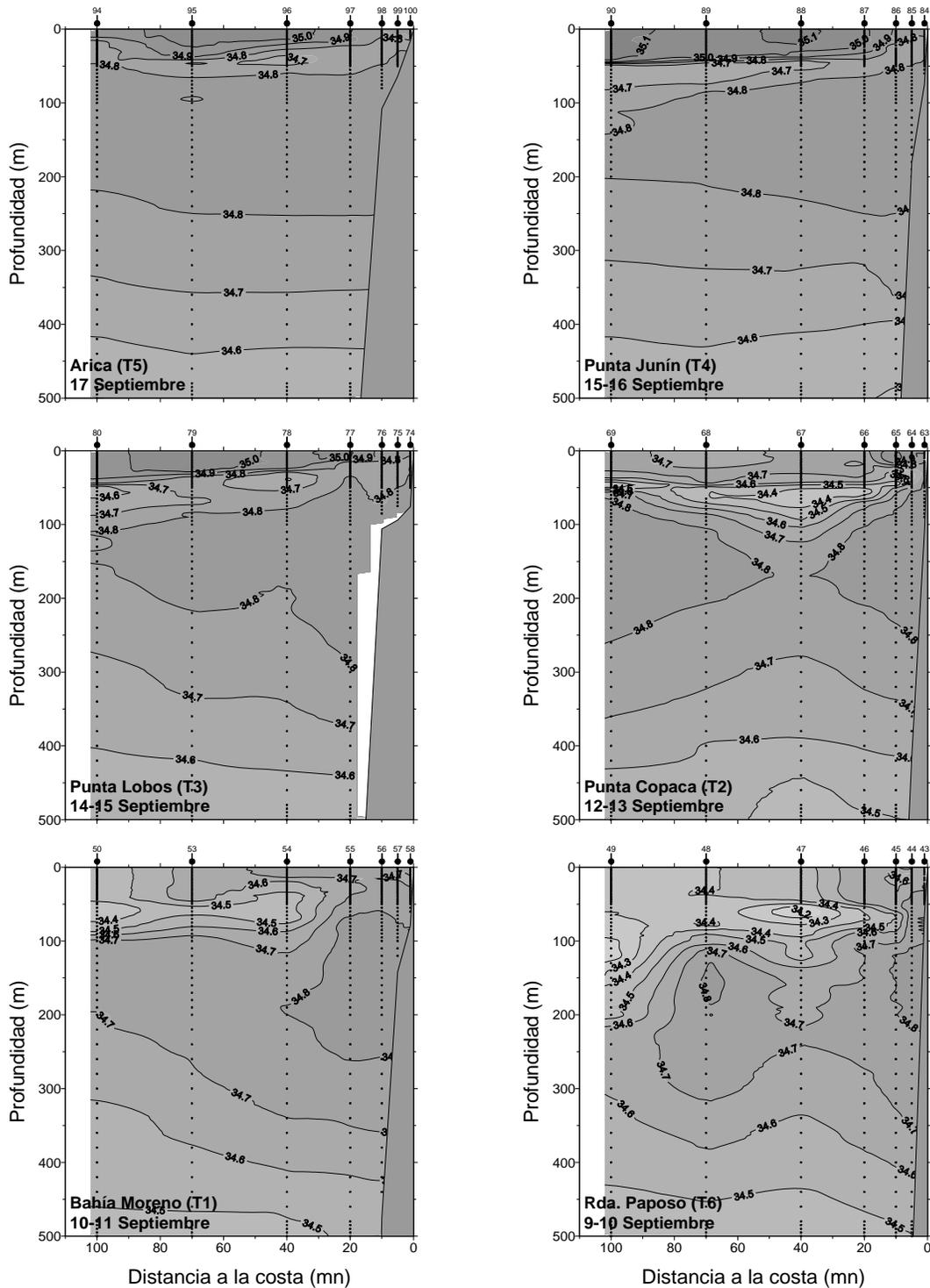


Figura 31. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Jun3n (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S), bah3a Moreno (T1; Lat. 23° 40'S) y rada Paposo (T6; Lat. 25° 00'S). Crucero de septiembre 2006.

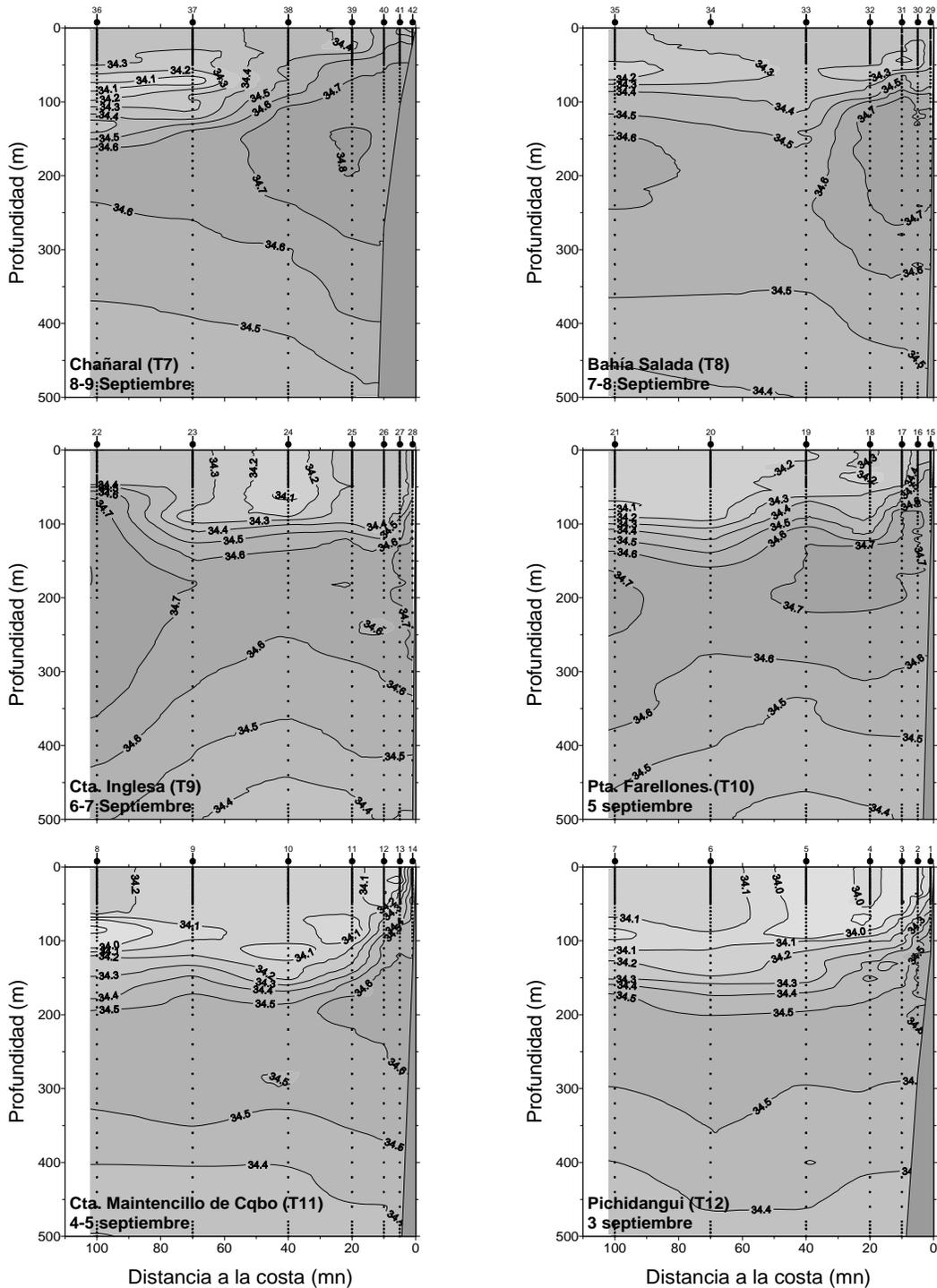


Figura 32. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. 26° 20'S), bahía Salada (T8; Lat. 27° 40'S), caleta Inglesa (T9; Lat.29° 00'S), punta Farellones (T10; Lat.30° 20'S), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat.31° 15'S) y Pichidangui (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.

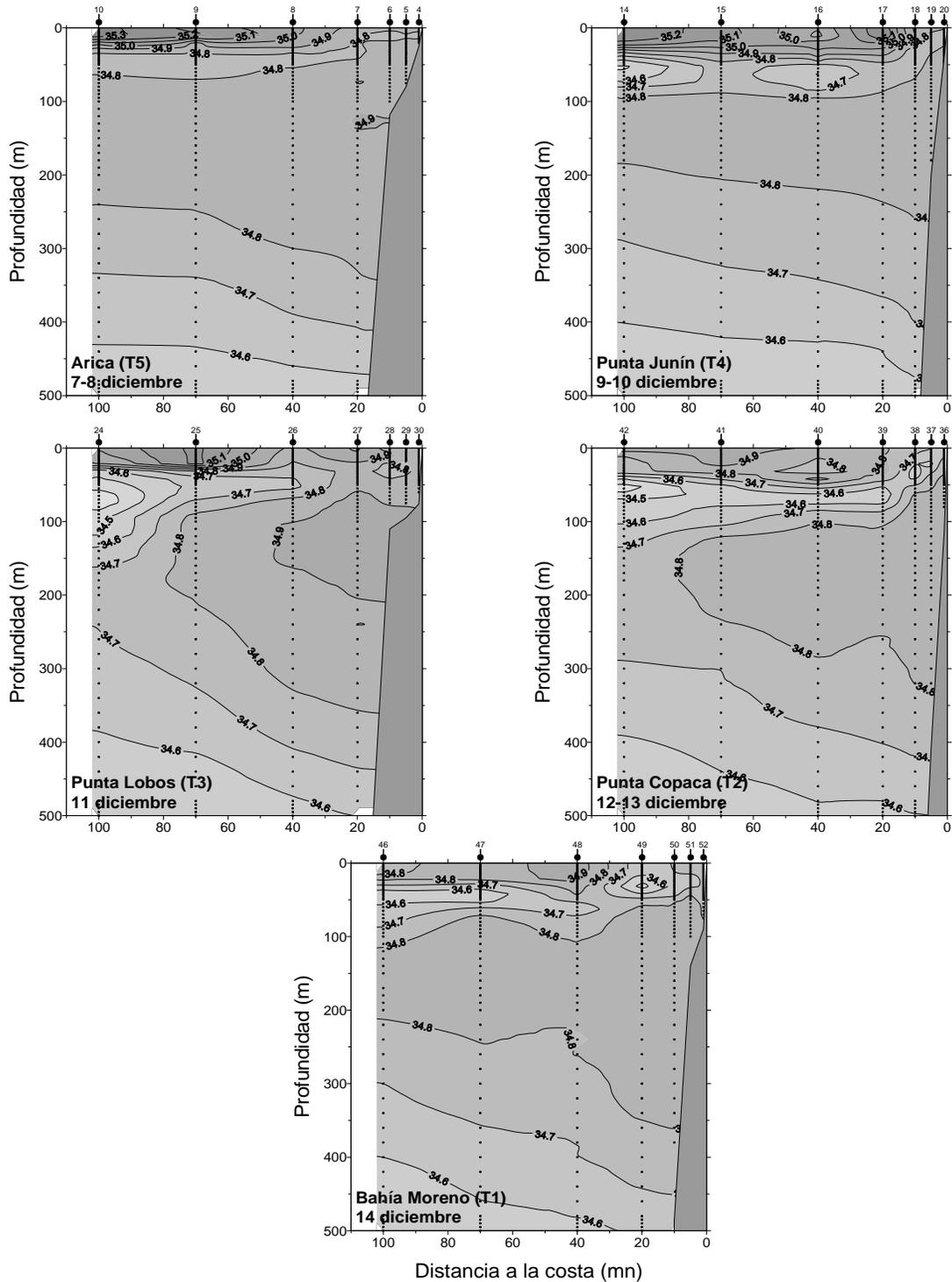


Figura 33. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat. 23° 40'S). Crucero de diciembre 2006.

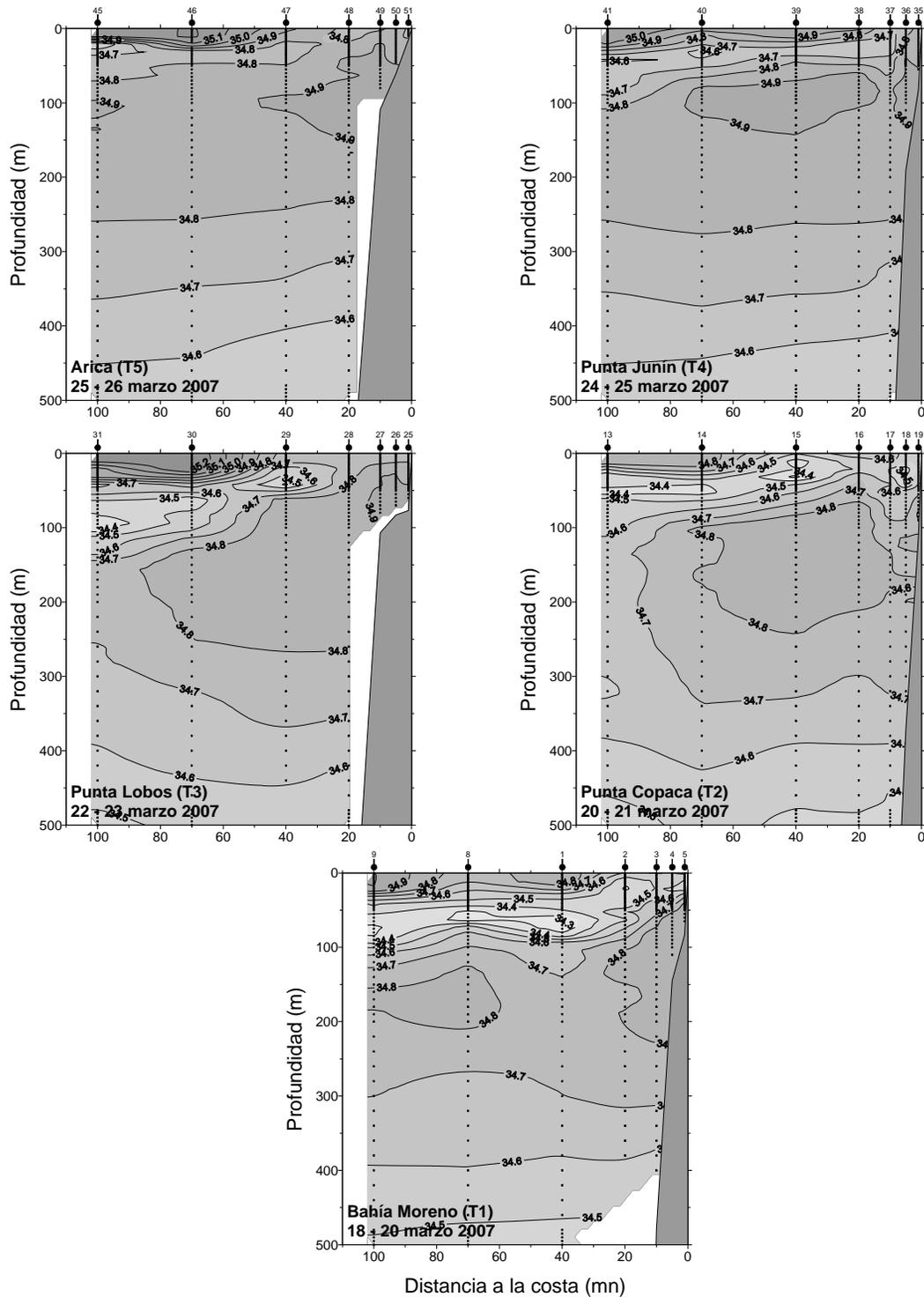


Figura 34. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junin (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de marzo 2007.

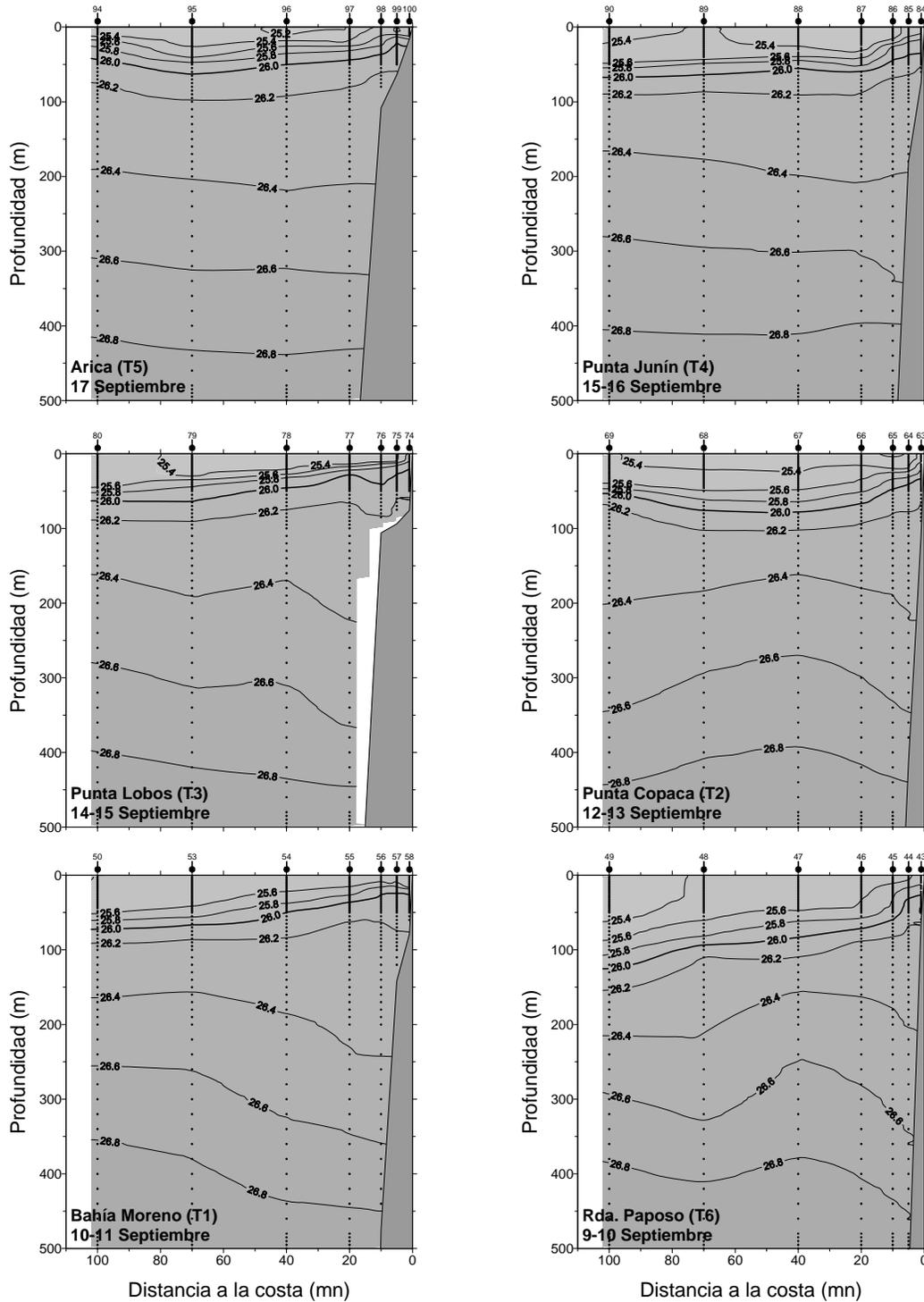


Figura 35. Distribuci3n vertical de densidad (σ_t) (kg/m^3) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'S$), punta Junin (T4; Lat. $19^\circ 40'S$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'S$), punta Copaca (T2; Lat. $22^\circ 20'S$), bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'S$) y rada Paposo (T6; Lat. $25^\circ 00'S$). Crucero de septiembre 2006.

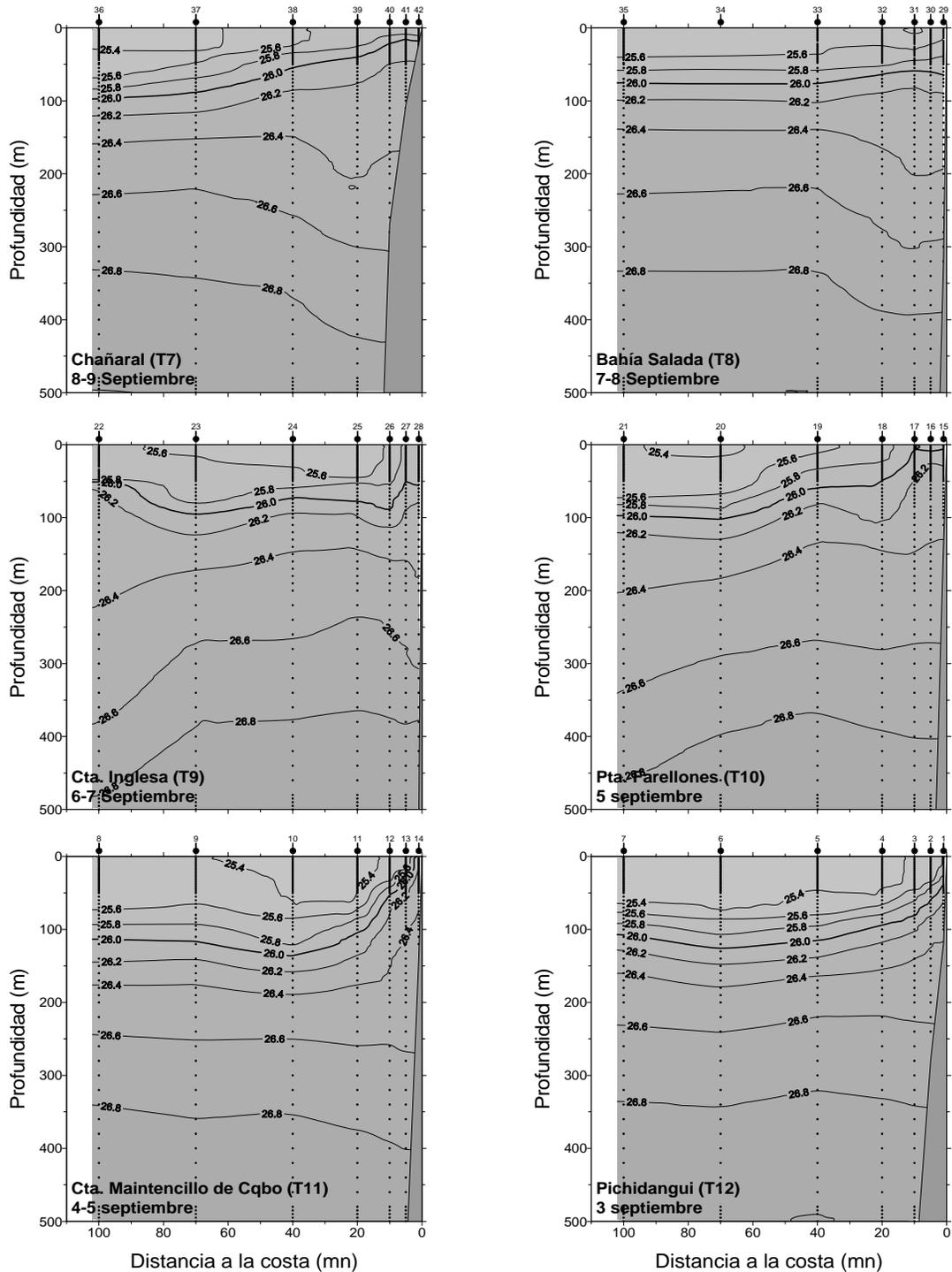


Figura 36. Distribuci3n vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$)(kg/m³) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. 26° 20'S), bahía Salada (T8; Lat. 27° 40'S), caleta Inglesa (T9; Lat.29° 00'S), punta Farellones (T10; Lat.30° 20'S), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat.31° 15'S) y Pichidangui (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.

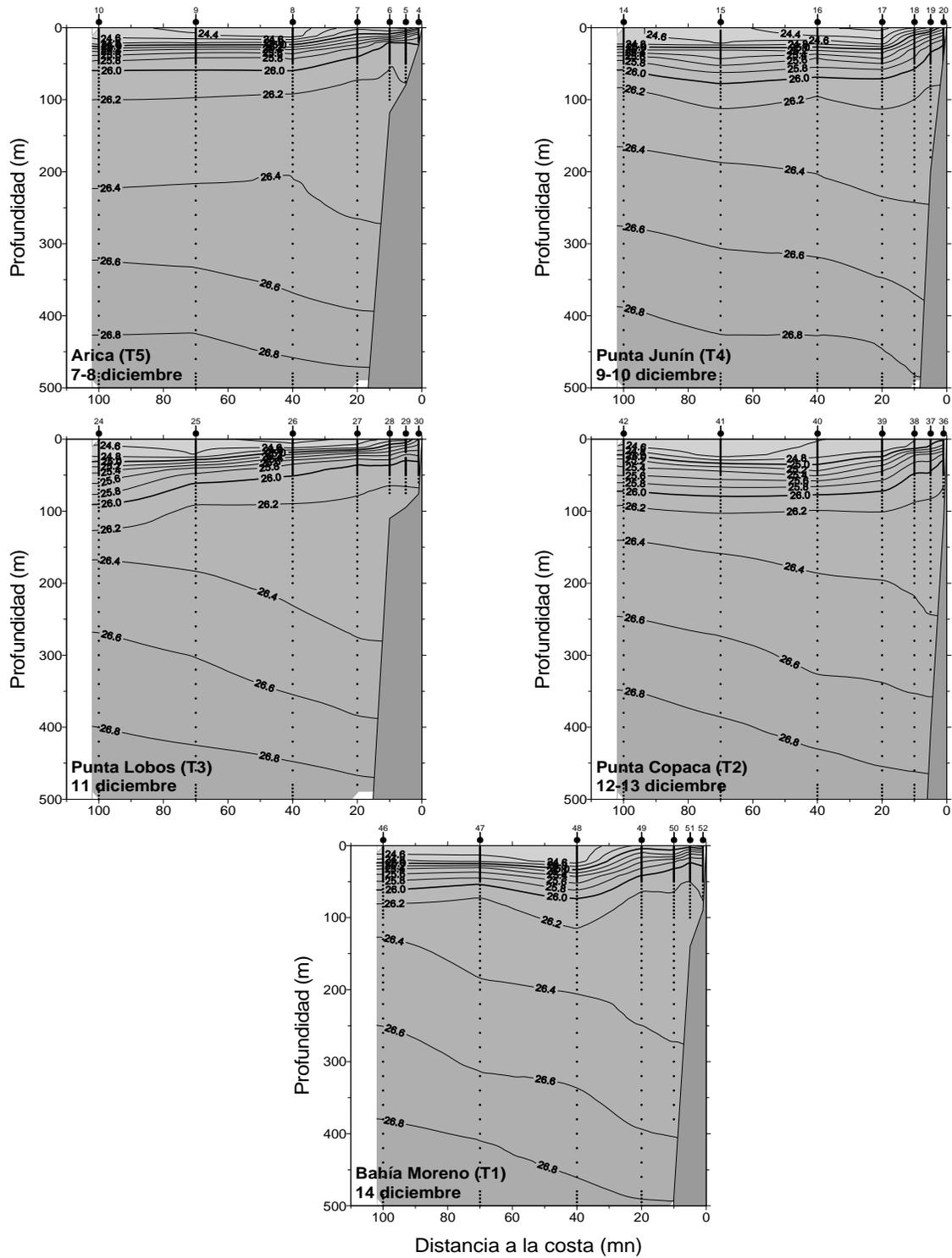


Figura 37. Distribuci3n vertical de densidad ($\sigma\text{-}t$)(kg/m³) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junín (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de diciembre 2006.

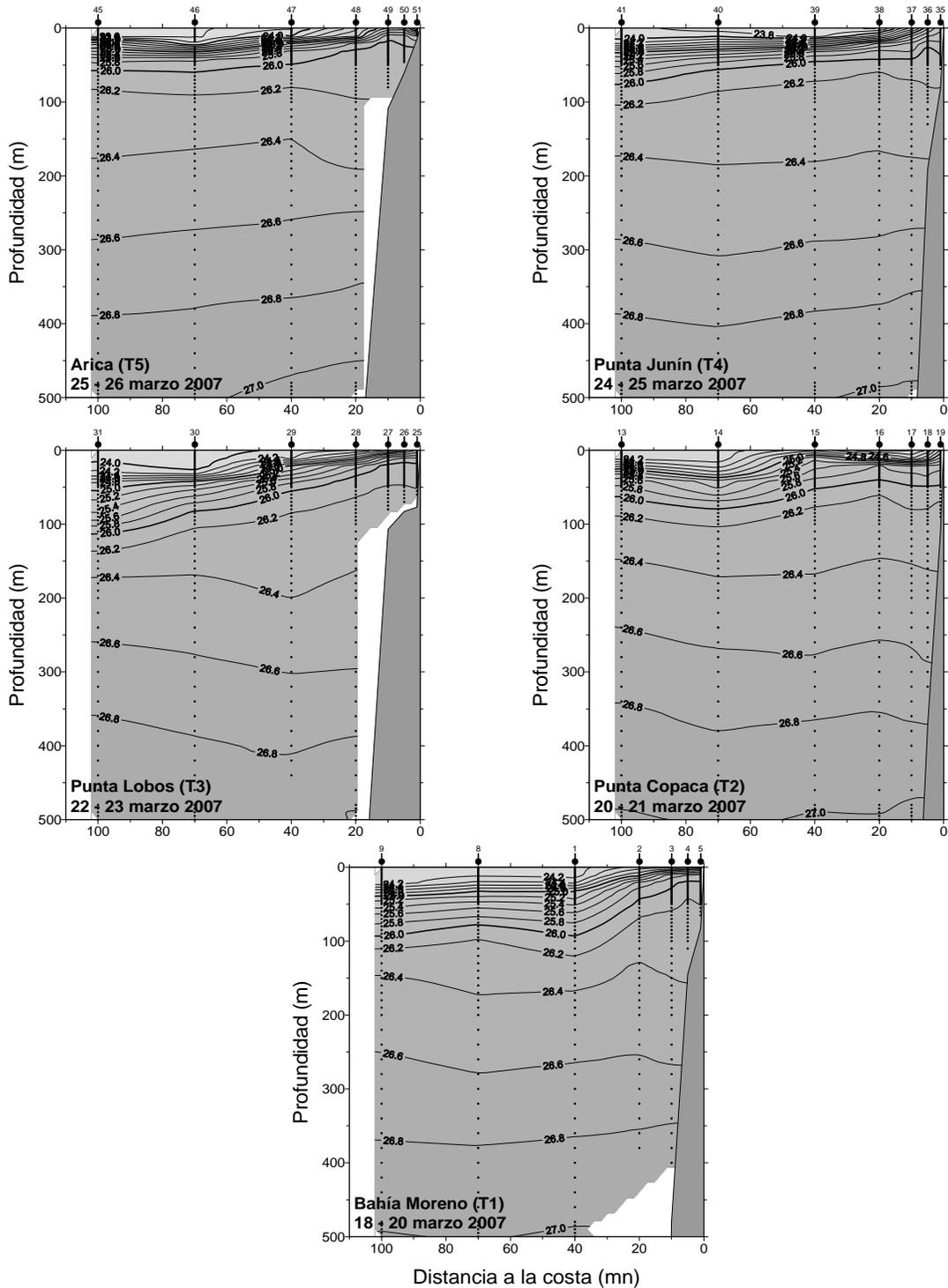


Figura 38. Distribuci3n vertical de densidad (σ_t) (kg/m^3) en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'S$), punta Junín (T4; Lat. $19^\circ 40'S$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'S$), punta Copaca (T2; Lat. $22^\circ 20'S$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'S$). Crucero de marzo 2007.

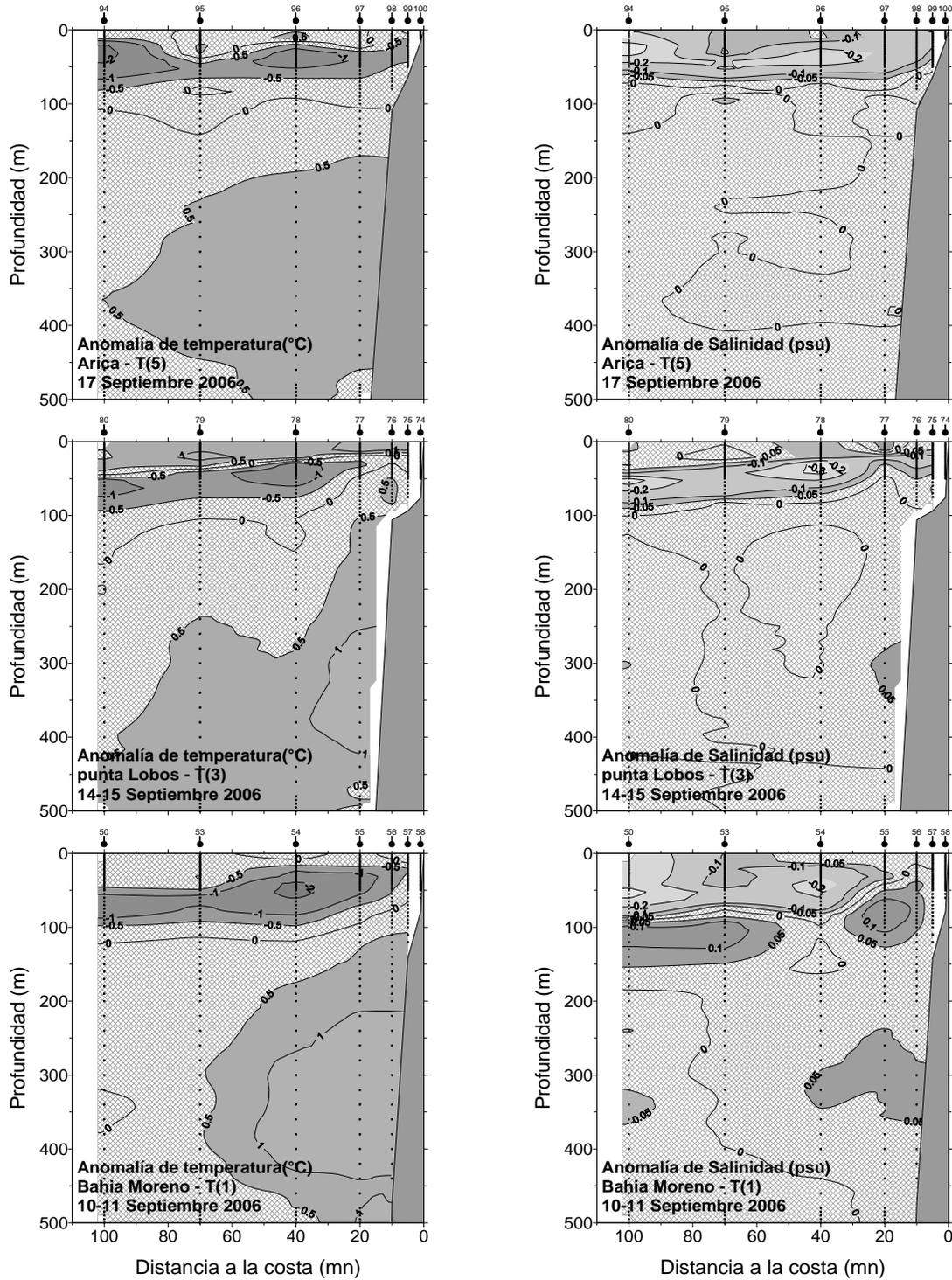


Figura 39. Anomalia vertical de temperatura (°C) y salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18°25'S), punta Lobos (T3; Lat. 21°00'S) y bahía Moreno (T1; Lat. 23°40'S). Crucero de septiembre 2006.

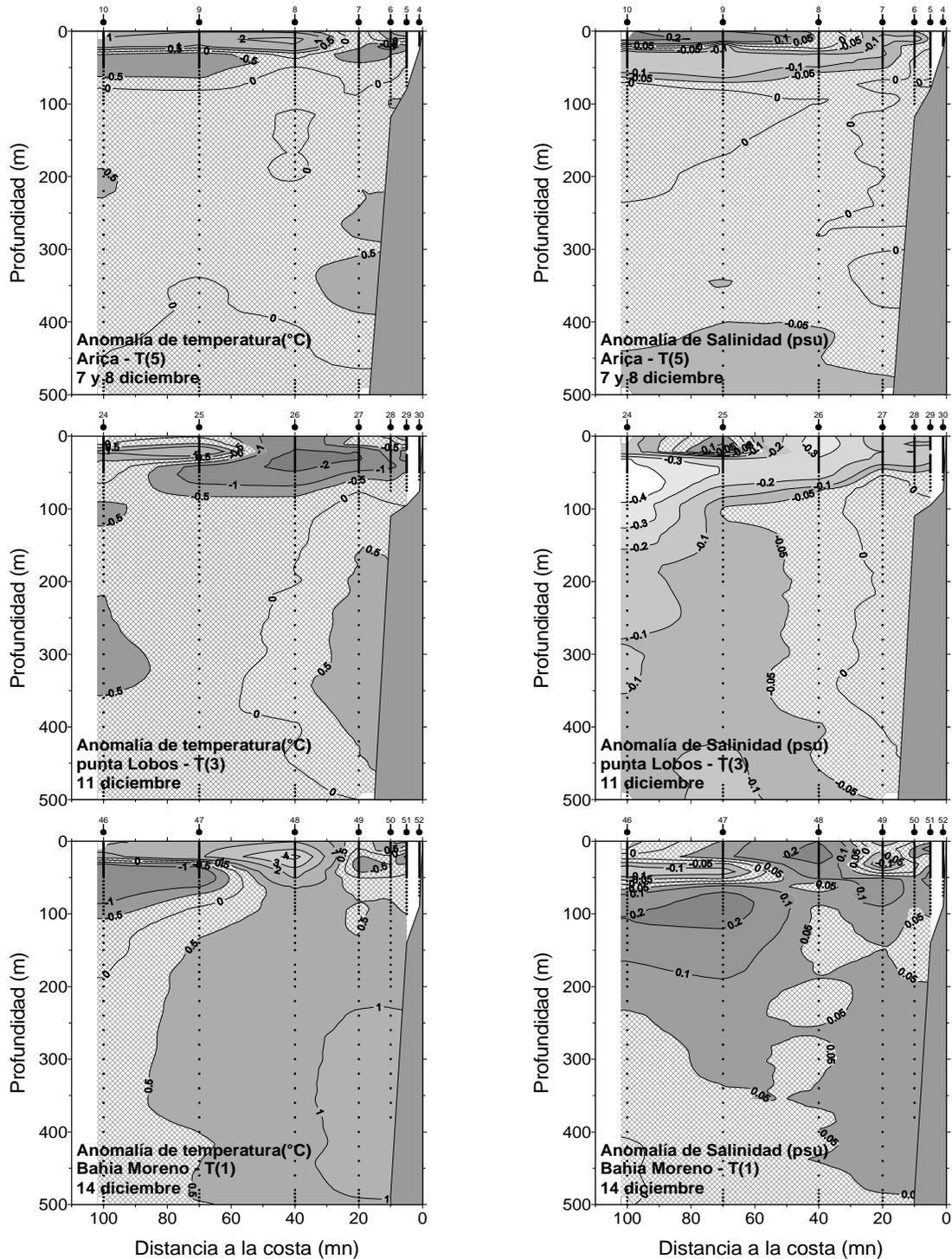


Figura 40. Anomalia vertical de temperatura (°C) y salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18°25'S), punta Lobos (T3; Lat. 21°00'S) y bahía Moreno (T1; Lat. 23° 40'S). Crucero de diciembre 2006.

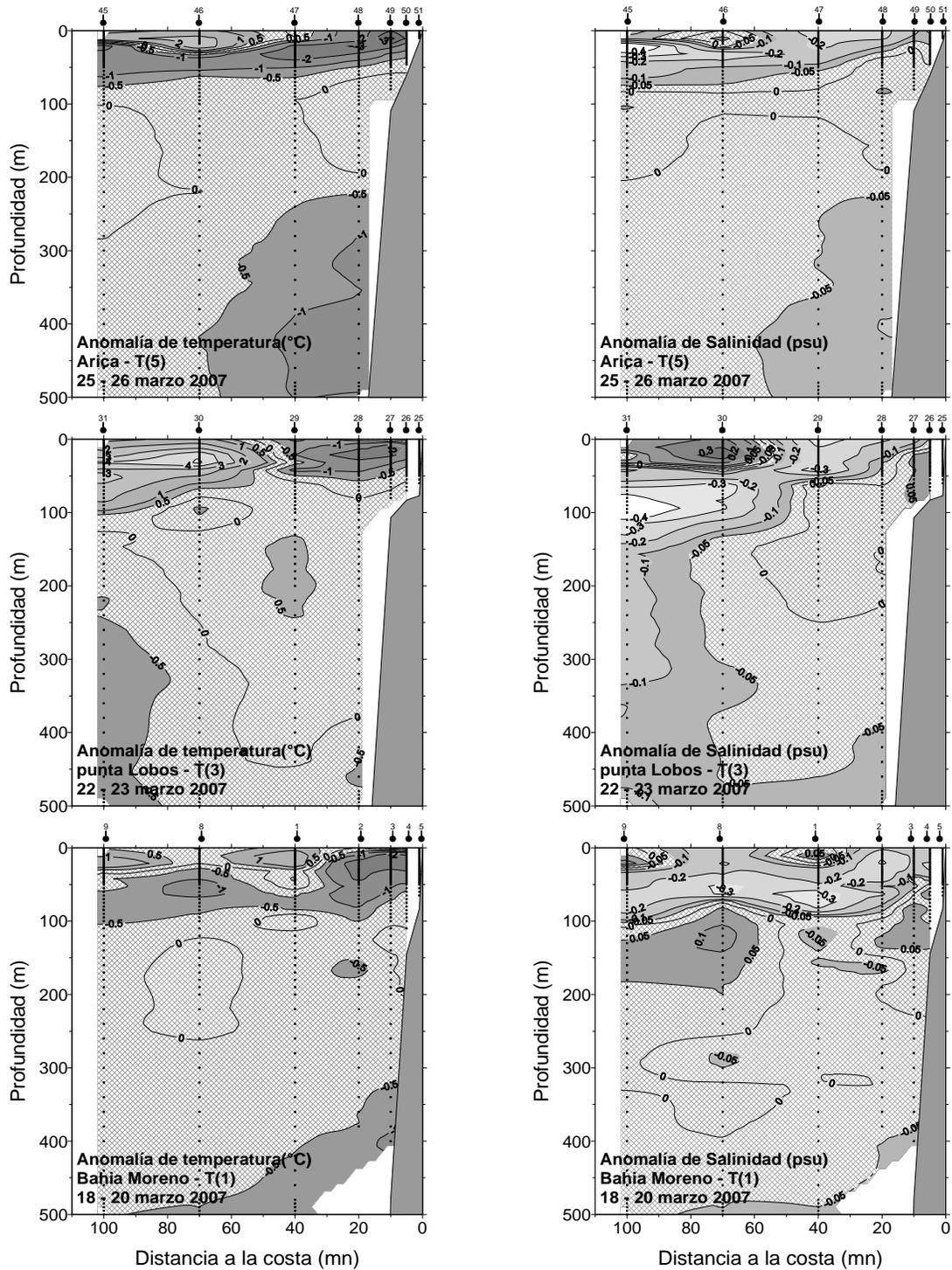


Figura 41. Anomalia vertical de temperatura (°C) y salinidad (psu) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18°25'S), punta Lobos (T3; Lat. 21°00'S) y bahía Moreno (T1; Lat. 23° 40'S). Crucero de marzo 2007.

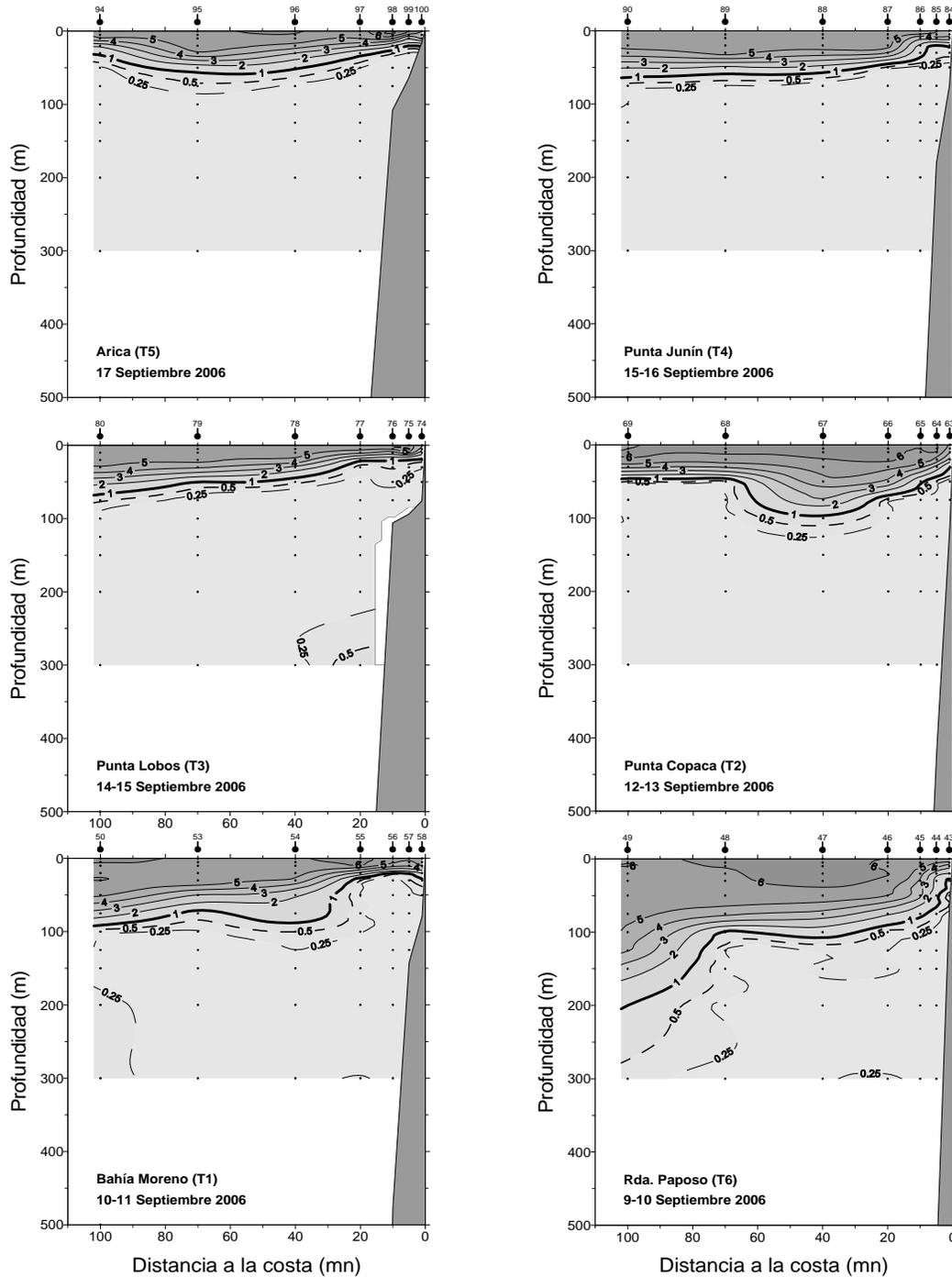


Figura 42. Distribuci3n vertical de ox3geno disuelto (mL/L) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Jun3n (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S), bah3a Moreno (T1; Lat. 23° 40'S) y rada Paposo (T6; Lat. 25° 00'S). Crucero de septiembre 2006.

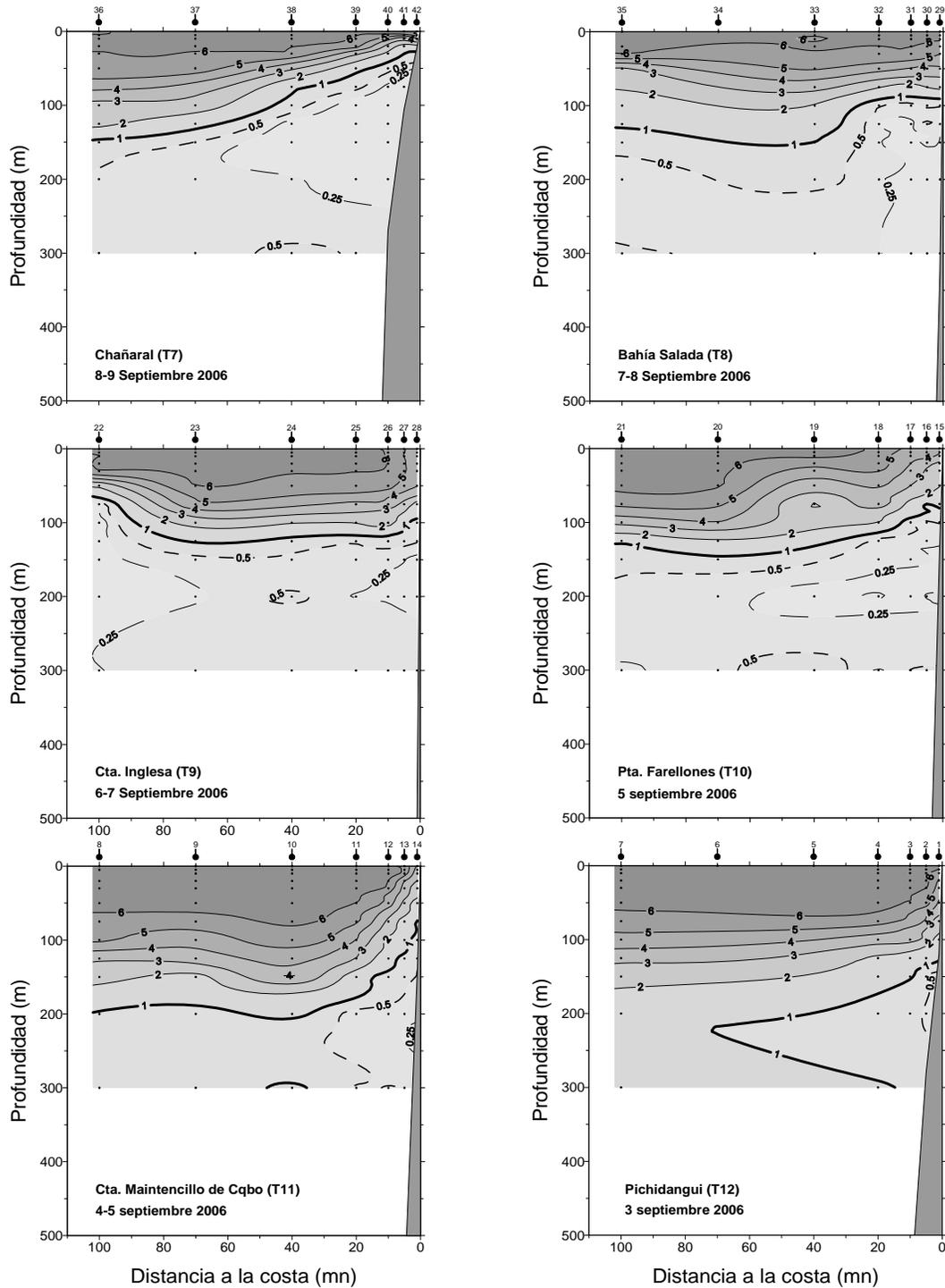


Figura 43. Distribuci3n vertical de ox3geno disuelto (mL/L) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. 26° 20'S), bahía Salada (T8; Lat. 27° 40'S), caleta Inglesa (T9; Lat.29° 00'S), punta Farellones (T10; Lat.30° 20'S), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat.31° 15'S) y Pichidangui (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.

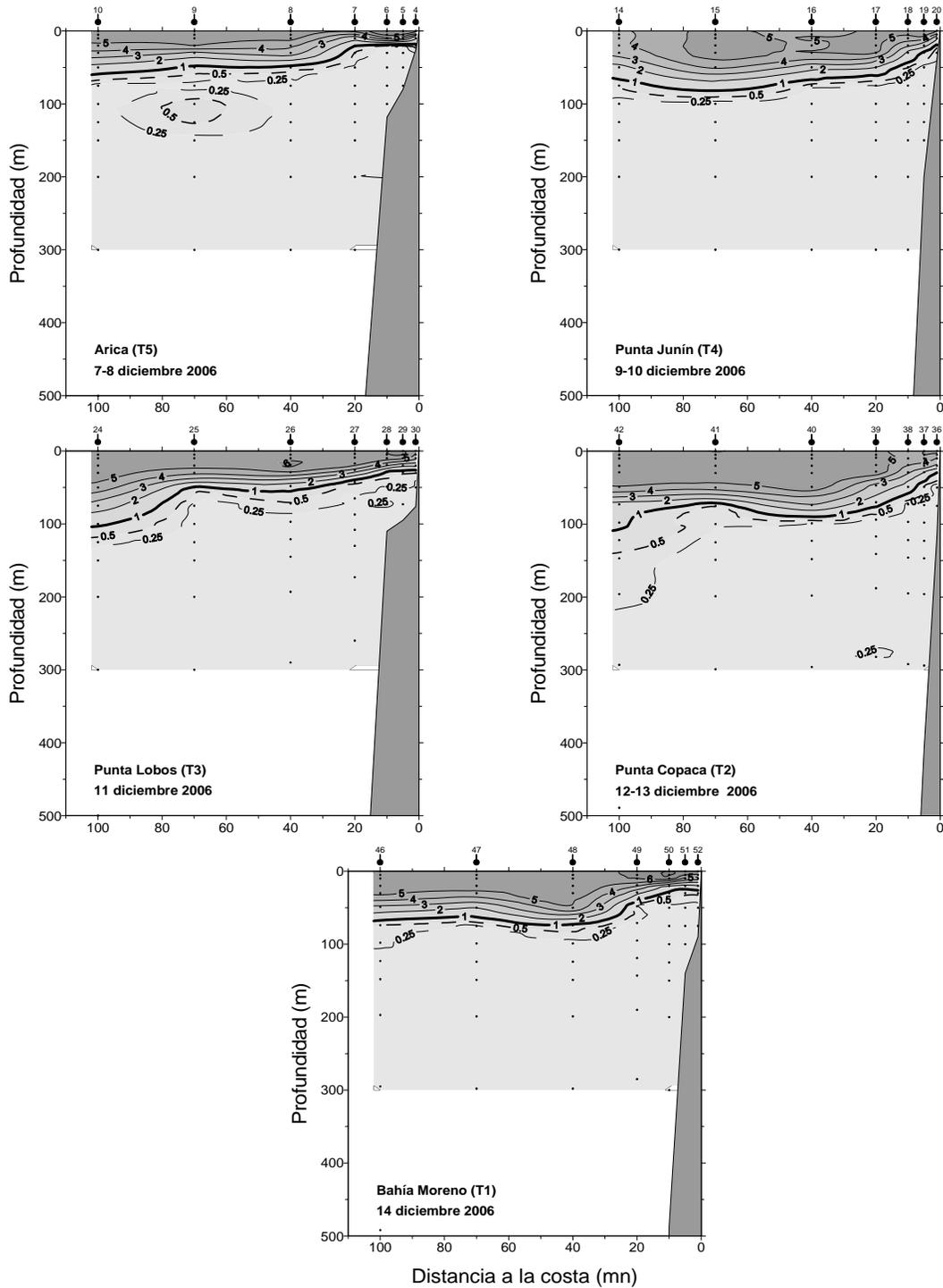


Figura 44. Distribuci3n vertical de oxigeno disuelto (mL/L) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junin (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahia Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de diciembre 2007.

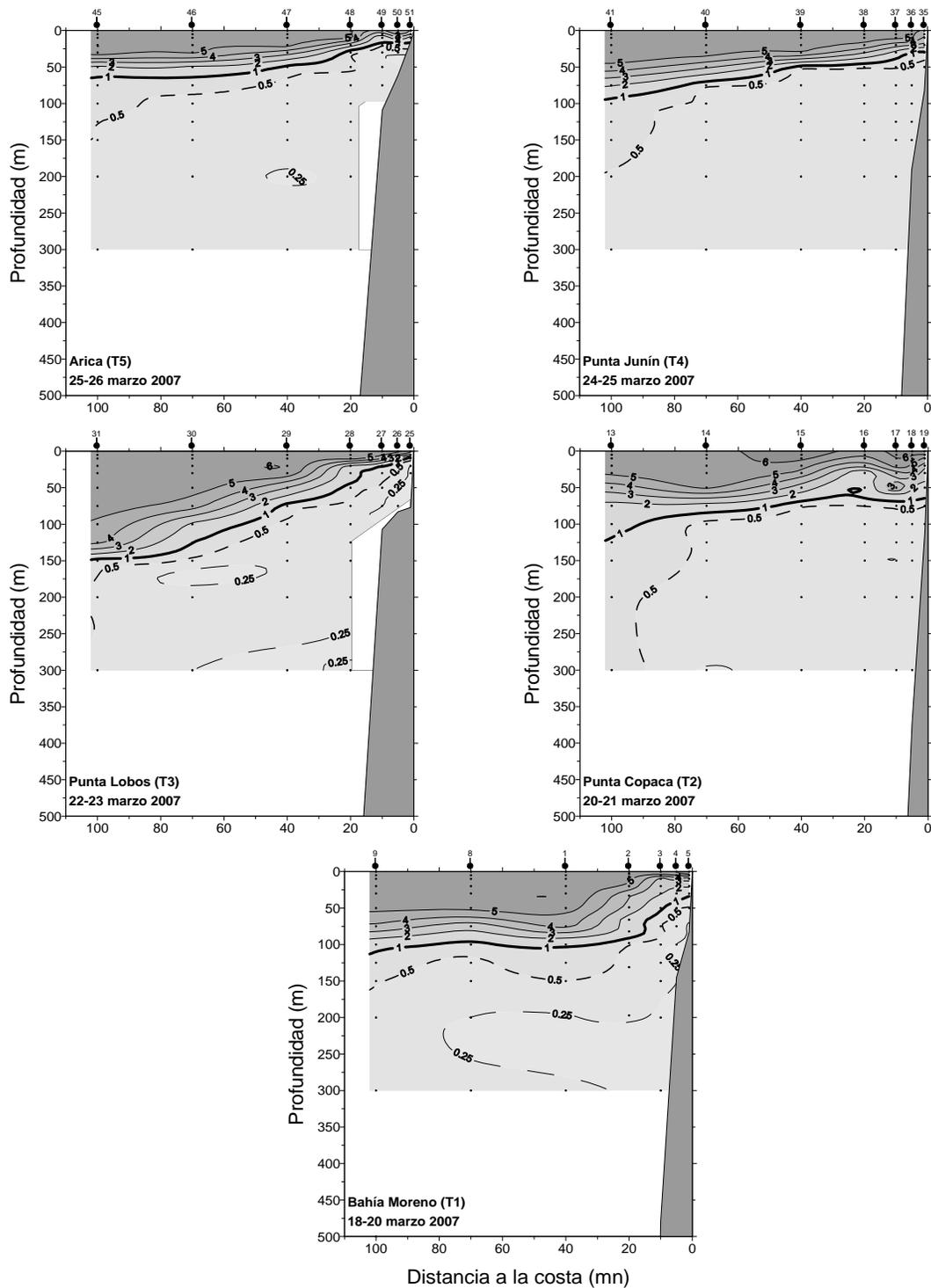


Figura 45. Distribuci3n vertical de oxigeno disuelto (mL/L) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junin (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahía Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de marzo 2007.

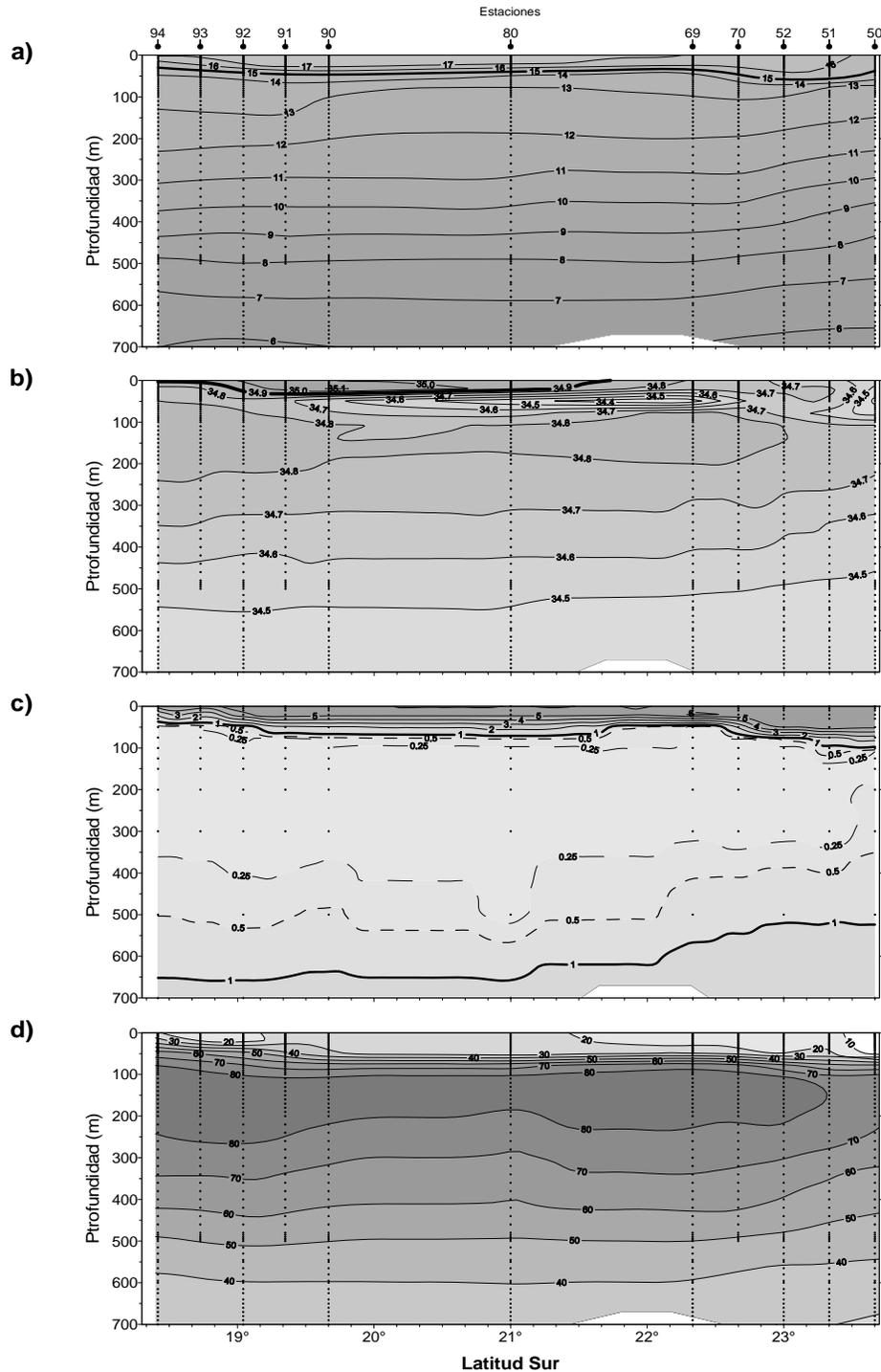


Figura 46. Distribuci3n vertical de a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) salinidad (psu), c) contenido de ox3geno disuelto (mL/L) y d) porcentaje de participaci3n de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (PPMA) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa, entre el 10 y 17 de septiembre. Crucero de septiembre 2006.

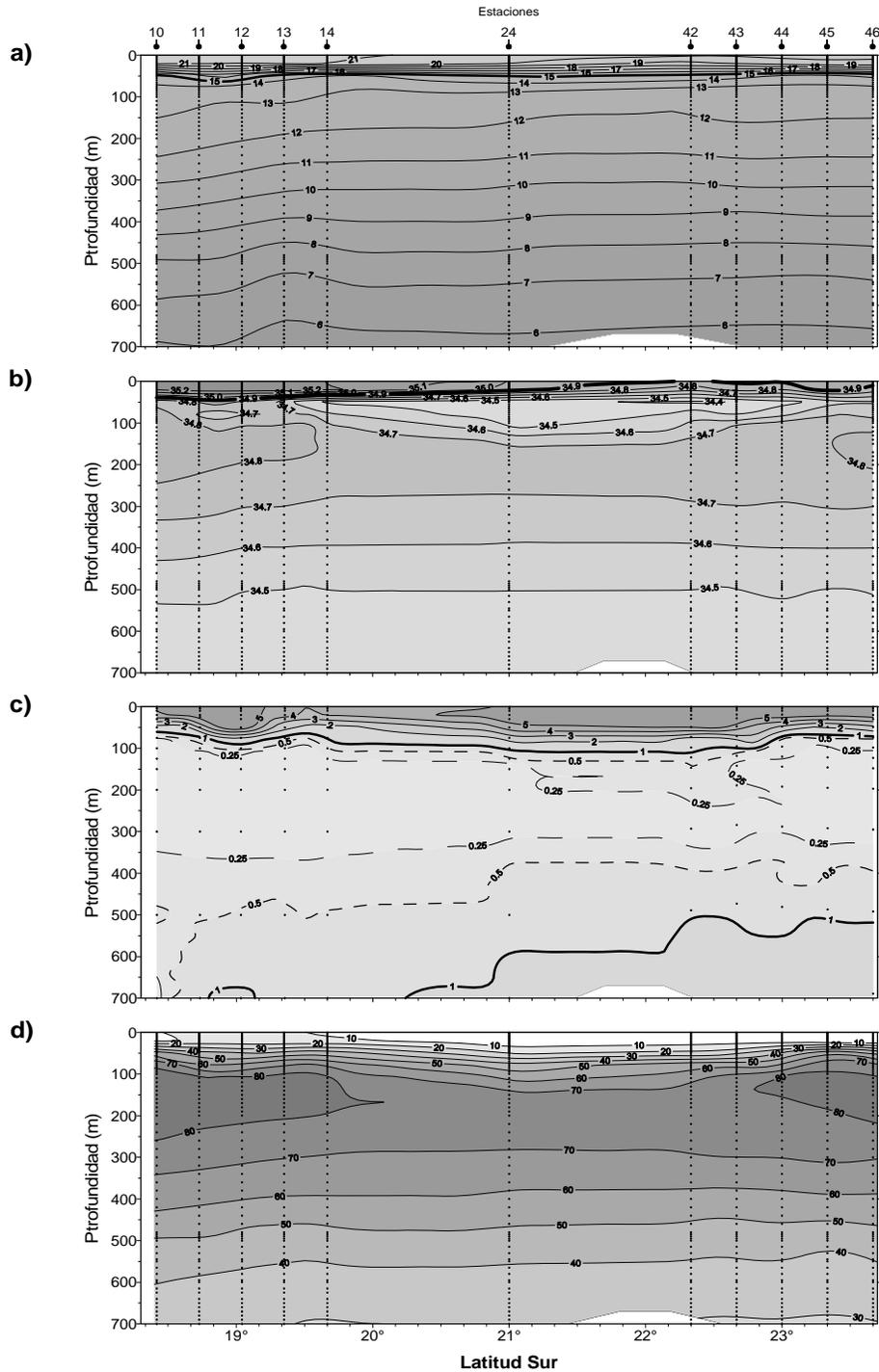


Figura 47. Distribuci3n vertical de a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) salinidad (psu), c) contenido de ox3geno disuelto (mL/L) y d) porcentaje de participaci3n de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (PPMA) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa, entre el 8 y 14 de diciembre. Crucero de diciembre 2006.

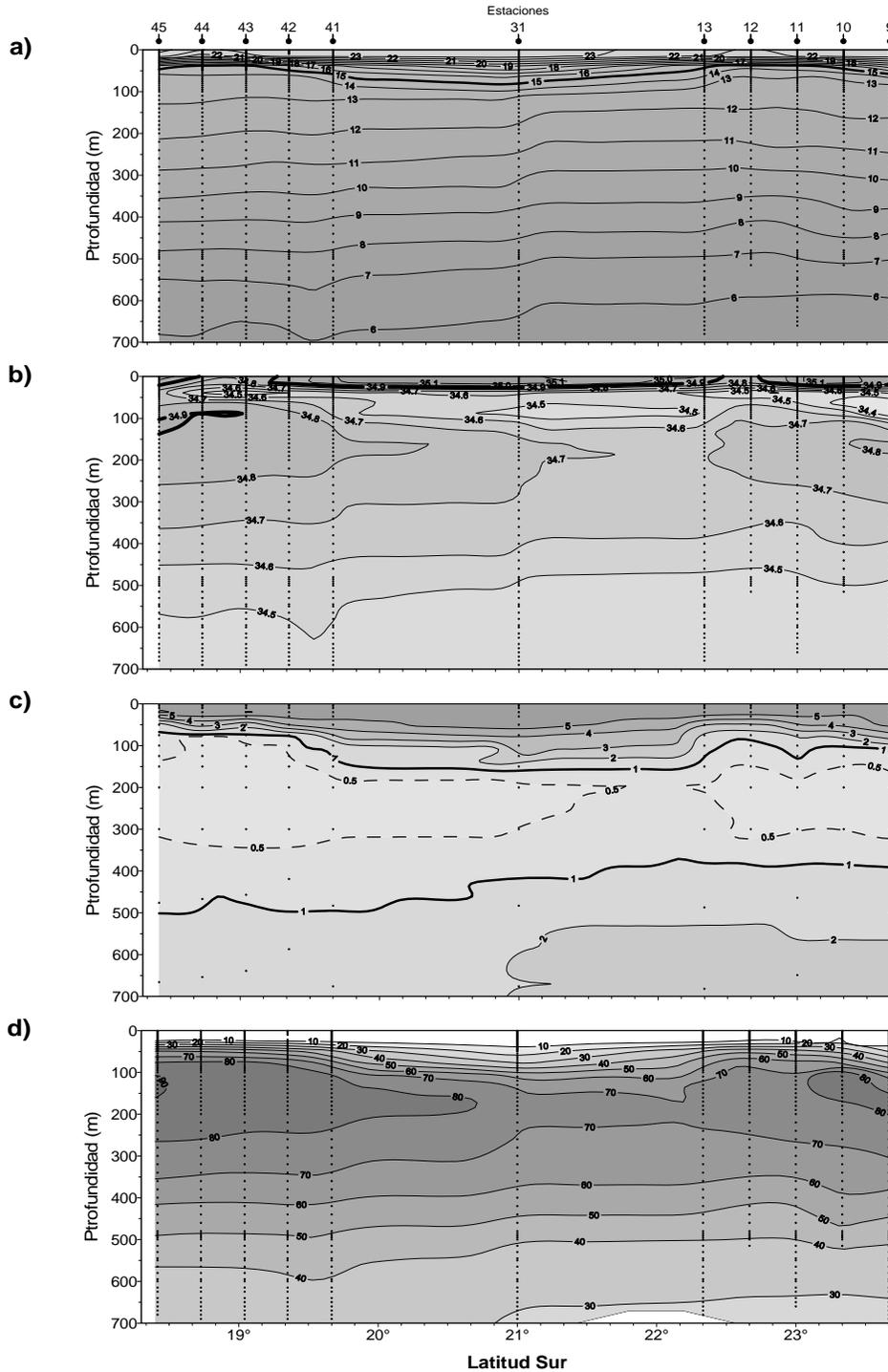


Figura 48. Distribuci3n vertical de a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) salinidad (psu), c) contenido de ox3geno disuelto (mL/L) y d) porcentaje de participaci3n de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (PPMA) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa, entre el 20 y 25 de marzo. Crucero de marzo 2007.

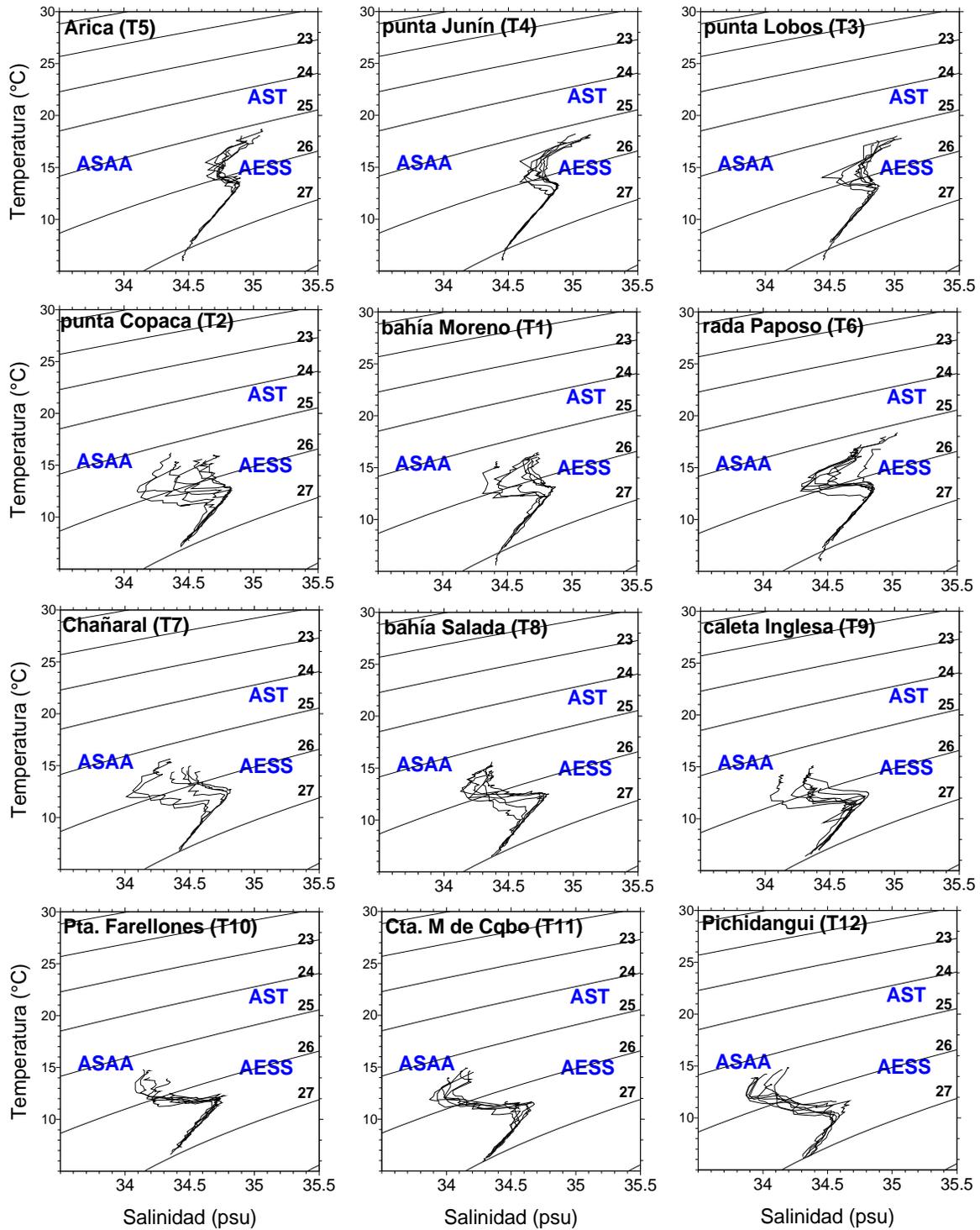


Figura 49. Diagramas T-S de todas las estaciones agrupadas por transecta. Crucero de septiembre 2006.

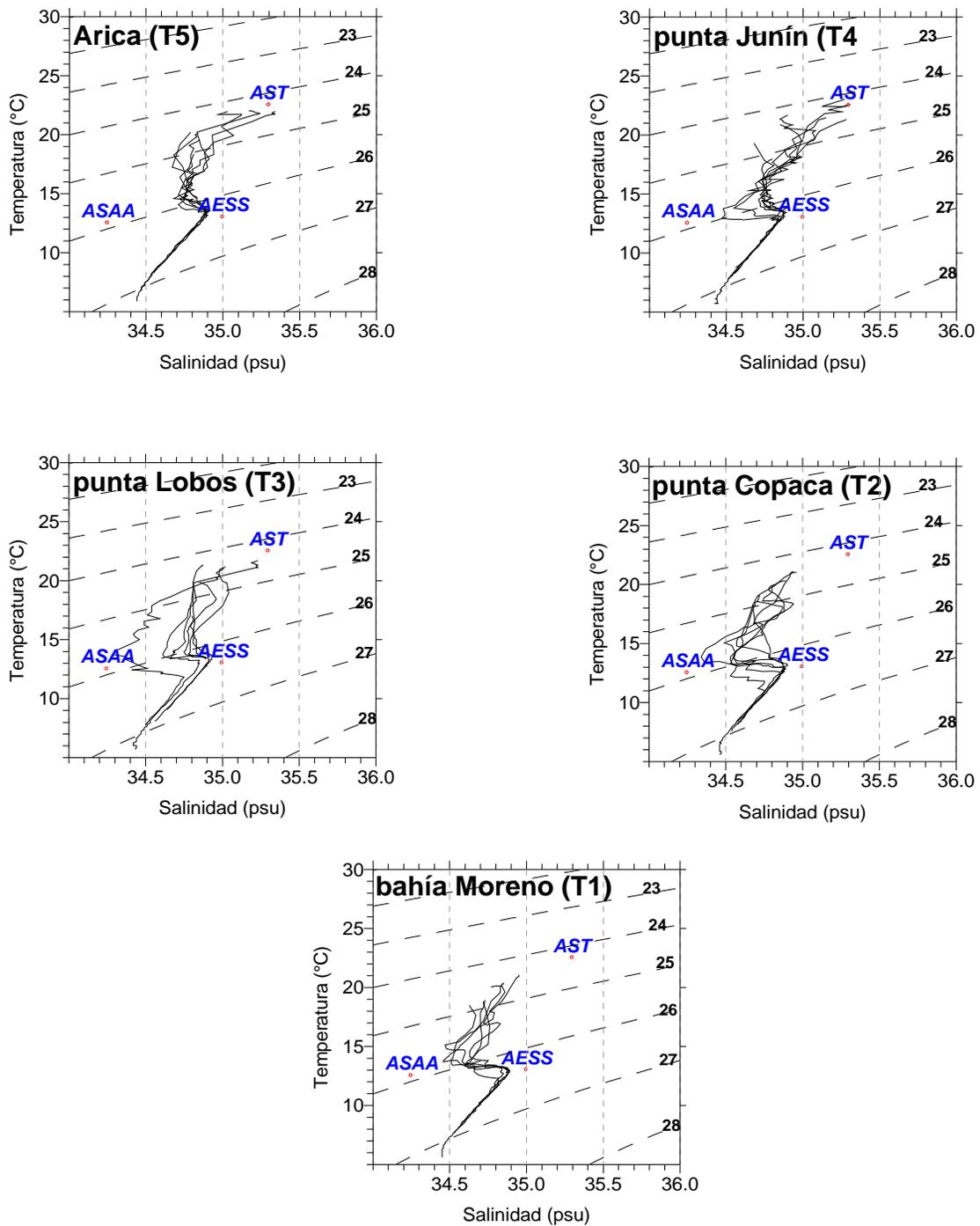


Figura 50. Diagramas T-S de todas las estaciones agrupadas por transecta. Crucero de diciembre 2006.

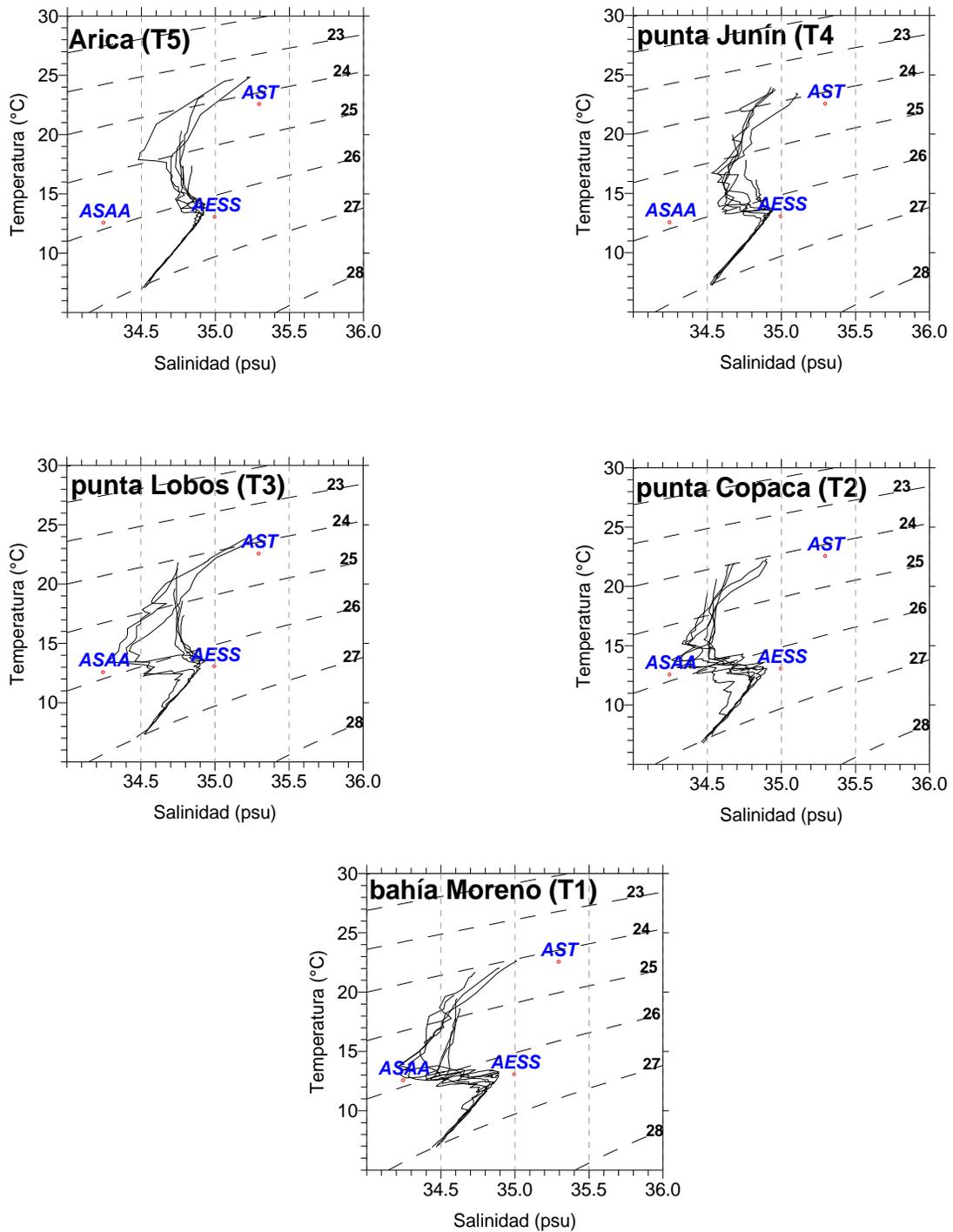


Figura 51. Diagramas T-S de todas las estaciones agrupadas por transecta. Crucero de marzo 2007.

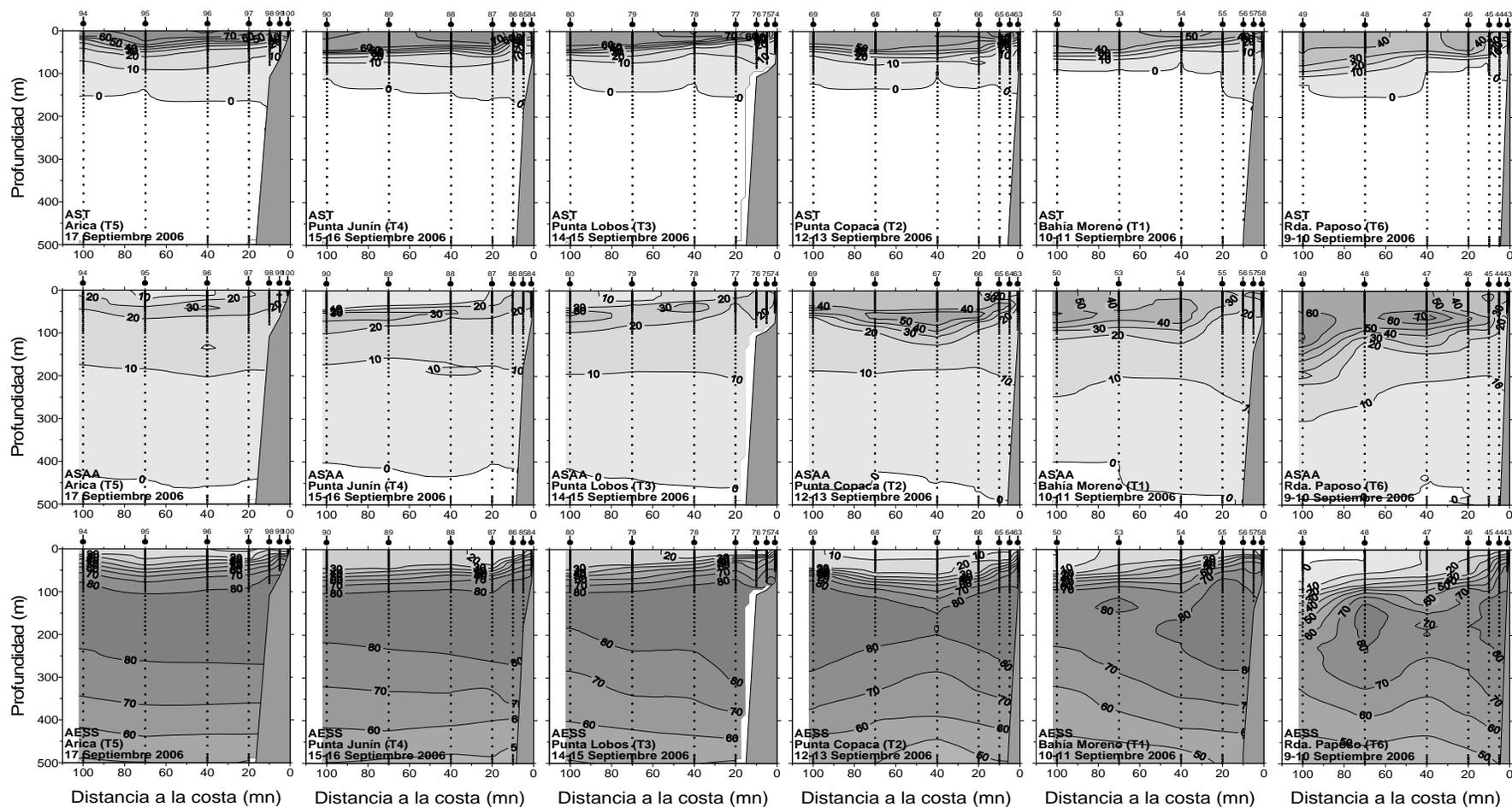


Figura 52. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subtropical (AST), Subantártica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junin (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S), bahia Moreno (T1; Lat.23° 40'S) y rada Paposo (T6; Lat. 25° 00'S). Crucero de septiembre 2006.

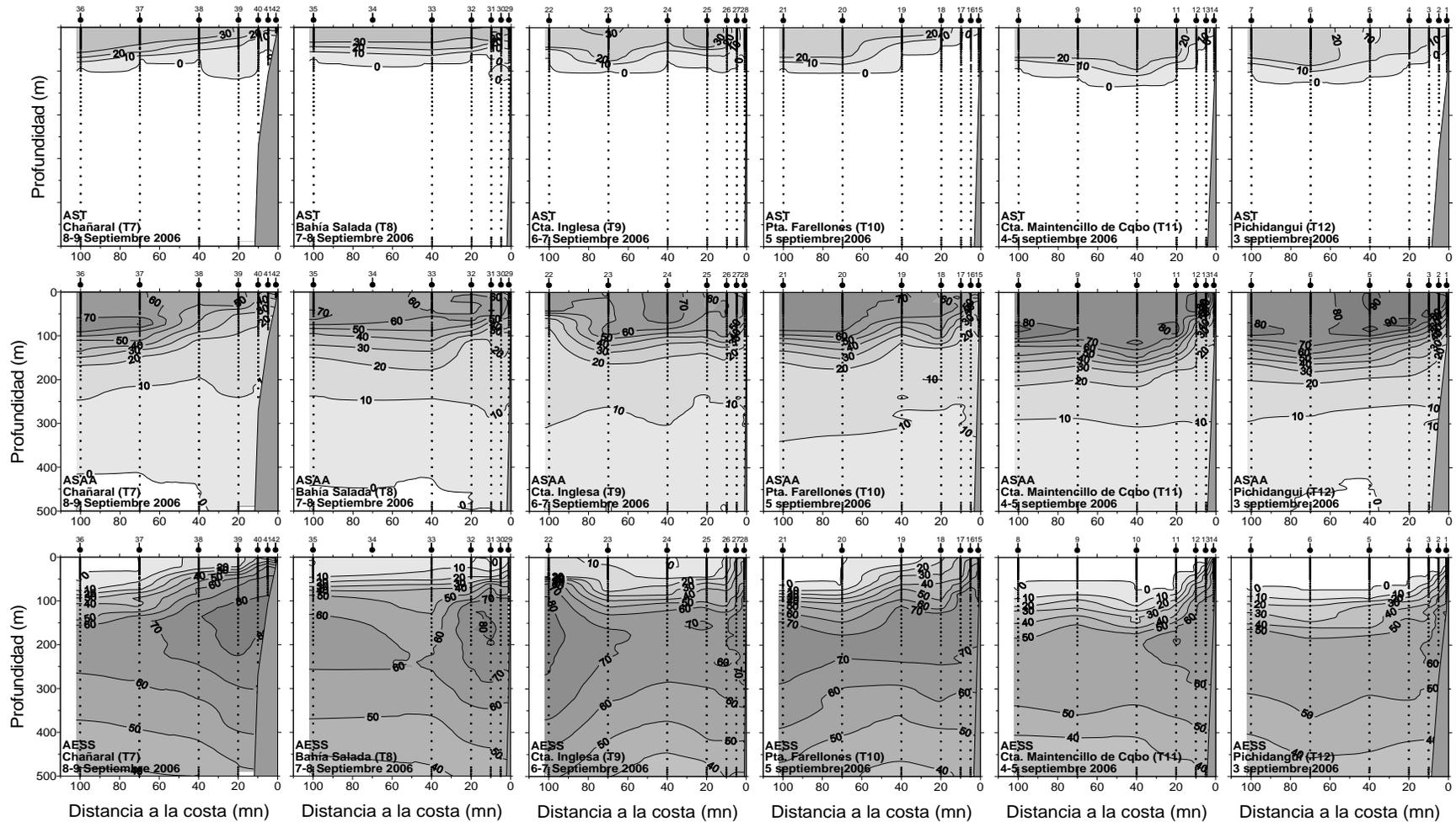


Figura 53. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subtropical (AST), Subantártica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas de Chañaral (T7; Lat. 26° 20'S), bahía Salada (T8; Lat. 27° 40'S), caleta Inglesa (T9; Lat. 29° 00'S), punta Farellones (T10; Lat. 30° 20'S), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat. 31° 15'S) y Pichidangui (T12; Lat. 32° 10'S). Crucero de septiembre 2006.

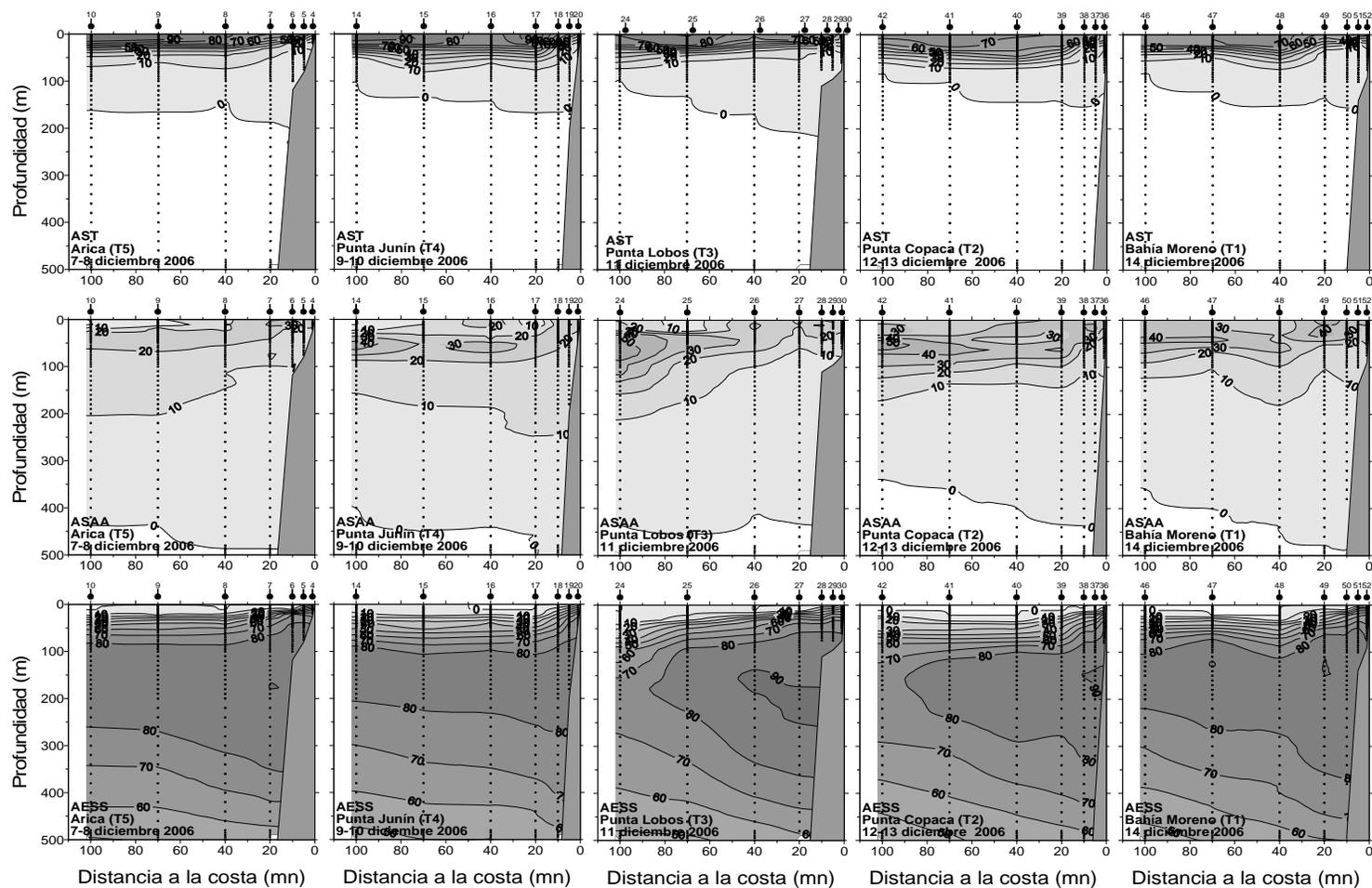


Figura 54. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subtropical (AST), Subant3rtica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junin (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahia Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de diciembre 2006.

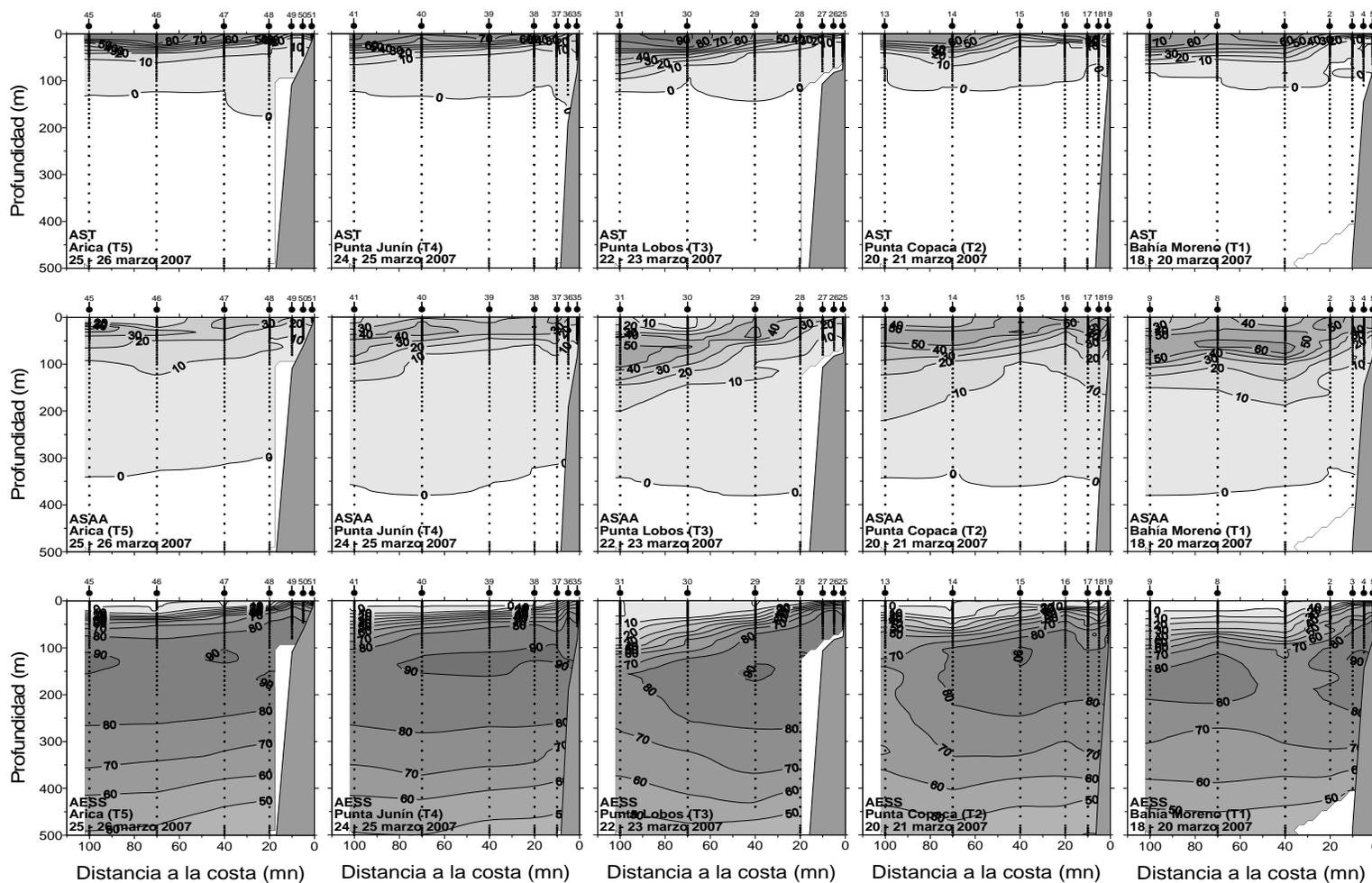


Figura 55. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subtropical (AST), Subant3rtica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas de Arica (T5; Lat. 18° 25'S), punta Junin (T4; Lat. 19° 40'S), punta Lobos (T3; Lat. 21° 00'S), punta Copaca (T2; Lat. 22° 20'S) y bahia Moreno (T1; Lat.23° 40'S). Crucero de marzo 2007.

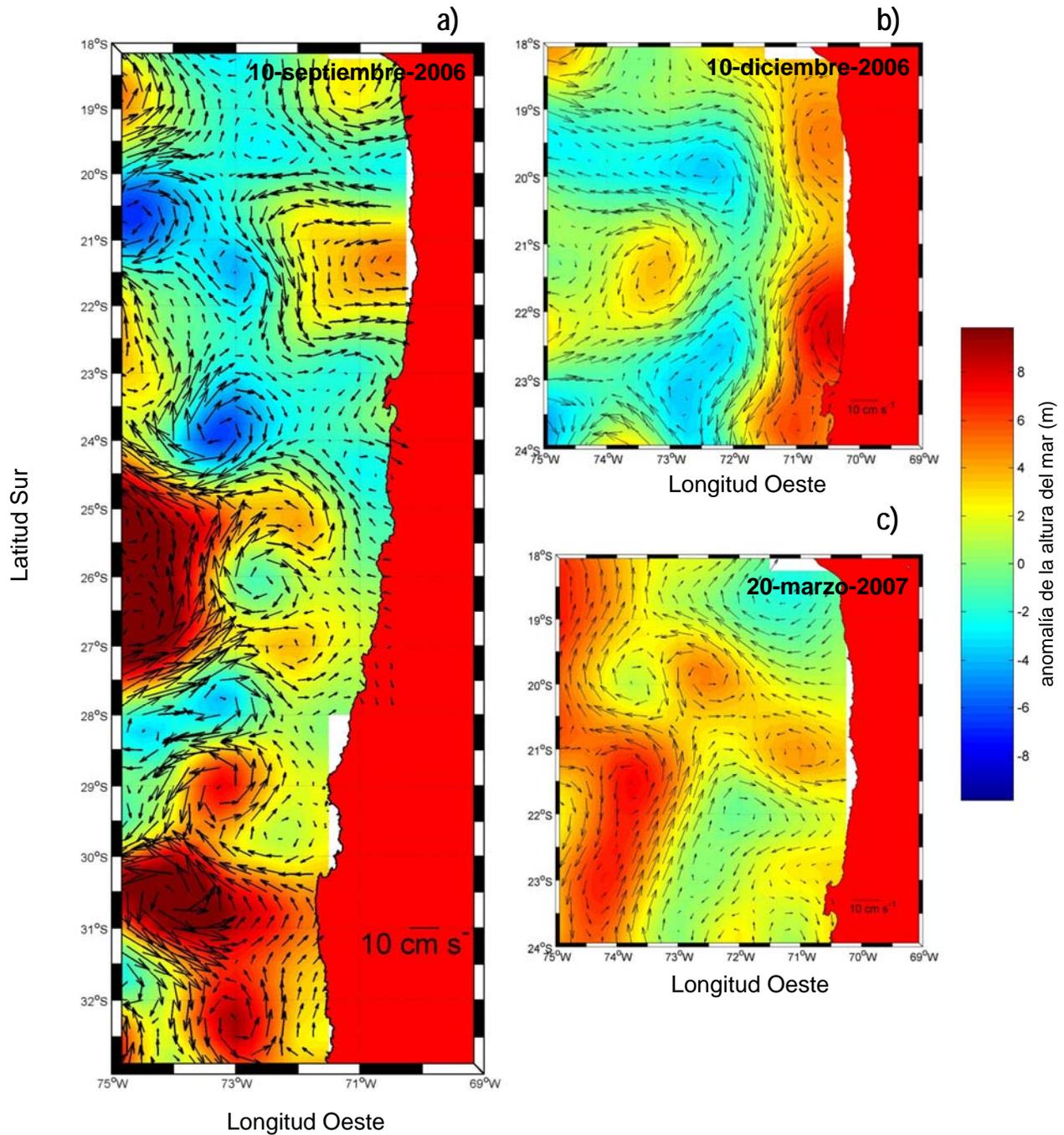


Figura 56. Imagen de circulaci3n geostrofica superficial correspondiente al los d1as a) 10 de Septiembre 2006, b) 10 de Diciembre 2006 y 20 de marzo 2007.

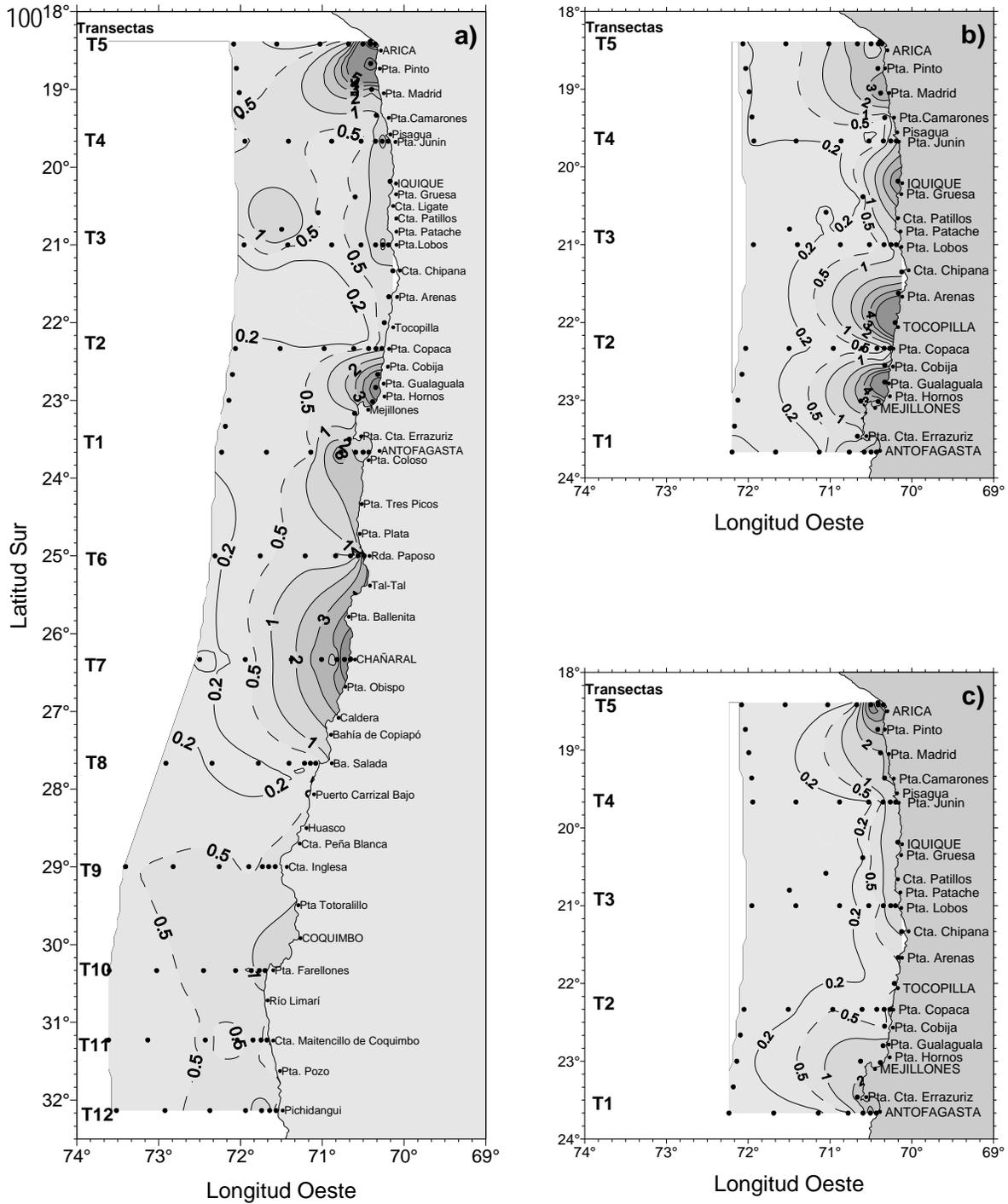


Figura 57. Distribuci3n superficial de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

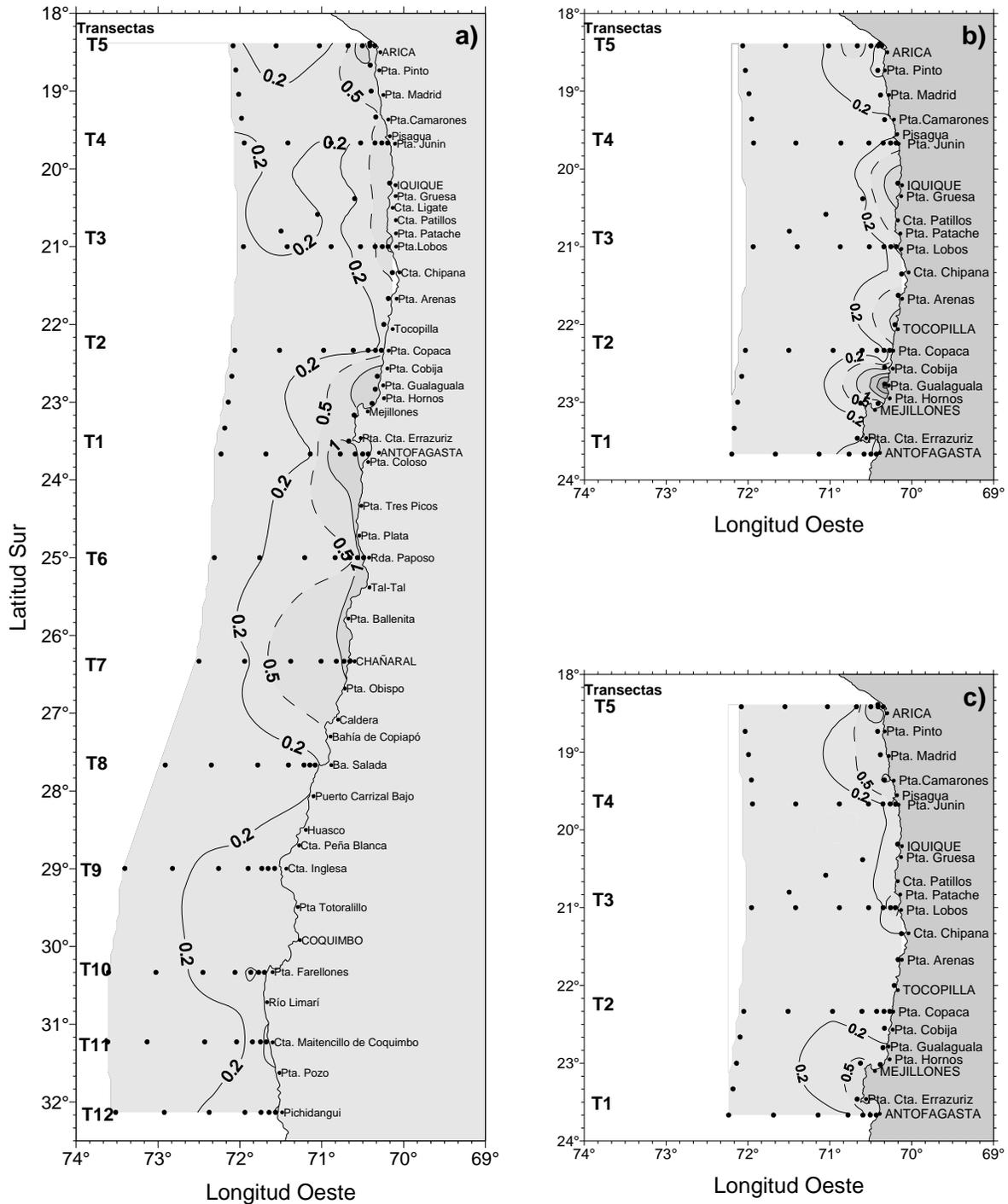


Figura 58. Distribuci3n superficial de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

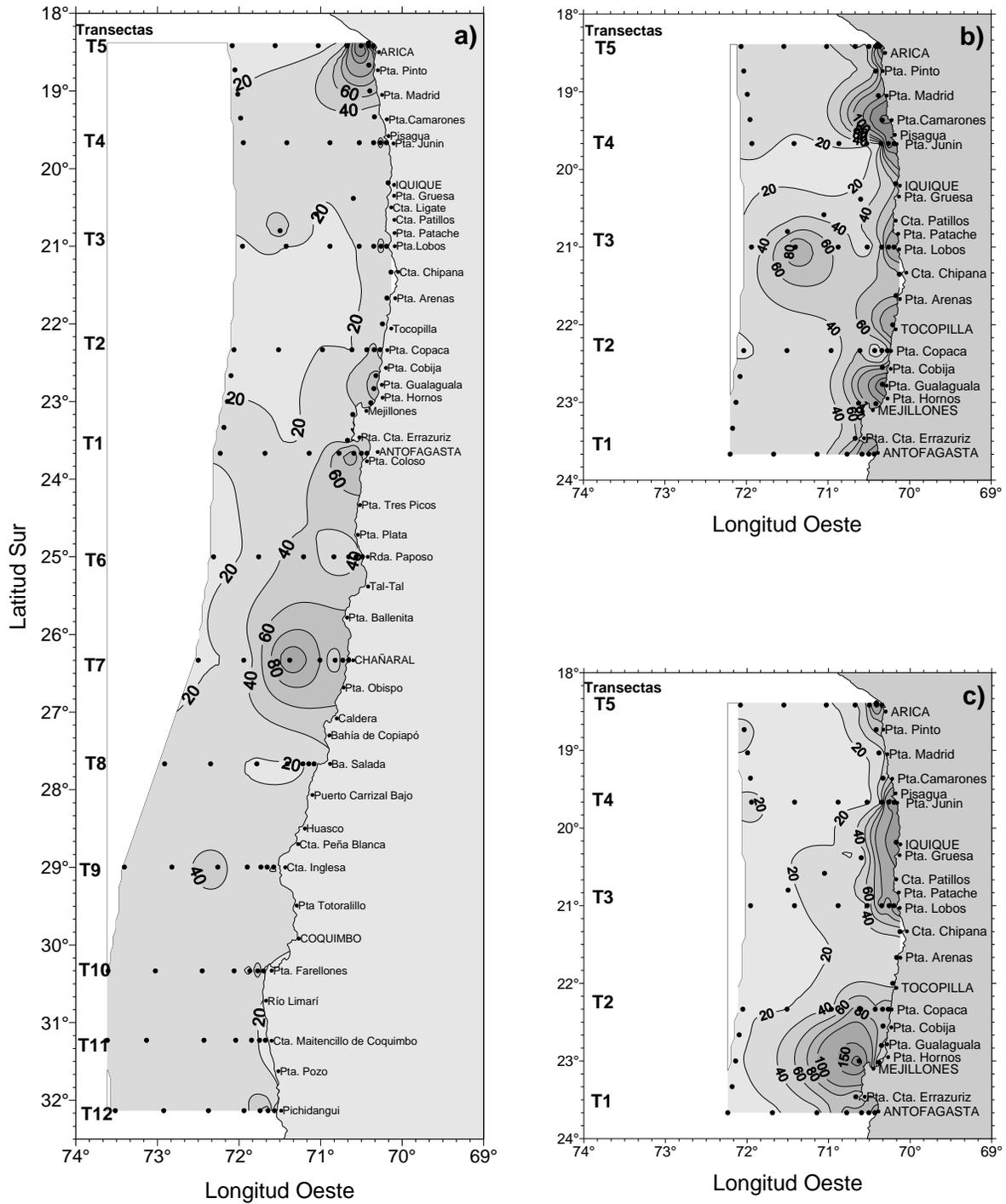


Figura 59. Distribuci3n de clorofila-a integrada (mg/m²) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

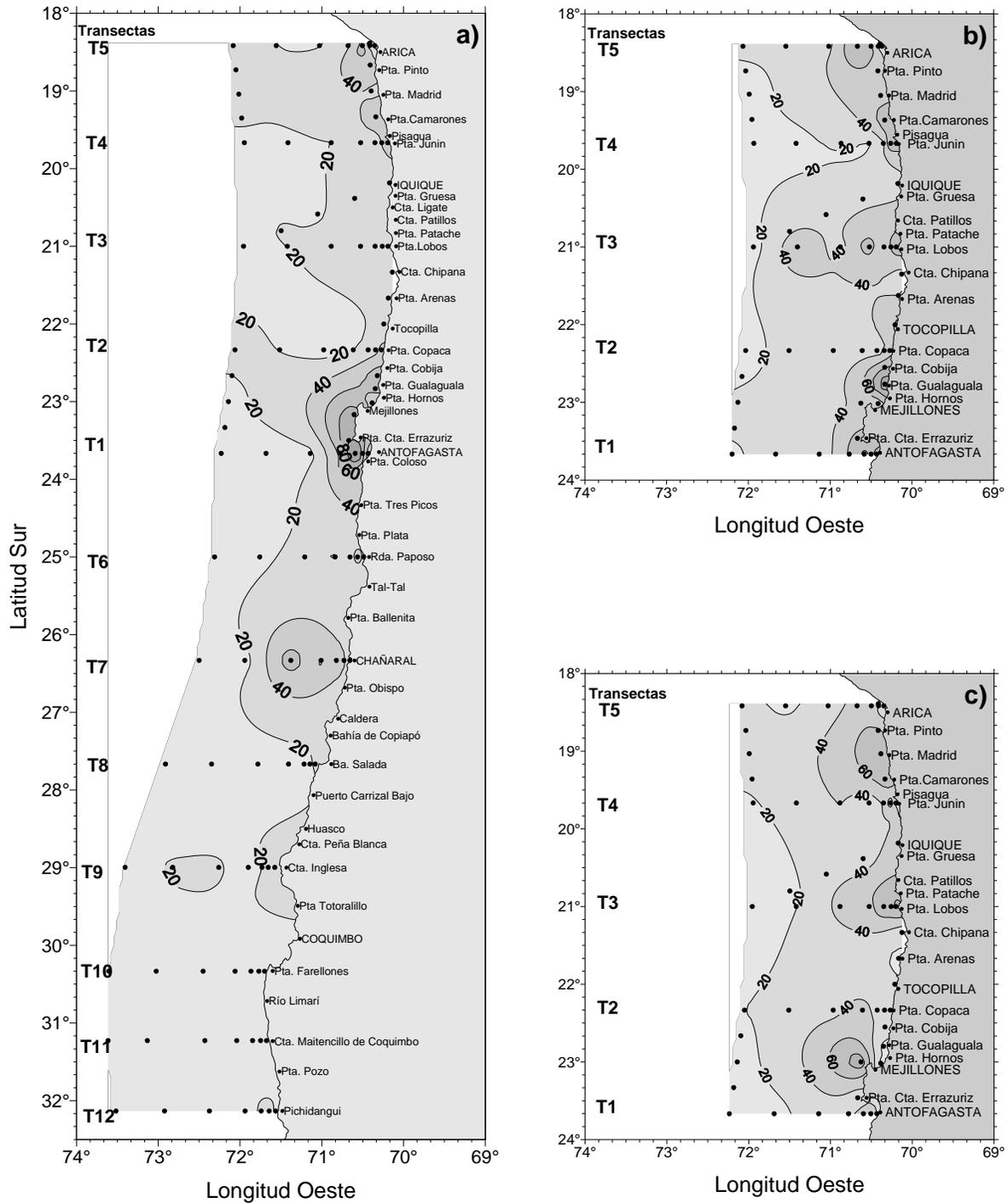


Figura 60. Distribuci3n de feopigmentos integrados (mg/m²) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

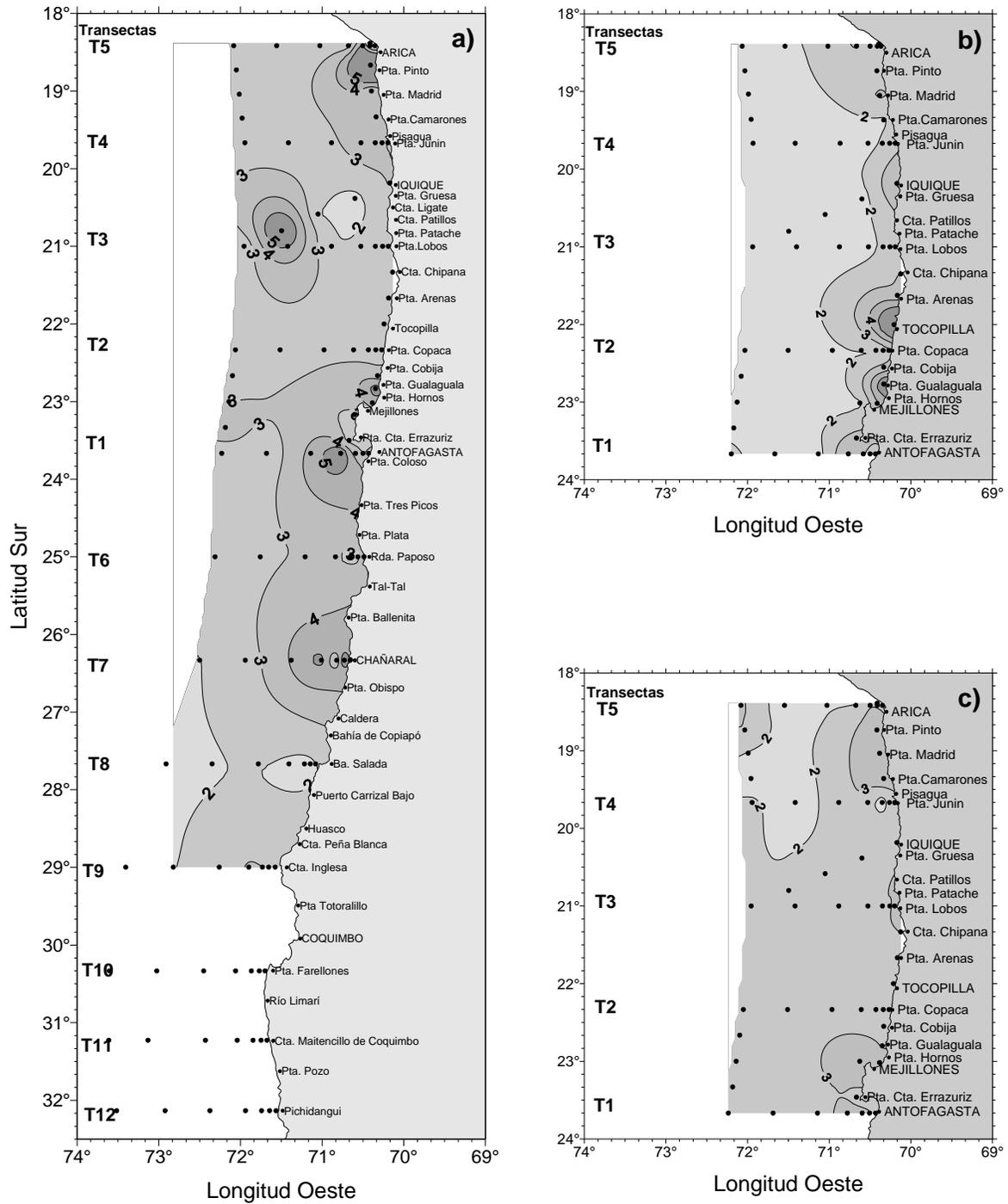


Figura 61. Distribuci3n de fluorescencia in vivo (volt) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

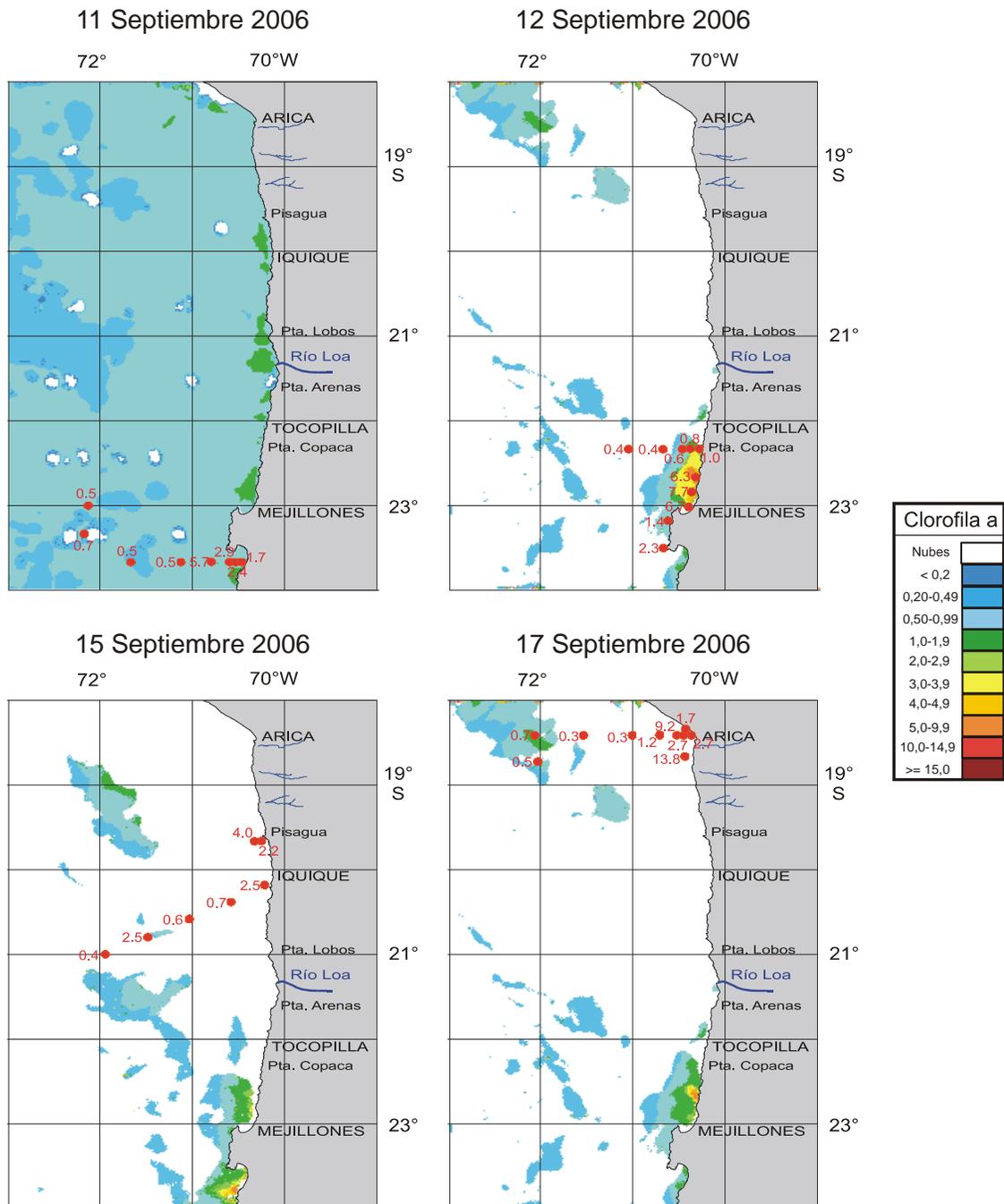


Figura 62. Distribuci3n espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los d1as 11, 12, 15 y 17 de Septiembre. Crucero de septiembre 2006.

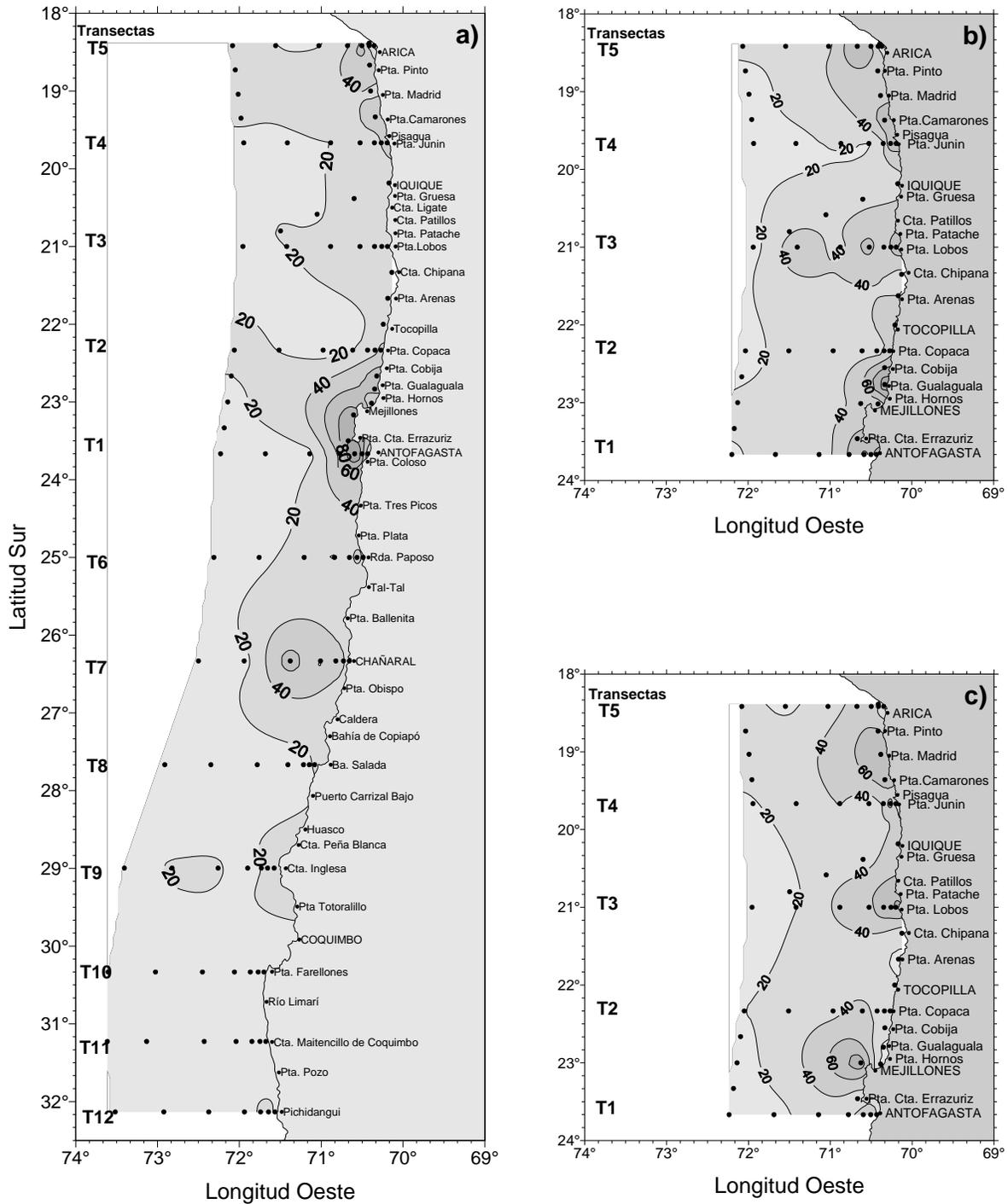


Figura 63. Distribuci3n de feopigmentos integrados (mg/m²) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

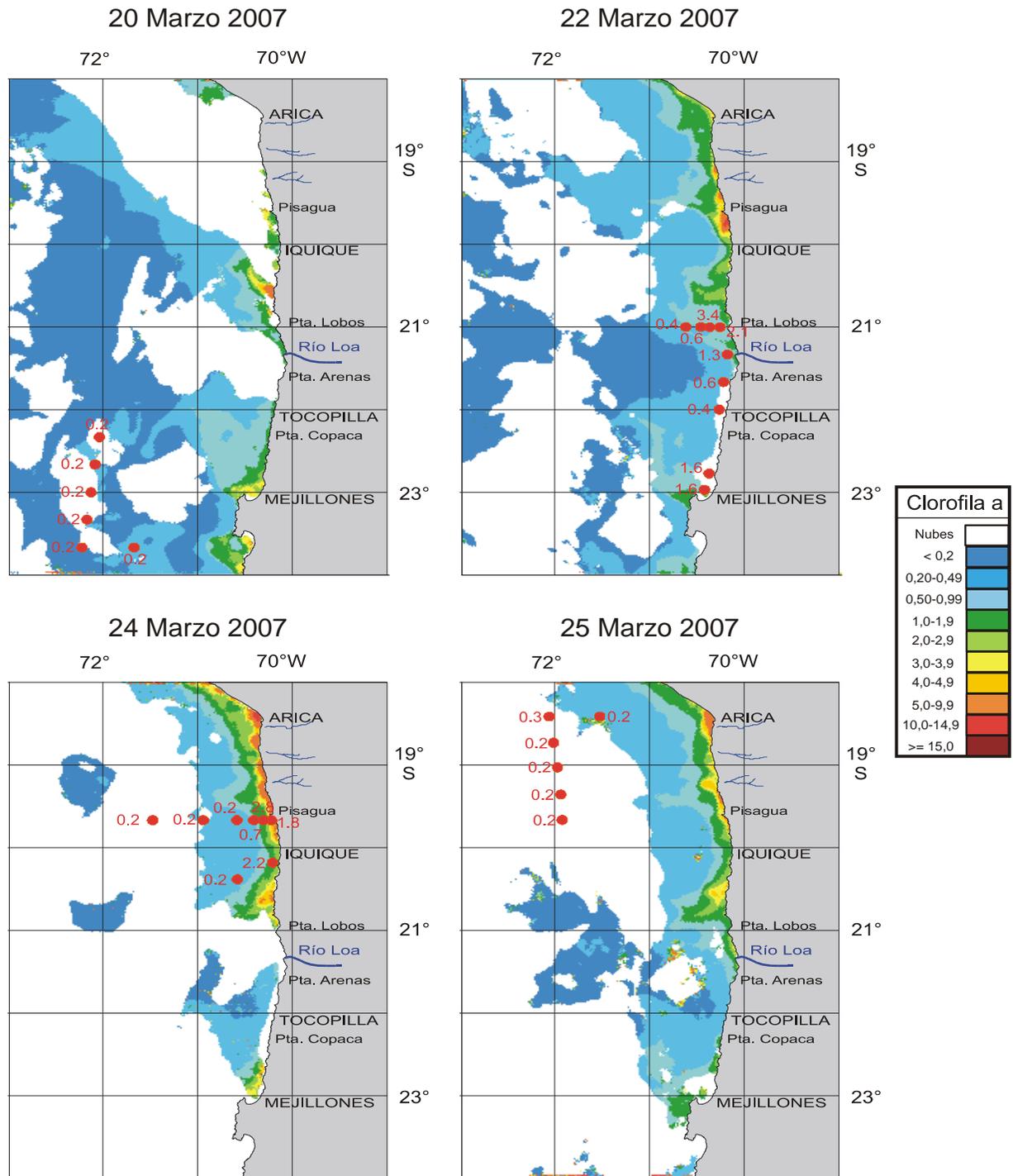


Figura 64. Distribuci3n espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los d1as 20, 22, 24 y 25 de Marzo. Crucero de marzo 2007.

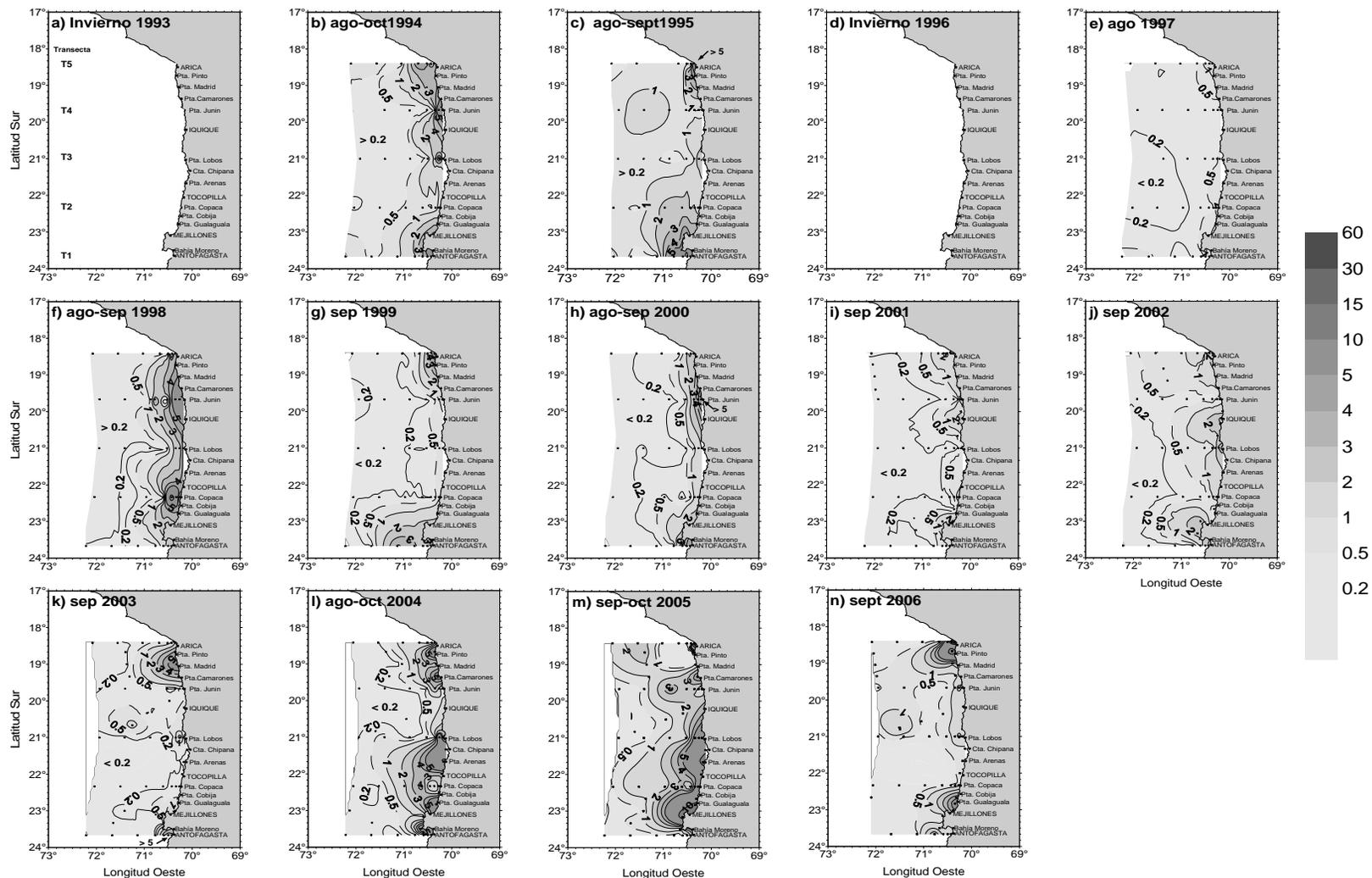


Figura 65. Distribuci3n hist3rica de clorofila-a superficial ($\mu\text{g/L}$) entre Arica y Antofagasta en invierno de los a1os 1993 a 2006. (cruceros realizados entre 1993 y 1997 sin informaci3n de clorofila a; en 2005 no se realiz3 cruceo).

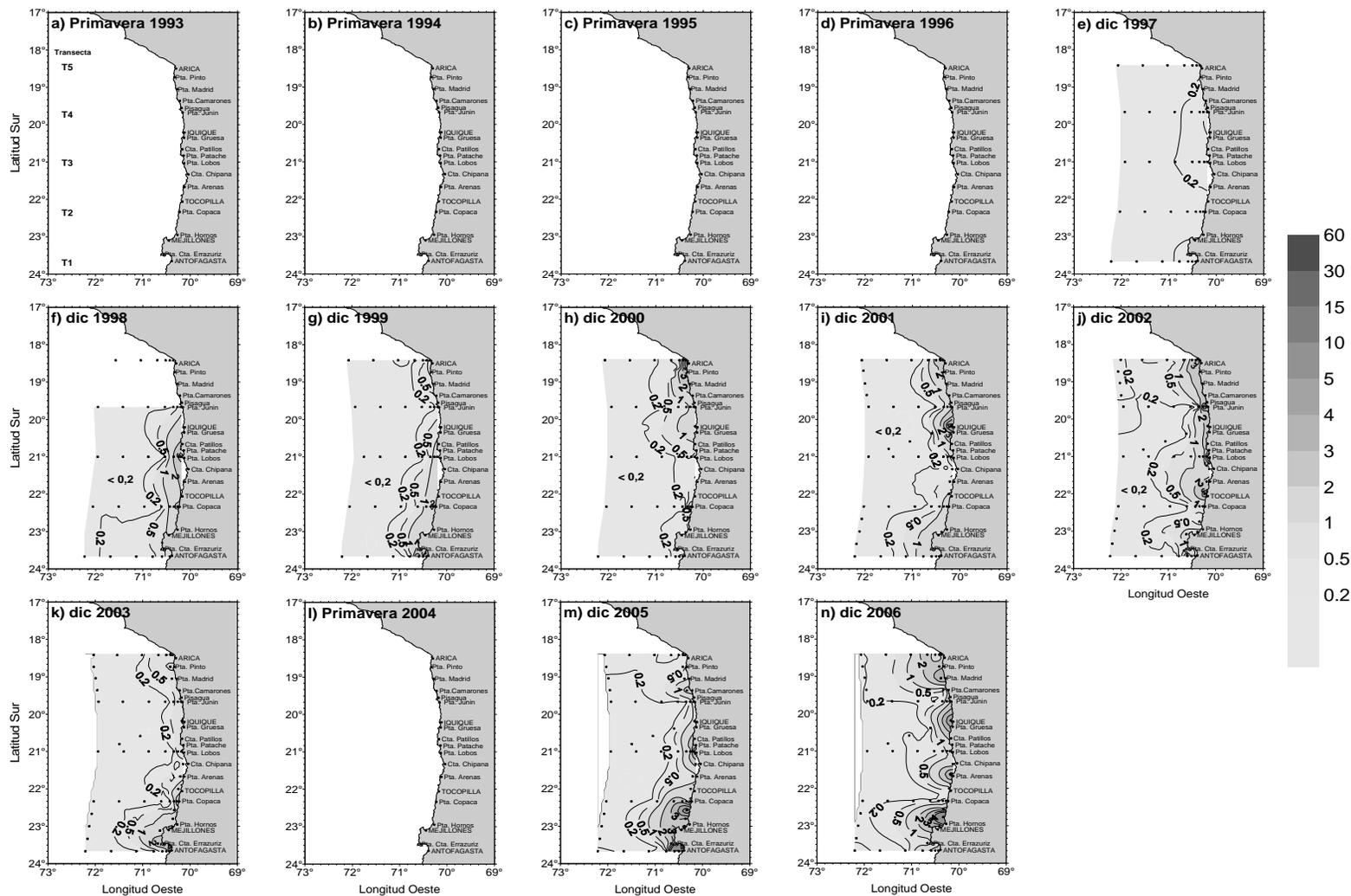


Figura 66. Distribuci3n hist3rica de clorofila-a superficial ($\mu\text{g/L}$) entre Arica y Antofagasta en primavera de los a1os 1993 a 2006. (cruceros realizados entre 1993 y 1996 sin informaci3n de clorofila a; en 2004 no se realiz3 cruceo).

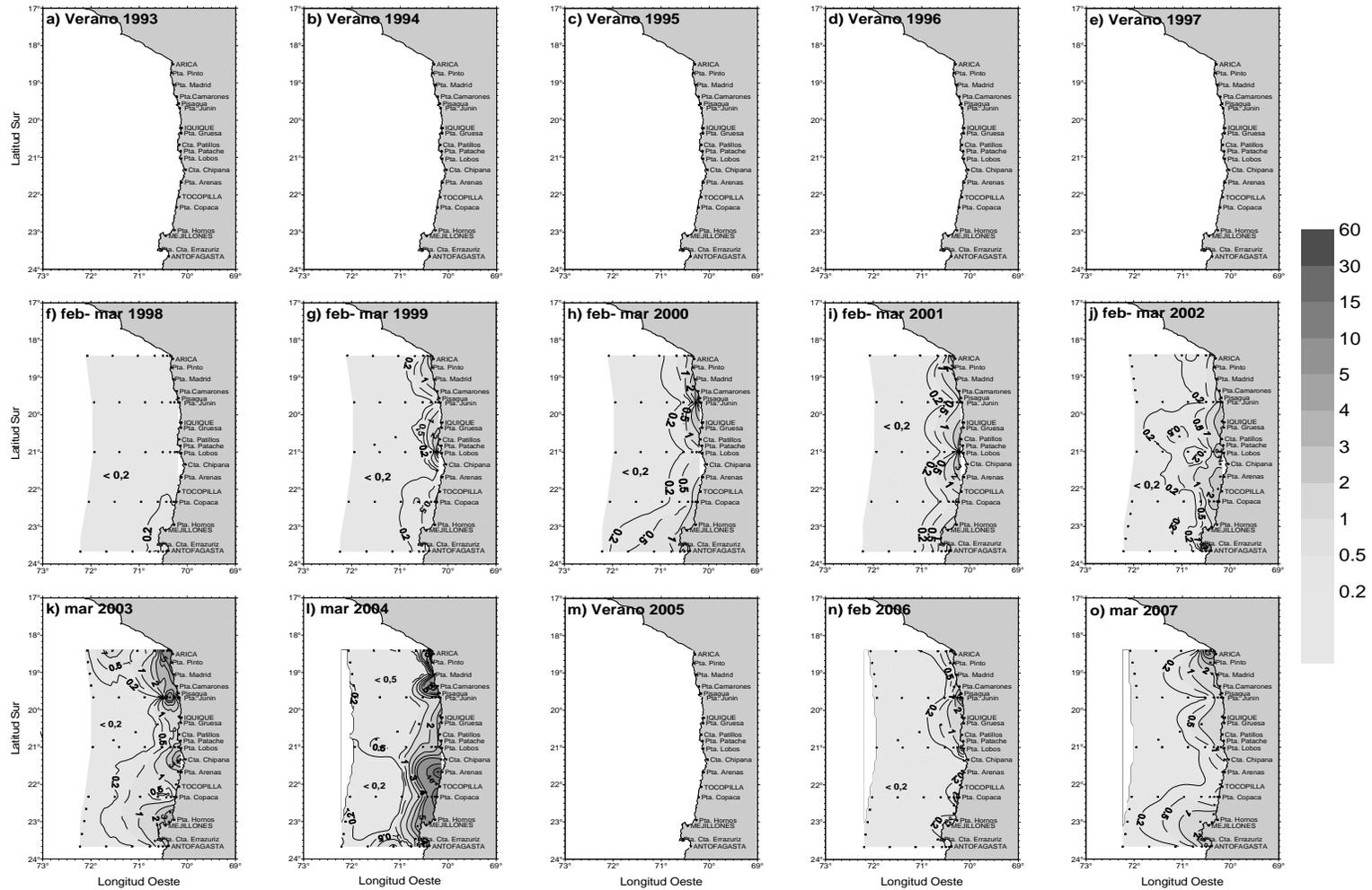


Figura 67. Distribuci3n hist3rica de clorofila a superficial ($\mu\text{g/L}$) entre Arica y Antofagasta en verano de los a1os 1993 a 2007. (cruceros realizados entre 1993 y 1997 sin informaci3n de clorofila a; en 2005 no se realiz3 cruceo).

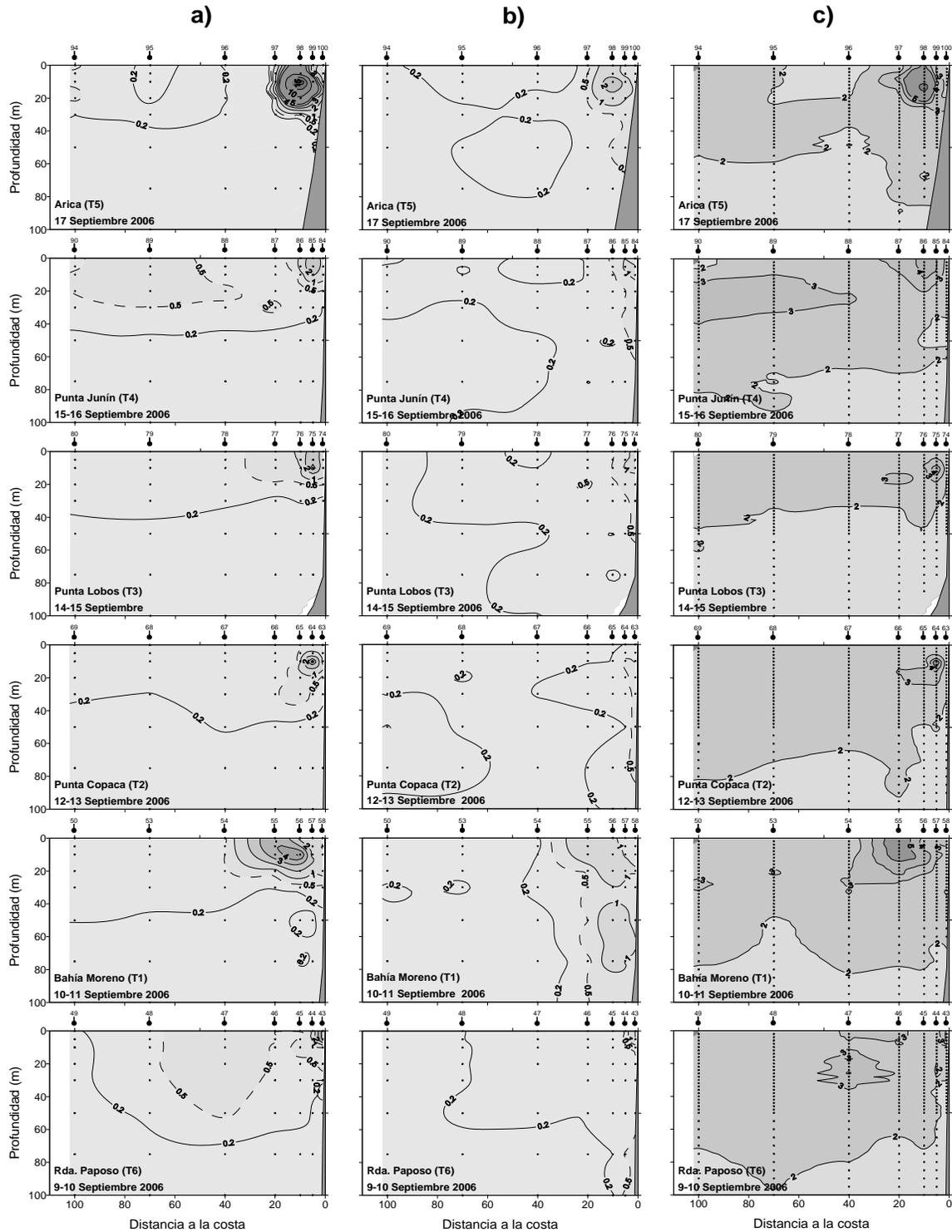


Figura 68. Distribuci3n vertical de a) clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) y c) Fluorescencia *in vivo* (volt), en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^{\circ} 25'S$), punta Junin (T4; Lat. $19^{\circ} 40'S$), punta Lobos (T3; Lat. $21^{\circ} 00'S$), punta Copaca (T2; Lat. $22^{\circ} 20'S$), bahía Moreno (T1; Lat. $23^{\circ} 40'S$) y rada Paposo (T6; Lat. $25^{\circ} 00'S$). Crucero de septiembre 2006.

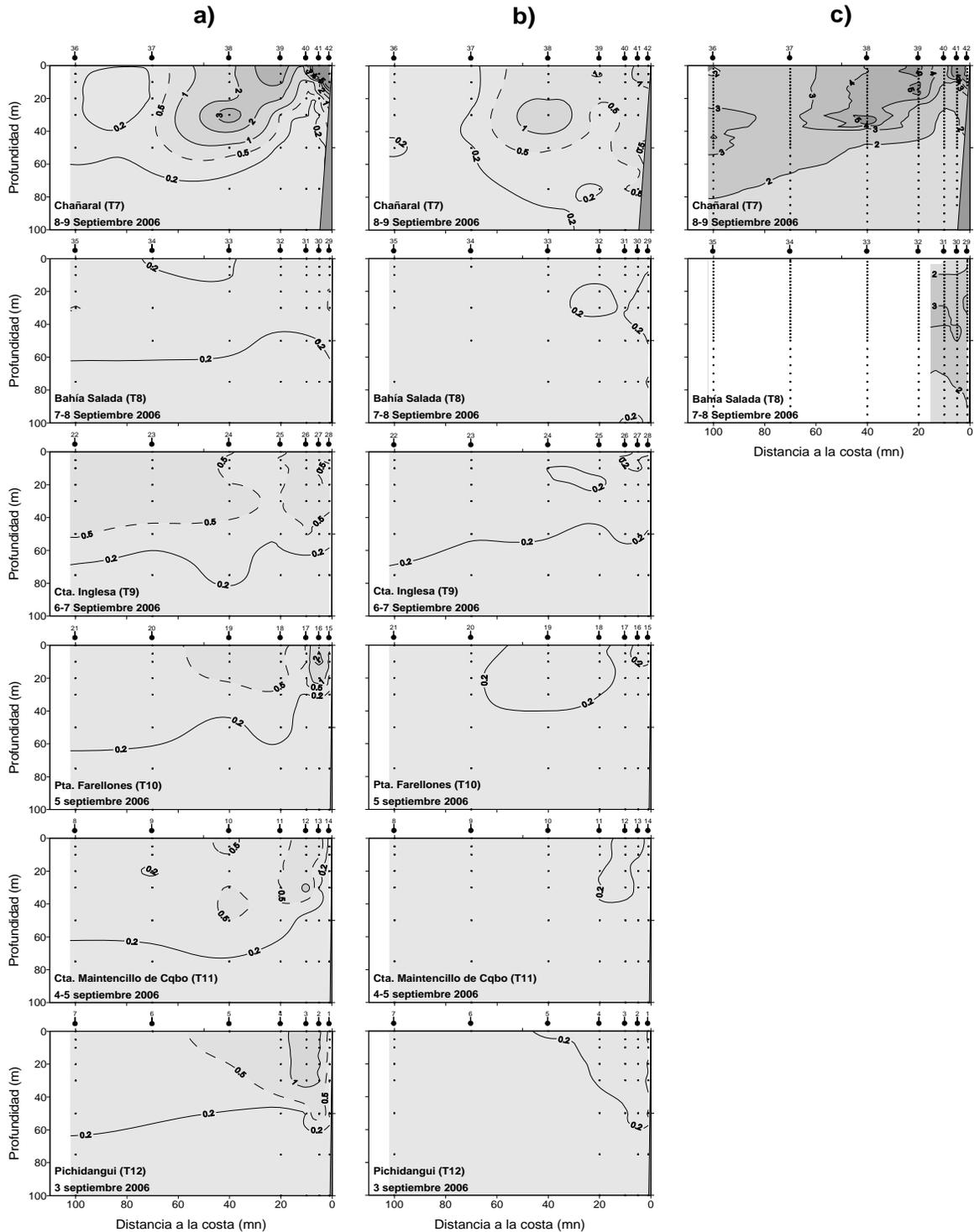


Figura 69. Distribuci3n vertical de a) clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) y c) Fluorescencia *in vivo* (volt), en las transectas de Chañaral (T7; Lat. $26^{\circ} 20'S$), bahía Salada (T8; Lat. $27^{\circ} 40'S$), caleta Inglesa (T9; Lat. $29^{\circ} 00'S$), punta Farellones (T10; Lat. $30^{\circ} 20'S$), caleta Maitencillo de Coquimbo (T11; Lat. $31^{\circ} 15'S$) y Pichidangui (T12; Lat. $32^{\circ} 10'S$). Crucero de septiembre 2006.

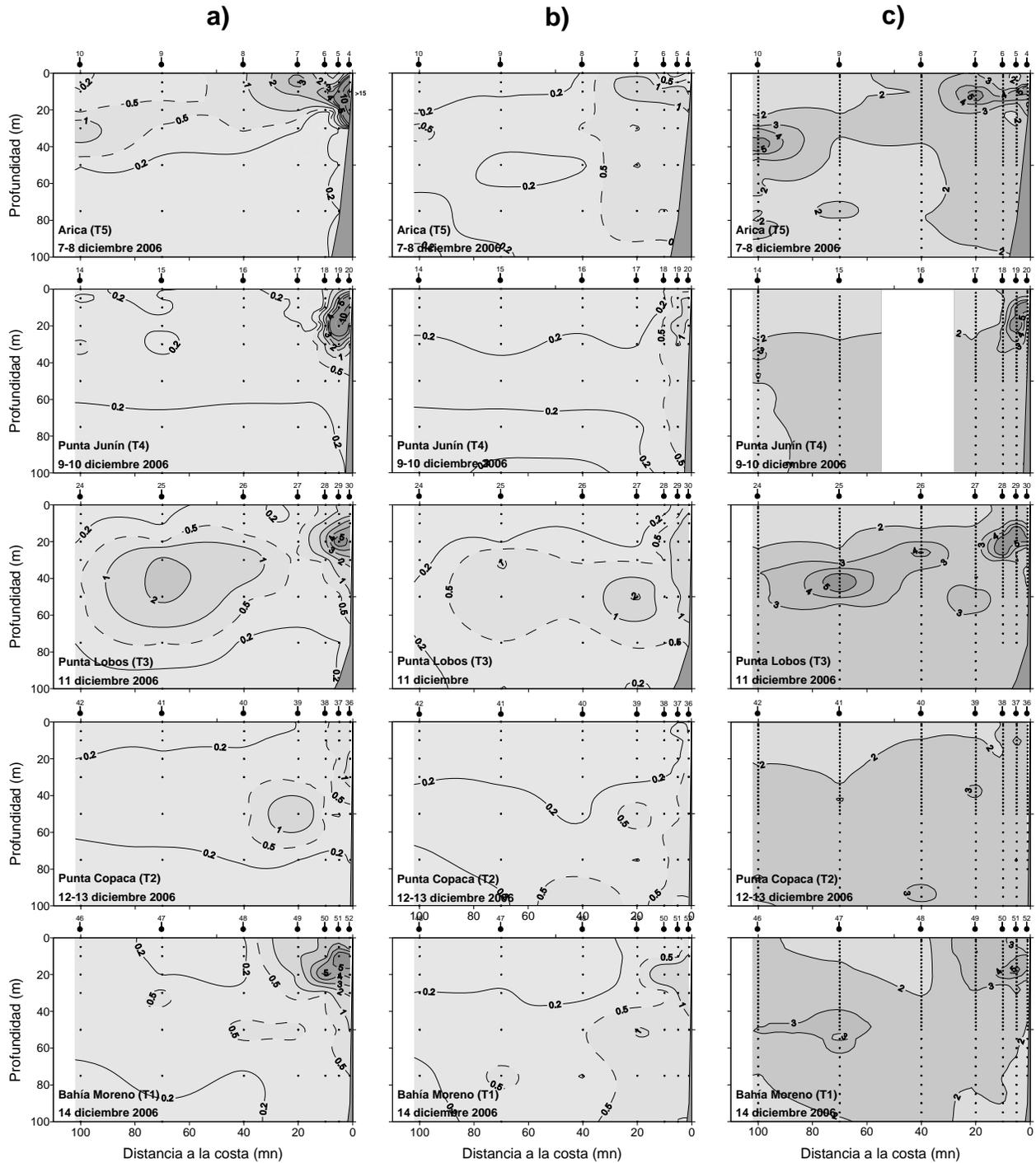


Figura 70. Distribuci3n vertical de a) clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) y c) Fluorescencia *in vivo* (volt), en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^{\circ} 25'S$), punta Junín (T4; Lat. $19^{\circ} 40'S$), punta Lobos (T3; Lat. $21^{\circ} 00'S$), punta Copaca (T2; Lat. $22^{\circ} 20'S$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^{\circ} 40'S$). Crucero de diciembre 2006.

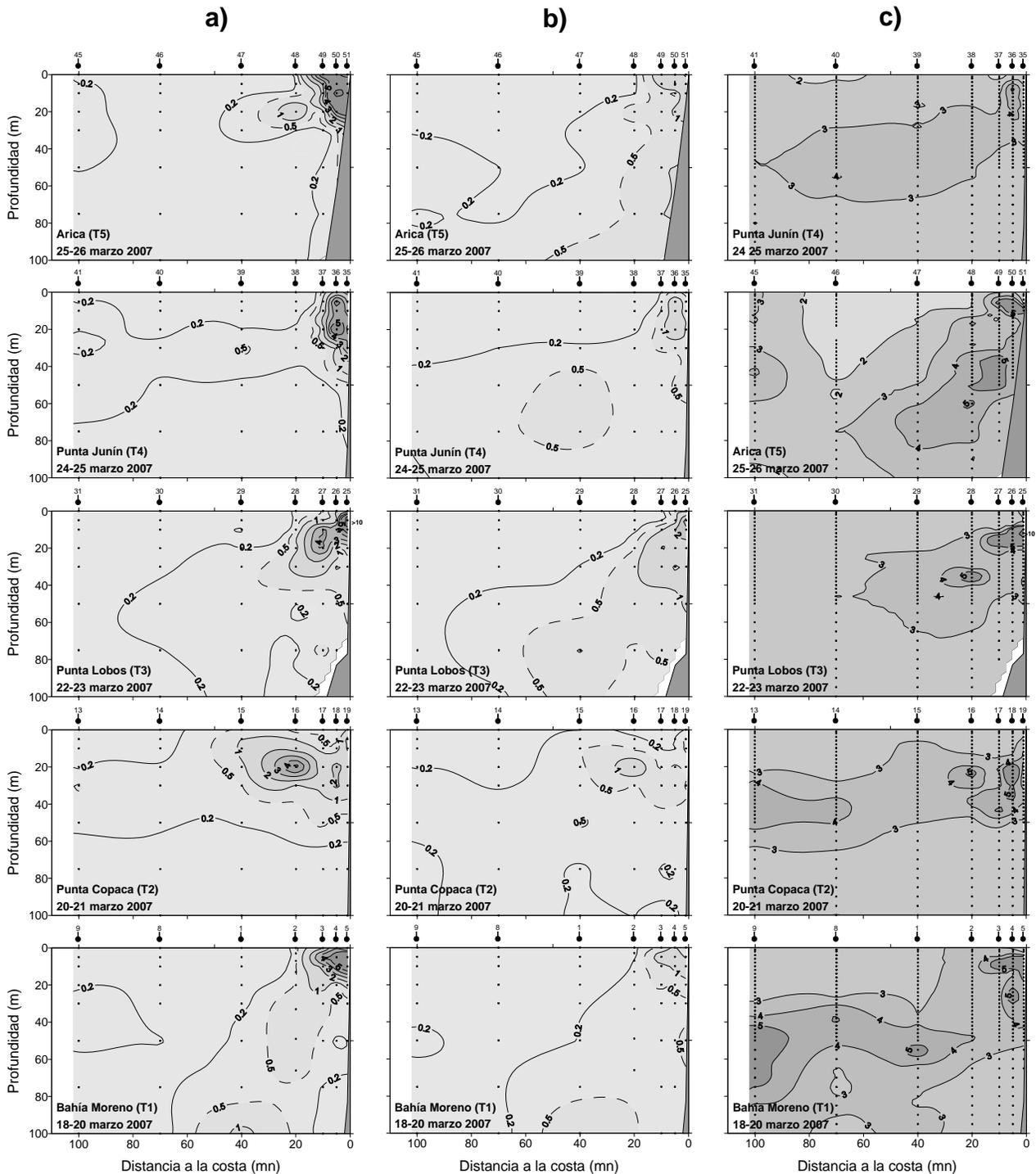


Figura 71. Distribuci3n vertical de a) clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) y c) Fluorescencia *in vivo* (volt), en las transectas de Arica (T5; Lat. $18^\circ 25'S$), punta Junin (T4; Lat. $19^\circ 40'S$), punta Lobos (T3; Lat. $21^\circ 00'S$), punta Copaca (T2; Lat. $22^\circ 20'S$) y bahía Moreno (T1; Lat. $23^\circ 40'S$). Crucero de marzo 2007.

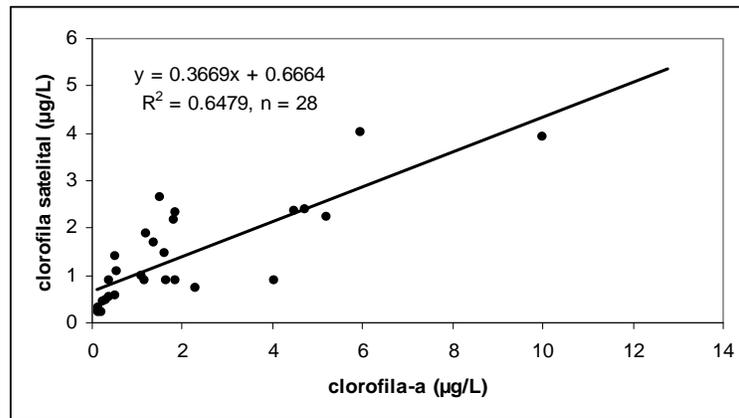


Figura 72. Asociaci3n entre la clorofila satelital y la clorofila total de las estaciones de los tres cruceros.

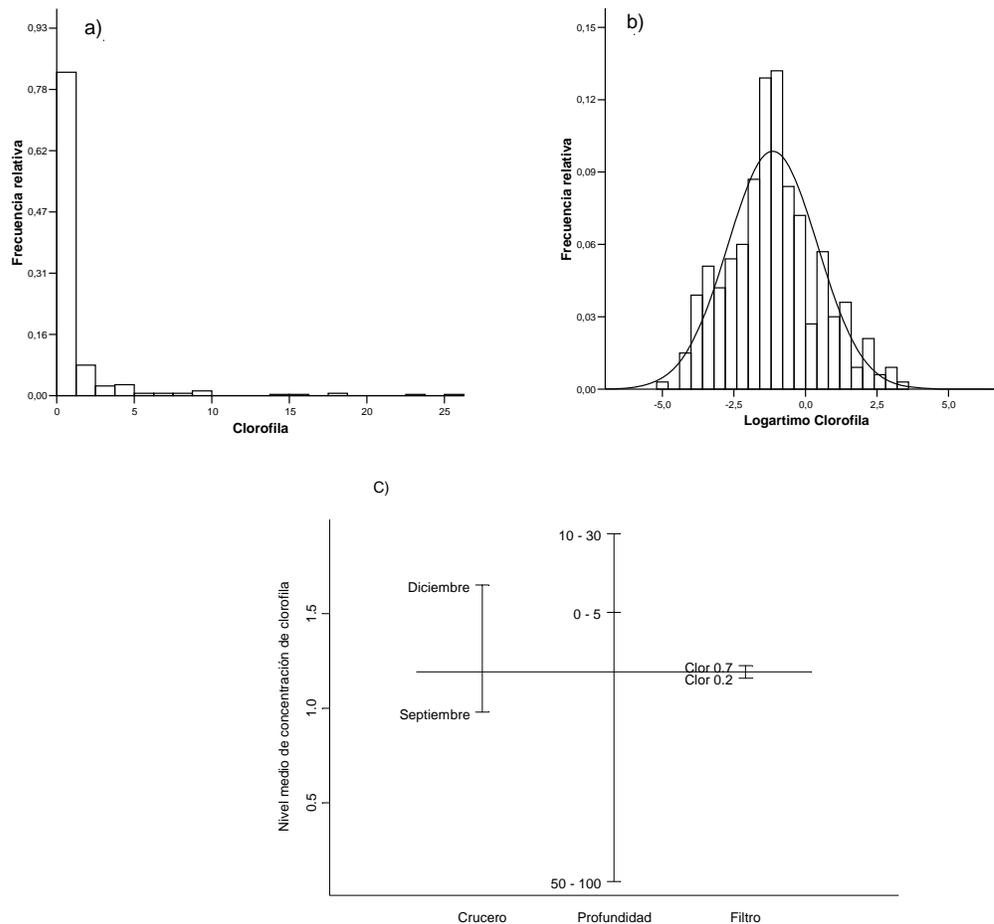


Figura 73. Histogramas de la distribuci3n de clorofila (a) y del logaritmo (b), y nivel medio de concentraci3n de clorofila (c) para los distintos niveles de los factores considerados en el an3lisis de varianza.

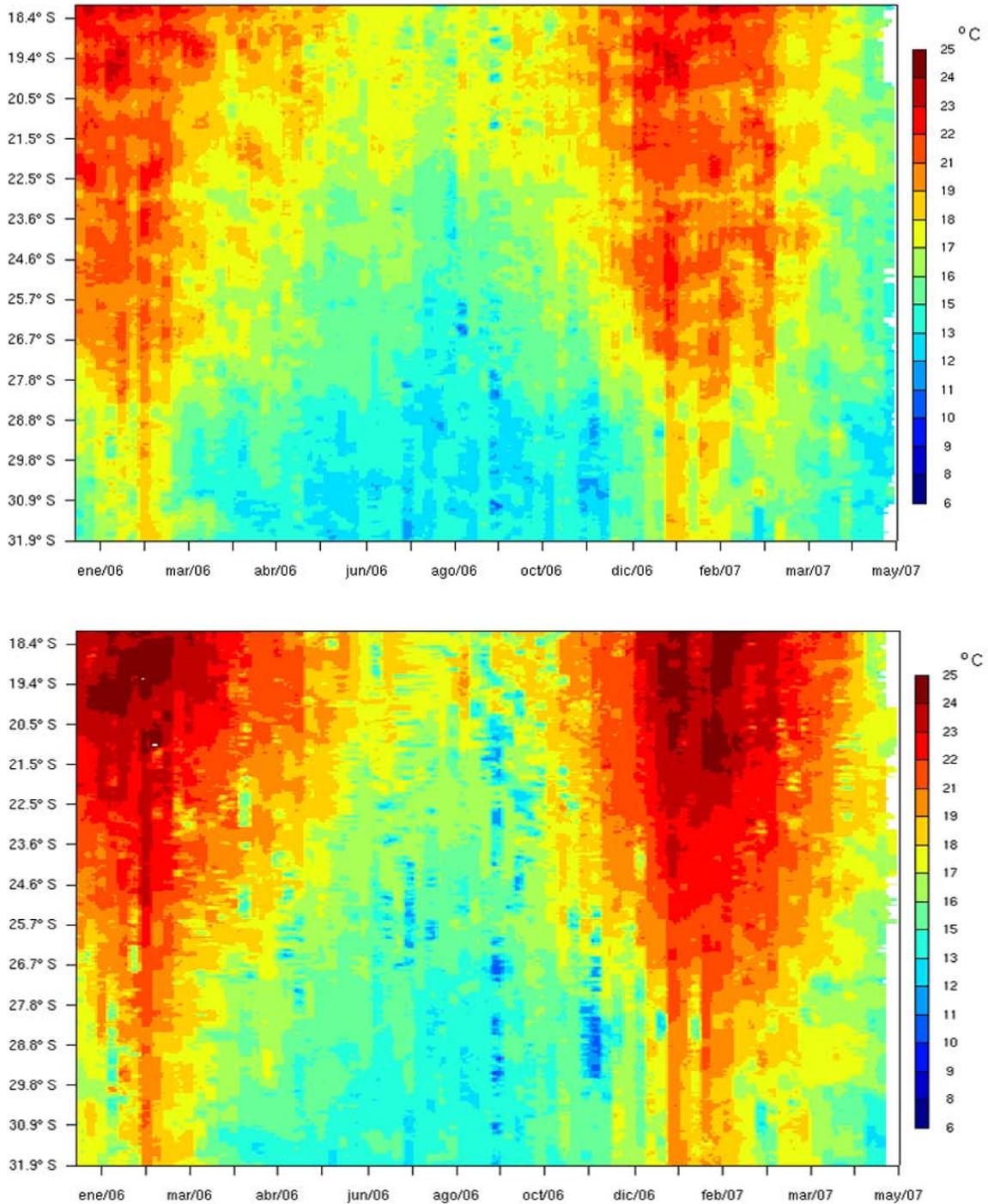


Figura 74. Diagrama latitud-tiempo para la TSM promedio por semana entre los 18°-32°S para el 1rea costera (panel superior) que corresponde al valor medio de los primeros tres pol1gonos y un 1rea oce1nica (panel inferior) dado por el valor medio de los 1ltimos tres pol1gonos.

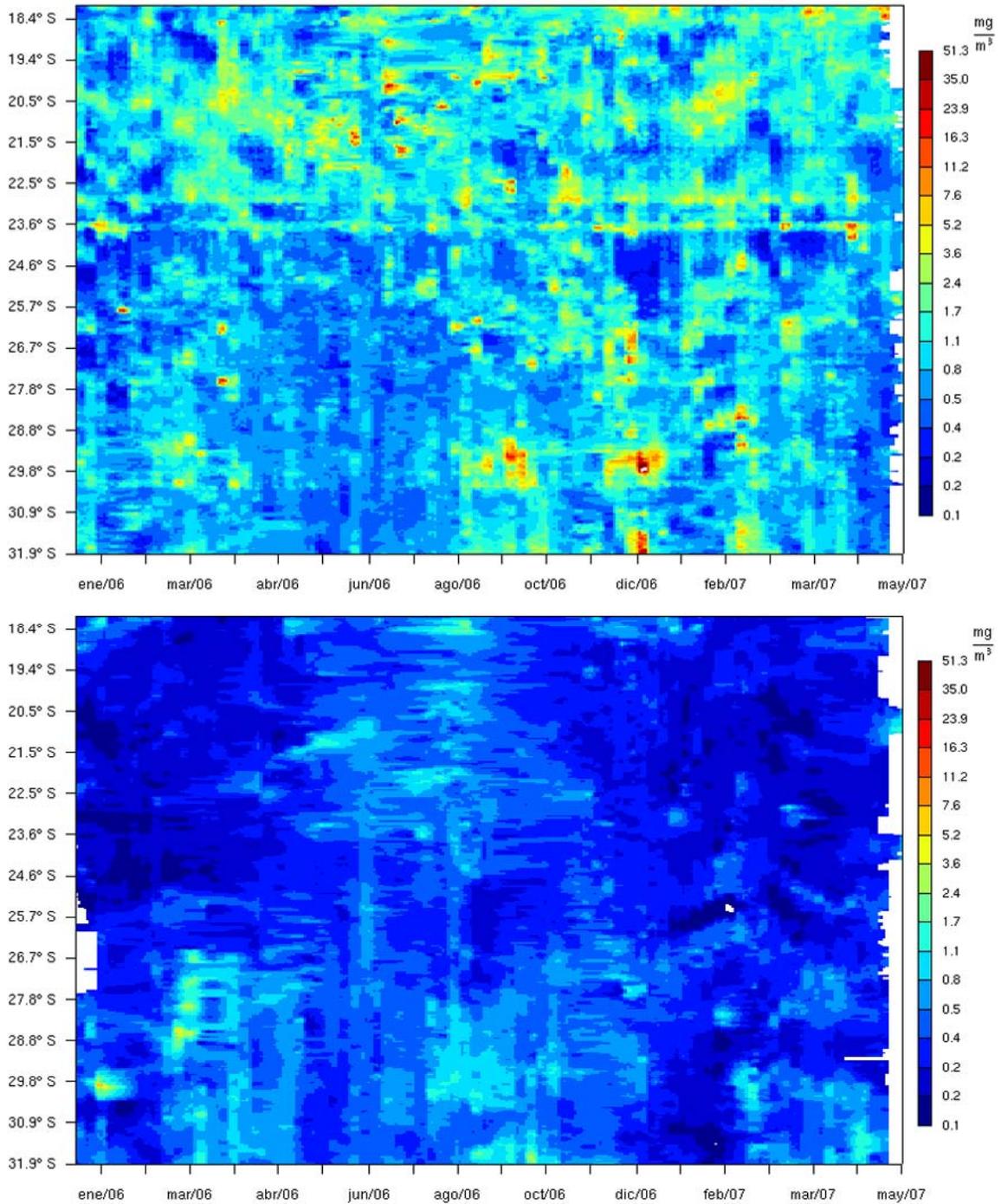


Figura 75. Diagrama latitud-tiempo para la Cloa promedio por semana entre los 18°-32°S para el área costera (panel superior) que corresponde al valor medio de los tres polígonos costeros y un área oceánica (panel inferior) dado por el valor medio de los tres polígonos oceánicos.

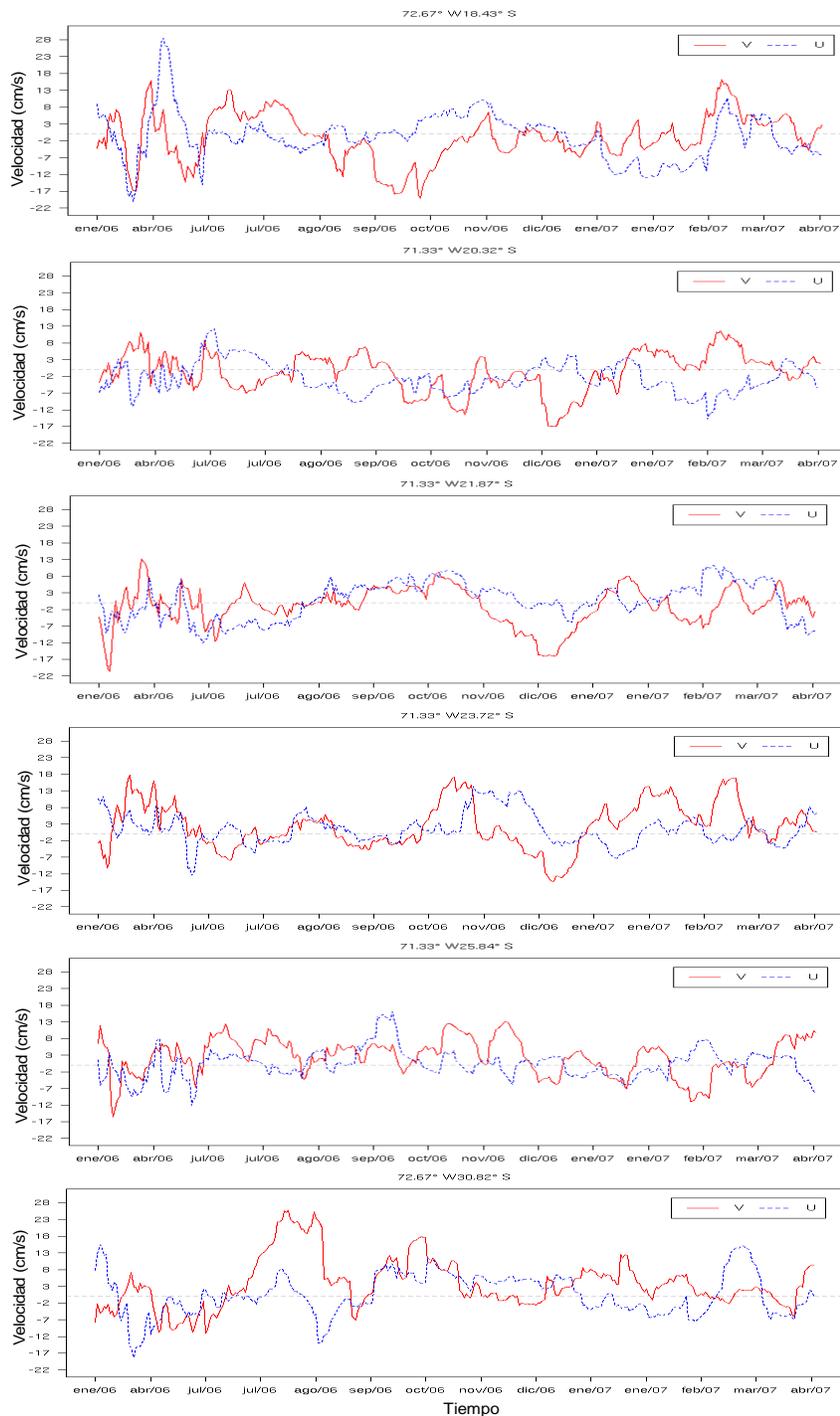


Figura 76. Series temporales diarias de la componente zonal y meridional de la circulaci3n geostrofica superficial para las seis estaciones oce3nicas. Las series van desde norte (panel superior) al sur (panel inferior), la lnea puntuada representa el valor cero.

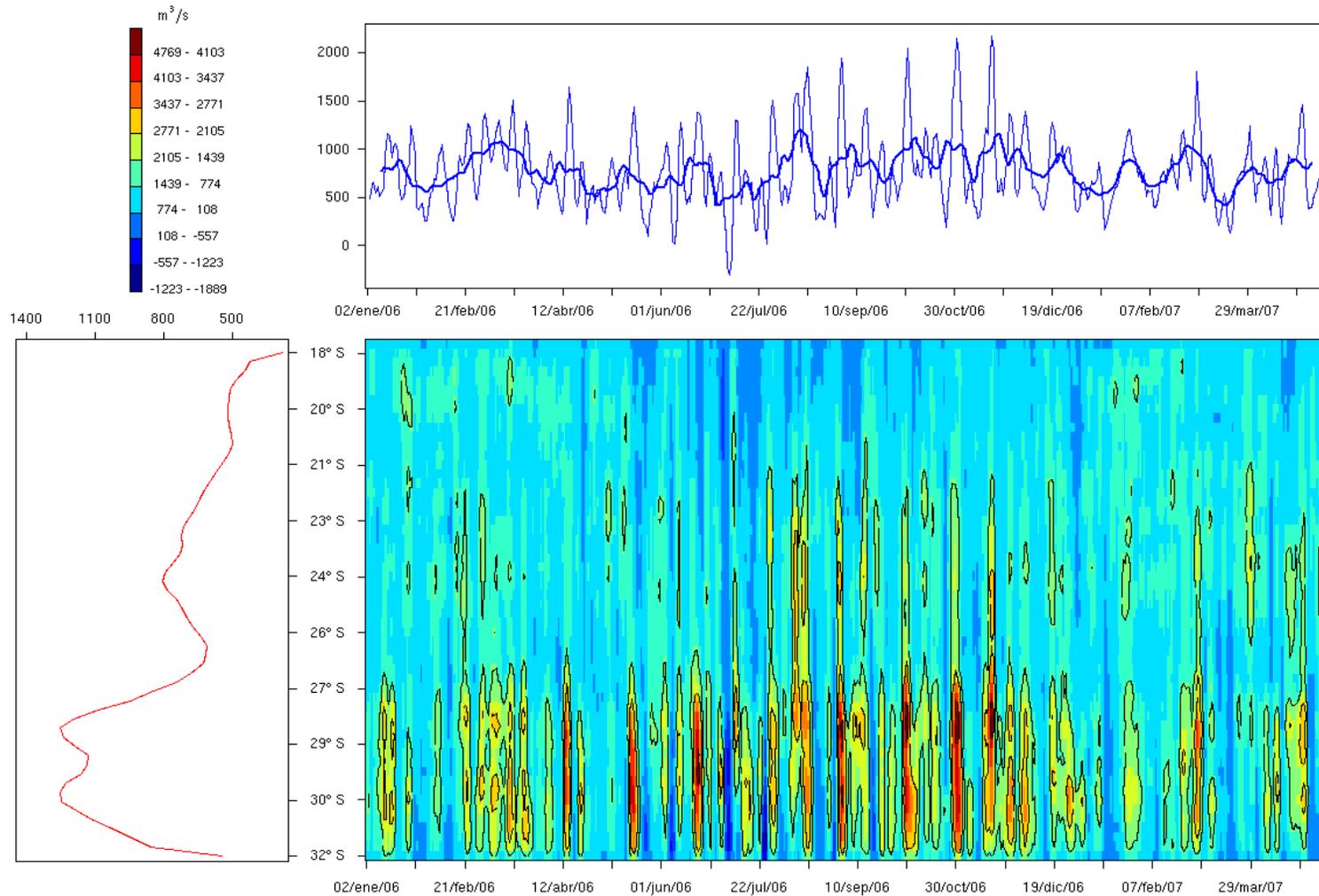


Figura 77. Transporte de Ekman medido cada 1000 metros de costa, derivado del valor de la componente zonal y meridional diaria del viento para los dos primeros pixel cercano a la costa y latitud por día. Se muestra el valor medio dado a lo largo del tiempo (panel superior) y el valor medio dado por la latitud (panel izquierdo).

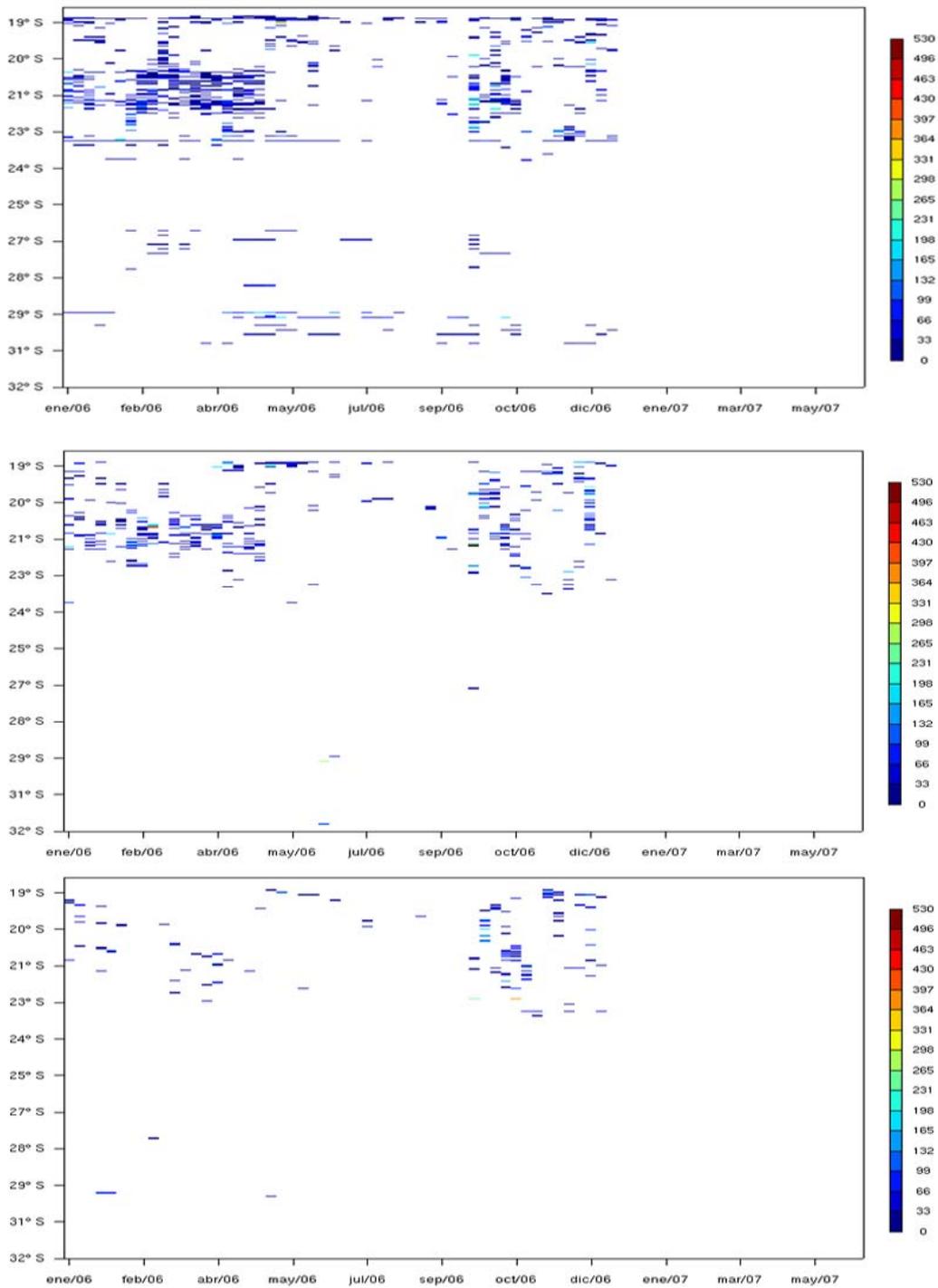


Figura 78. Diagrama latitud-tiempo para las capturas de anchoveta promedio por semana entre los 18°-32°S para las primeras 10 millas náuticas (panel superior), 20 millas náuticas (panel intermedio) y 30 millas náuticas (panel inferior).

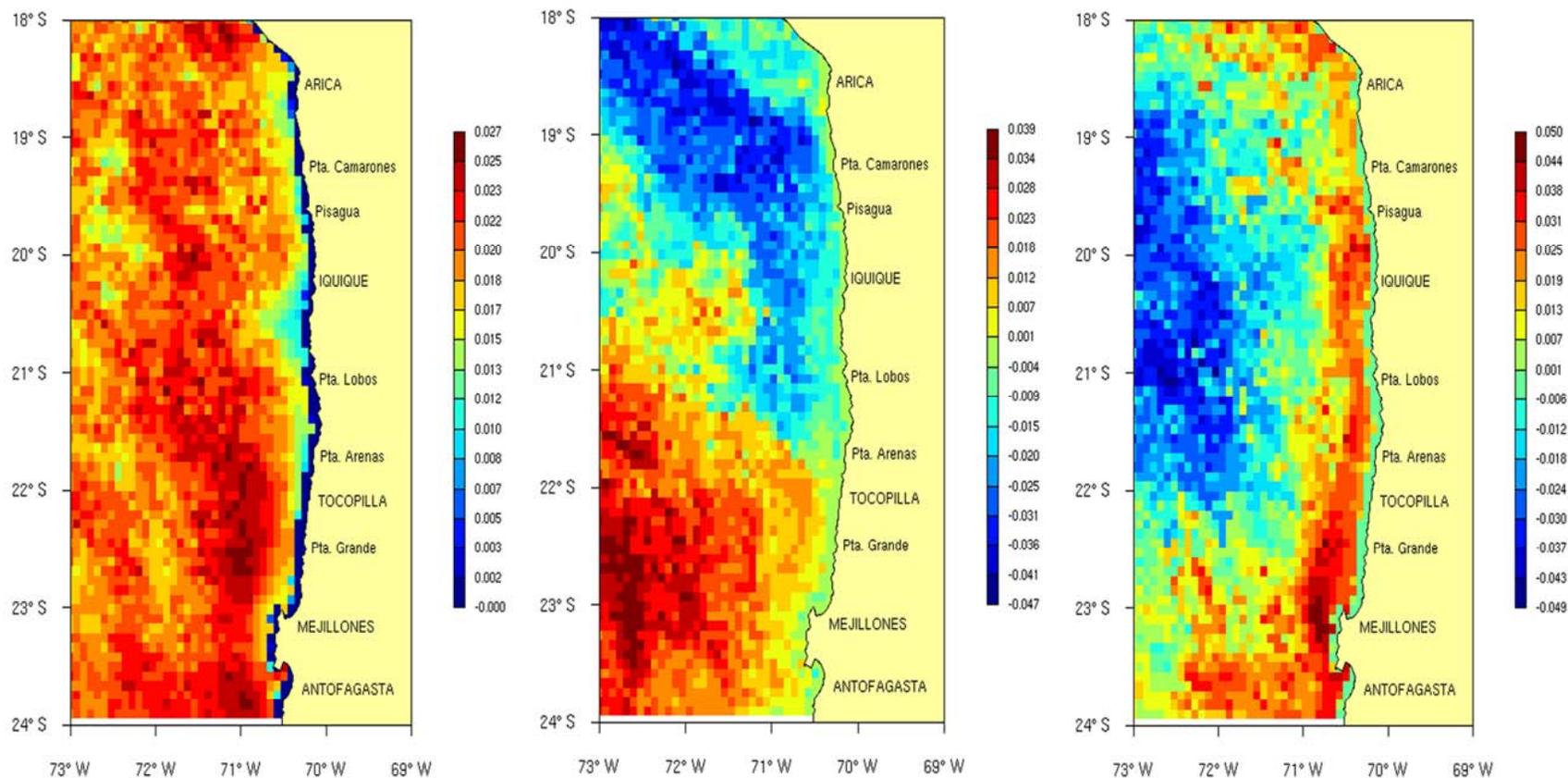


Figura 79. Patrones espaciales para los tres primeros componentes principales, el primer componente (panel izquierdo), segundo componente (panel central) y el tercer componente (panel derecho).

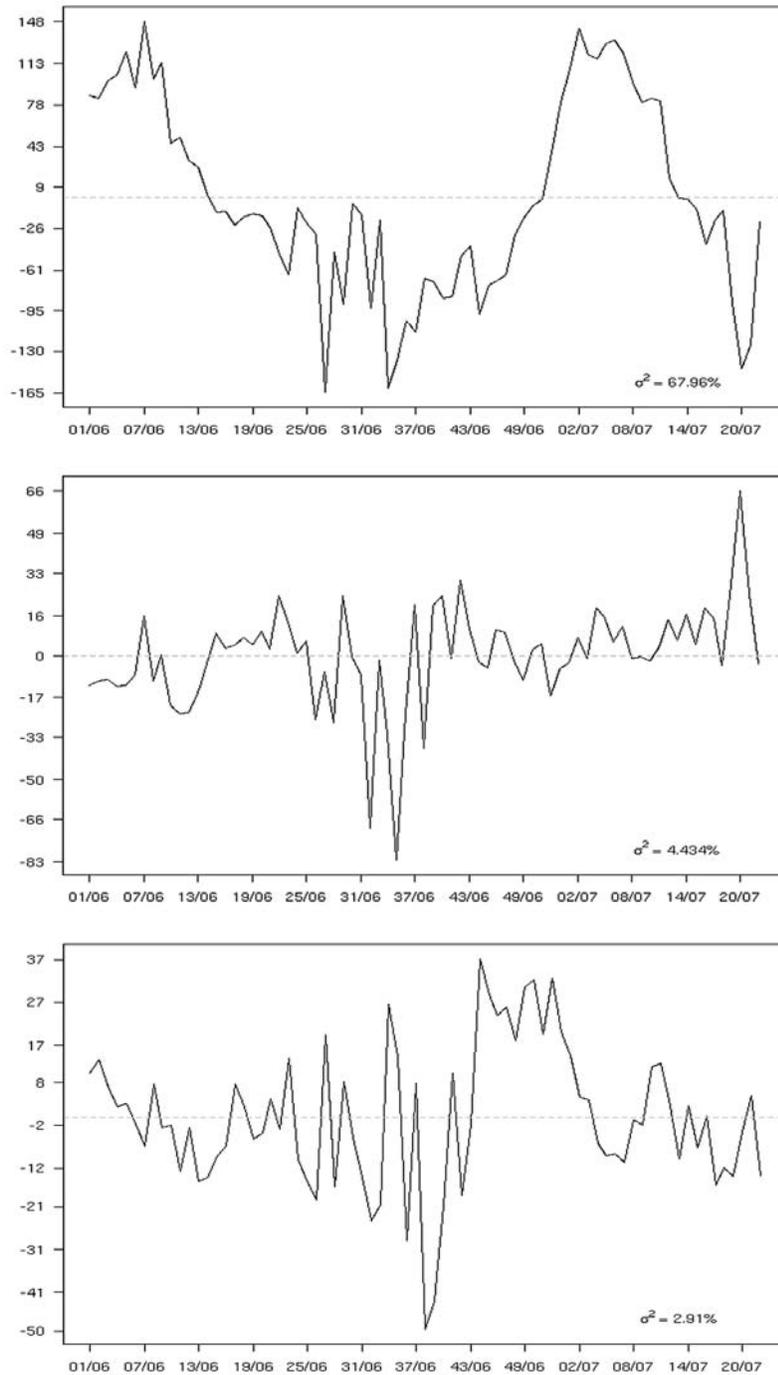


Figura 80. Patrones temporales para los tres primeros componentes principales, el primer componente (panel superior), segundo componente (panel central) y el tercer componente (panel inferior) con su respectivo valor de varianza explicada por el componente.

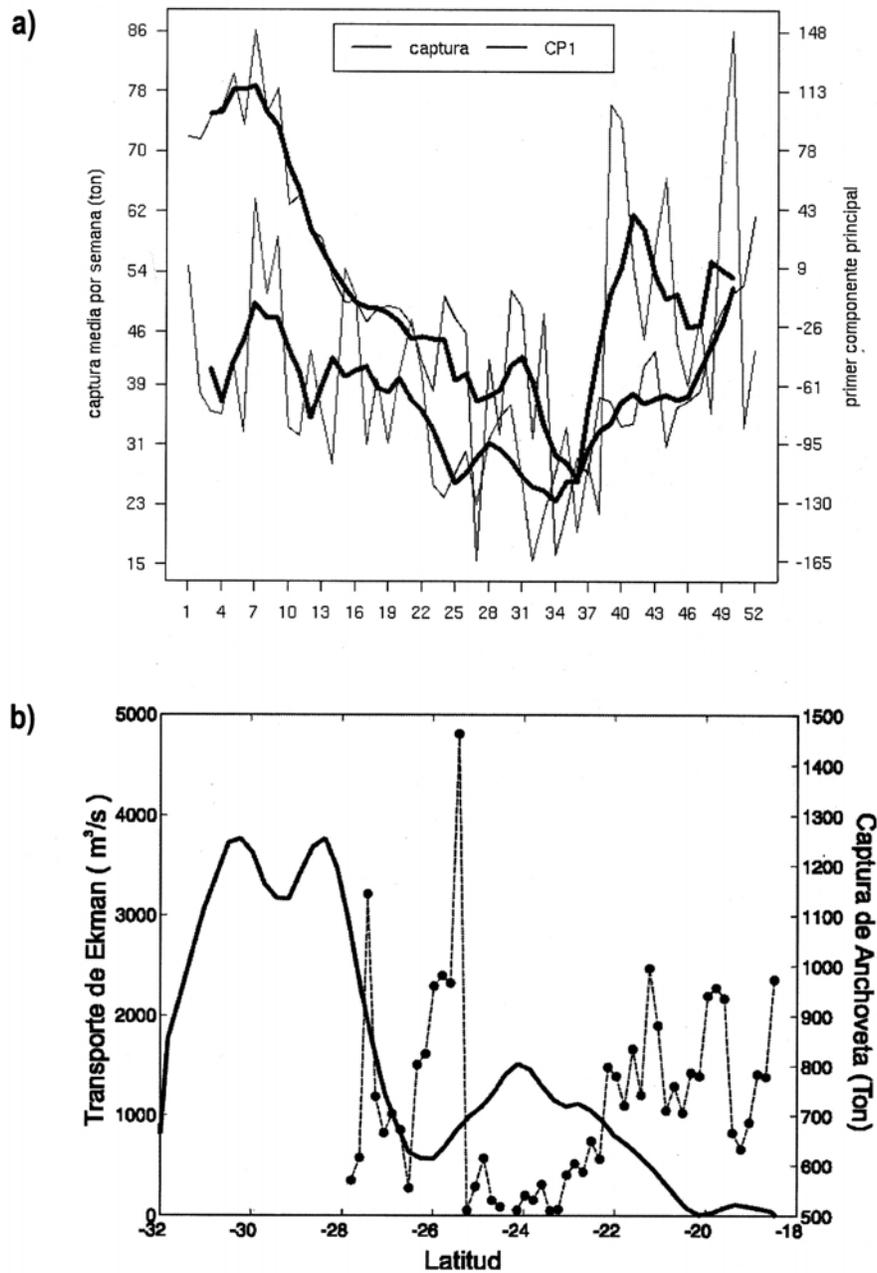


Figura 81. a) Relaci3n entre el primer componente principal derivado del an3lisis FOE a las series espaciales de T8M y la captura media semanal. Las l3neas gruesas representan un promedio m3vil de cinco semanas (\approx un mes) y b) Distribuci3n latitudinal de la captura promedio semanal acumulada de anchoveta (Ton) entre enero y diciembre de 2006 (l3nea segmentada) y el promedio del transporte perpendicular a la costa (l3nea continua) obtenido entre enero de 2006 a abril de 2007.

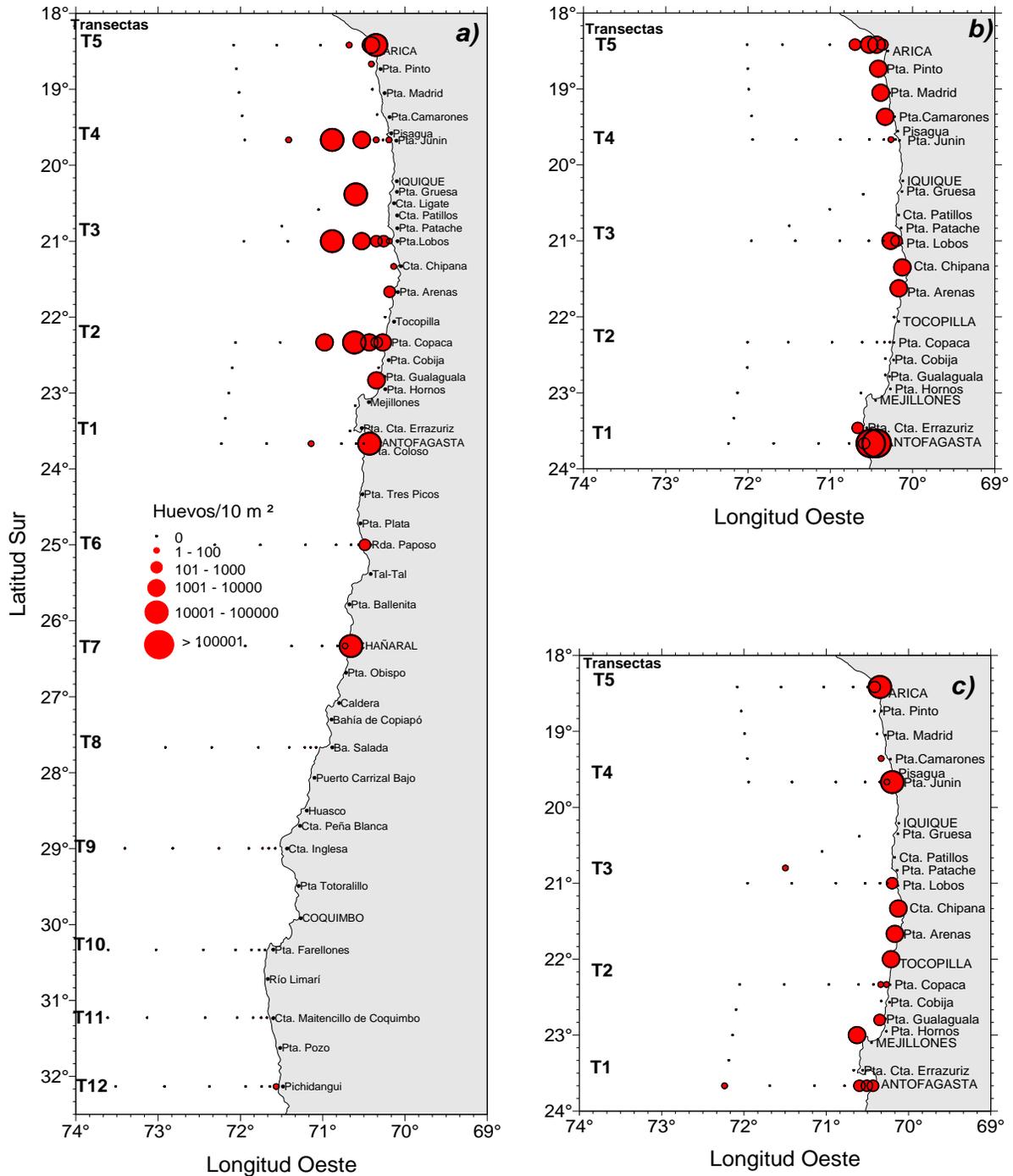


Figura 82. Distribuci3n y abundancia de huevos de anchoveta en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

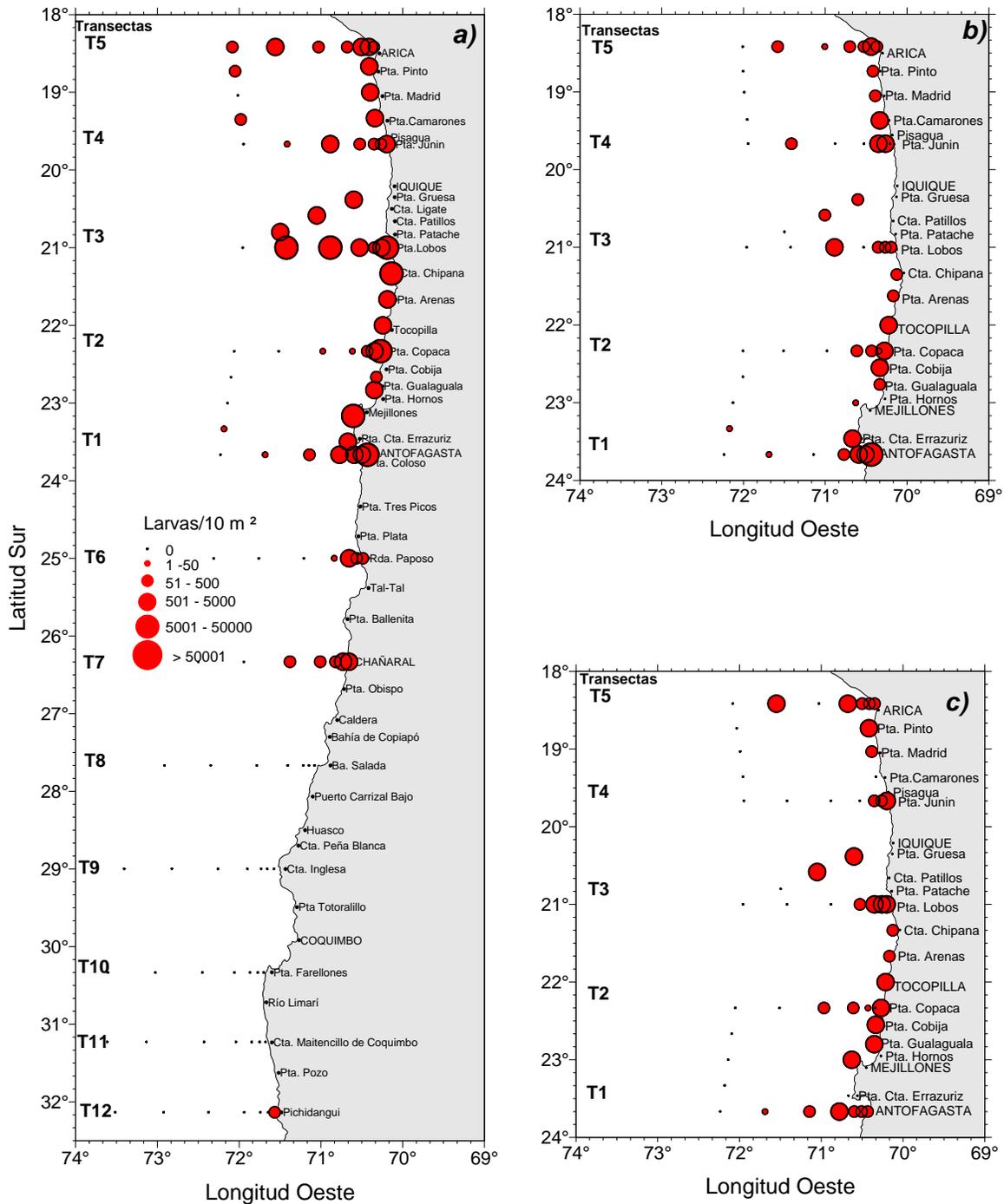


Figura 83. Distribuci3n y abundancia de larvas de anchoveta en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

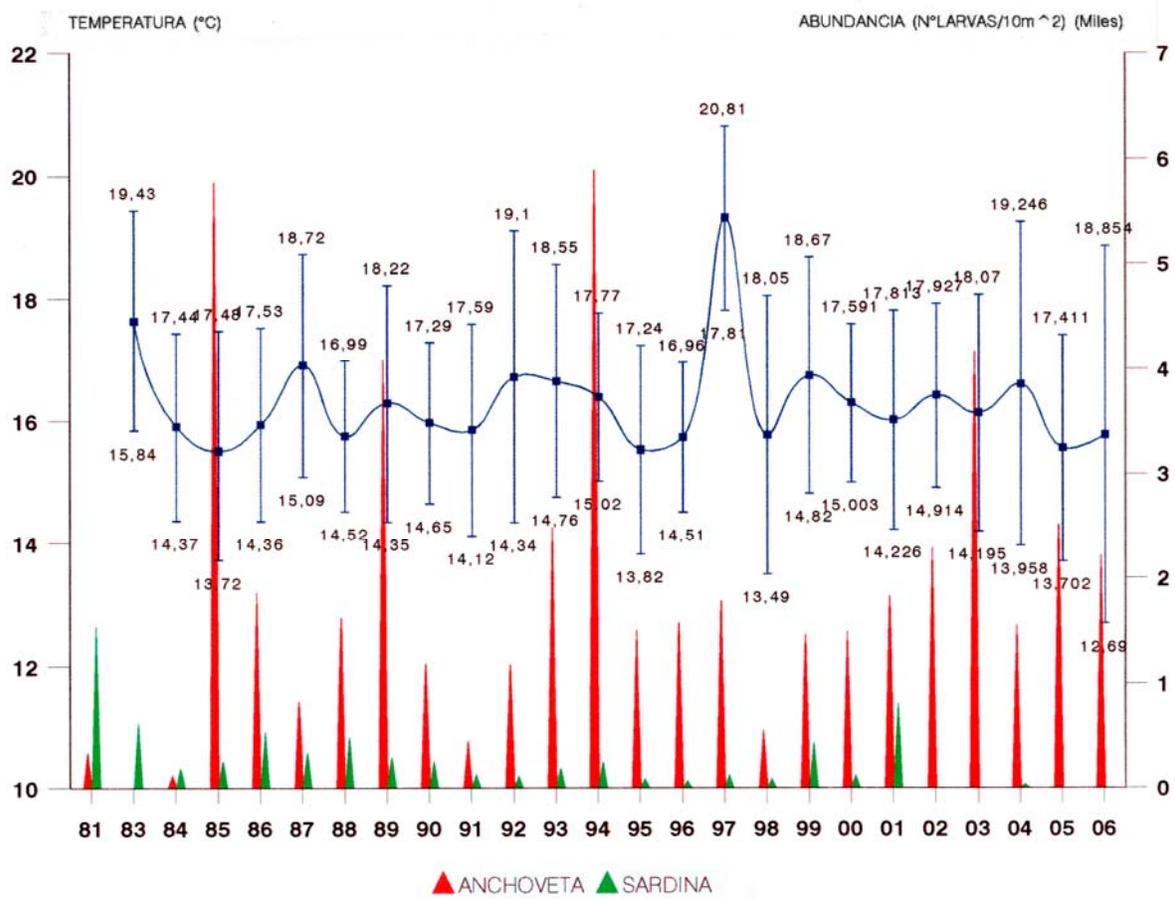


Figura 84. Relaci3n entre la temperatura superficial y la densidad promedio de larvas de anchoveta y sardina para la zona Antofagasta -Arica en invierno de los a1os 1983 - 2006.

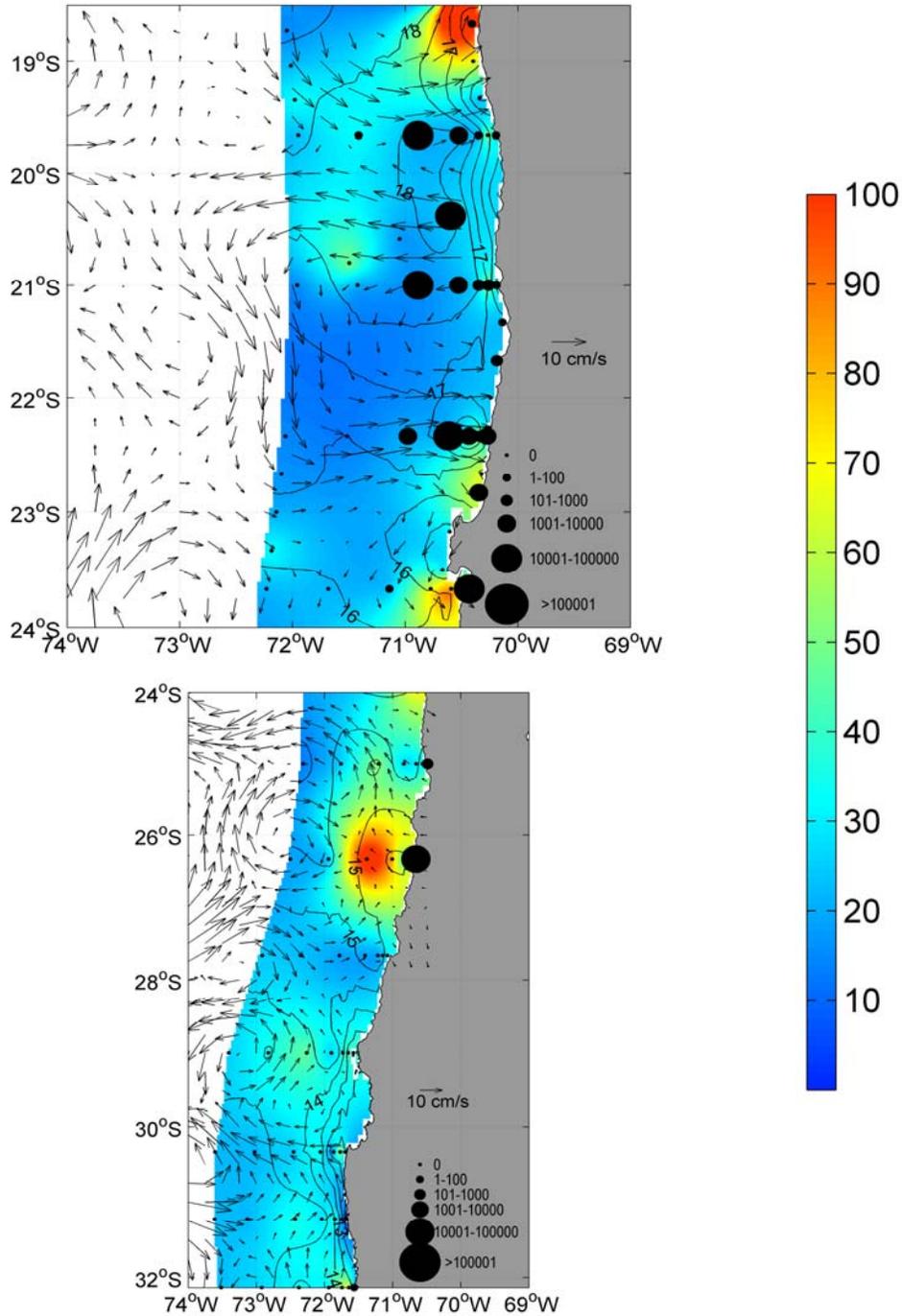


Figura 85. Distribuci3n de Huevos de anchoveta sobre la distribuci3n de clorofila-a integrada, la TSM y la velocidad geostrofica superficial. La barra de colores indica la clorofila integrada (mg/m²). Crucero septiembre 2006.

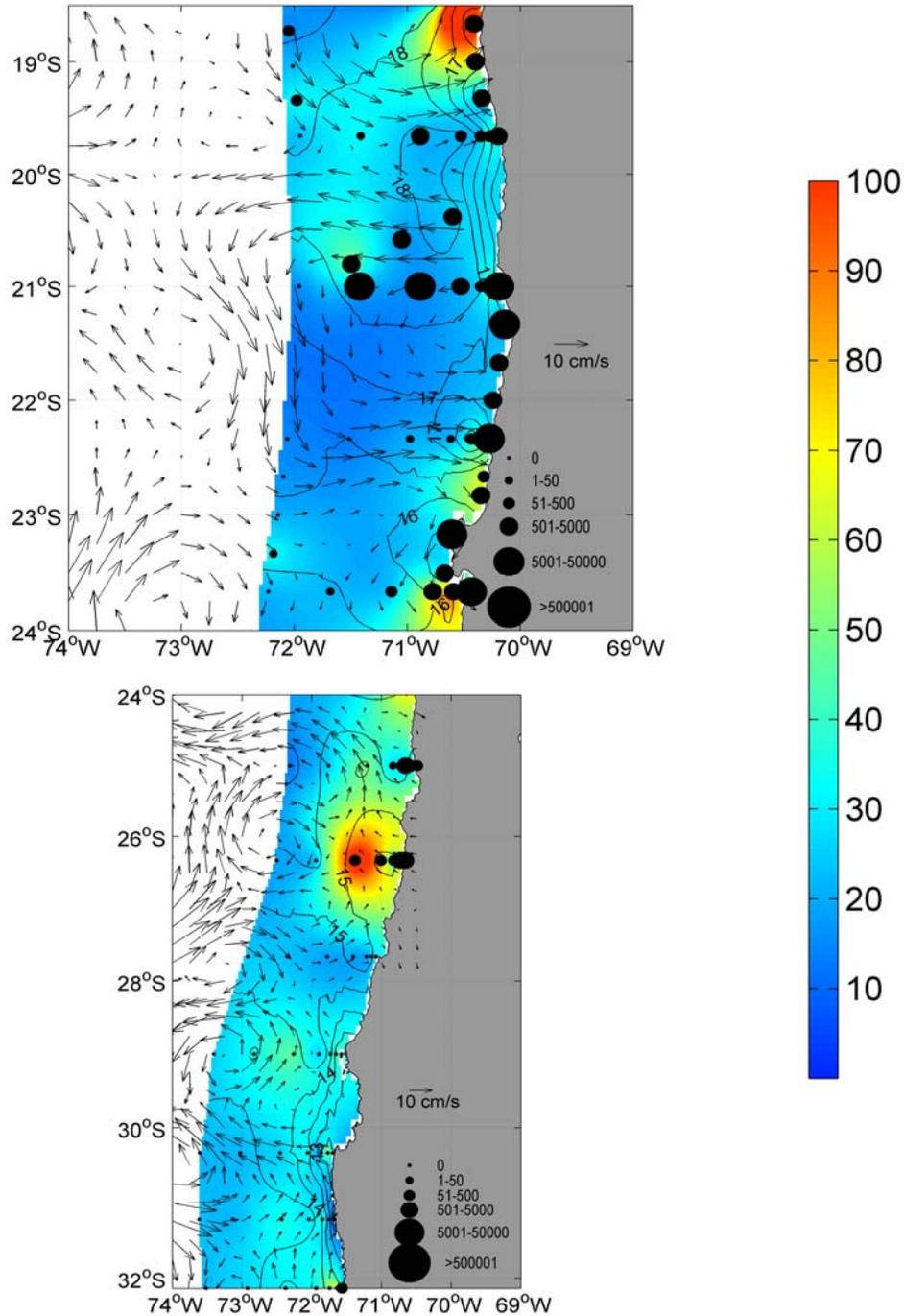


Figura 86. Distribuci3n de Larvas de anchoveta sobre la distribuci3n de clorofila-a integrada, la TSM y la velocidad geostrofica superficial. La barra de colores indica la clorofila integrada (mg/m²). Crucero septiembre 2006.

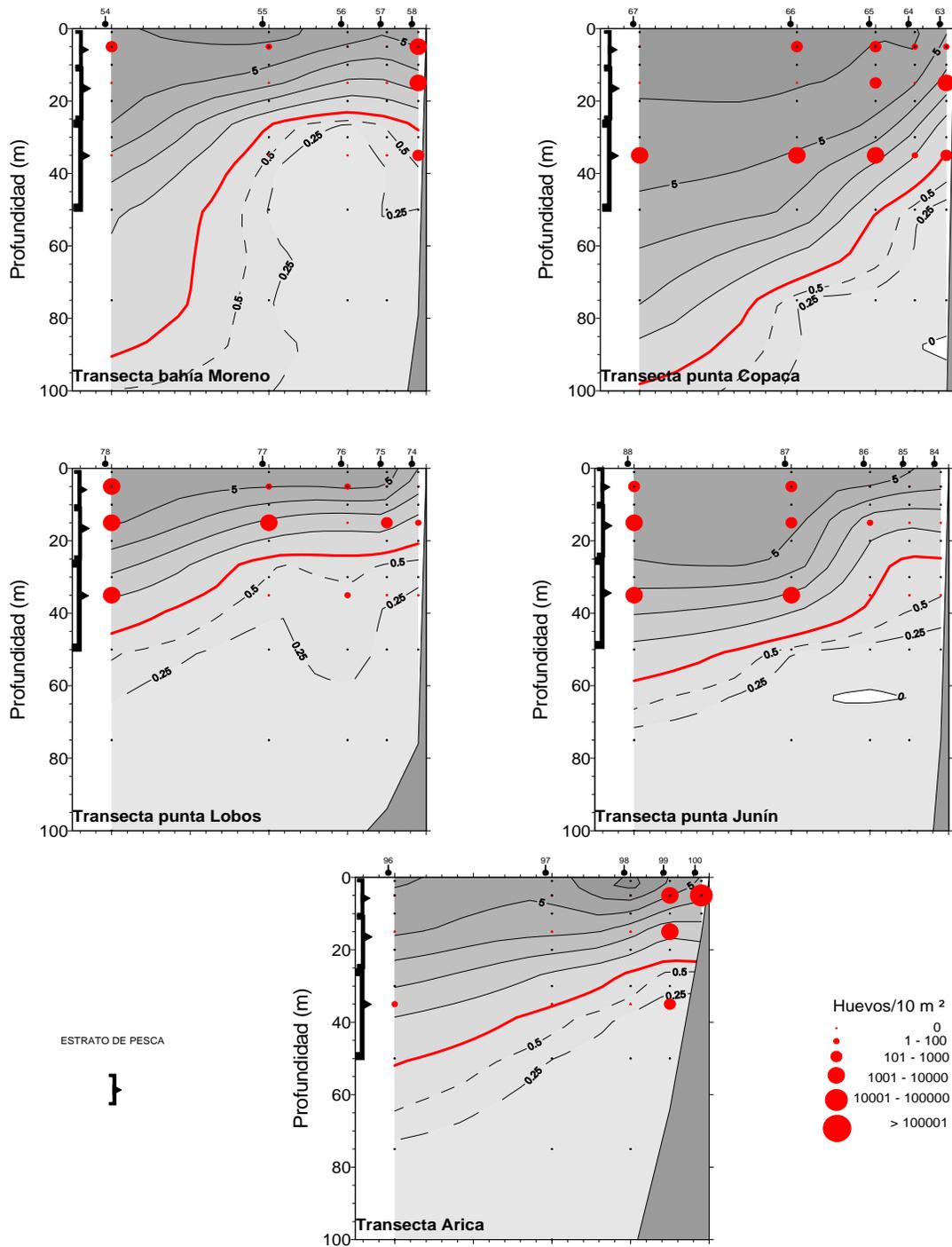


Figura 87. Distribuci3n vertical del contenido de oxígeno disuelto por transecta durante septiembre de 2006 y las abundancias de huevos de anchoveta en los intervalos de profundidad de 0-10, 10-25 y 25-50m.

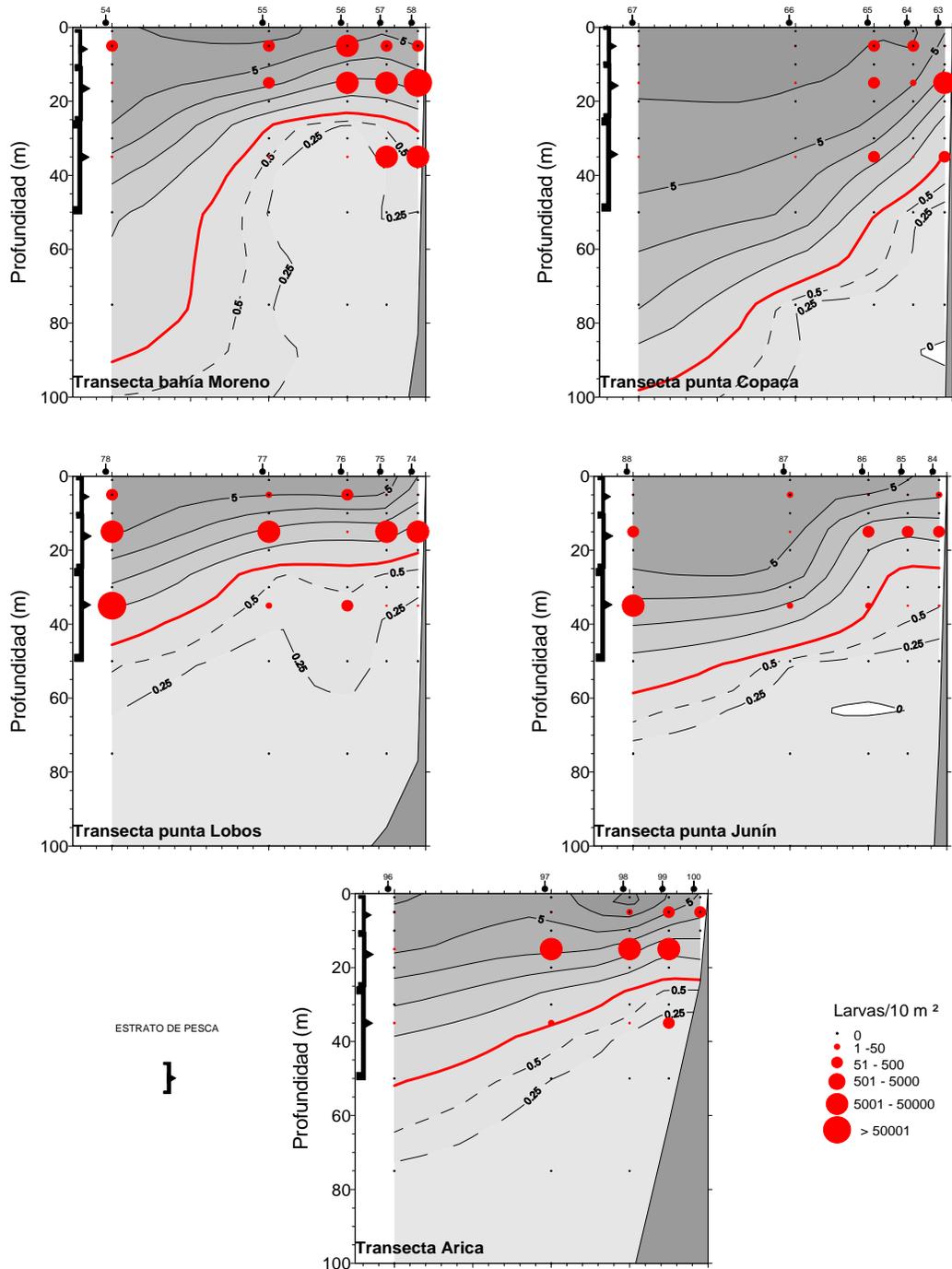


Figura 88. Distribuci3n vertical del contenido de oxígeno disuelto por transecta durante septiembre de 2006 y las abundancias de larvas de anchoveta en los intervalos de profundidad de 0-10, 10-25 y 25-50m.

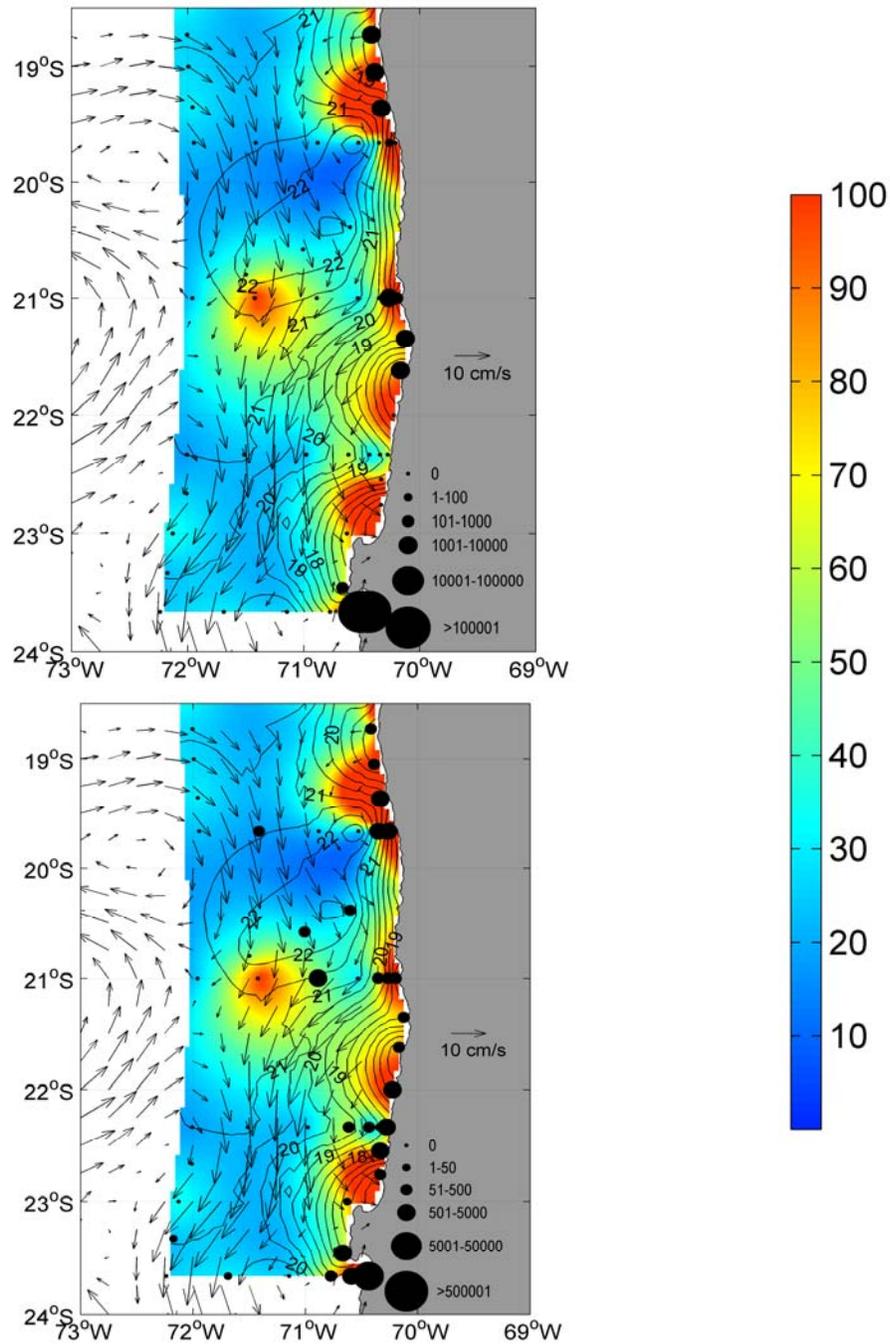


Figura 89. Distribuci3n de Huevos (superior) y Larvas (inferior) de anchoveta sobre la distribuci3n de clorofila-a integrada, la TSM y la velocidad geostrofica superficial. La barra de colores indica la clorofila integrada (mg/m²). Cruceiro diciembre 2006.

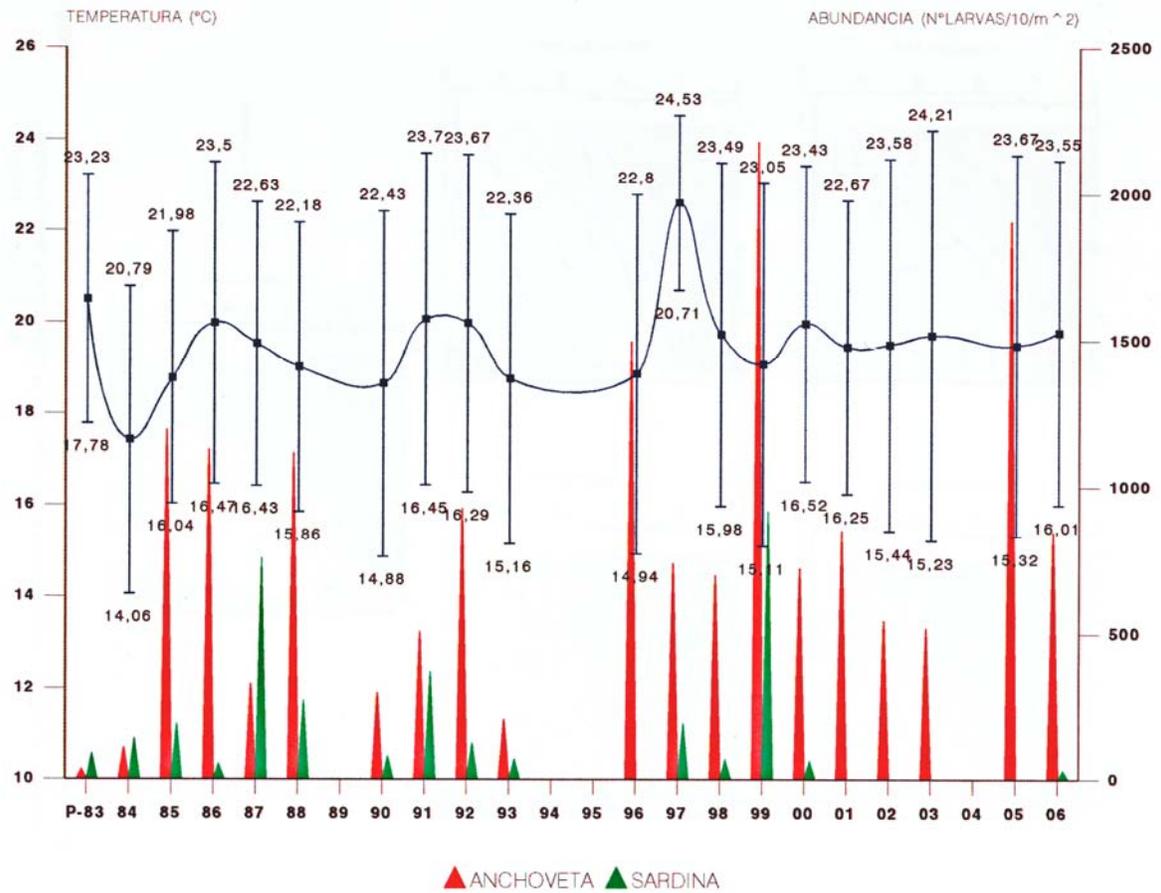


Figura 90. Relaci3n entre la temperatura superficial y la intensidad de larvas de anchoveta y sardina para la zona Antofagasta - Arica en primavera de los a1os 1983 - 2006.

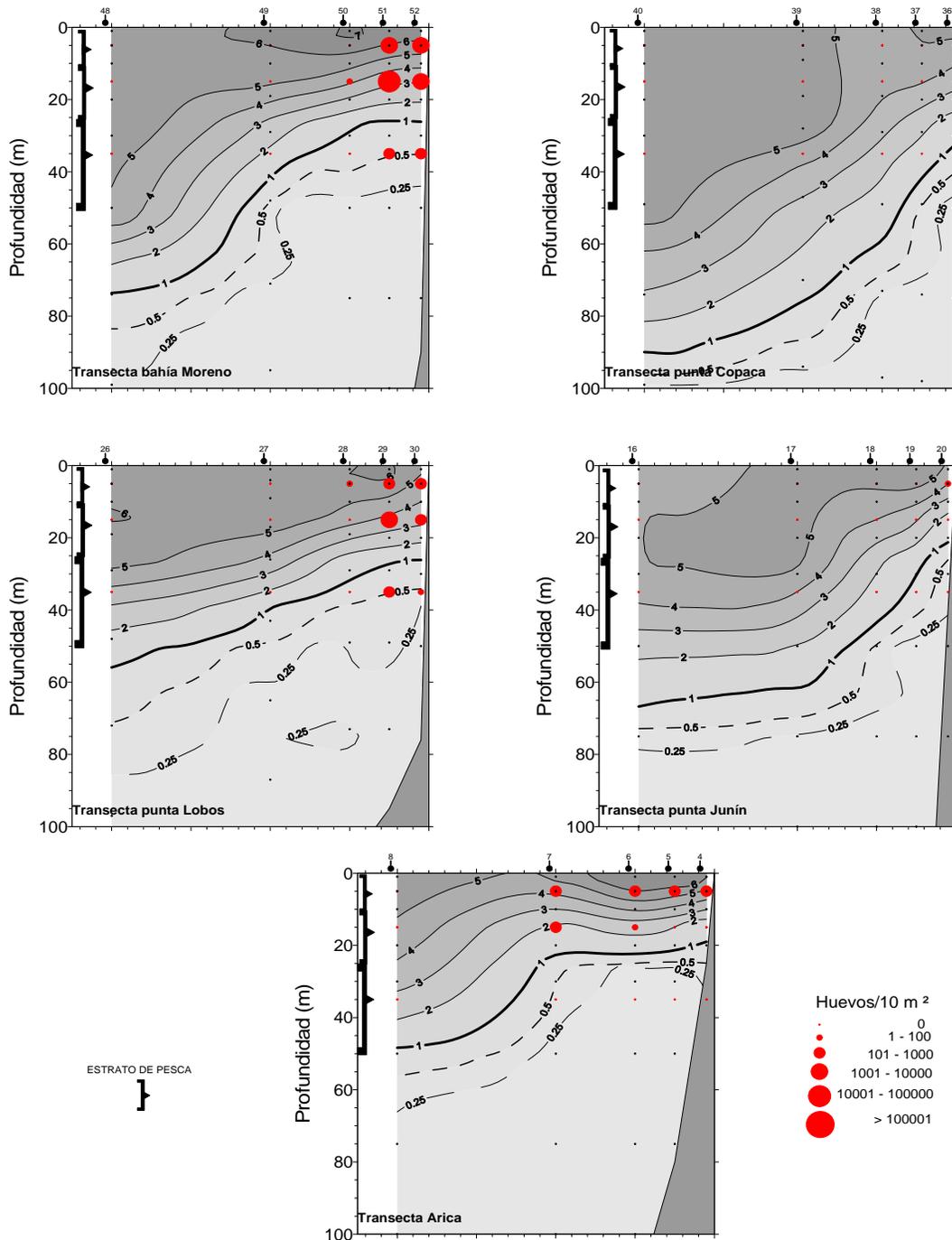


Figura 91. Distribución vertical de huevos de anchoveta con respecto a la distribución del contenido de oxígeno disuelto por transecta, en los intervalos de profundidad de 0-10, 10-25 y 25-50m. Crucero Diciembre de 2006.

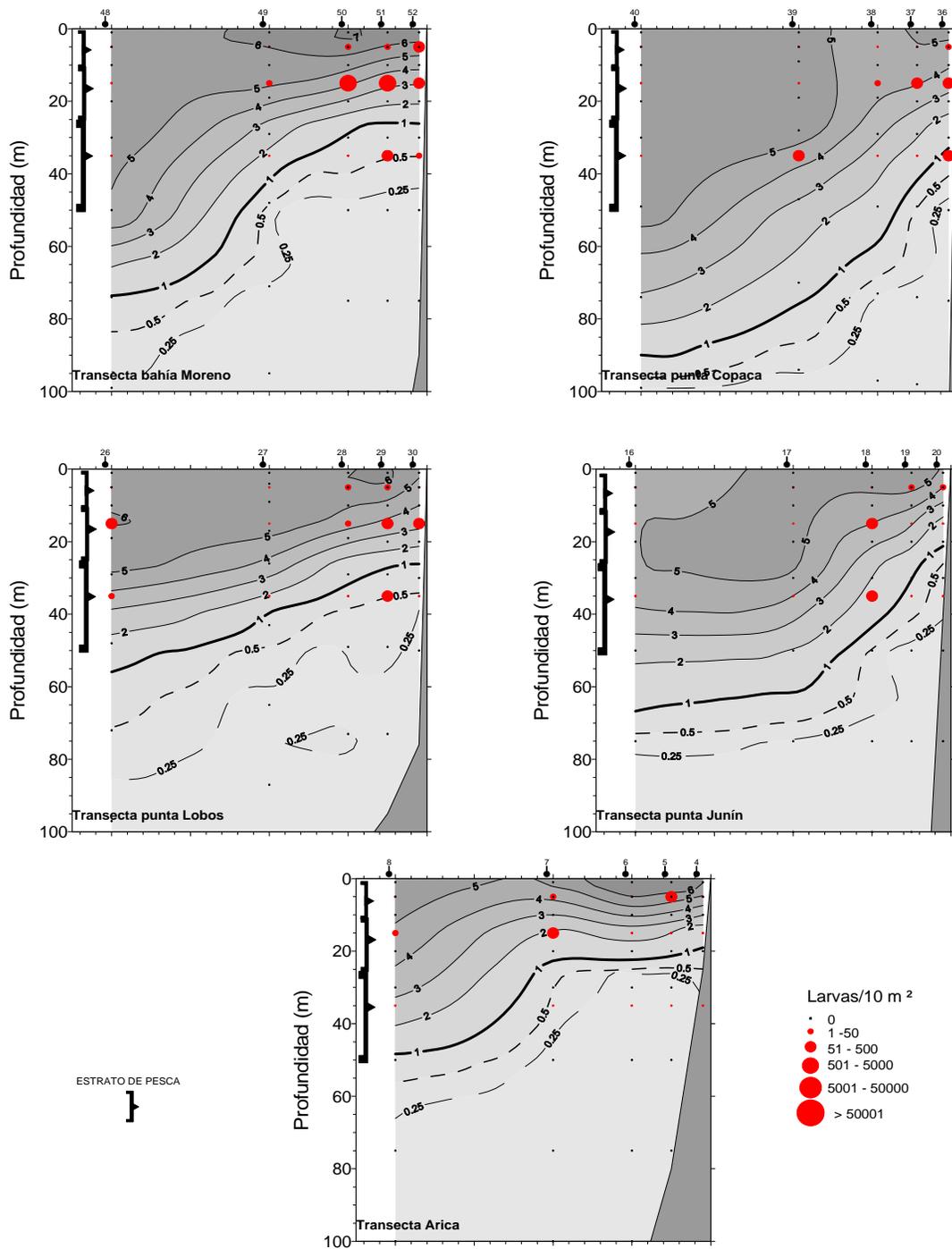


Figura 92. Distribuci3n vertical de larvas de anchoveta con respecto a la distribuci3n del contenido de oxígeno disuelto por transecta, en los intervalos de profundidad de 0-10, 10-25 y 25-50 m. Crucero Diciembre de 2006.

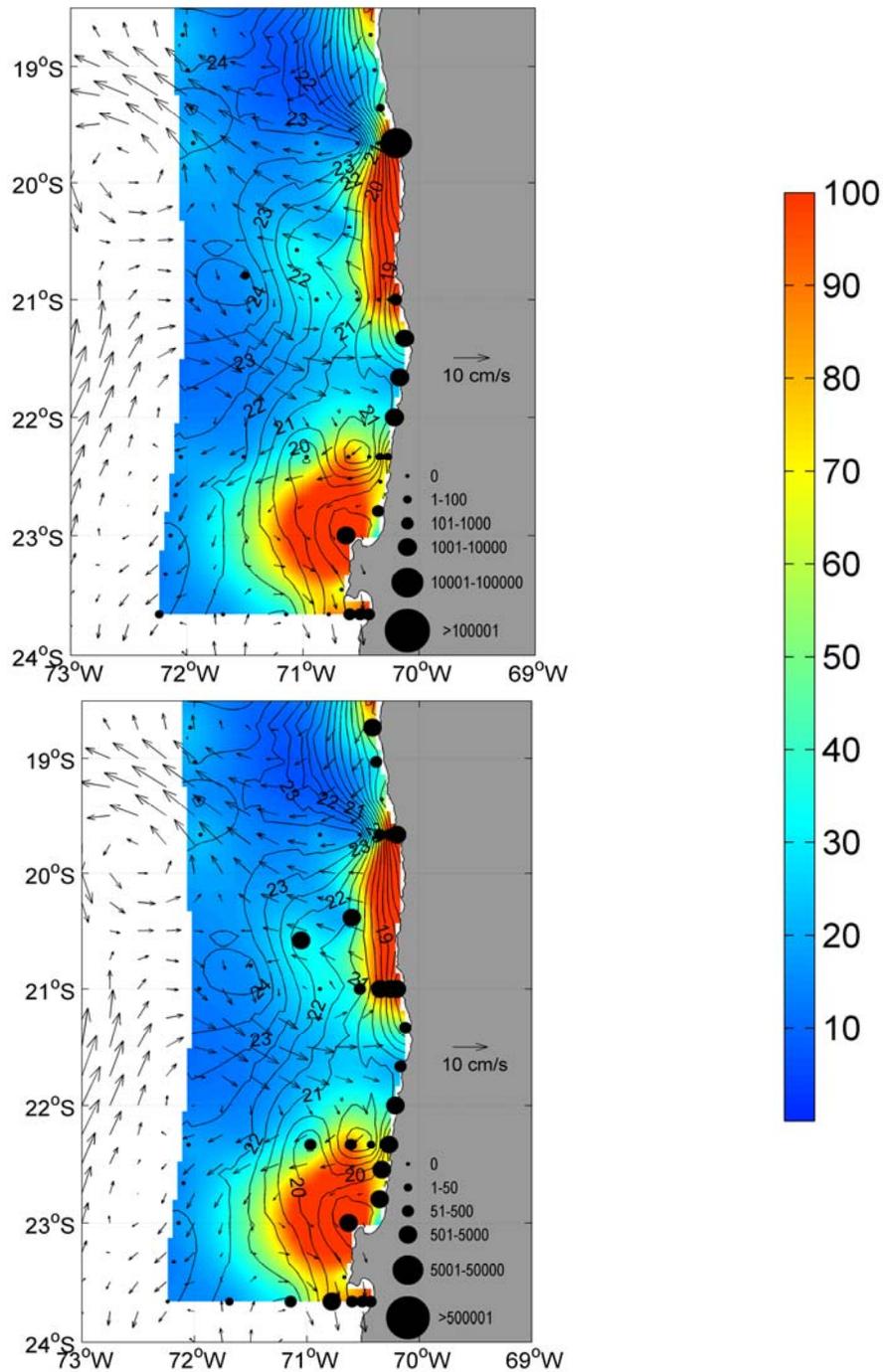


Figura 93. Distribución de Huevos (superior) y Larvas (inferior) de anchoveta sobre la distribución de clorofila-a integrada, la TSM y la velocidad geostrófica superficial. La barra de colores indica la clorofila integrada (mg/m²). Crucero marzo 2007.

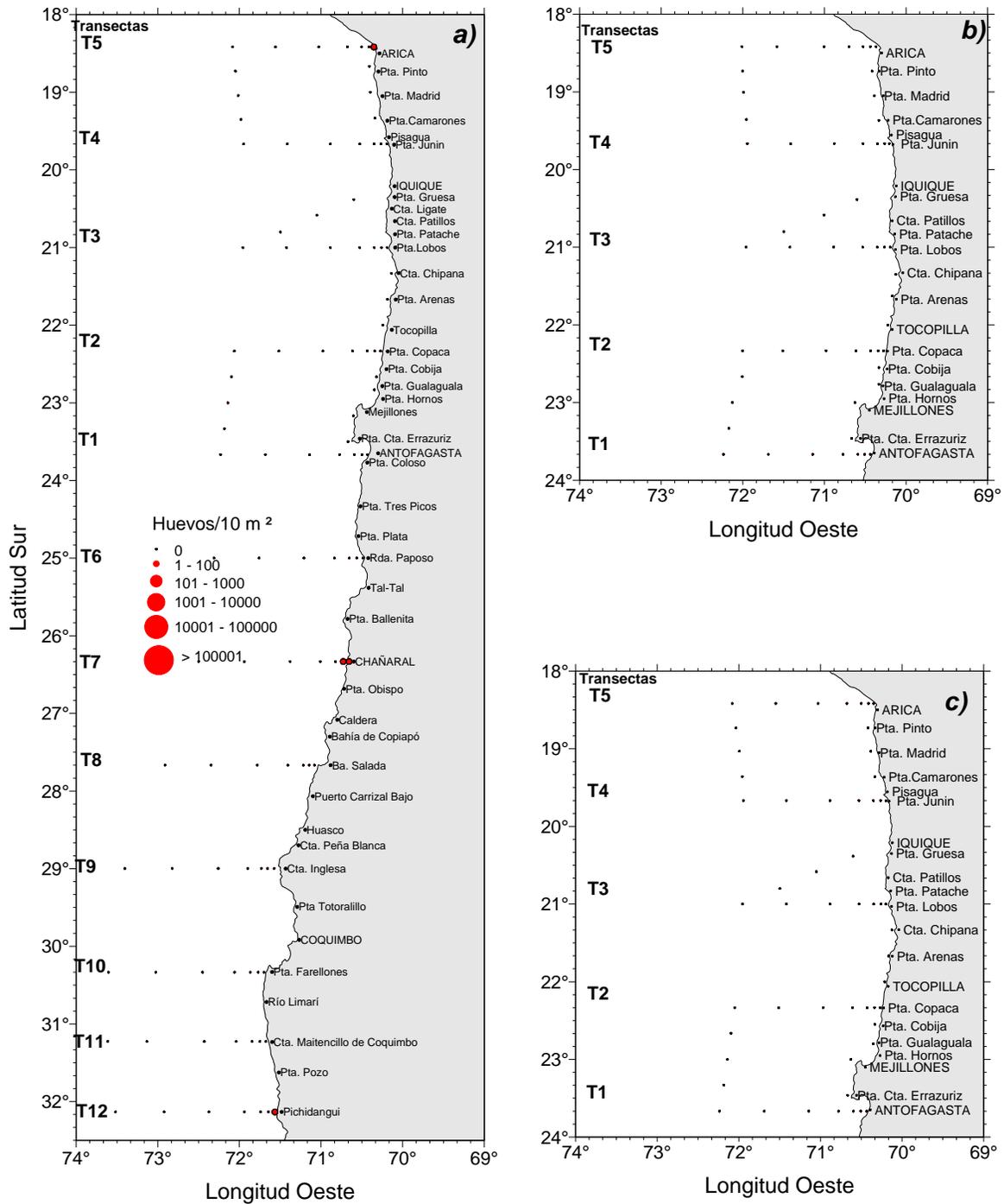


Figura 94. Distribuci3n y abundancia de huevos de sardina en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

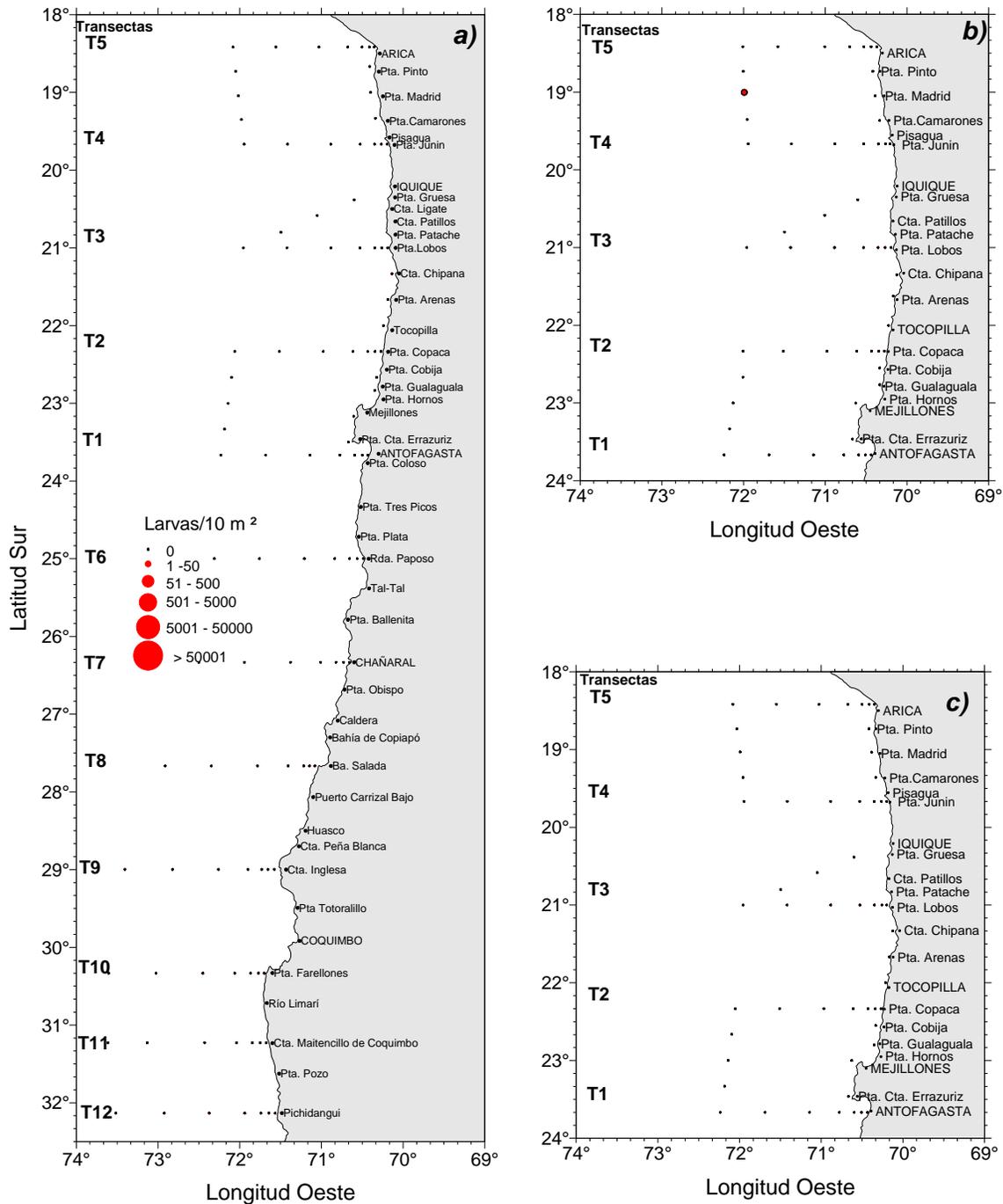


Figura 95. Distribuci3n y abundancia de larvas de sardina en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

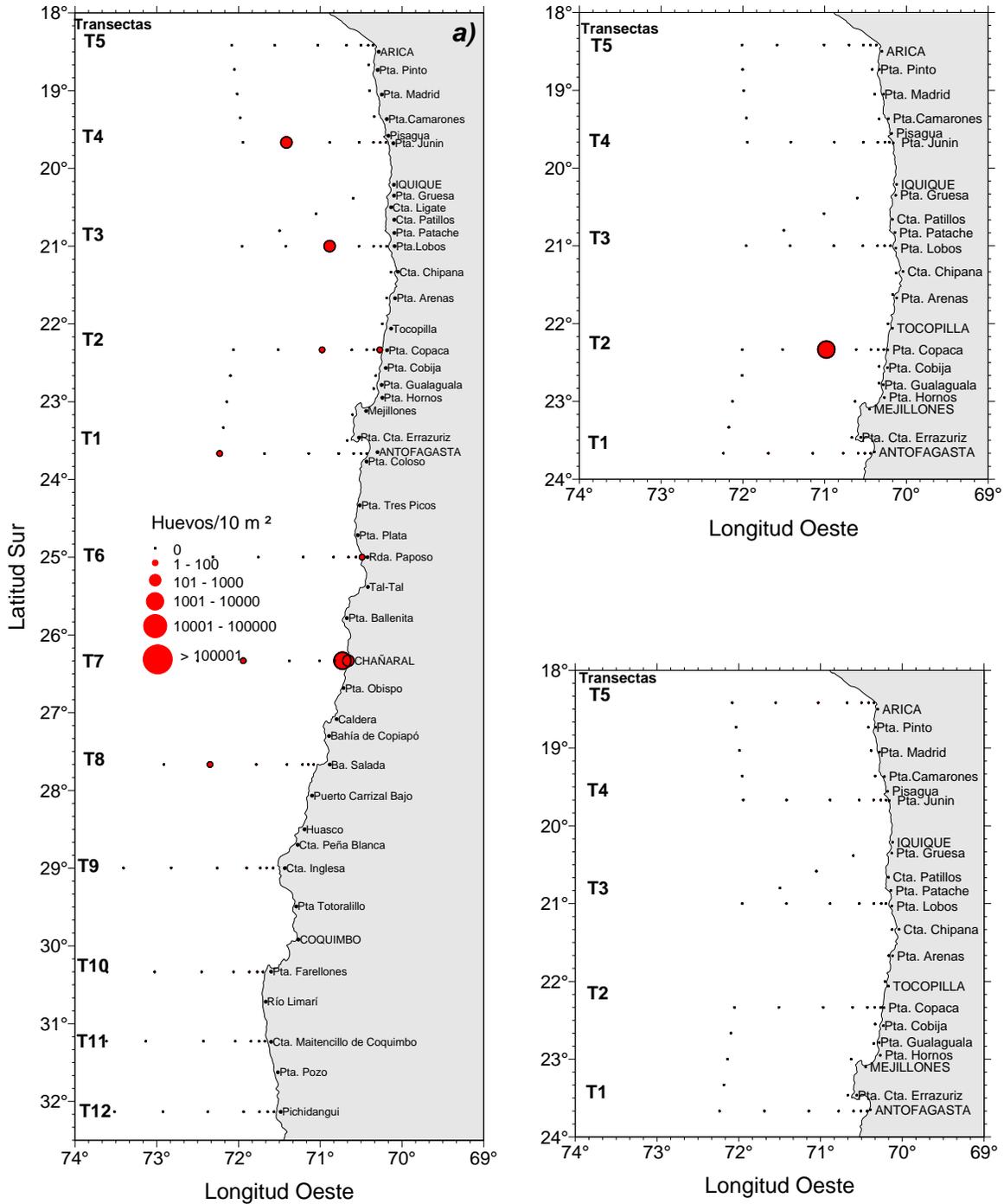


Figura 96. Distribuci3n y abundancia de huevos de jurel en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

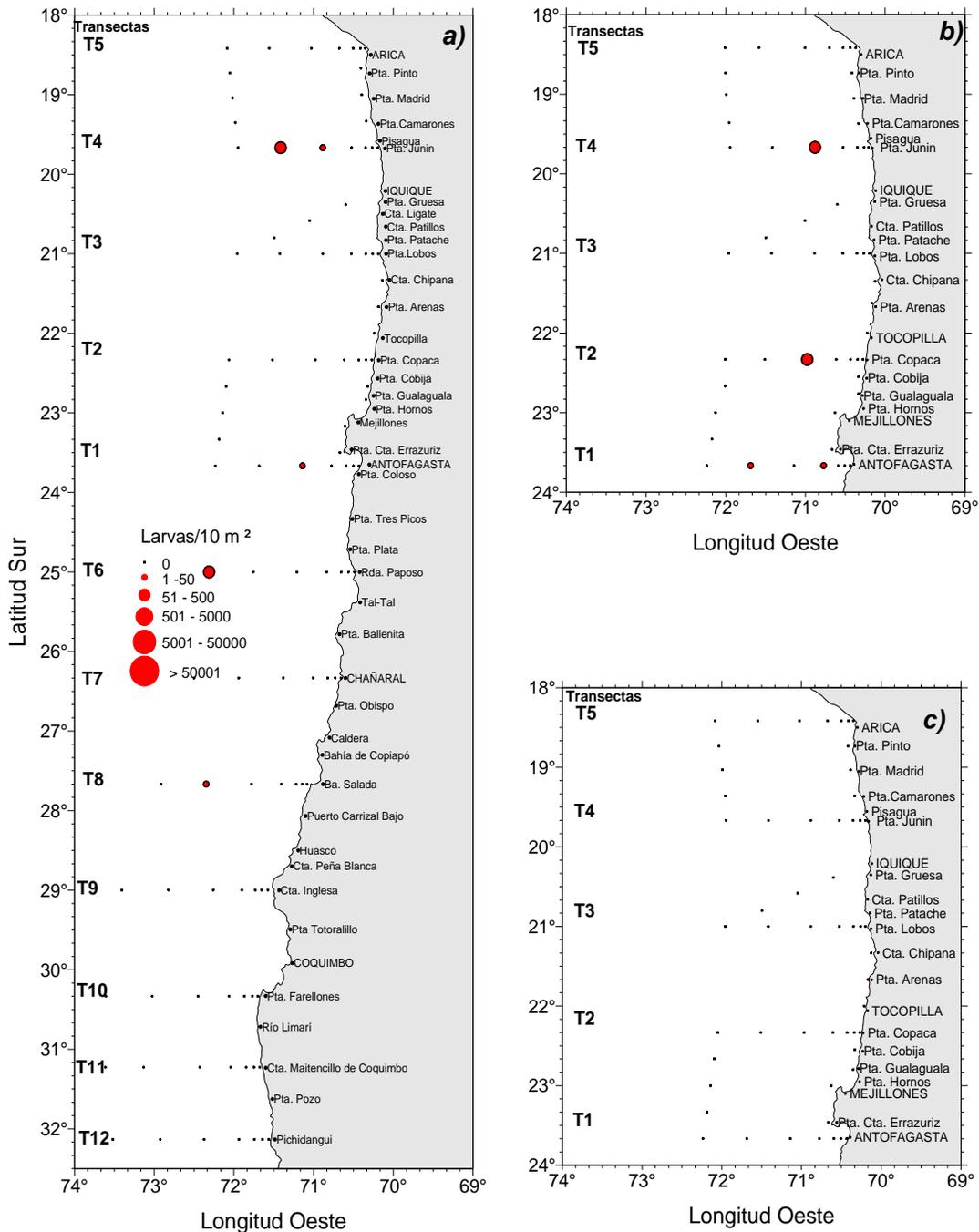


Figura 97. Distribuci3n y abundancia de larvas de jurel en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

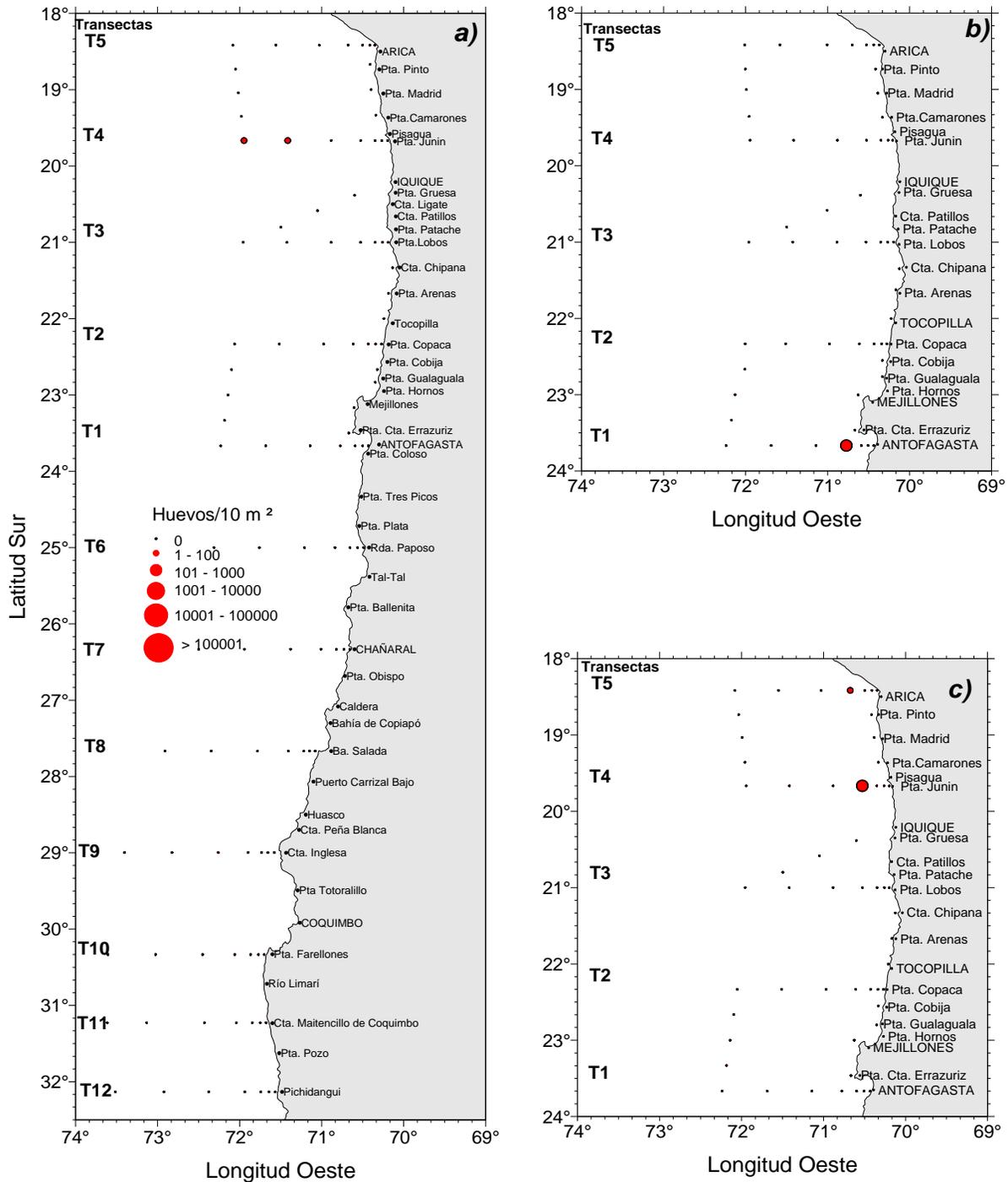


Figura 98. Distribuci3n y abundancia de huevos de caballa en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

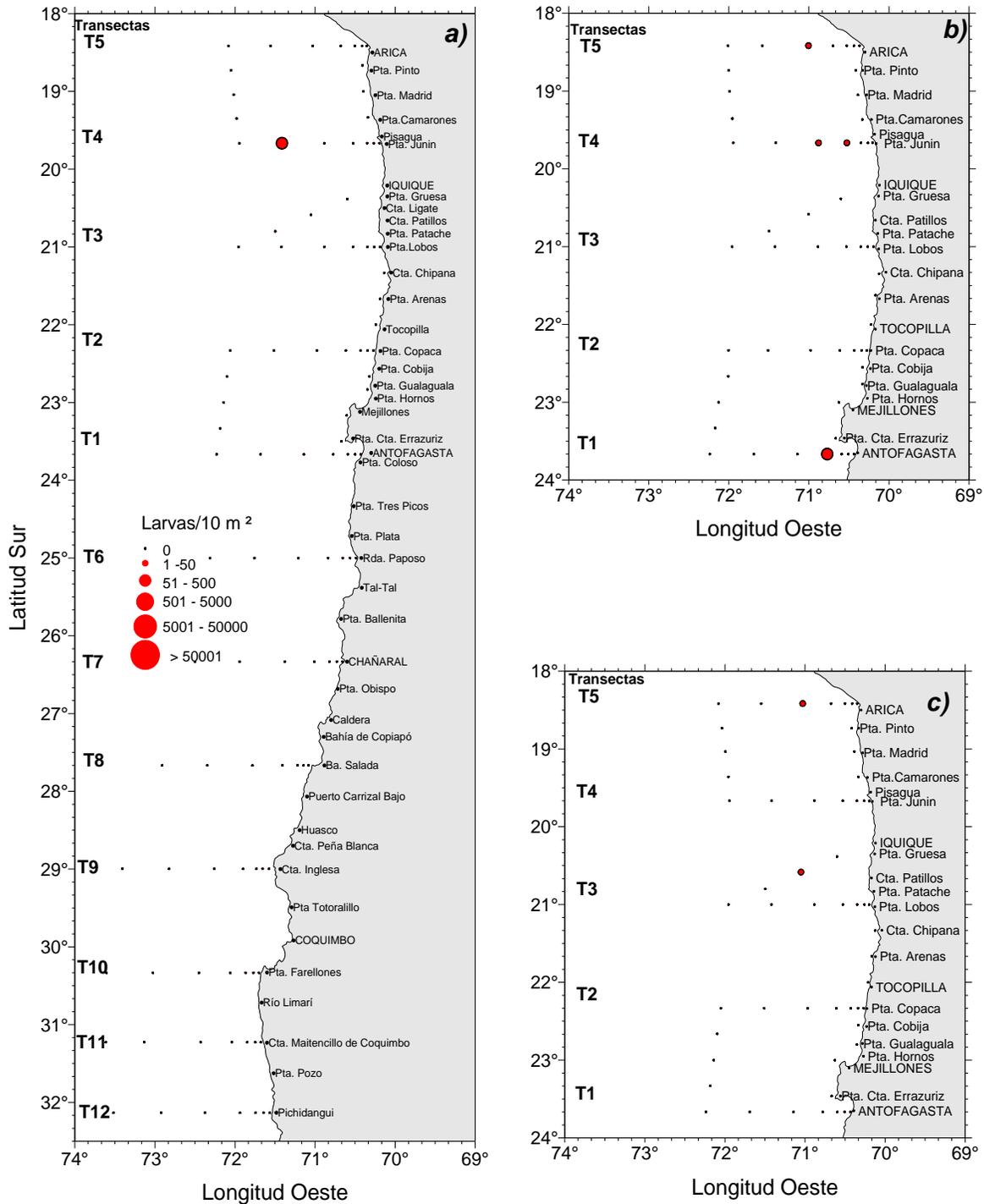


Figura 99. Distribuci3n y abundancia de larvas de caballa en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

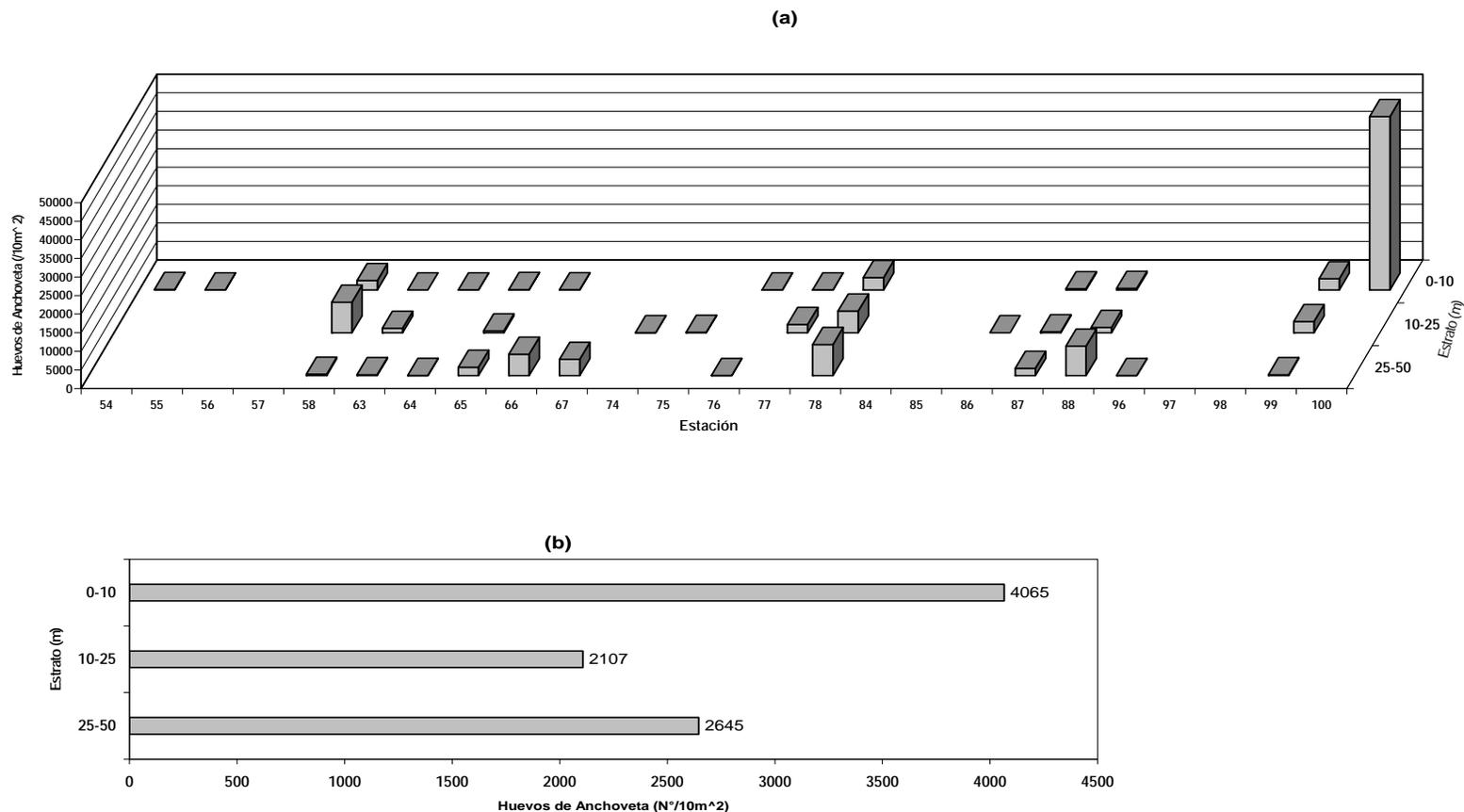


Figura 100. Distribuci3n y abundancia de huevos de anchoveta por estaci3n (a) y abundancia promedio por estrato de profundidad (b). Crucero MOBIO 0609. Septiembre 2006.

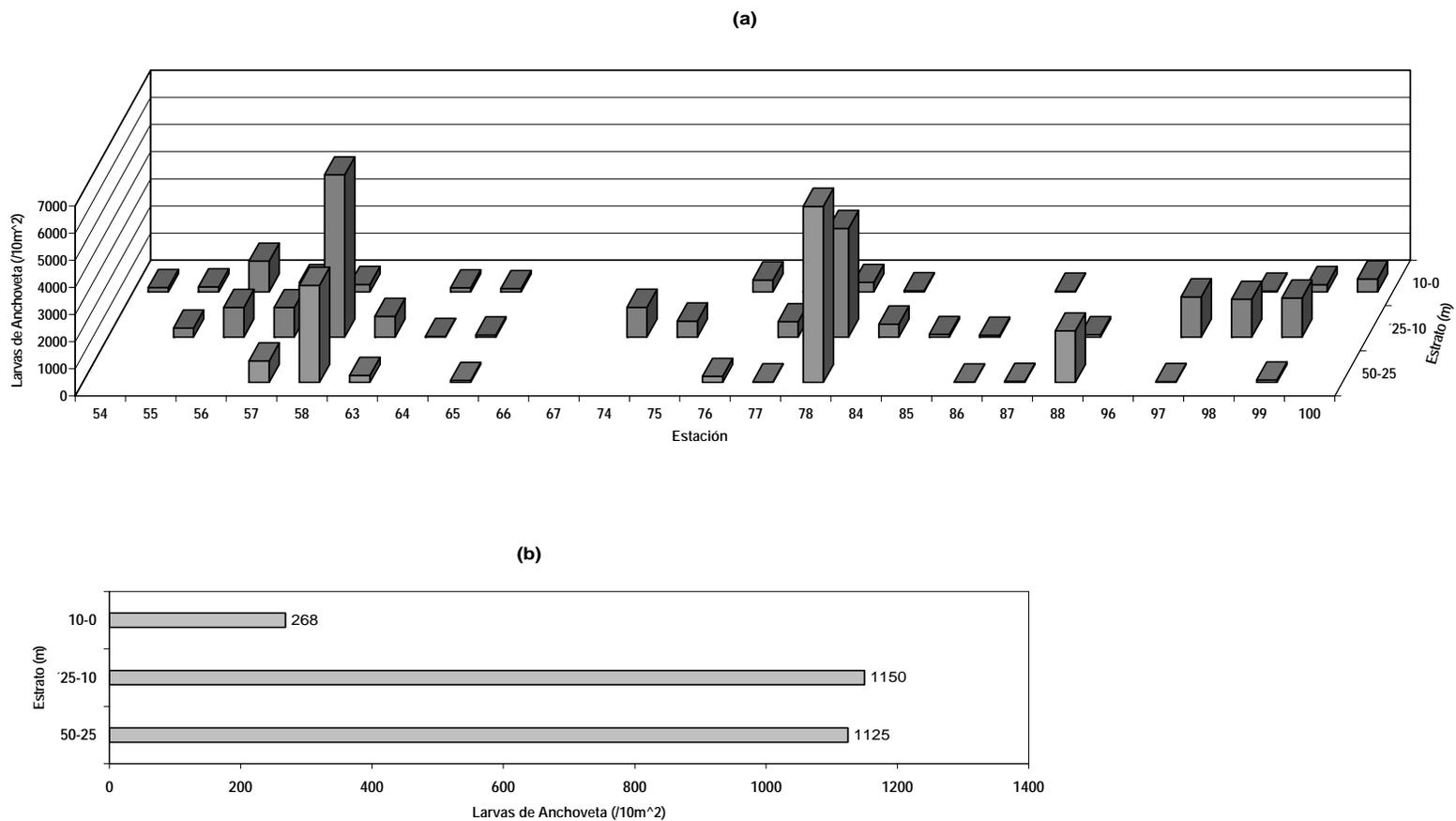


Figura 101. Distribuci3n y abundancia de larvas de anchoveta por estaci3n (a) y abundancia promedio por estrato de profundidad (b). Crucero MOBIO 0609. Septiembre 2006.

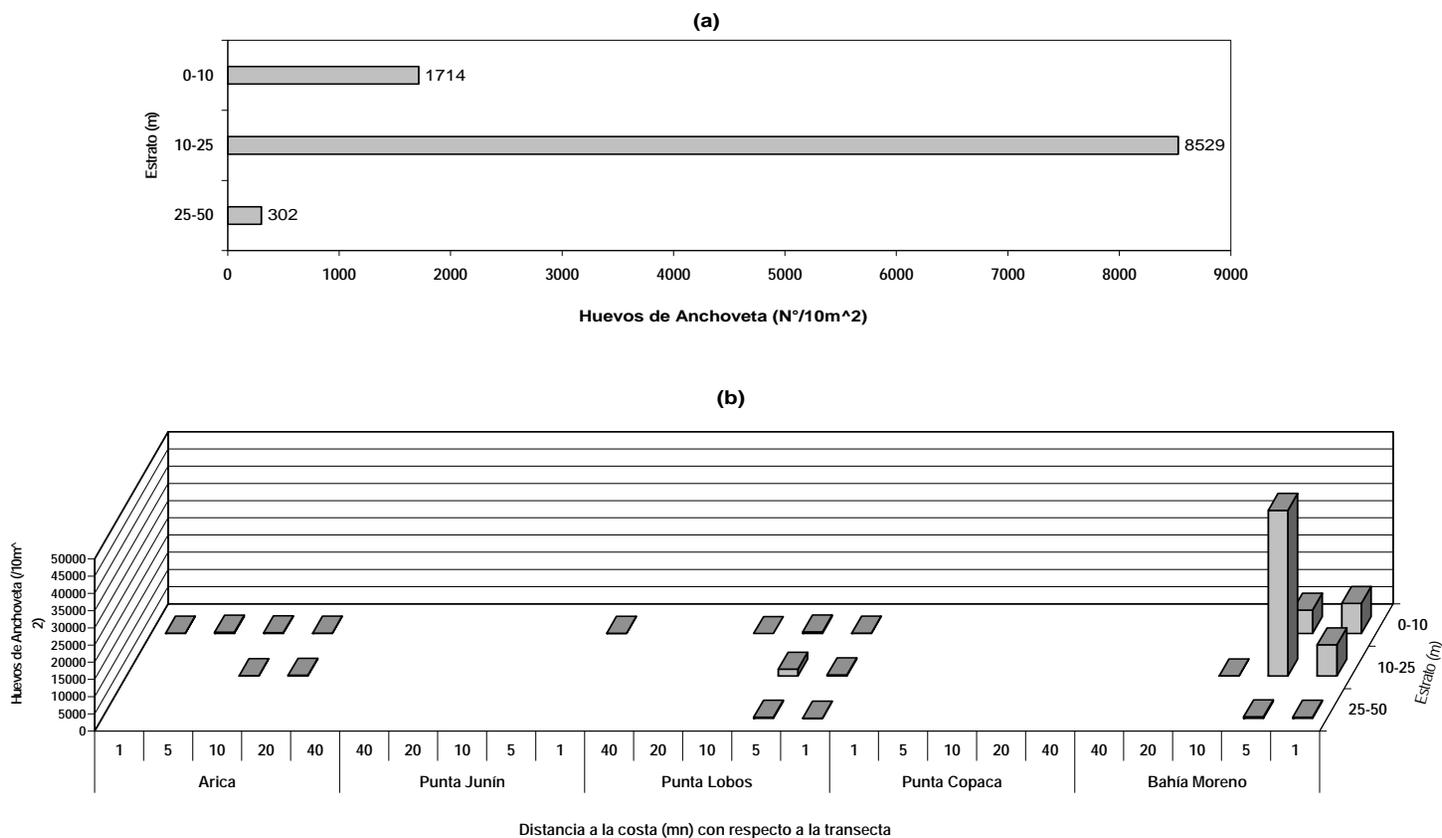


Figura 102. Distribuci3n y abundancia promedio de huevos de anchoveta por estrato de profundidad (a) y por estaci3n de acuerdo a la distancia de la costa y a la transecta (b). Crucero MOBIO 0612 Diciembre 2006.



o

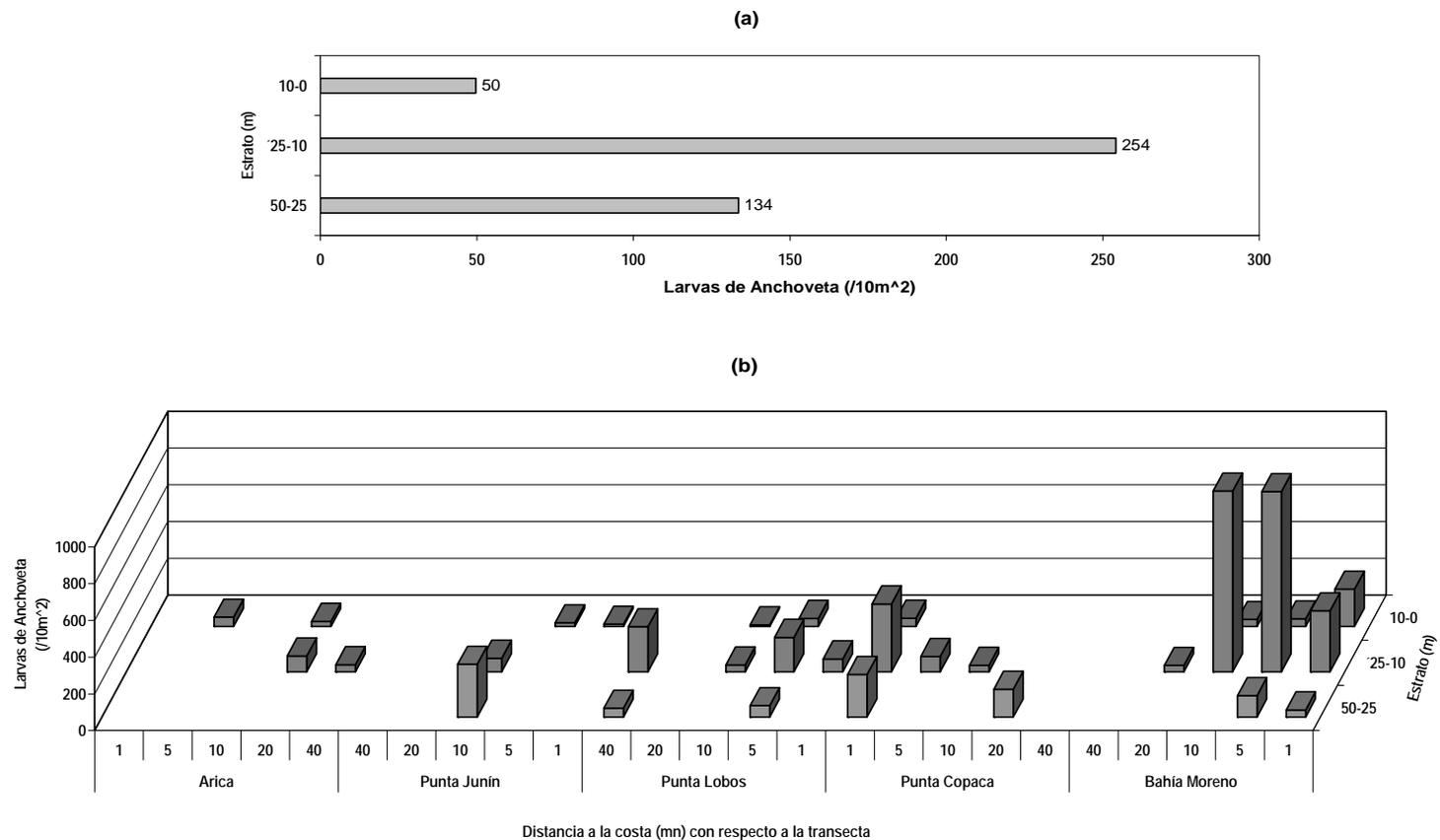


Figura 103. Distribuci3n y abundancia promedio de larvas de anchoveta por estrato de profundidad (a) y por estaci3n de acuerdo a la distancia a la costa (mn) y a la transecta (b). Crucero MOBIO 0612 Diciembre 2006.

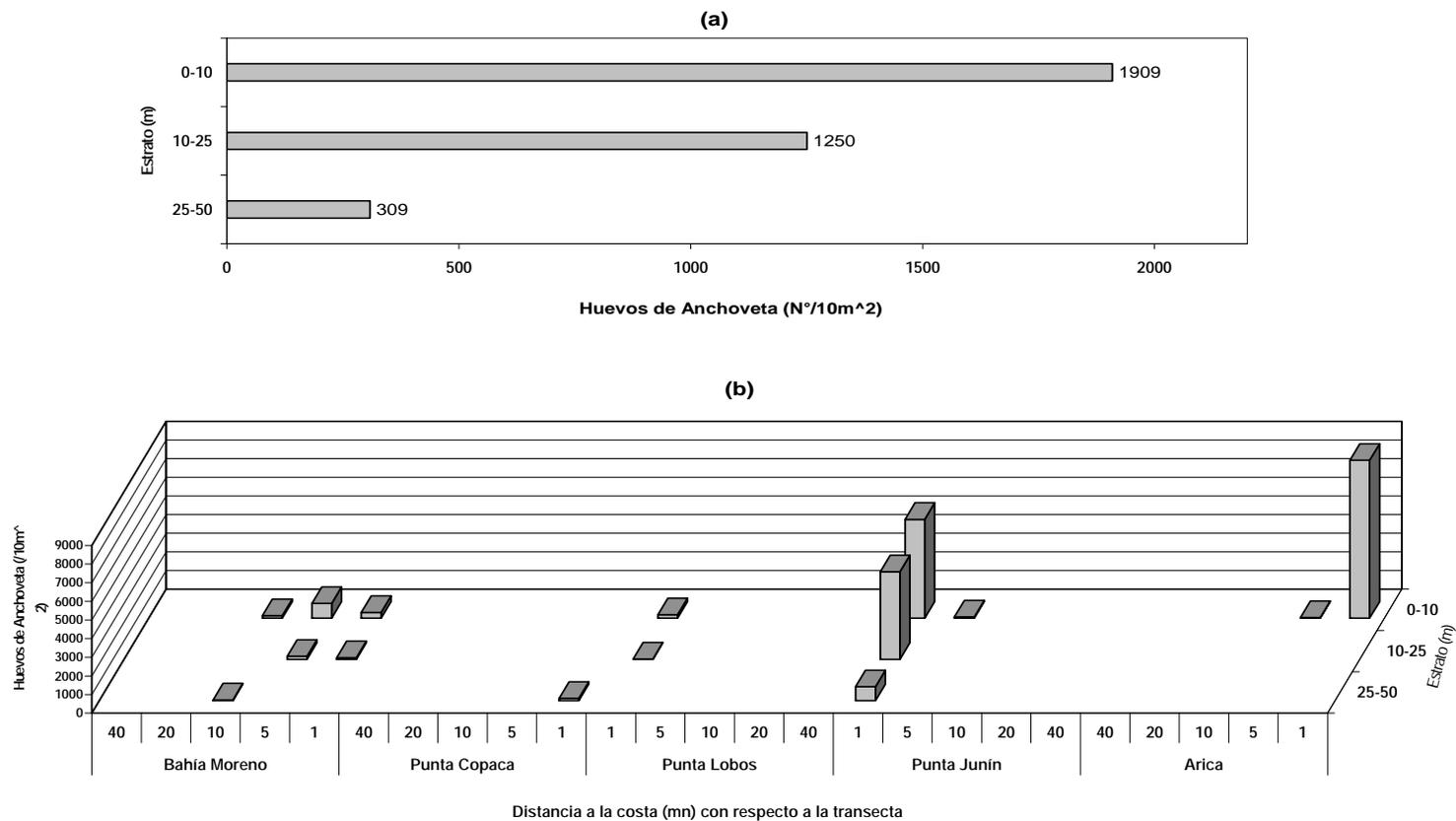


Figura 104. Distribuci3n y abundancia promedio de huevos de anchoveta por estrato de profundidad (a) y por estaci3n de acuerdo a la distancia de la costa y a la transecta (b). Crucero MOBIO 0703 Marzo 2007.

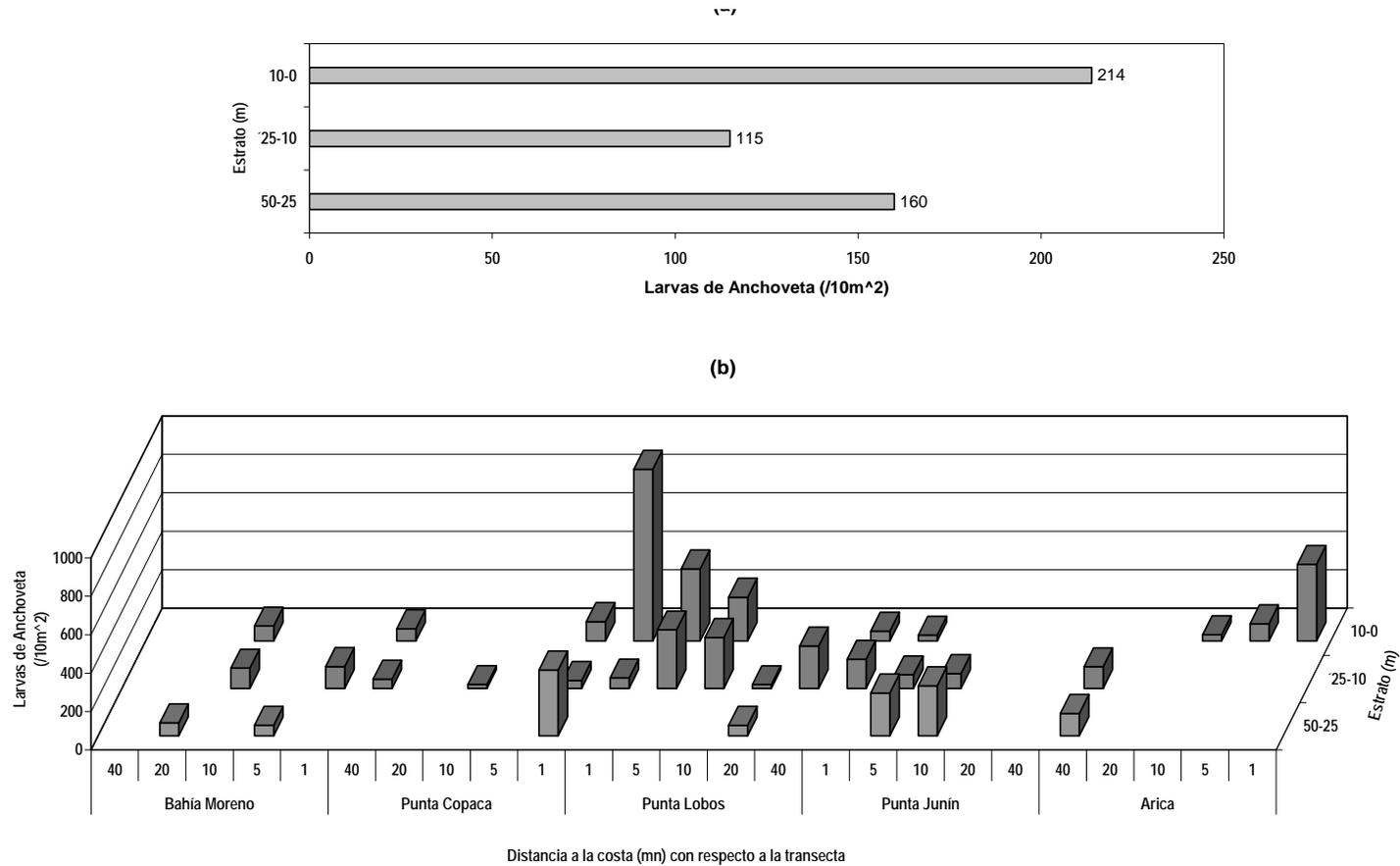


Figura 105. Distribuci3n y abundancia promedio de larvas de anchoveta por estrato de profundidad (a) y por estaci3n de acuerdo a la distancia a la costa (mn) y a la transecta (b). Crucero MOBIO 0703 Marzo 2007.

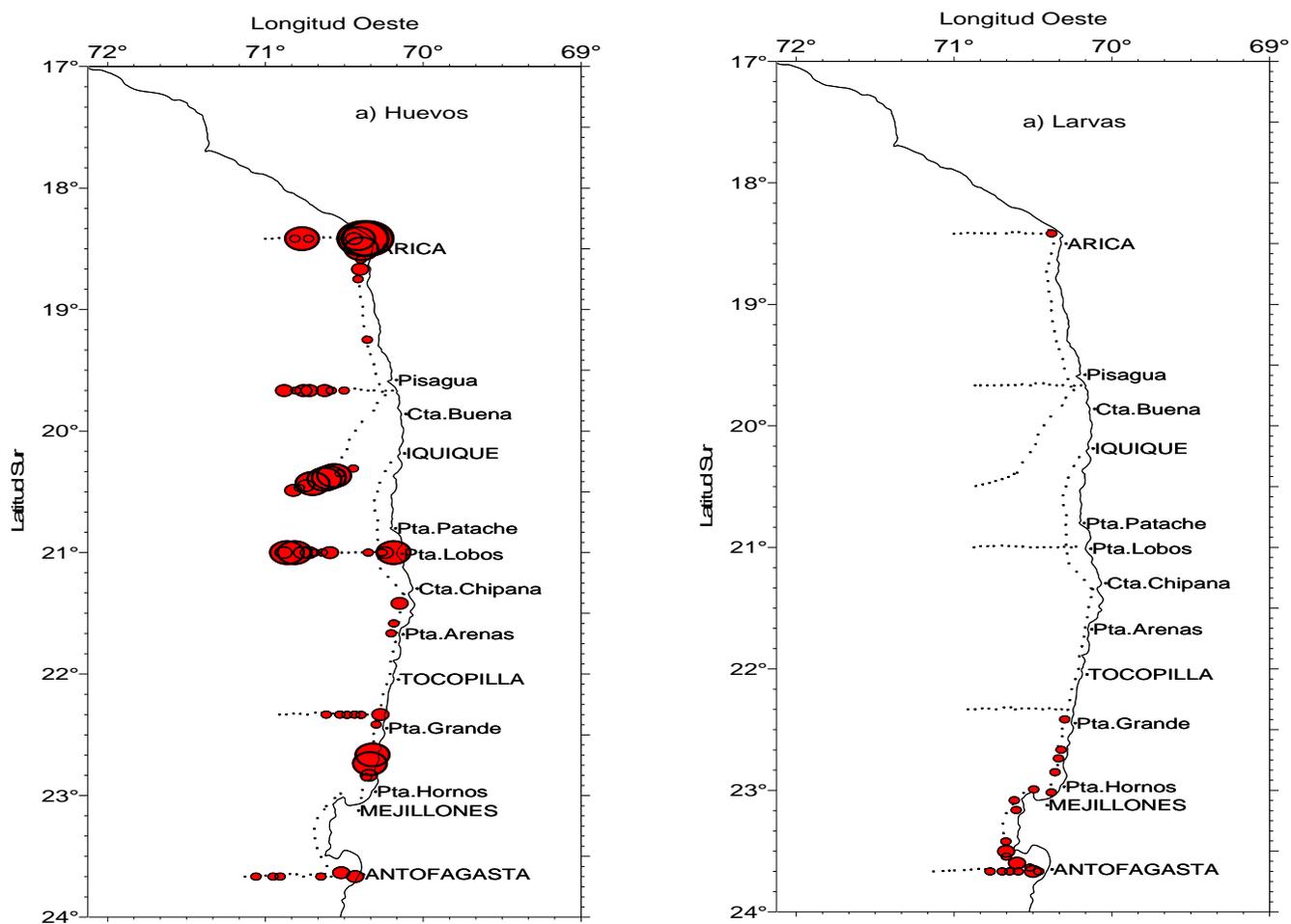


Figura 106. Distribuci3n espacial y abundancia de los huevos y larvas de Anchoveta recolectados con el sistema CUFES. Crucero MOBIO 0609 – Septiembre de 2006.

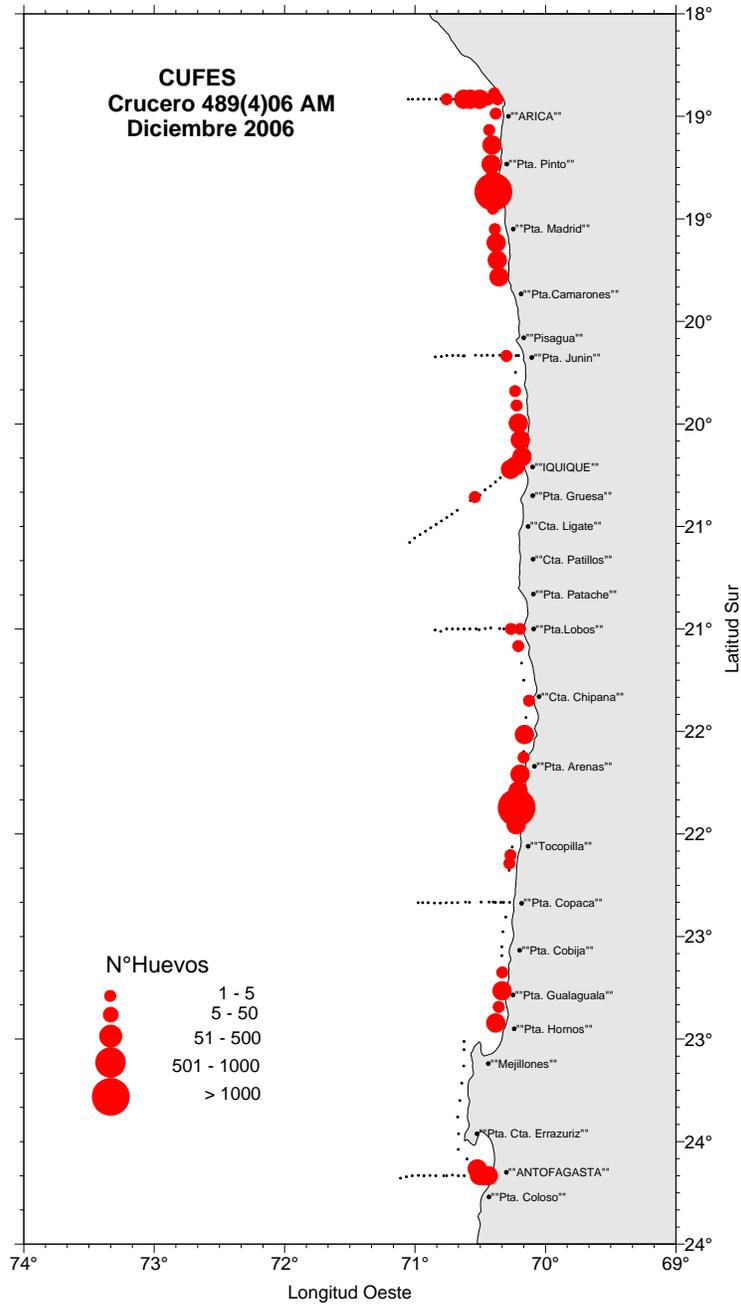


Figura 107. Abundancia y distribuci3n de huevos de anchoveta recolectados con sistema CUFES en diciembre de 2006.

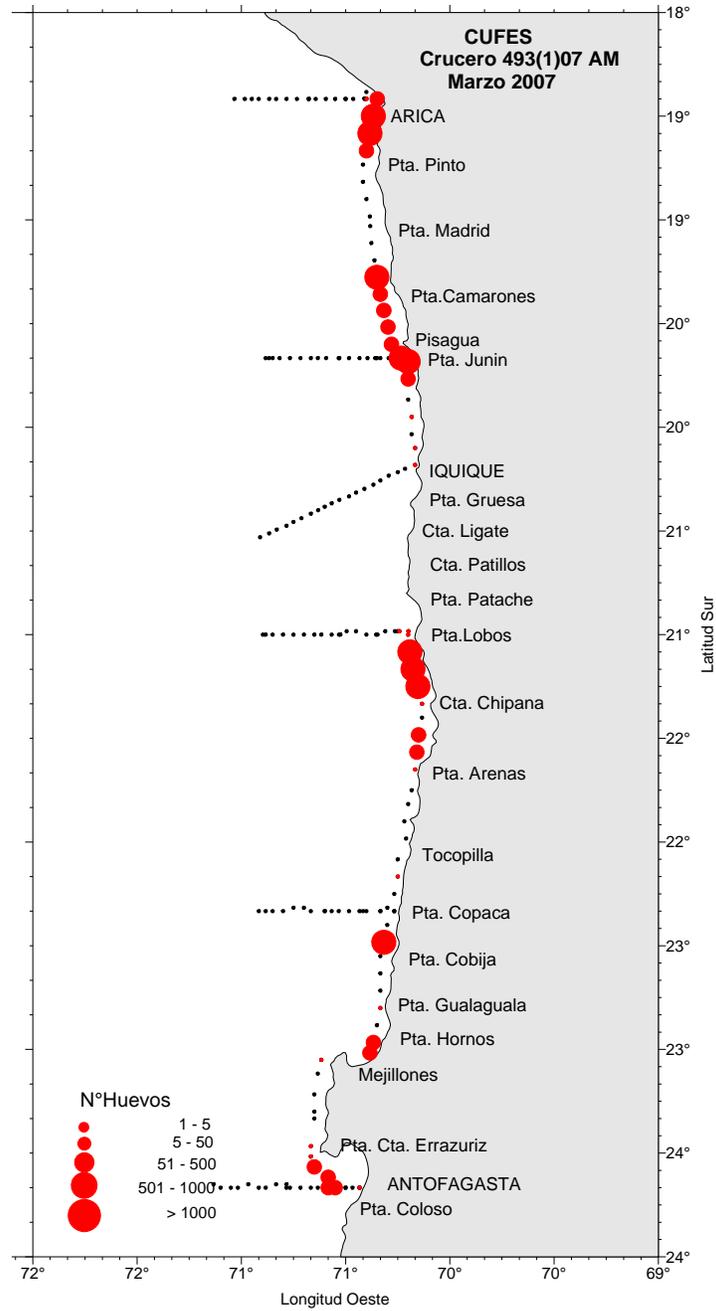


Figura 108. Distribuci3n y abundancia de huevos recolectados con la bomba de huevos CUFES. Crucero MOBIO – Marzo 2007.

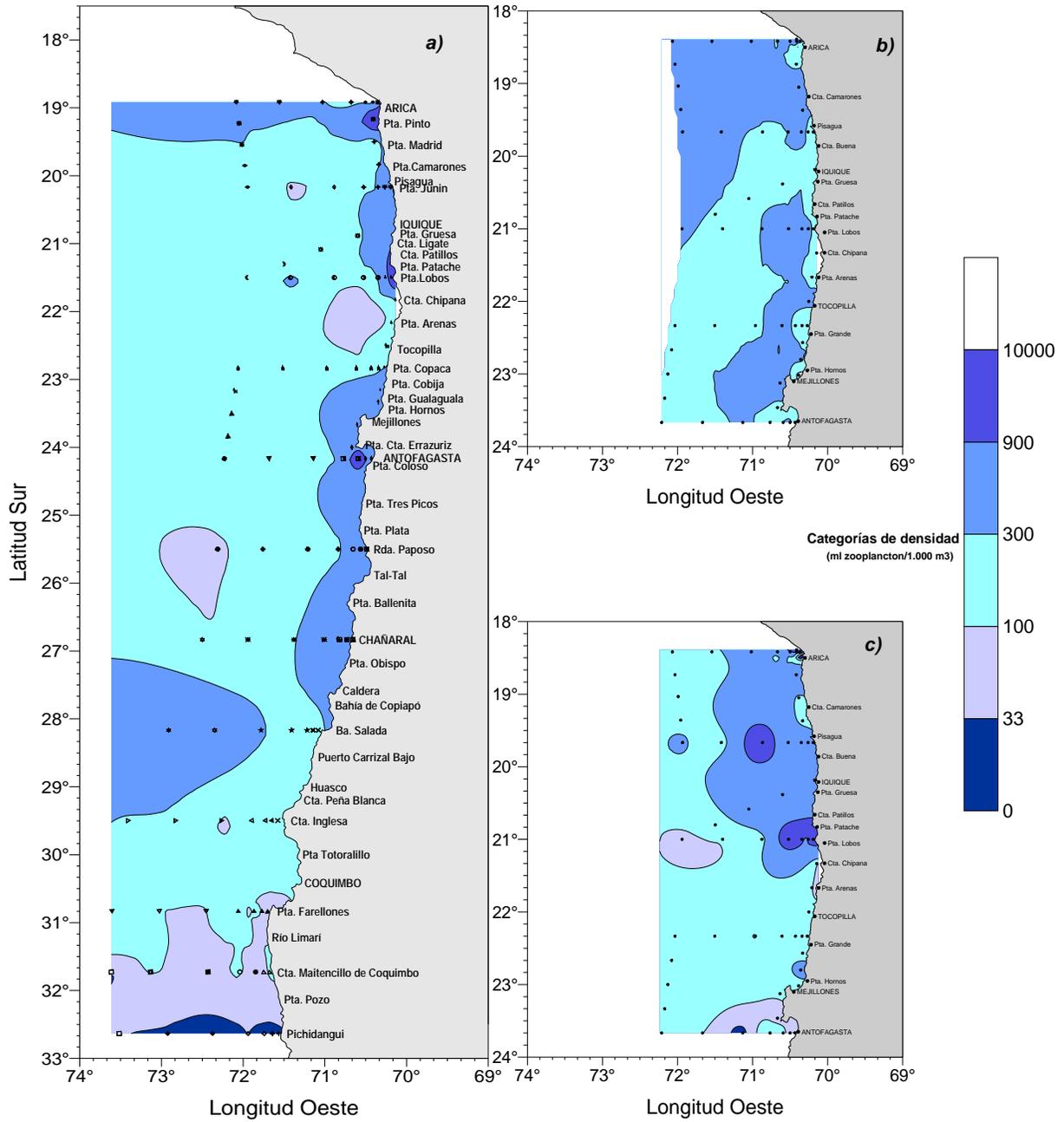


Figura 109. Distribuci3n y abundancia de la biomasa zooplanct3nica (ml de zooplancton/1000m³ de agua filtrada) en a) septiembre 2006, b) diciembre 2006 y c) marzo 2007.

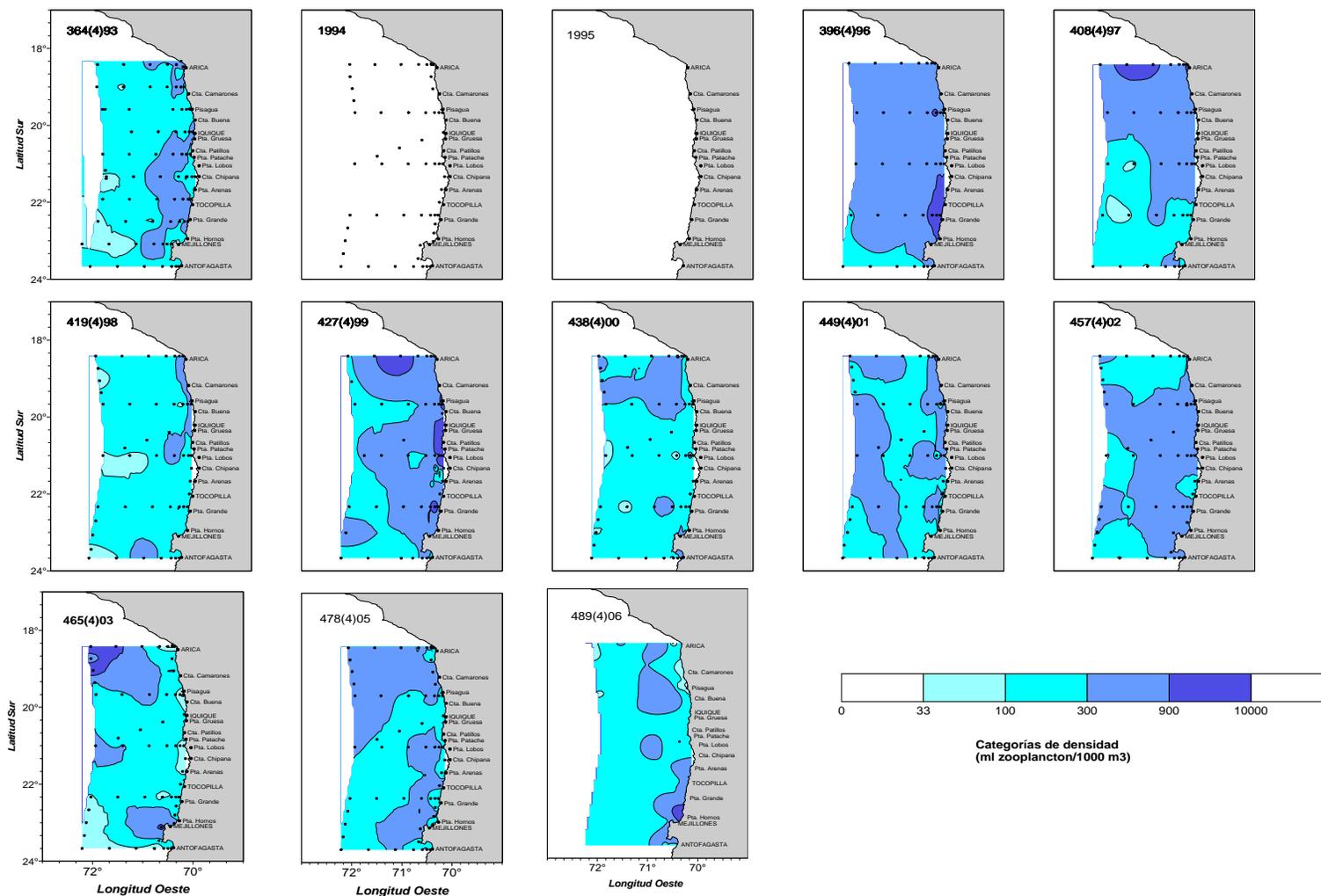


Figura 110. Distribuci3n de la biomasa zooplanct3nica para la zona Arica – Antofagasta en Primavera de los a1os 1993-2006.

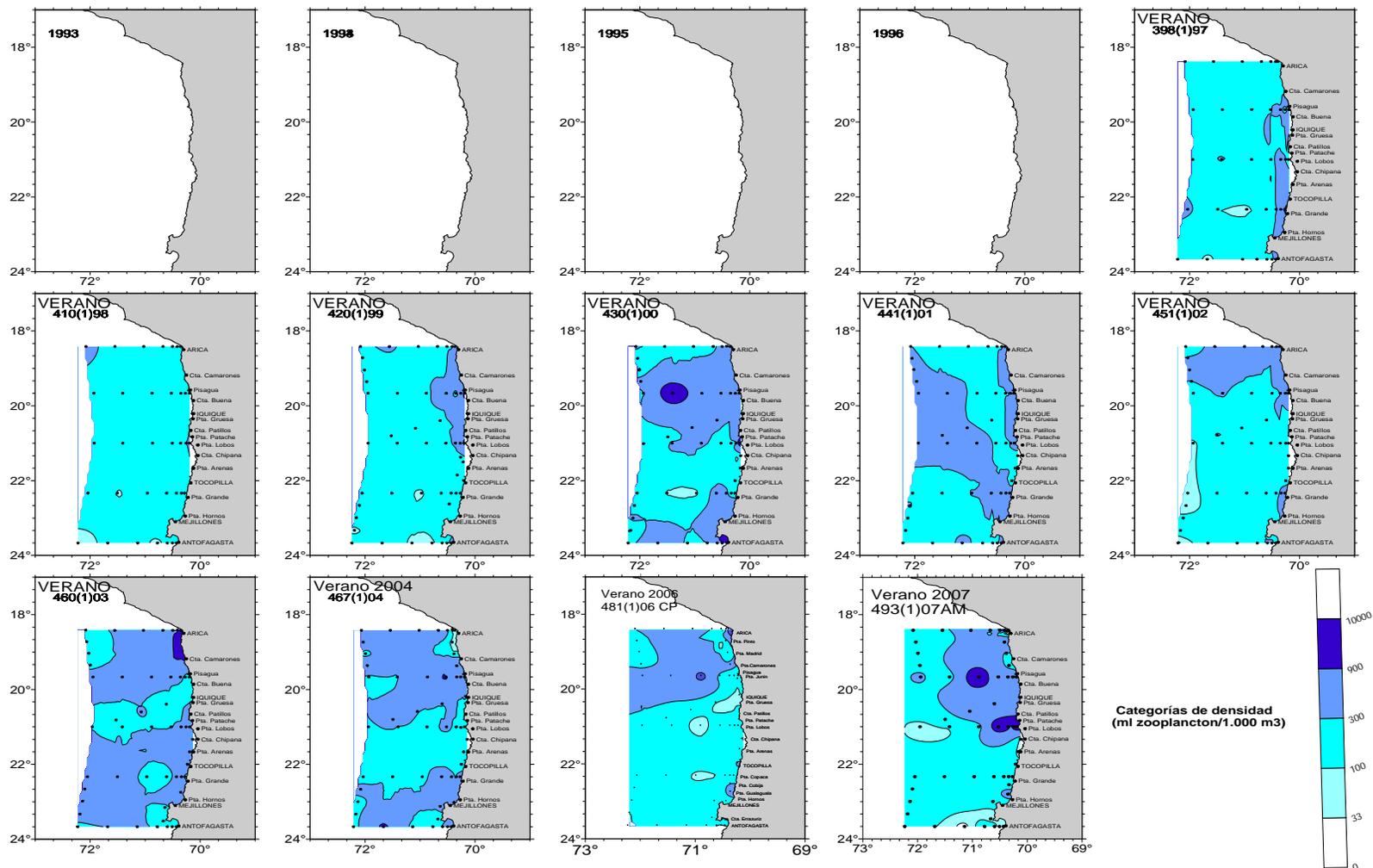


Figura 111. Distribuci3n y abundancia de la biomasa zooplanct3nica para la zona Arica - Antofagasta en verano de los a1os 1993-2007.

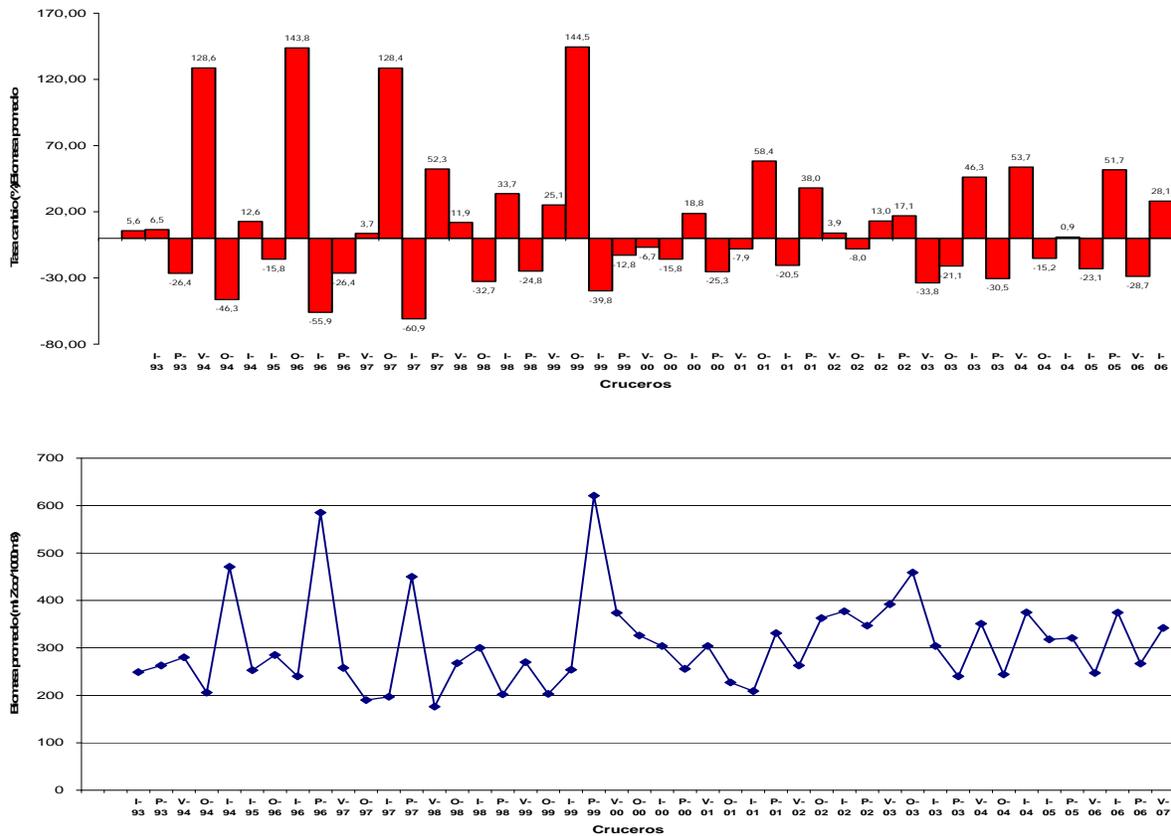


Figura 112. Variaci3n temporal de la biomasa zooplant3nica promedio, para el periodo invierno 1993 – verano 2007.

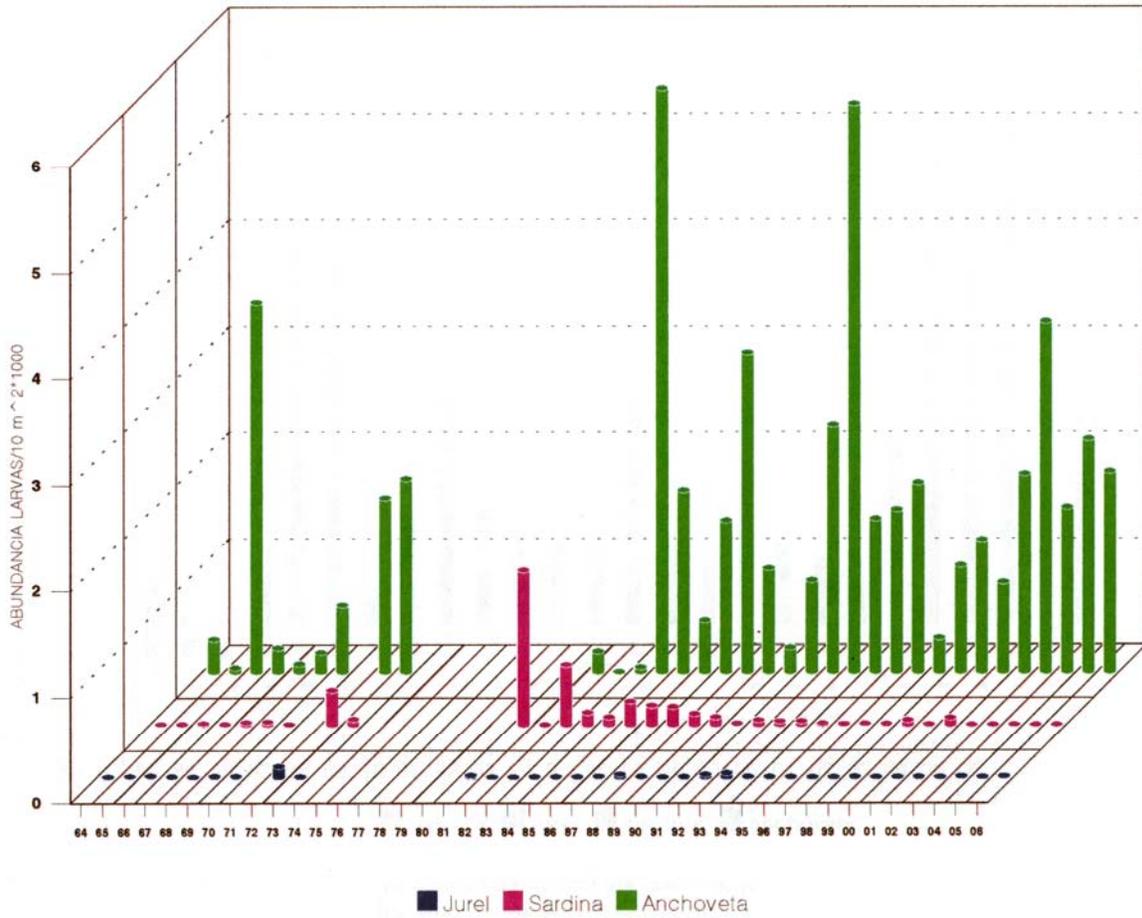


Figura 113. Estimaci3n de la abundancia promedio de larvas (dpet). Período invierno 1964-2006.

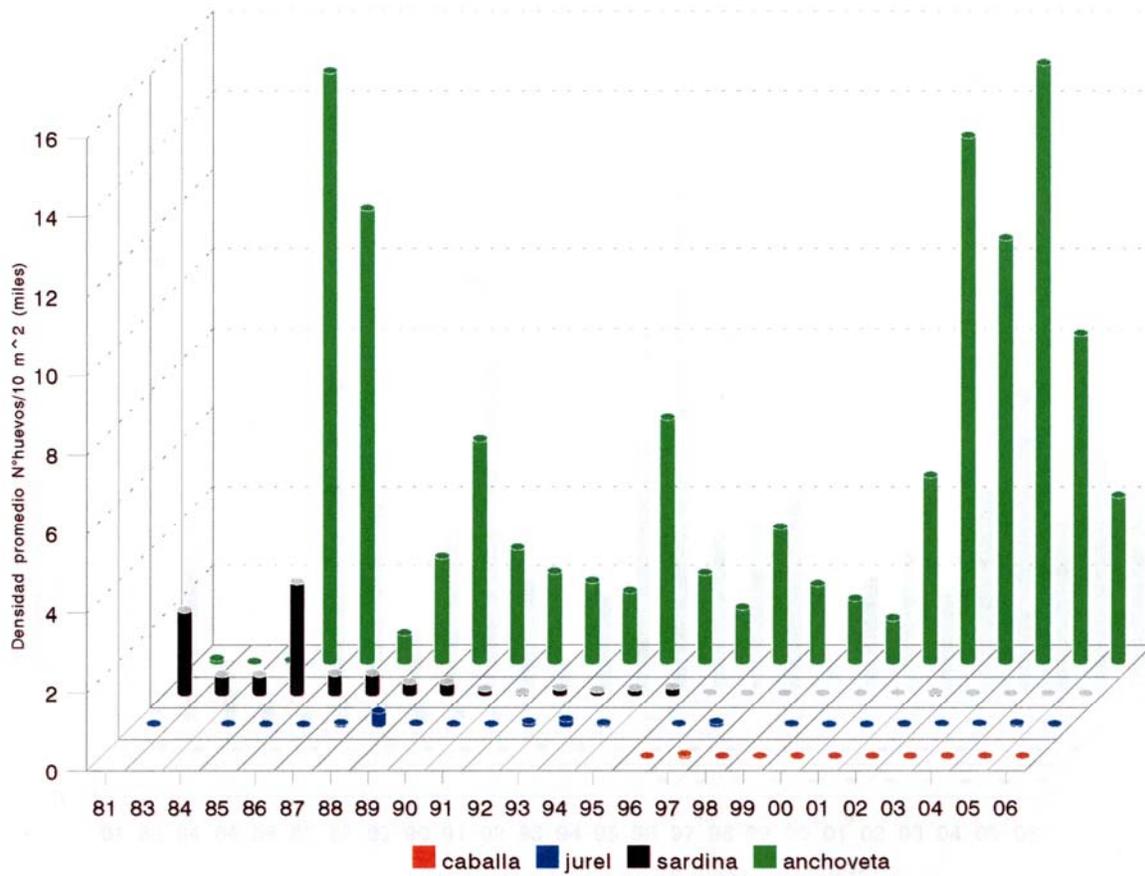


Figura 114. Abundancia promedio de huevos de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta - Arica en invierno de los años 1981-2006.

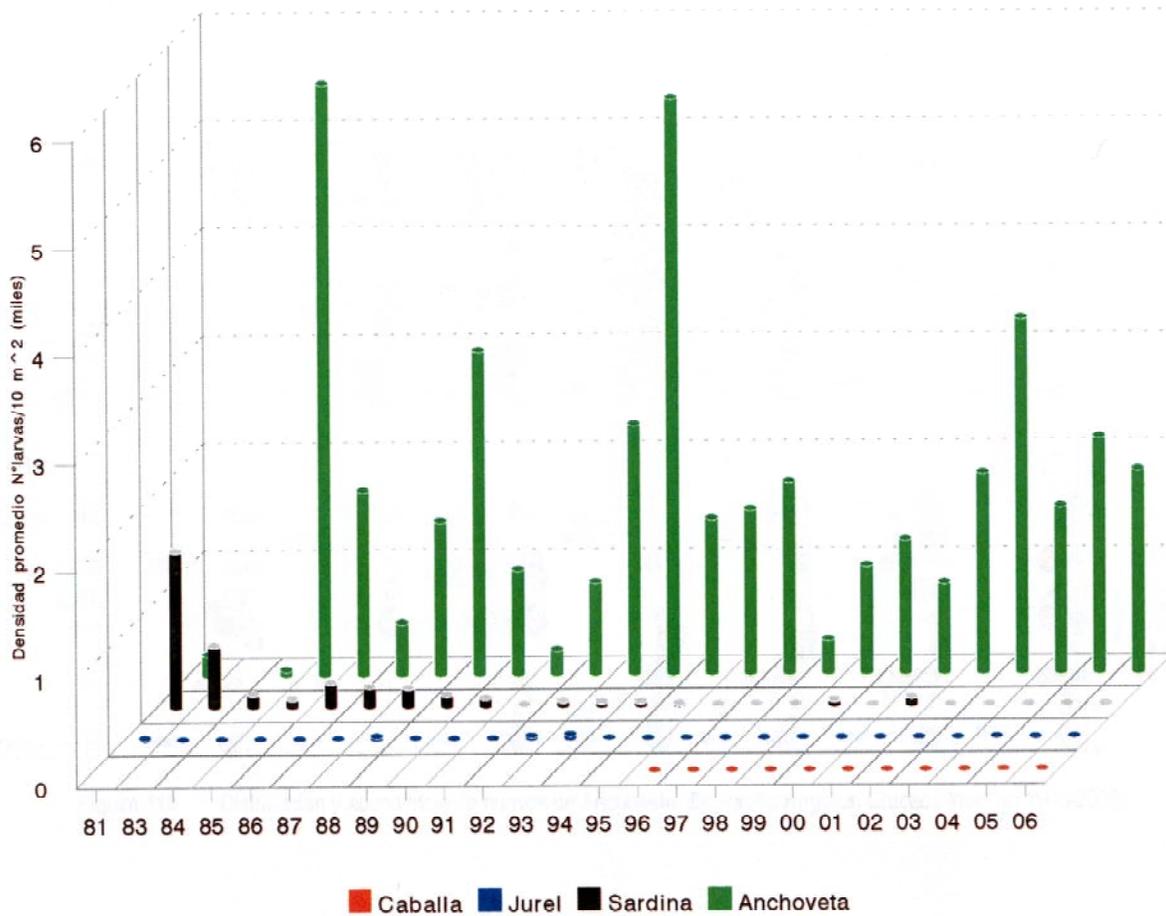


Figura 115. Abundancia promedio de larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en invierno de los años 1981-2006.

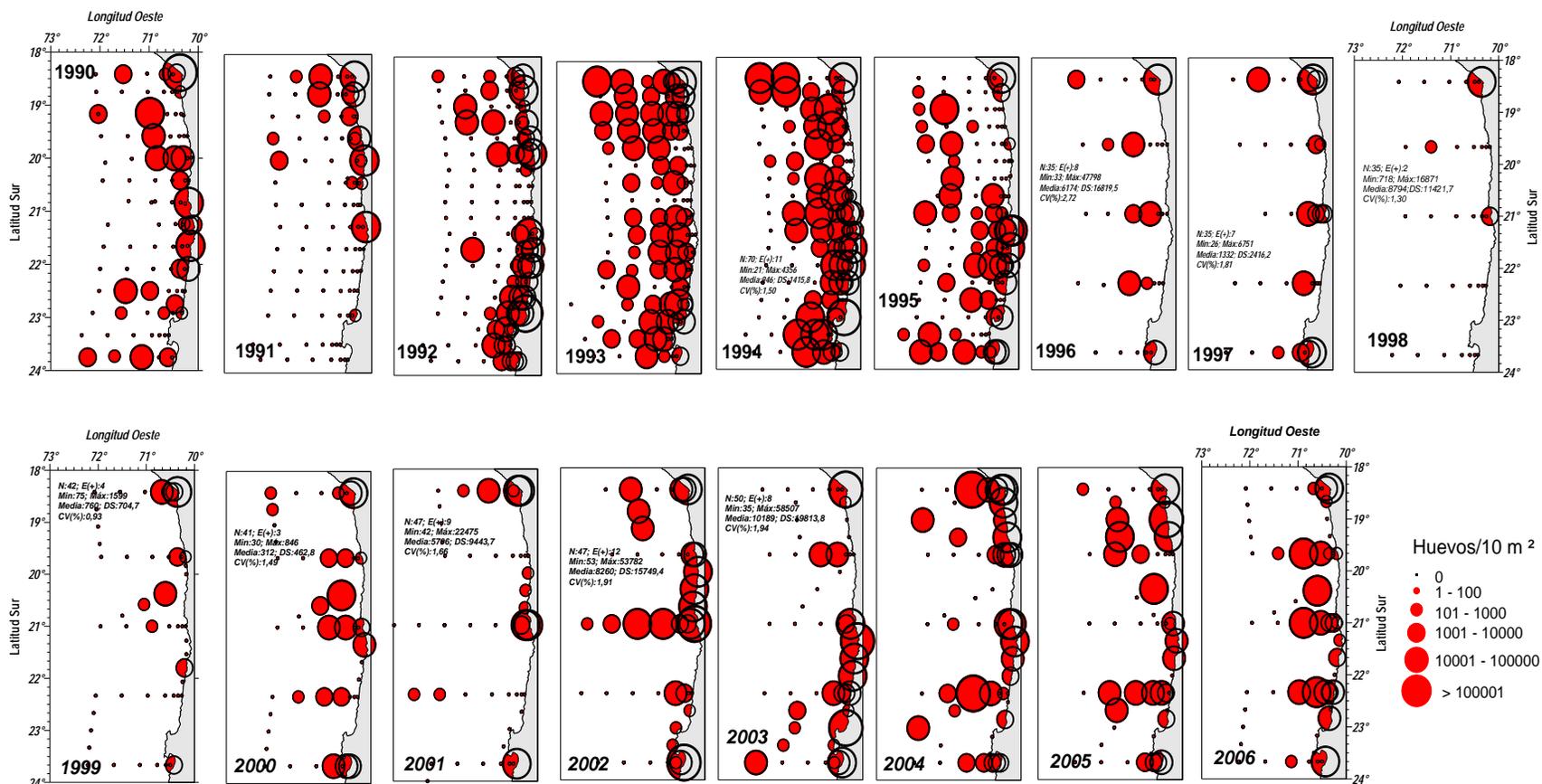


Figura 116. Distribuci3n y abundancia de huevos de Anchoveta, *Engraulis ringens*. Cruceos Invierno 1990-2006.

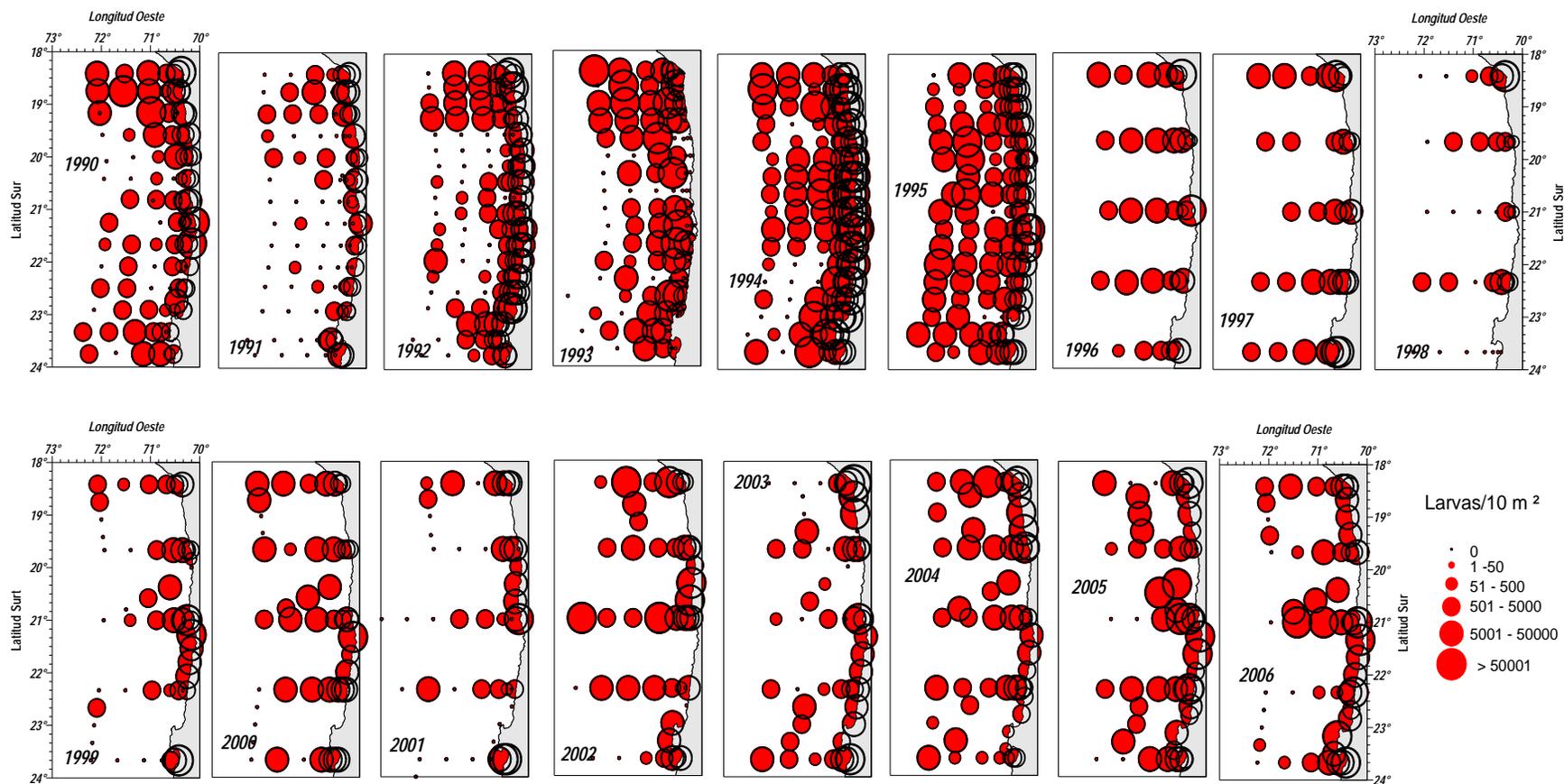


Figura 117. Distribuci3n y abundancia de larvas de Anchoveta, *Engraulis ringens*. Cruceos Invierno 1990-2006.

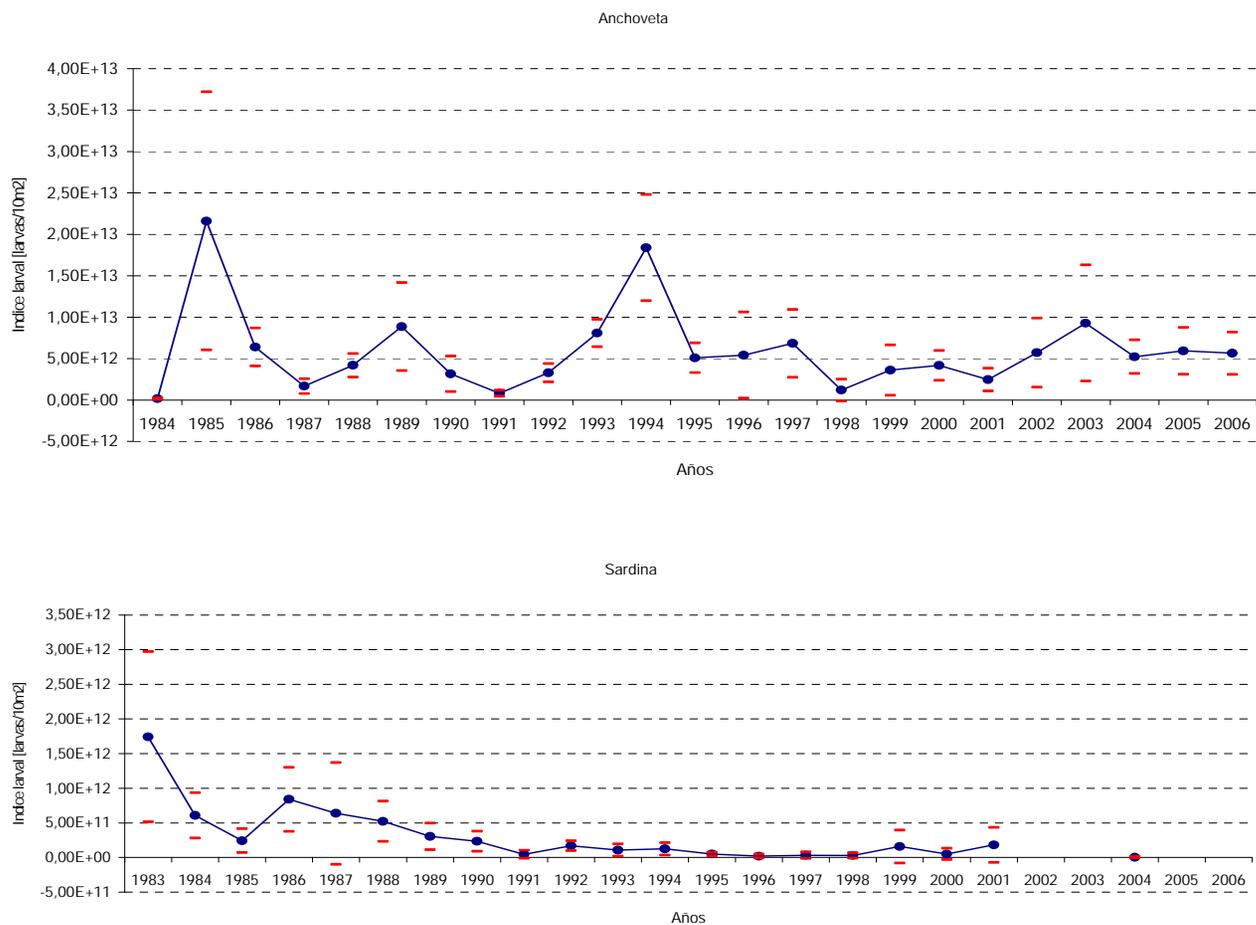


Figura 118. Estimaci3n del 3ndice de abundancia larval para anchoveta y sardina en invierno de los aros 1984/2006.

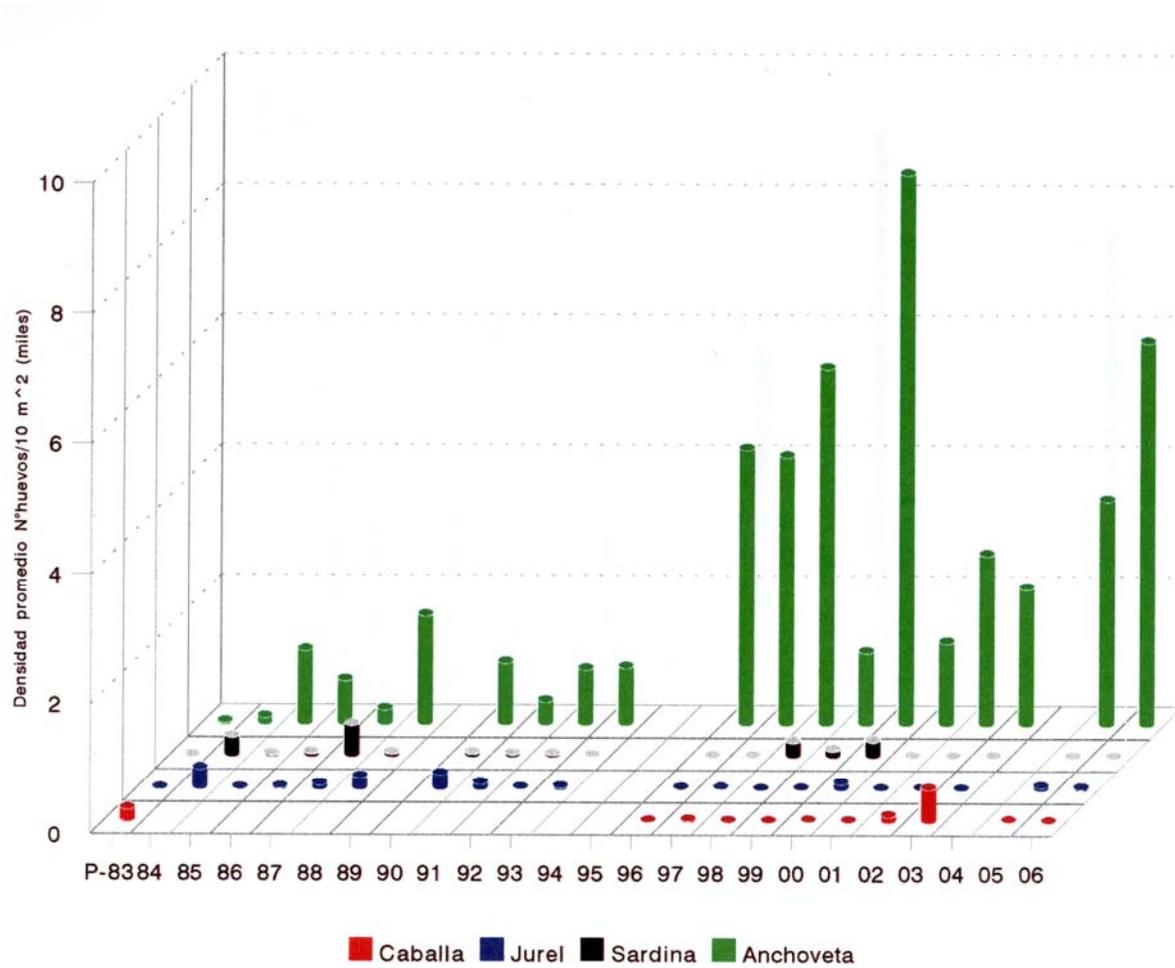


Figura 119. Abundancia promedio de huevos de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en primavera de los años 1983-2006.

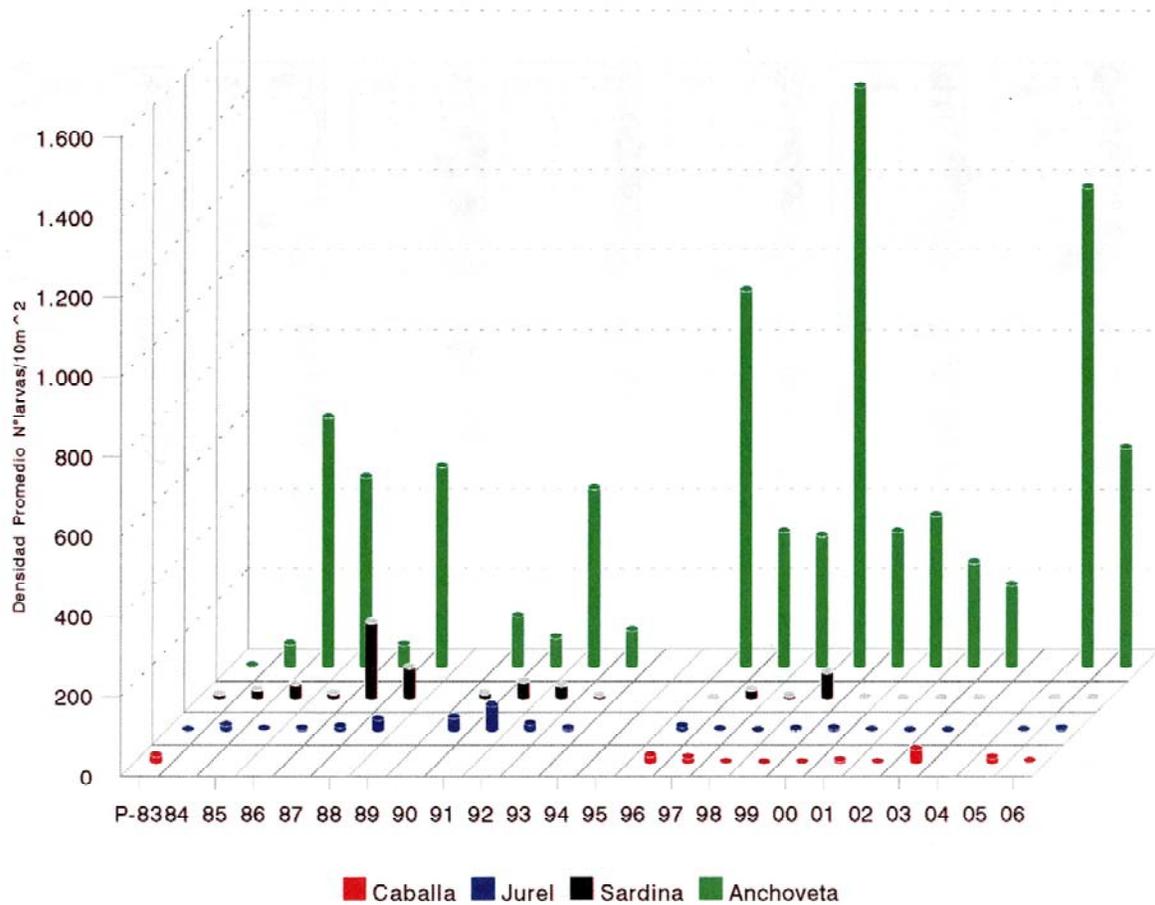


Figura 120. Abundancia promedio de larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta - Arica en primavera de los años 1983-2006.

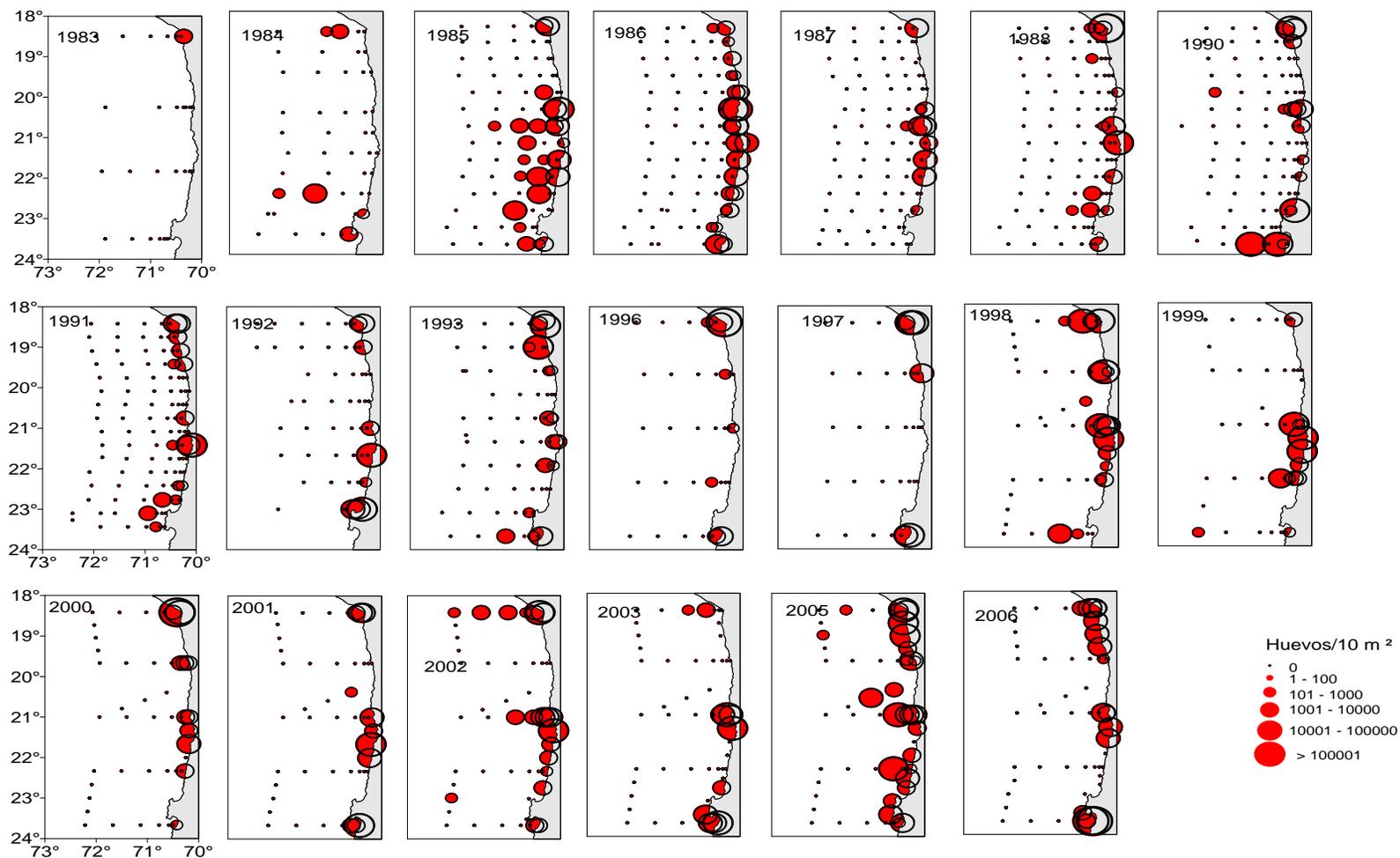


Figura 121. Distribuci3n y abundancia de Huevos de Anchoveta. Cruceos Primavera. Per3odo 1983-2006.

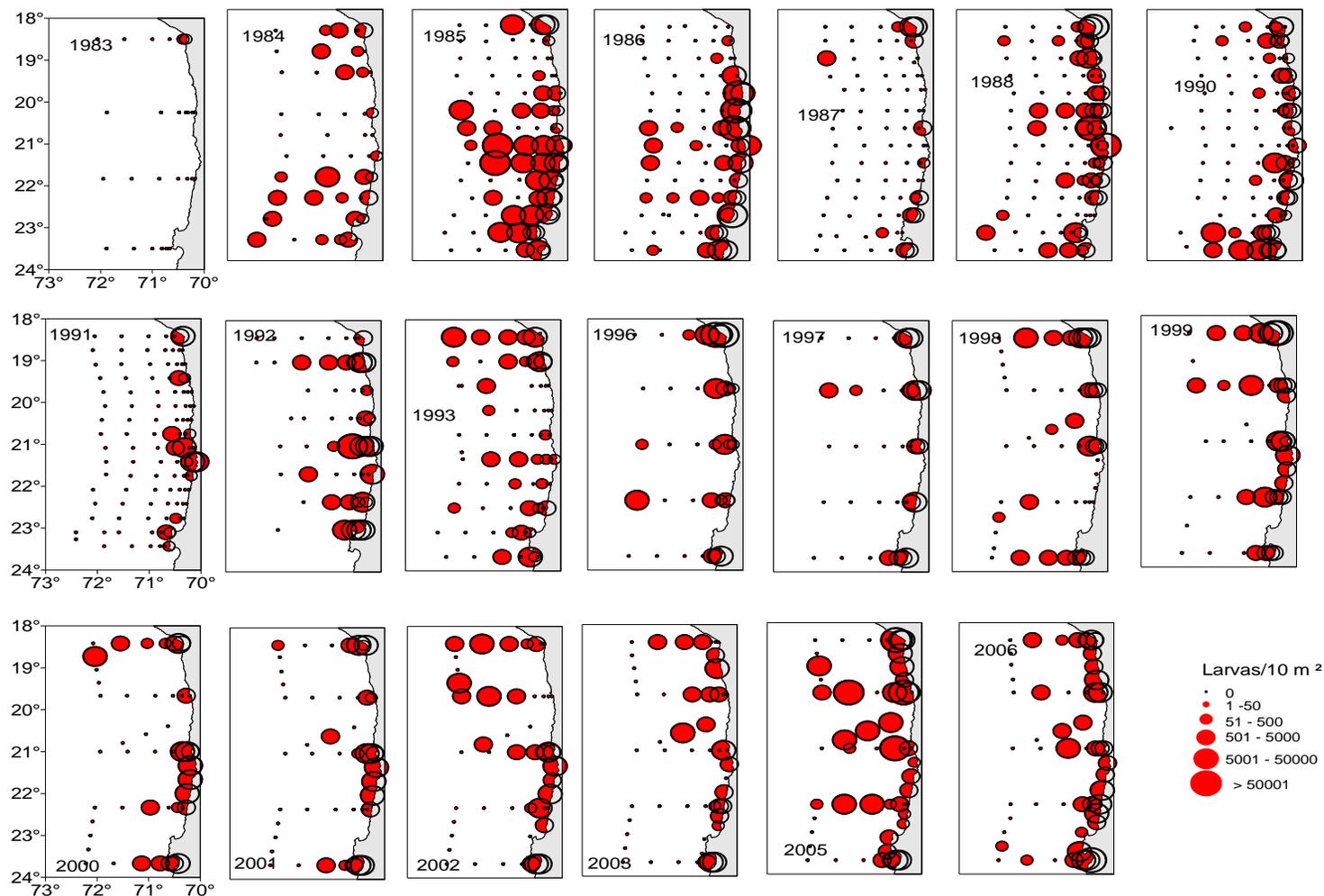


Figura 122. Distribuci3n y abundancia de Larvas de Anchoveta. Cruceros Primavera. Per3odo 1983-2006.

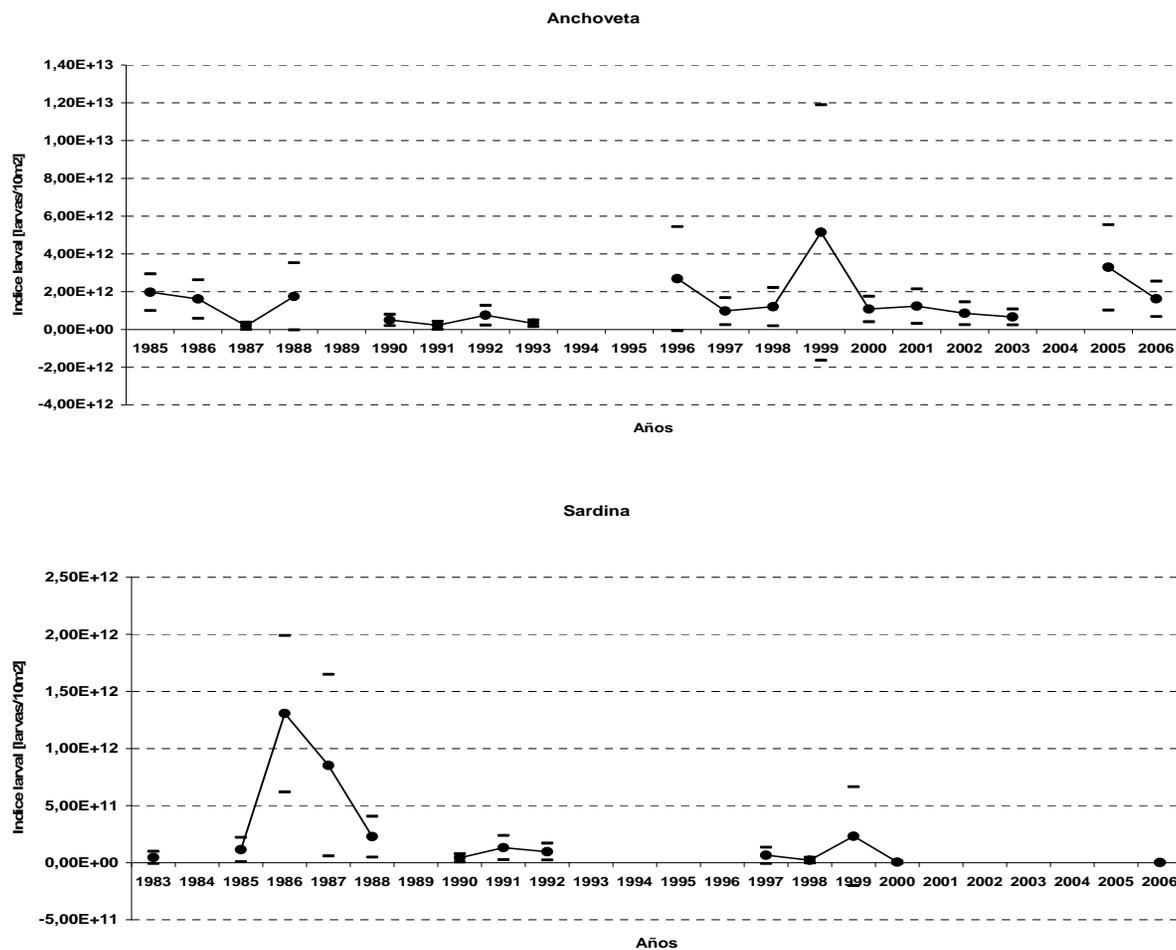


Figura 123. Estimaci3n del 3ndice de abundancia larval para anchoveta y sardina en primavera del per3odo 1983/2006.

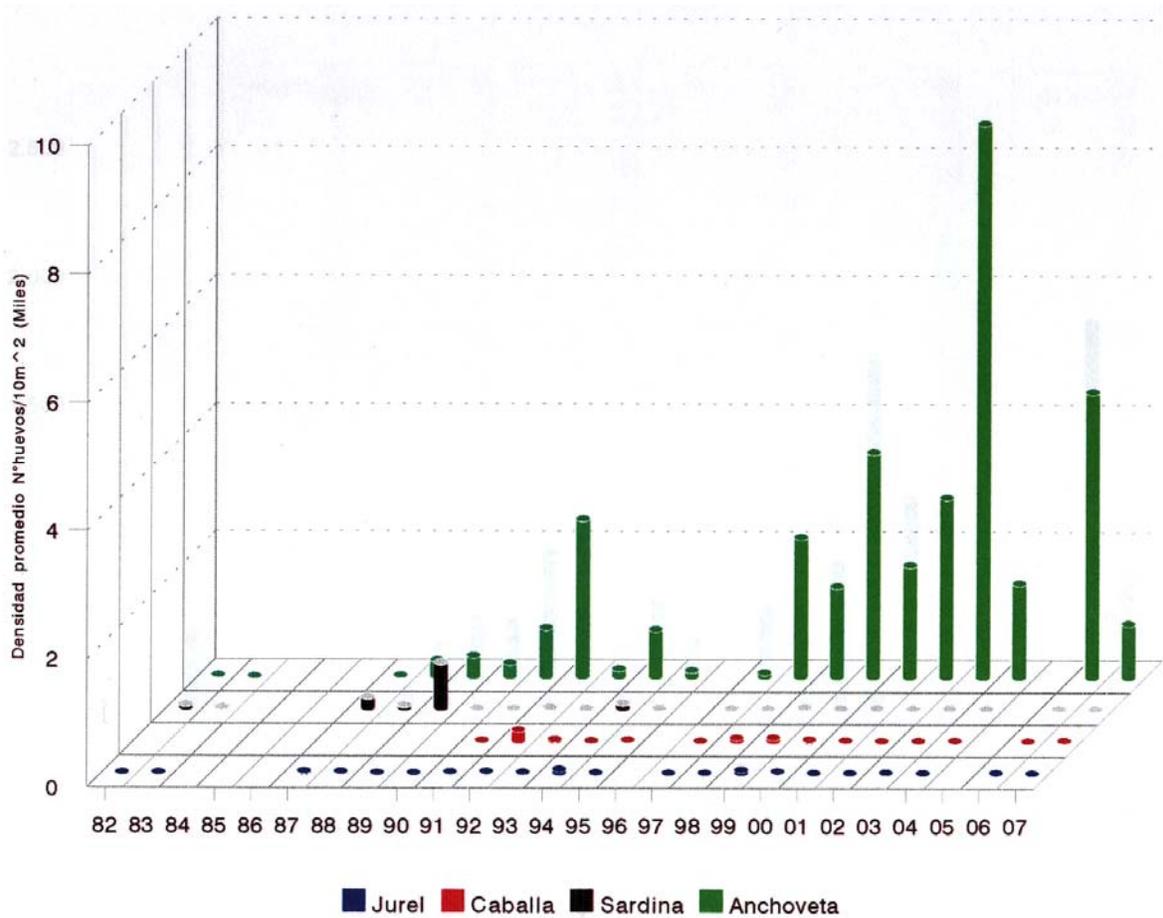


Figura 124. Abundancia promedio de huevos de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta - Arica en verano de los años 1982 - 2007

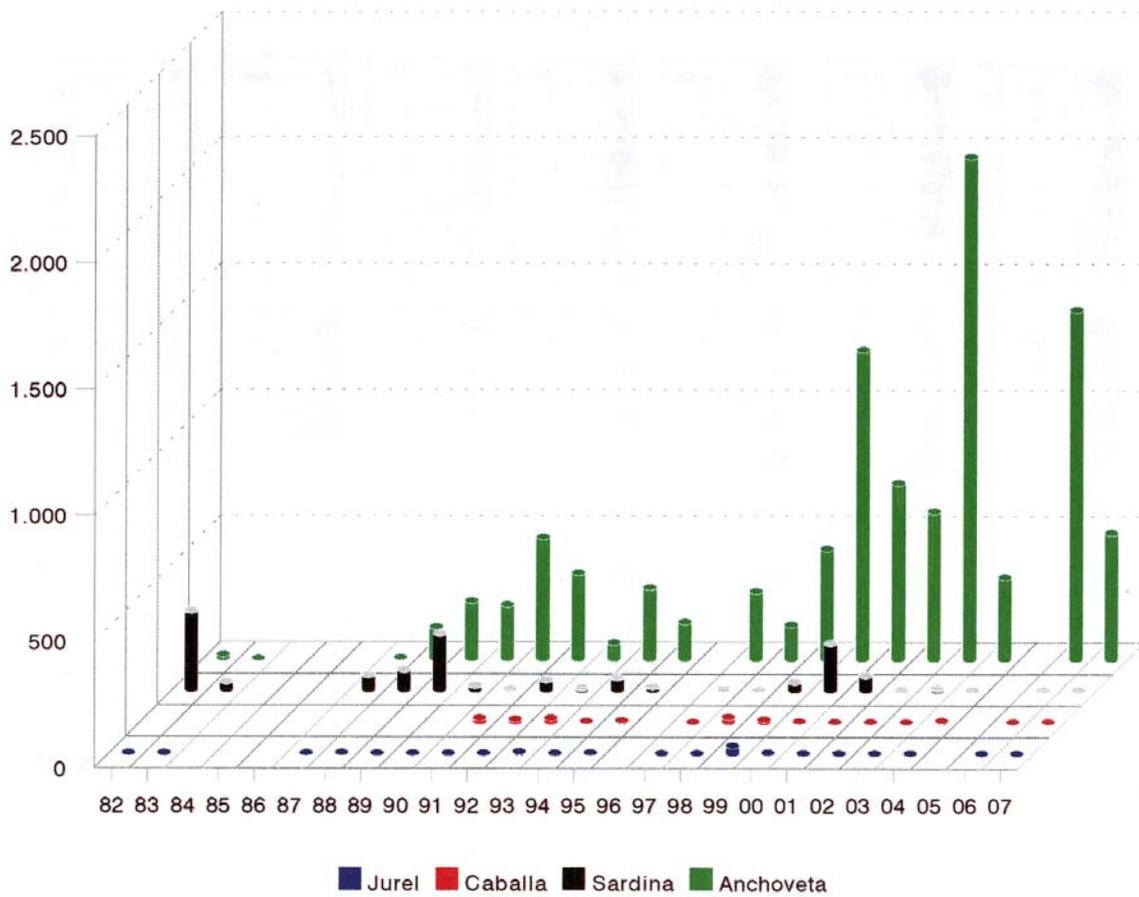


Figura 125. Abundancia promedio de larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta - Arica en verano de los años 1982 - 2007

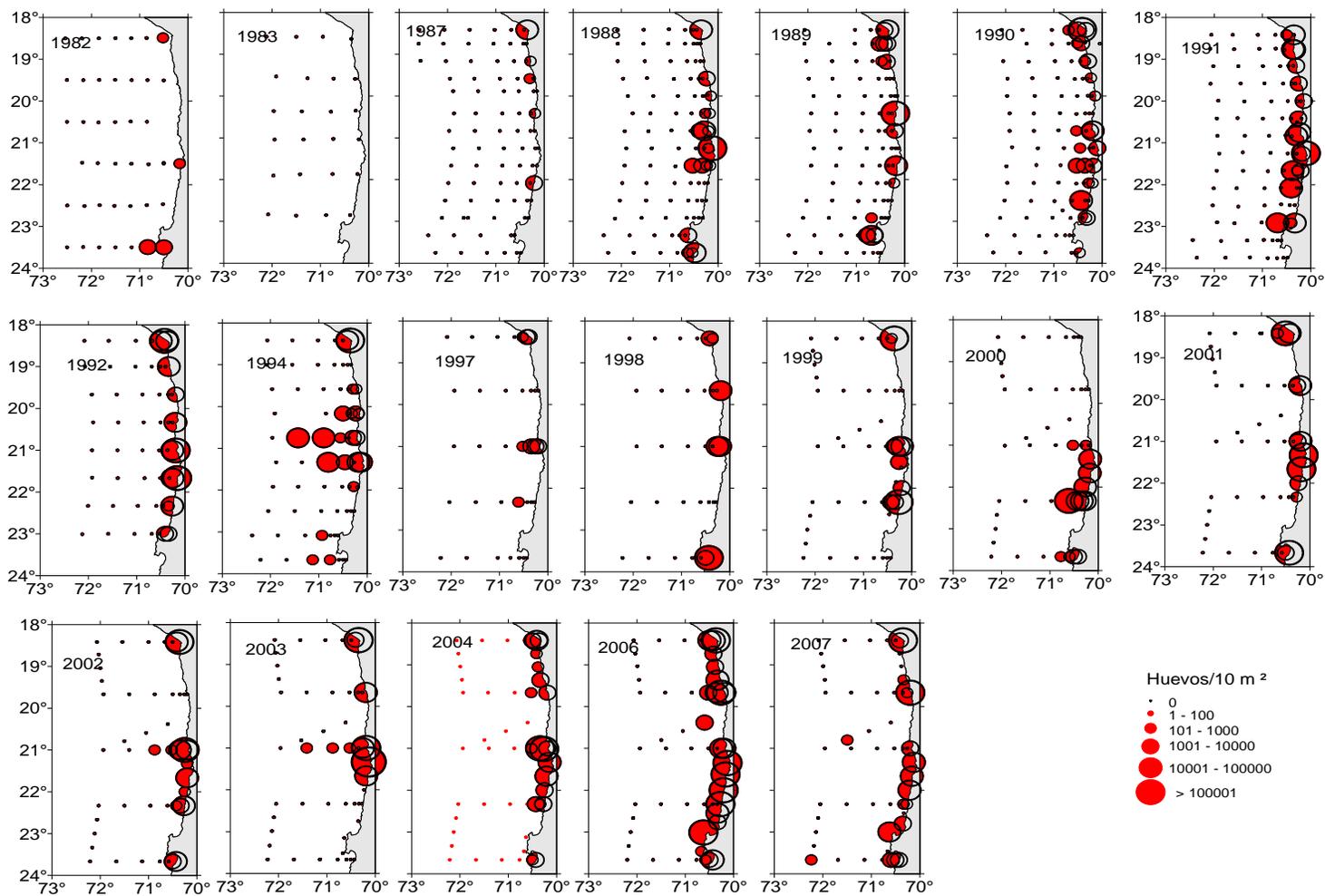


Figura 126. Distribuci3n y abundancia de Huevos de Anchoqueta. Cruceros Verano, Per3odo 1982-2007.

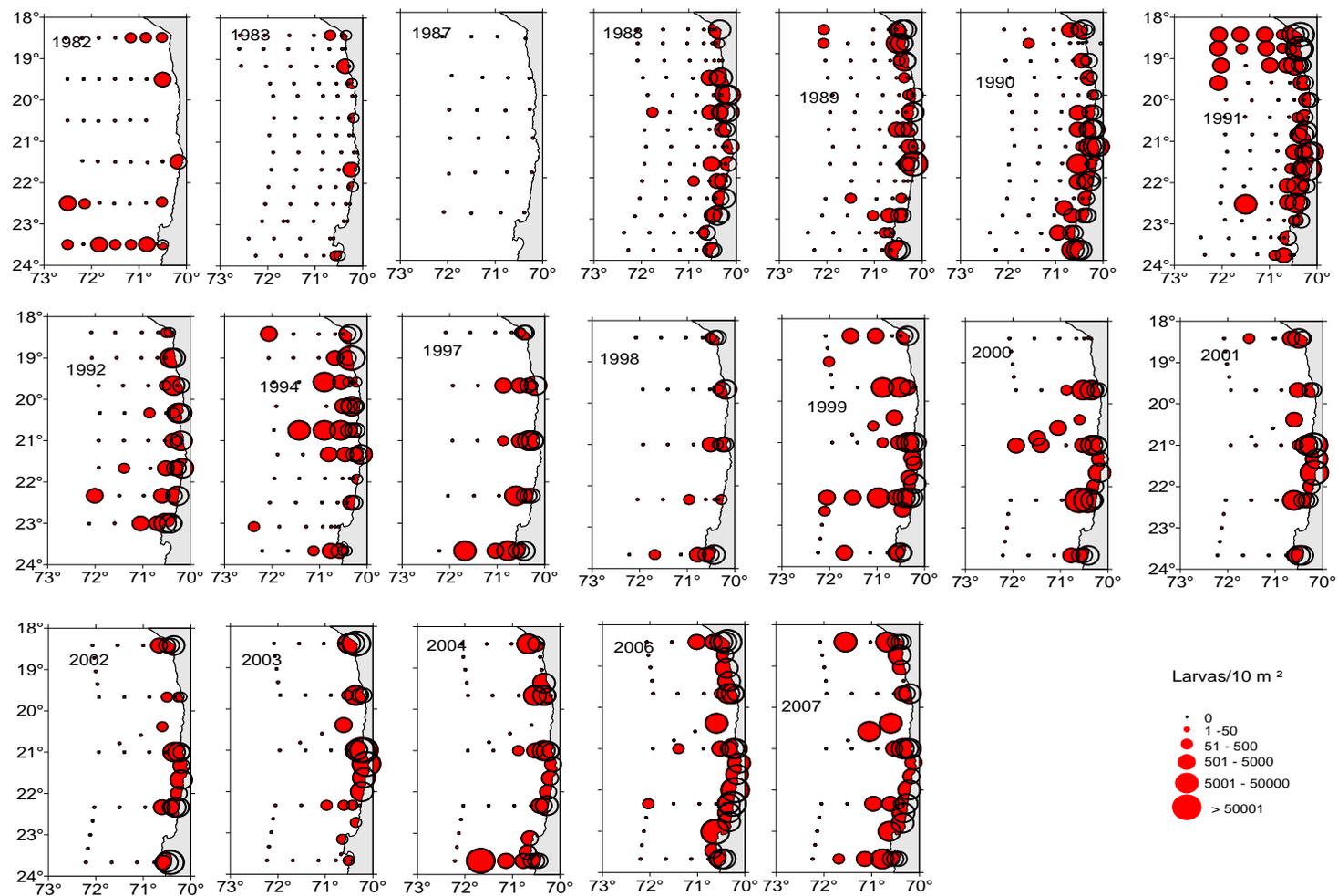


Figura 127. Distribuci3n y abundancia de Larvas de Anchoвета. Cruceos Verano, Per3do 1982-2007.

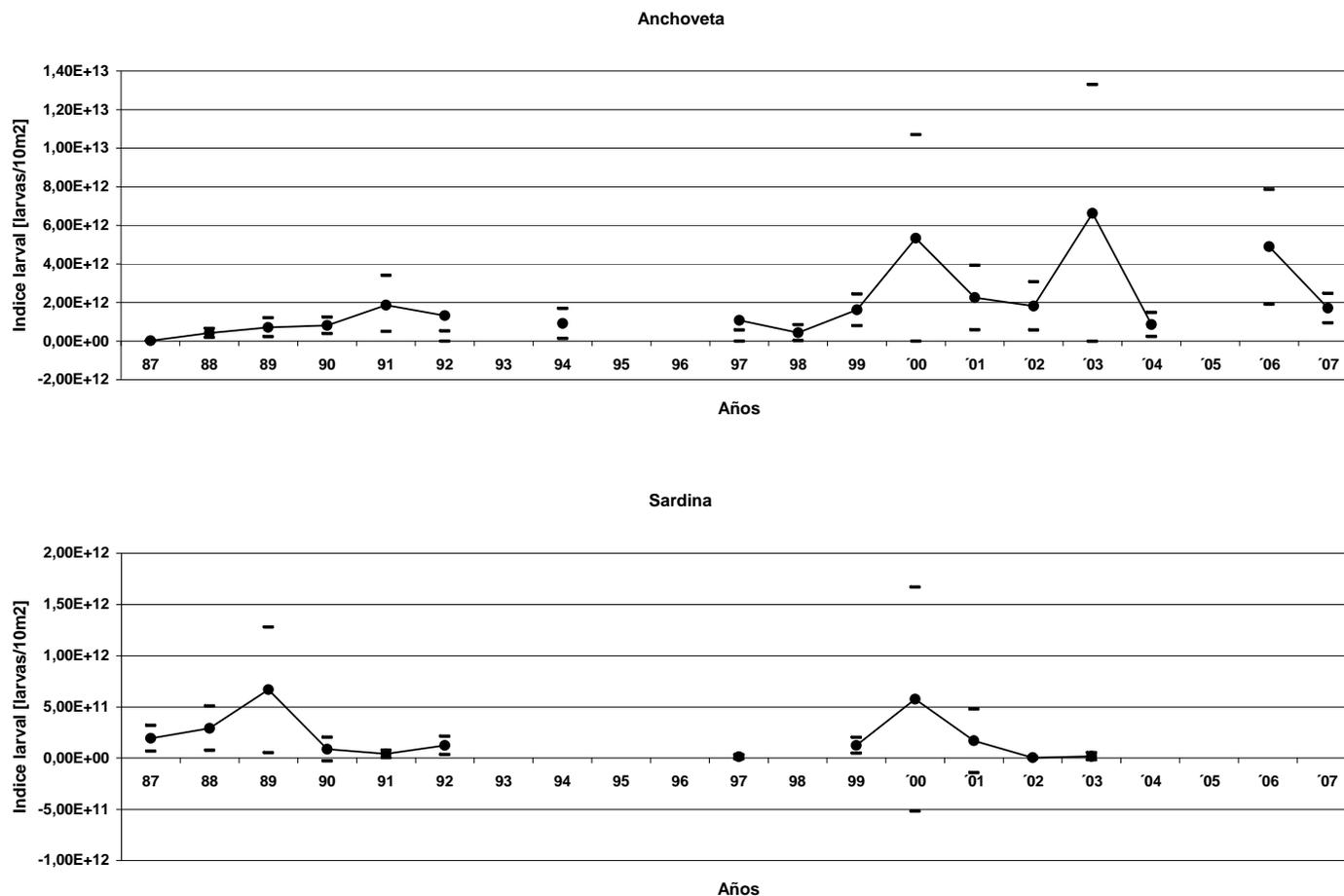


Figura 128. Estimaci3n del 3ndice de abundancia larval para anchoveta y sardina en la zona Antofagasta – Arica en verano de los a3os 1987/2007.

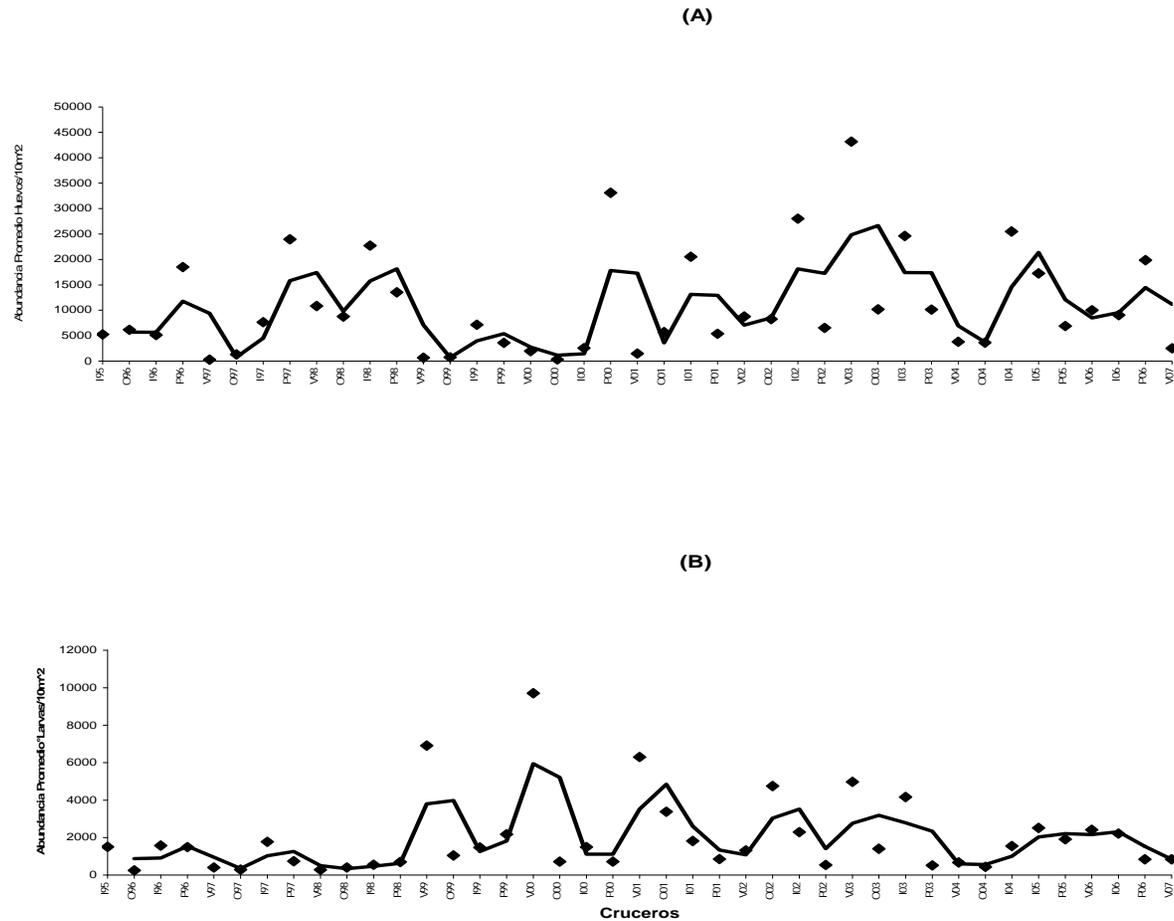


Figura 129. Variaci3n temporal de la intensidad del desove de (A) huevos y (B) larvas de anchoveta, para el per3odo invierno 1995 – verano 2007. (L3nea negra = media m3vil).

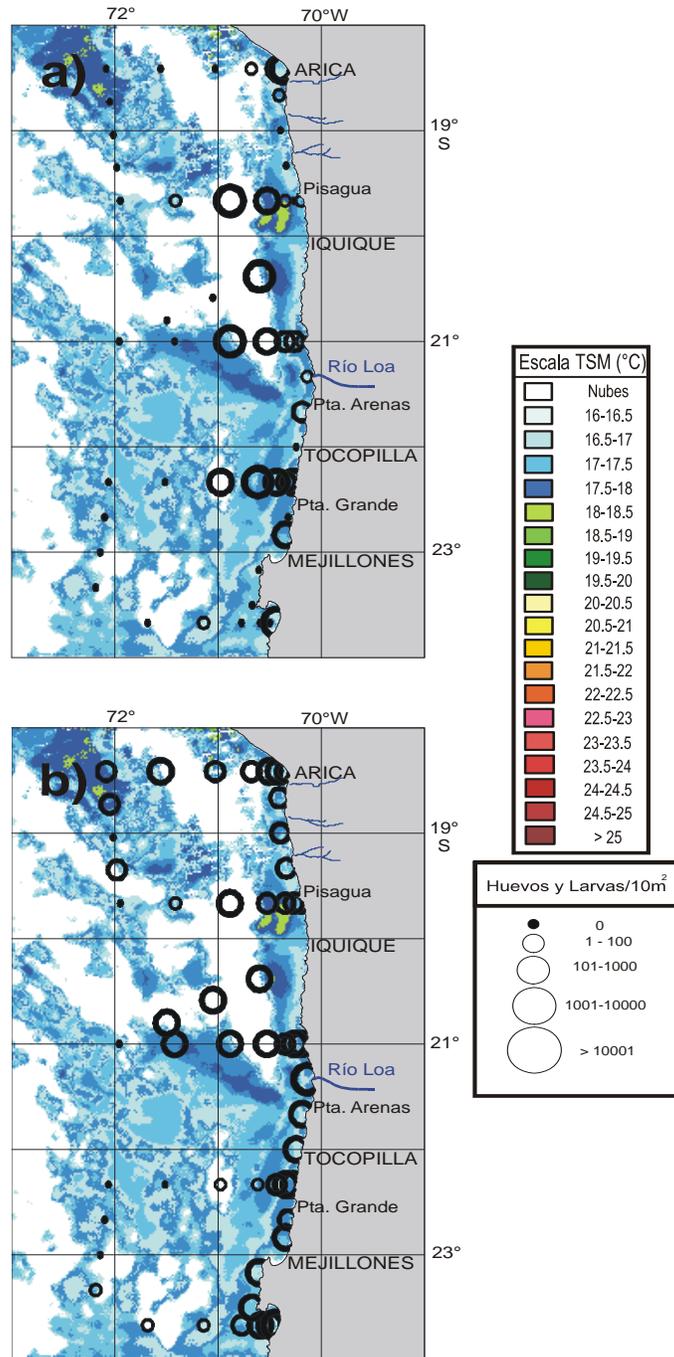


Figura 130. Distribuci3n espacial de los a) huevos y b) larvas de anchoveta y de la TSM satelital en la zona norte de Chile. Crucero septiembre 2006.

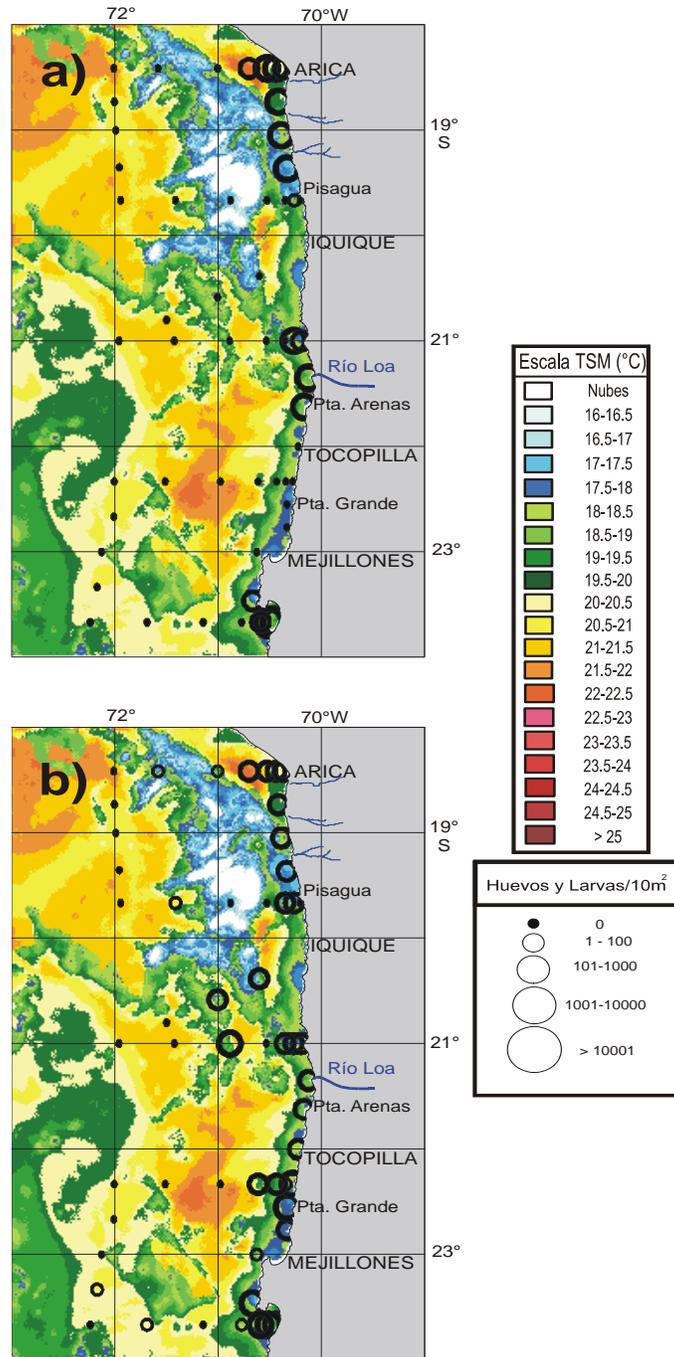


Figura 131. Distribuci3n espacial de los a) huevos y b) larvas de anchoveta y de la TSM satelital en la zona norte de Chile. Crucero diciembre 2006.

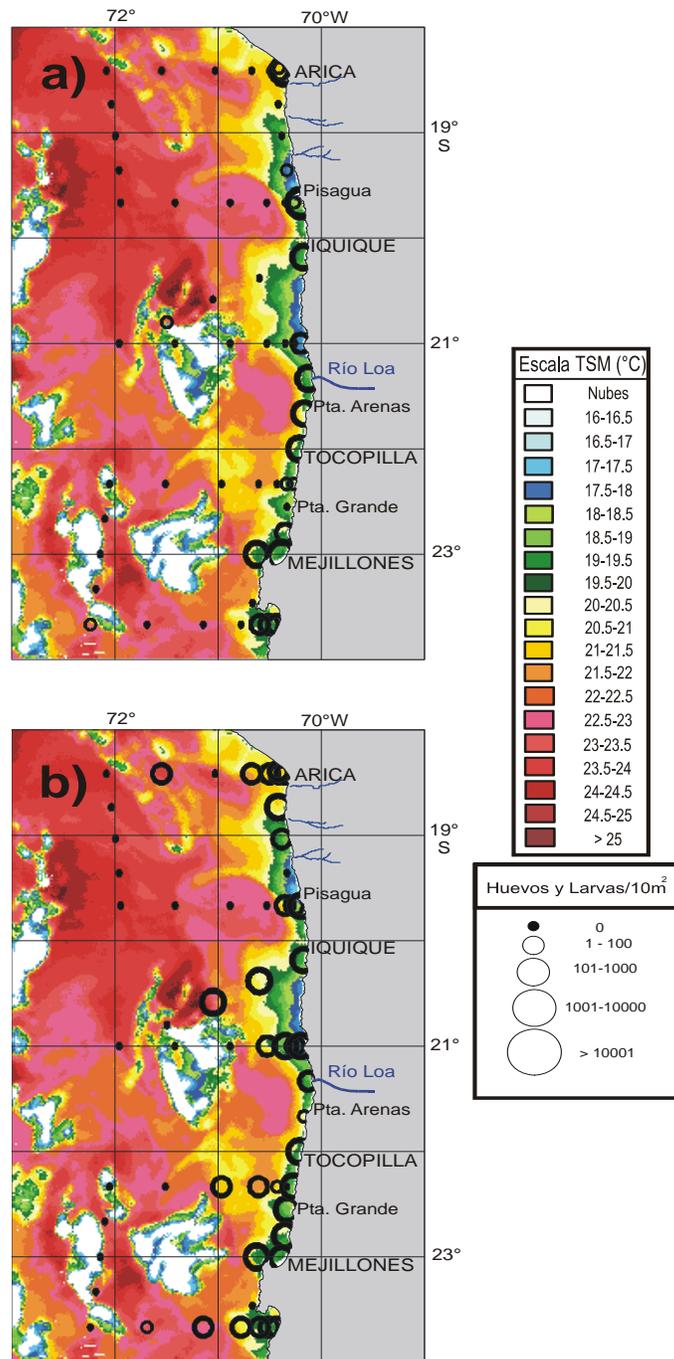


Figura 132. Distribución espacial de los a) huevos y b) larvas de anchoveta y de la TSM satelital en la zona norte de Chile. Crucero marzo 2007.

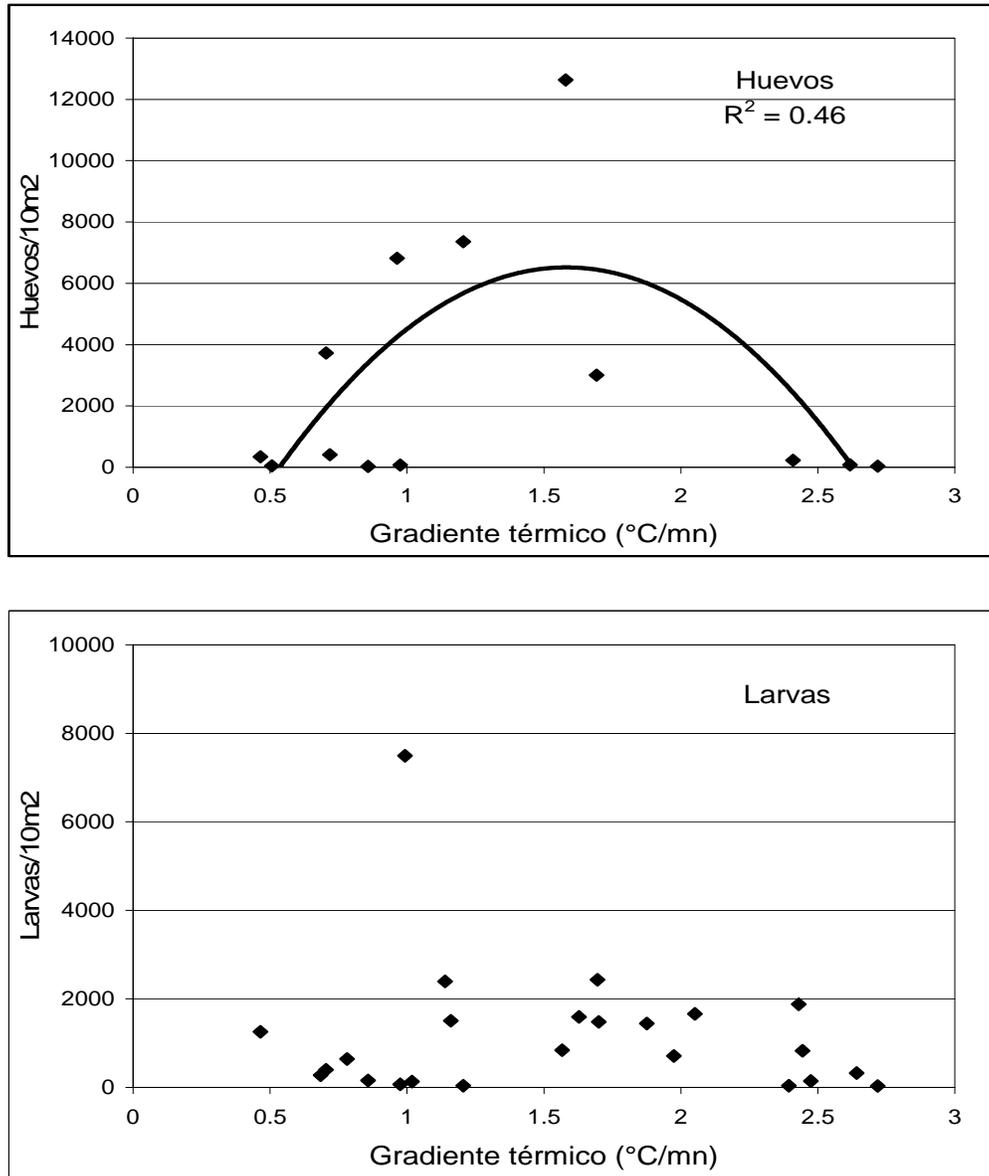


Figura 133. Relaciones entre la densidad de huevos y larvas de anchoveta y el gradiente térmico. Crucero septiembre 2006.

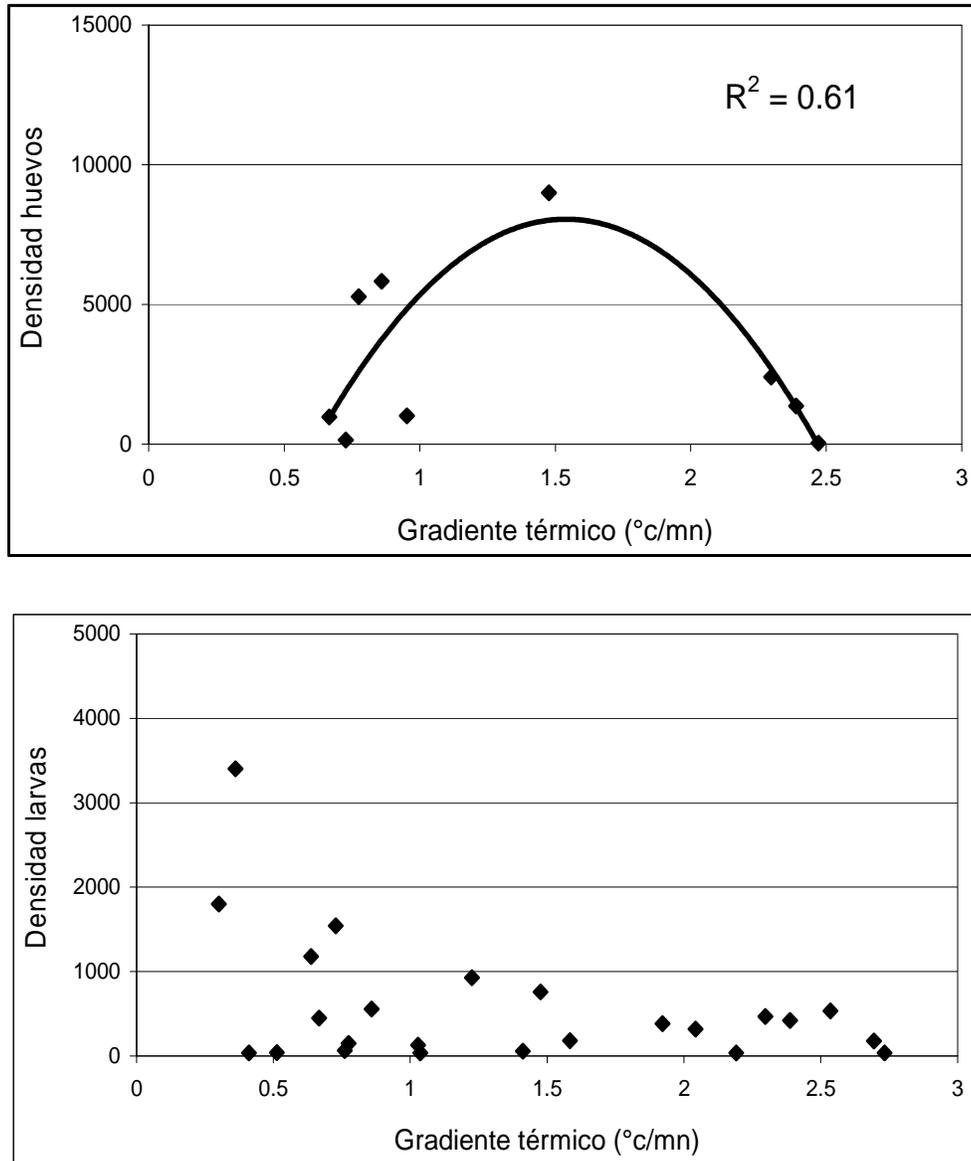


Figura 134. Relaciones entre la densidad de huevos y larvas de anchoveta y el gradiante t3rmico. Cruceo diciembre 2006.

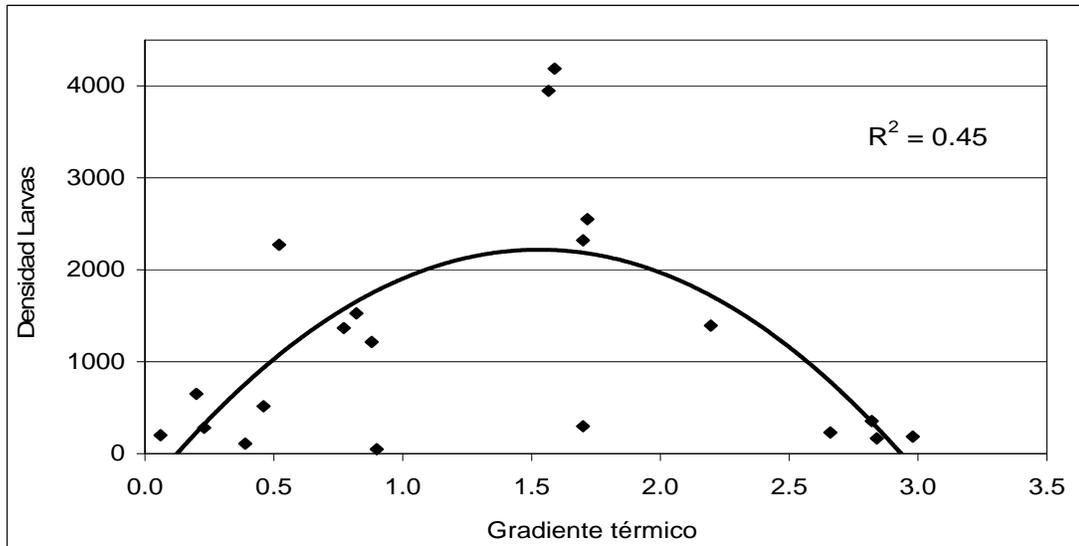
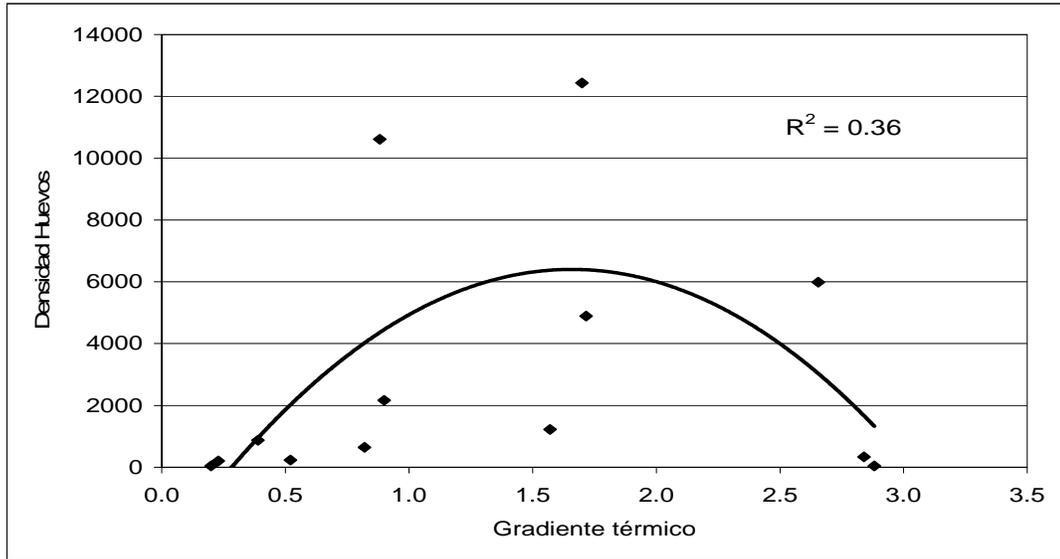


Figura 135. Relaciones entre la densidad de huevos y larvas de anchoveta y el gradiente térmico. Crucero marzo

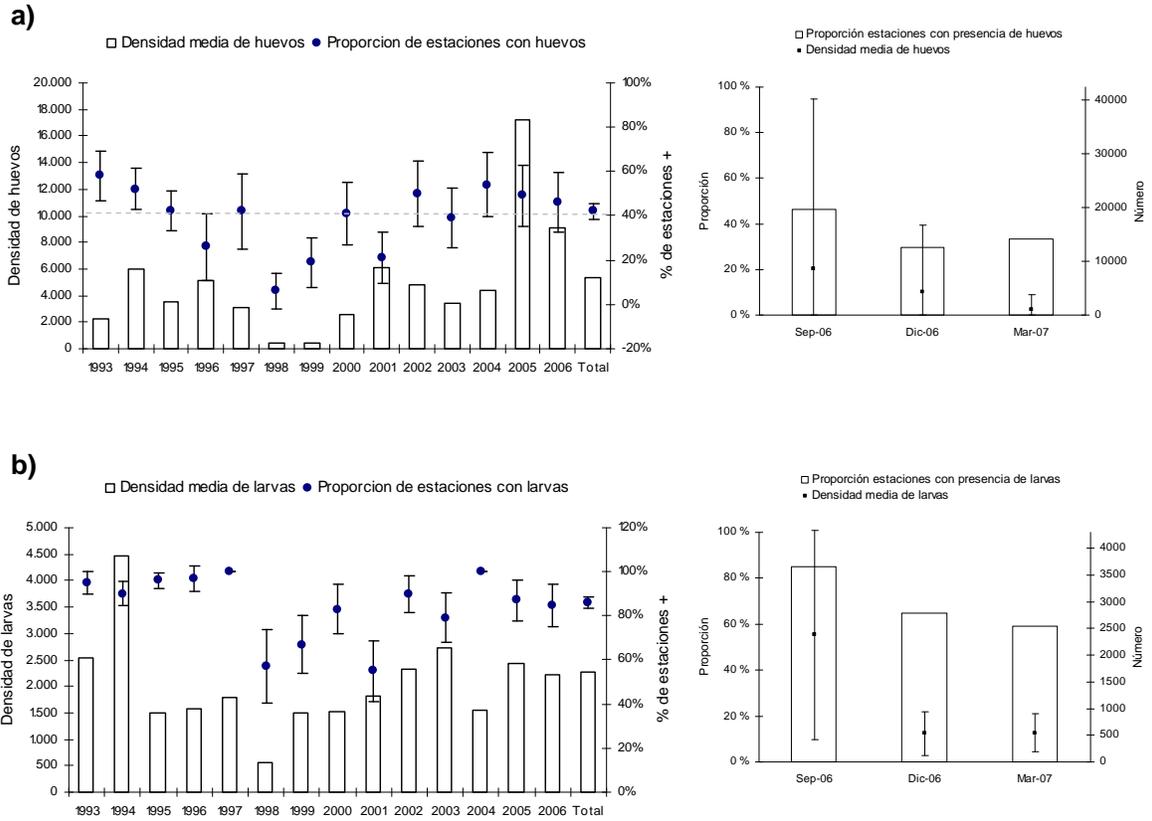


Figura 136. Densidad media y proporción de estaciones positivas con su intervalo de confianza para huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, por año y periodo total y para los crueros realizados en septiembre-diciembre de 2006 y marzo 2007. Crueros realizados en la I y II Región.

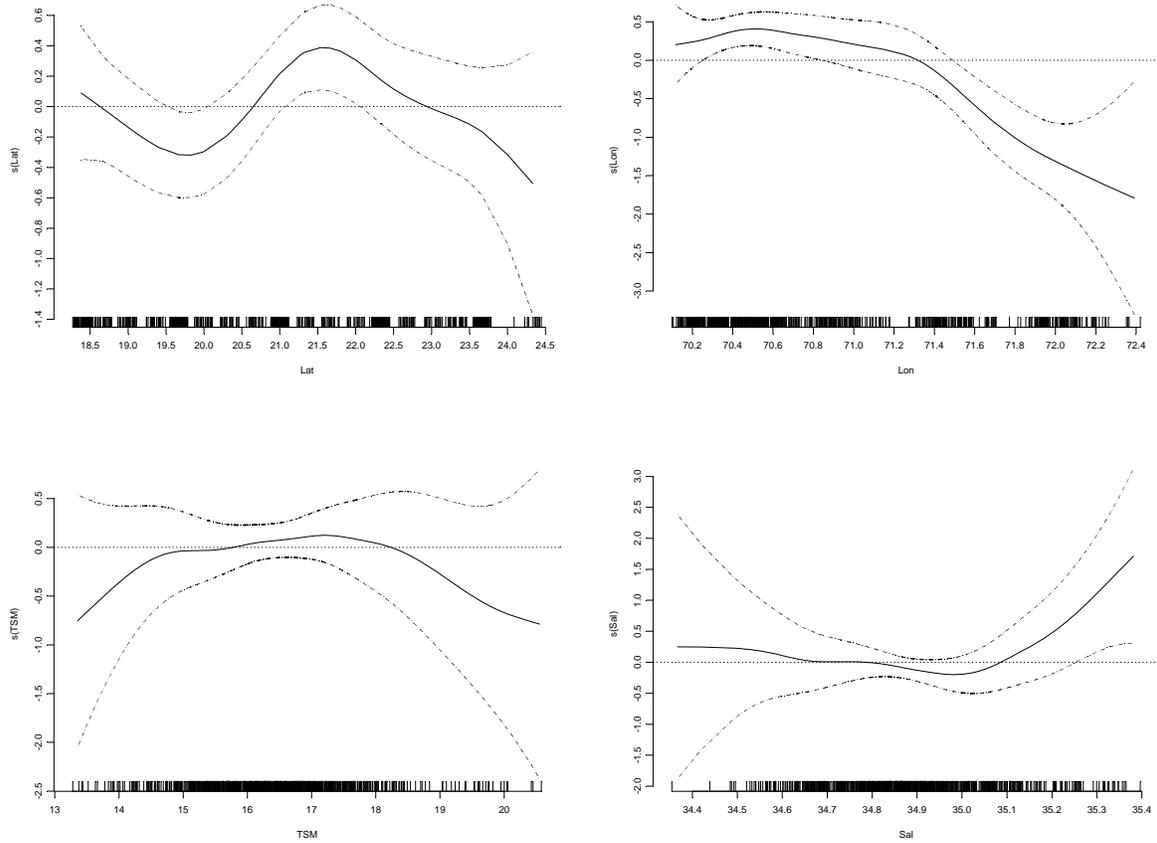


Figura 137. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia/ausencia de huevos de anchoveta por estaci3n, ajustado un modelo binomial con sobre-dispersi3n (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, lneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X, P)$ corresponde a la funci3n suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Cruceros realizados en la I y II Regi3n en invierno, desde el a3o 1993 a 2006.

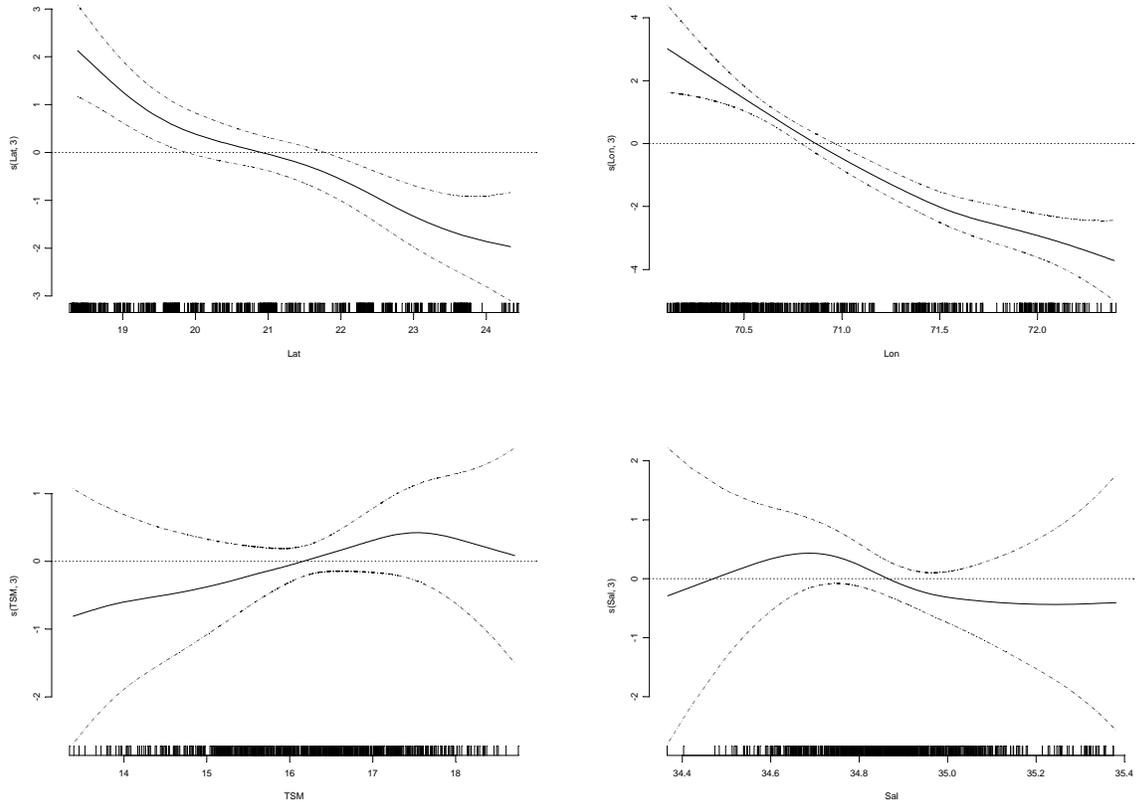


Figura 138. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia/ausencia de larvas de anchoveta por estaci3n, ajustado un modelo binomial con sobre-dispersi3n (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, l3neas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X, P)$ corresponde a la funci3n suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Cruceros realizados en la I y II Regi3n en invierno, desde el a3o 1993 a 2005.

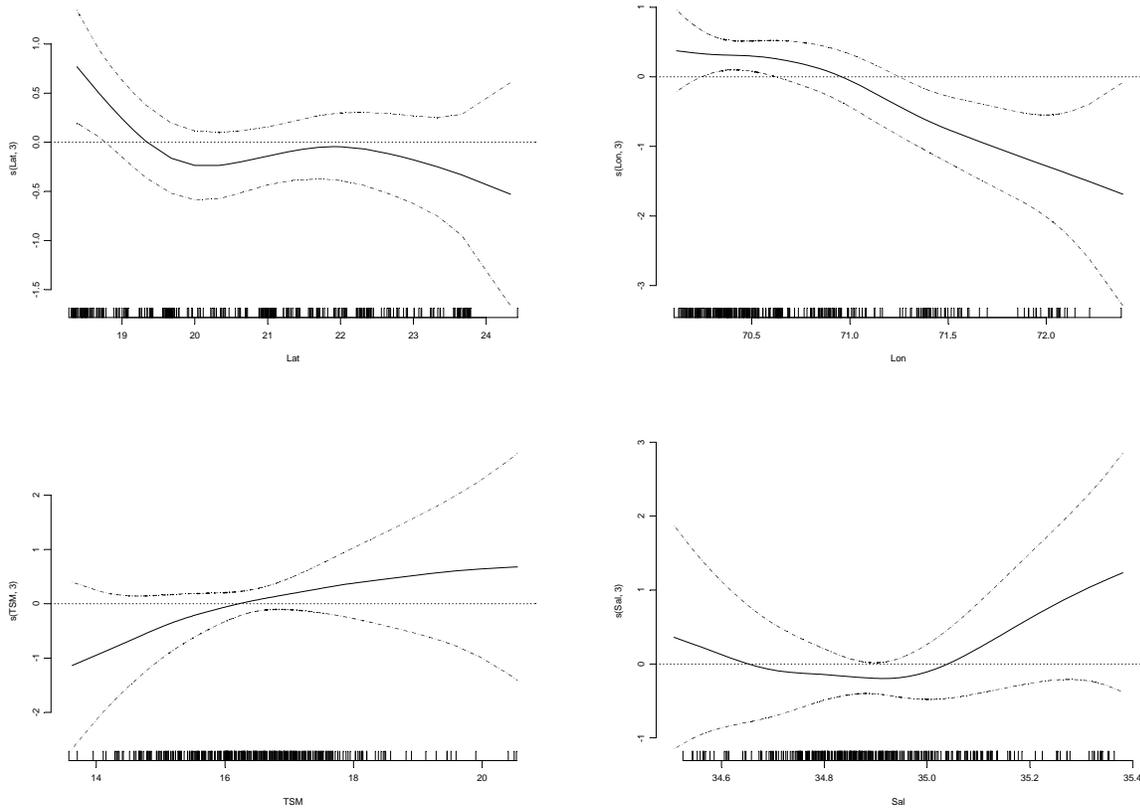


Figura 139. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable logaritmo de la densidad de huevos de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X, P)$ corresponde a la funci3n suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Cruceros realizados en la I y II Regi3n en invierno, desde el a3o 1993 a 2006.

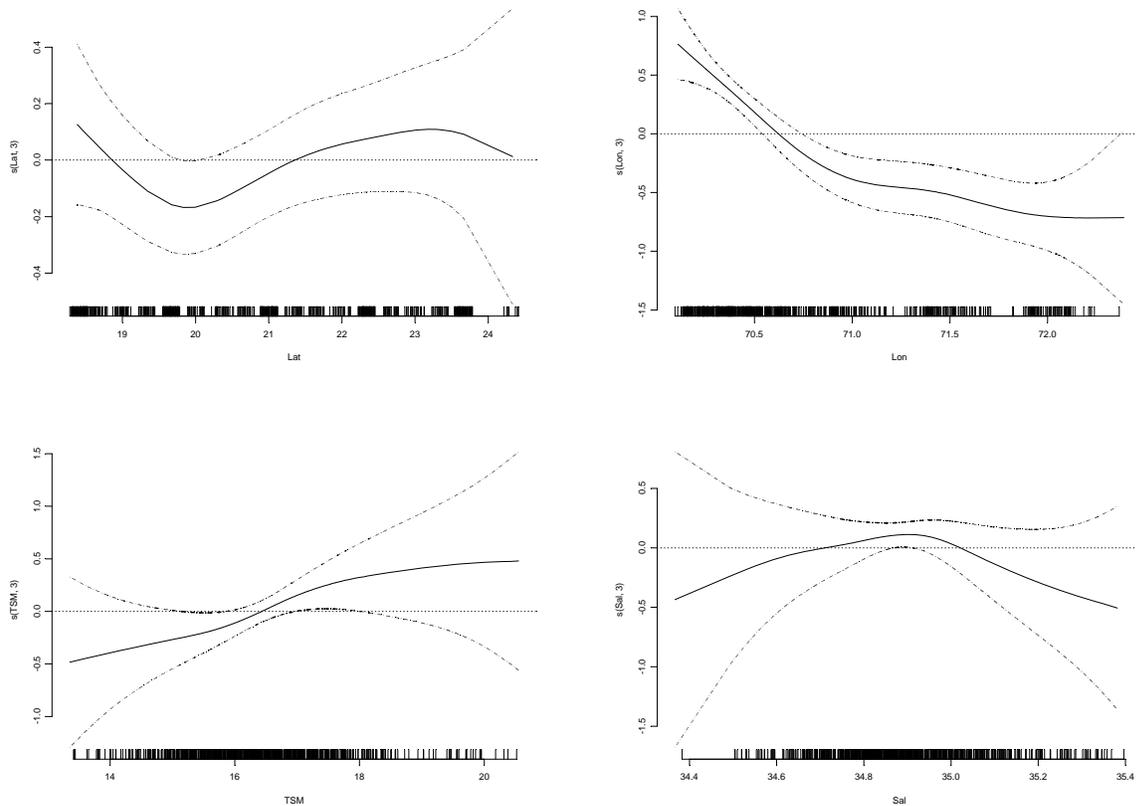


Figura 140. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable logaritmo de la densidad de larvas de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta, líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza y $s(X, P)$ corresponde a la funci3n suavizadora spline para la variable X con P grados de libertad. Cruceros realizados en la I y II Regi3n en invierno, desde el a3o 1993 a 2006.

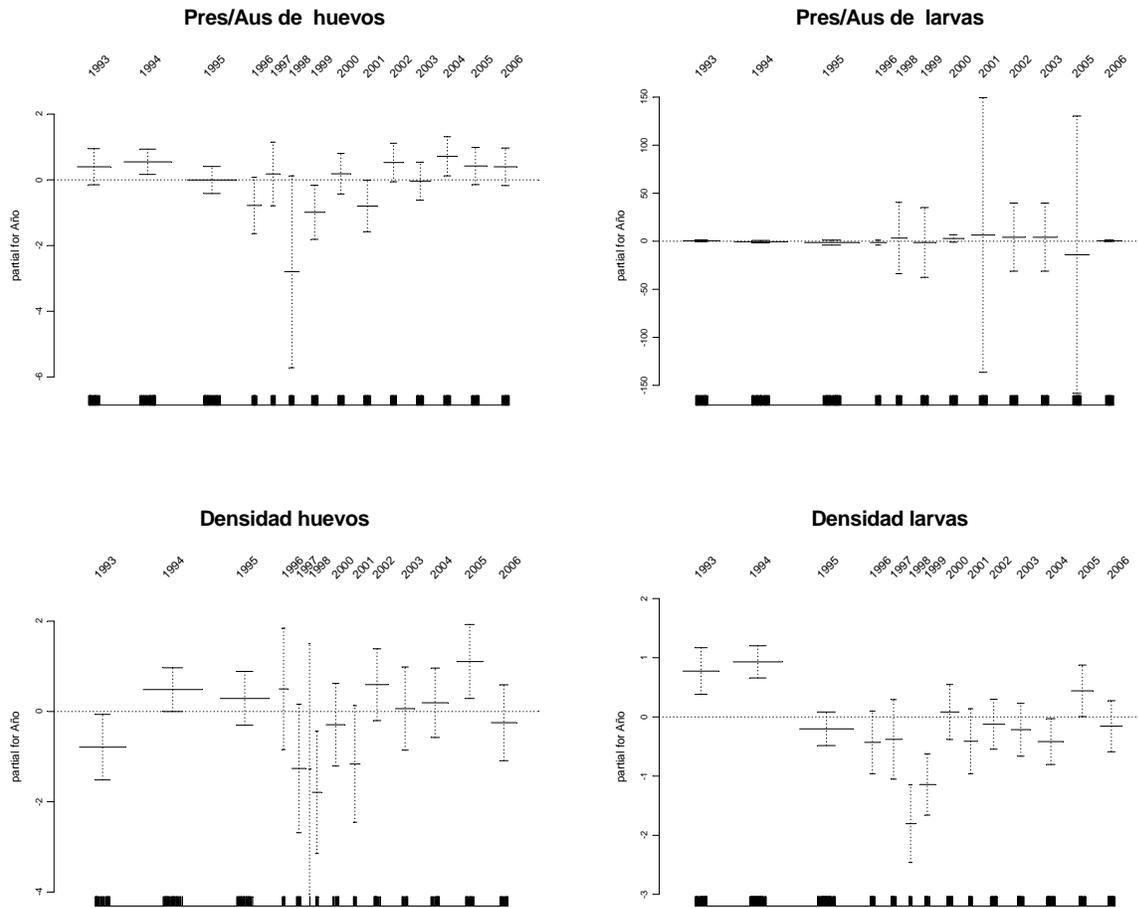


Figura 141. Tendencias de los índices por crucero obtenidos del ajuste de modelos GAM para la presencia/ausencia y la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde el año 1993 a 2006.

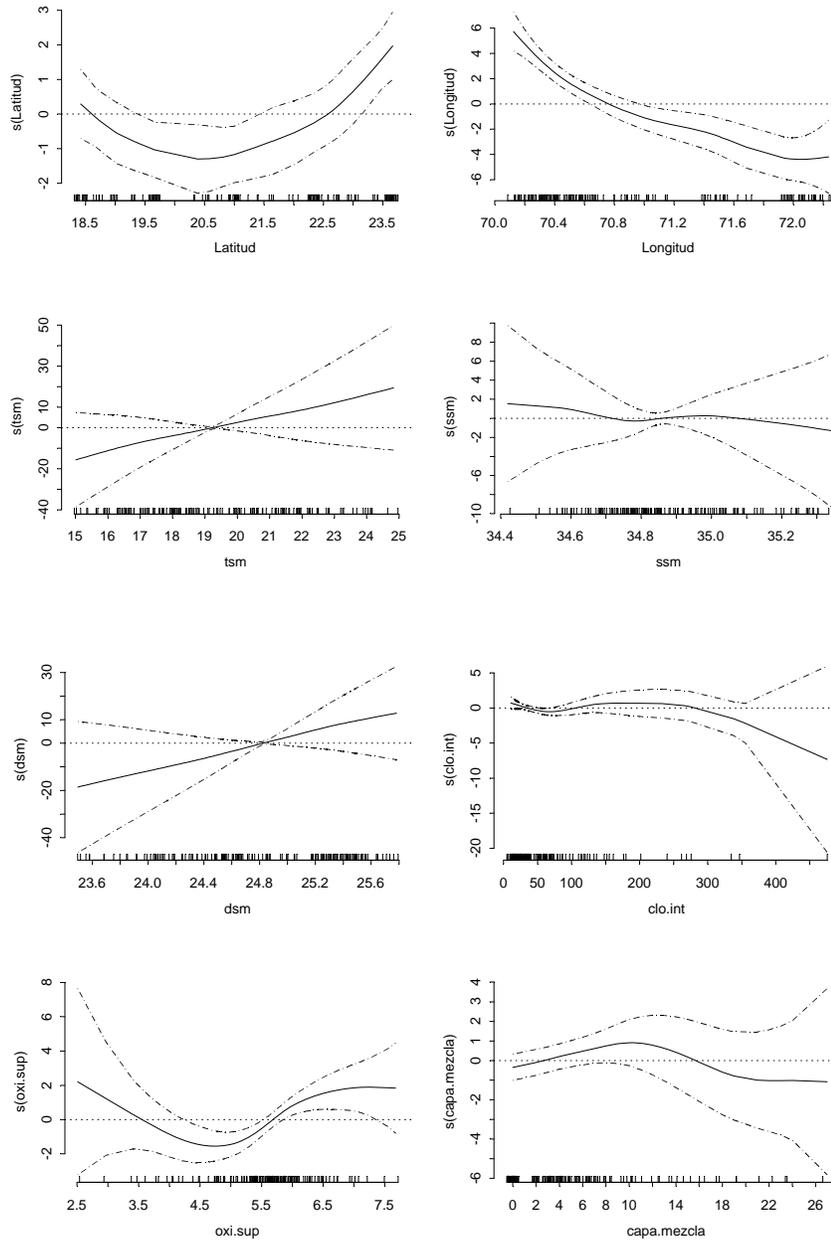


Figura 142. Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura (tsm), salinidad (ssm), densidad (dsm), clorofila (clo.int), oxígeno (oxi.sup) y capa de mezcla sobre la variable presencia/ausencia de huevos de anchoveta por estaci3n, ajustado un modelo binomial. Cruceros realizados en la I y II Regi3n entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

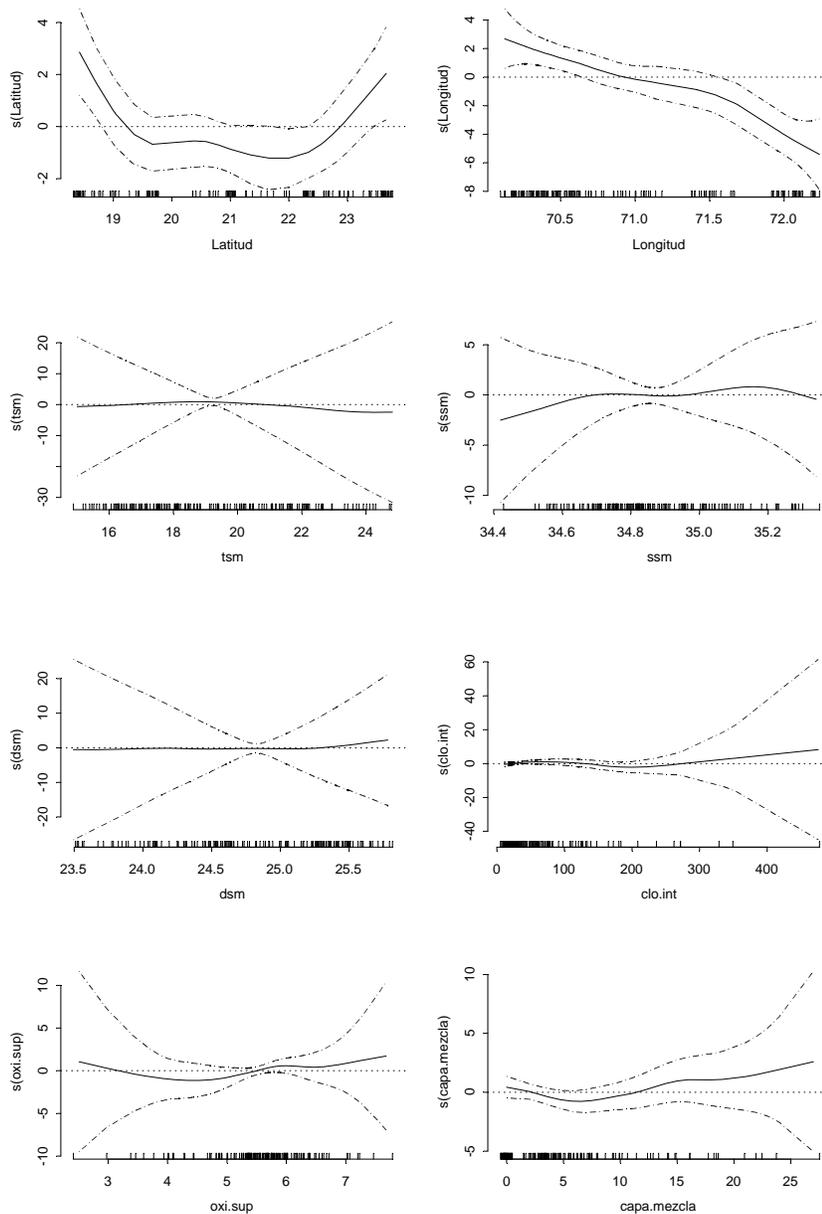


Figura 143. Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura (tsm), salinidad (ssm), densidad (dsm), clorofila (clo.int), oxígeno (oxi.sup) y capa de mezcla sobre la variable presencia/ausencia de larvas de anchoveta por estaci3n, ajustado un modelo binomial. Cruceros realizados en la I y II Regi3n entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

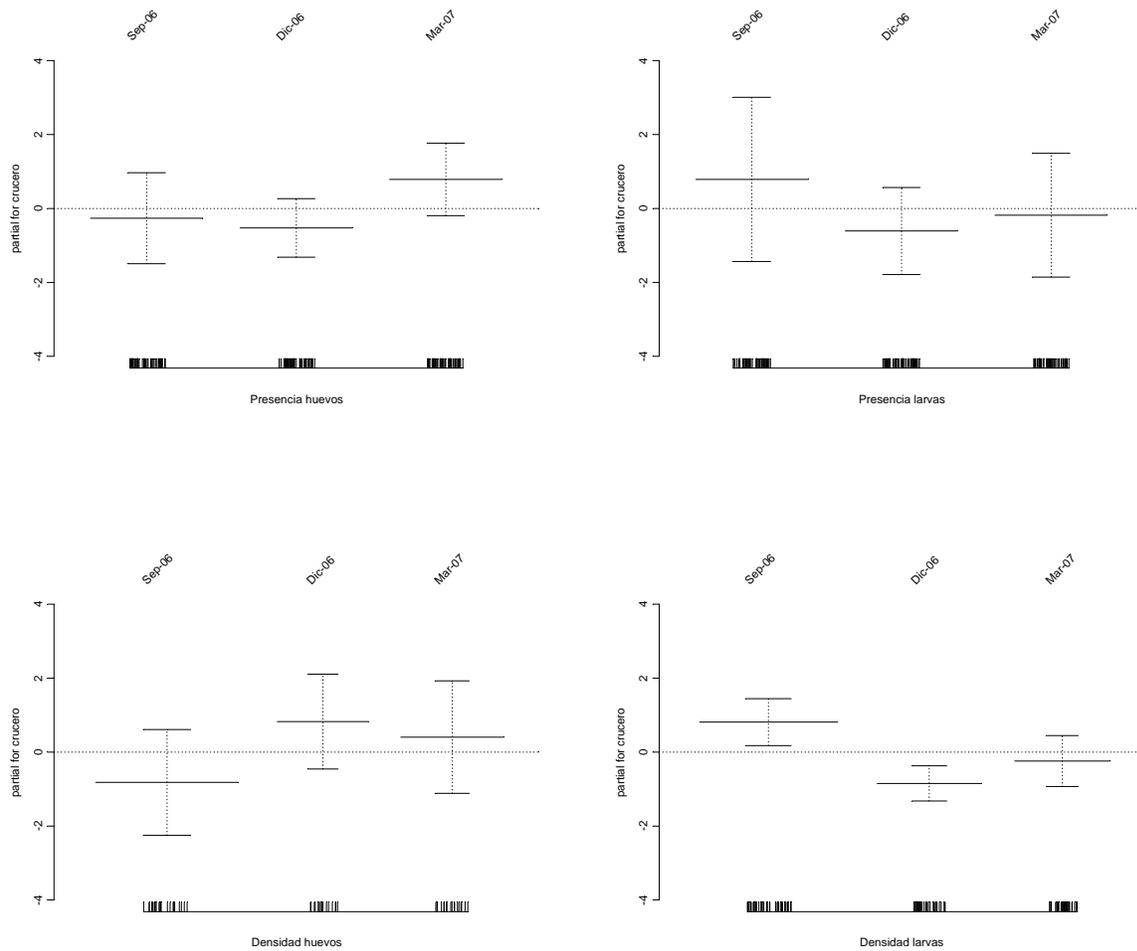


Figura 144. Tendencias de los 3ndices por cruceo obtenidos del ajuste de modelos GAM para la presencia/ausencia y la densidad de huevos y larvas de anchoveta. L3neas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Cruceros realizados en la I y II Regi3n entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

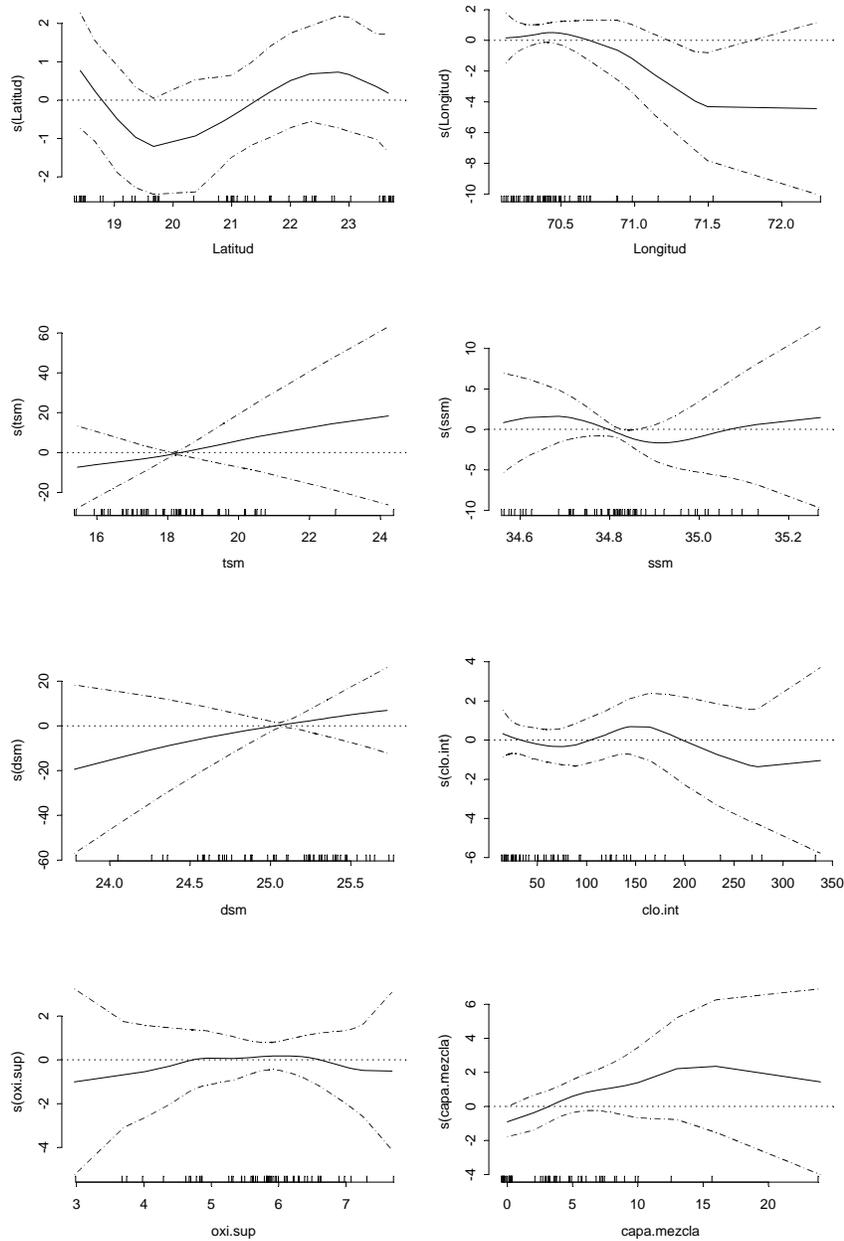


Figura 145. Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura (tsm), salinidad (ssm), densidad (dsm), clorofila (clo.int), oxígeno (oxi.sup) y capa de mezcla sobre la variable logaritmo de la densidad de huevos de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). Cruceros realizados en la I y II Regi3n entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

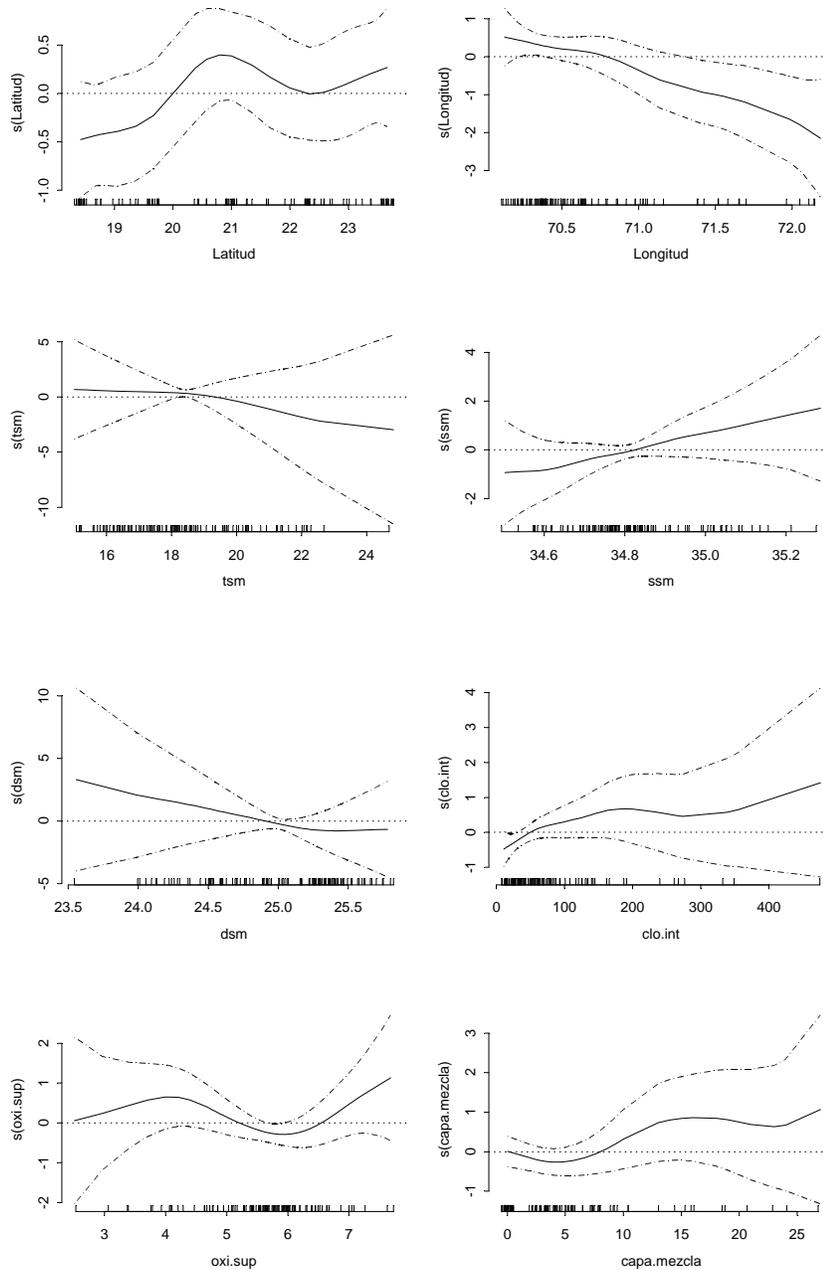


Figura 146. Efectos de los predictores latitud, longitud, temperatura (tsm), salinidad (ssm), densidad (dsm), clorofila (clo.int), oxígeno (oxi.sup) y capa de mezcla sobre la variable logaritmo de la densidad de larvas de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). Cruceros realizados en la I y II Regi3n entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

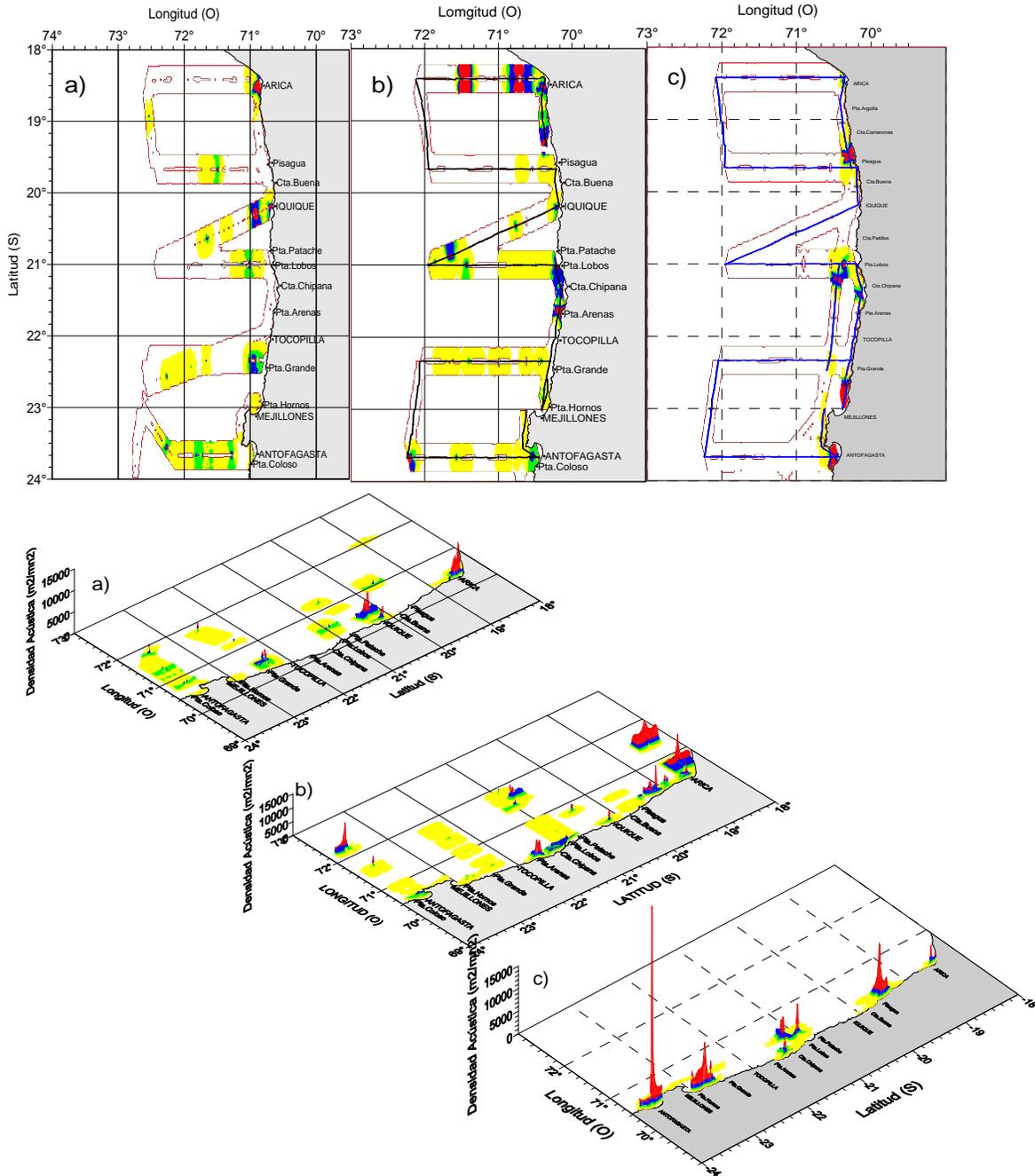


Figura 147. Distribuci3n espacial de Anchoveta, cruces MOBIO a) 0609 b) 0612 y c) 0703

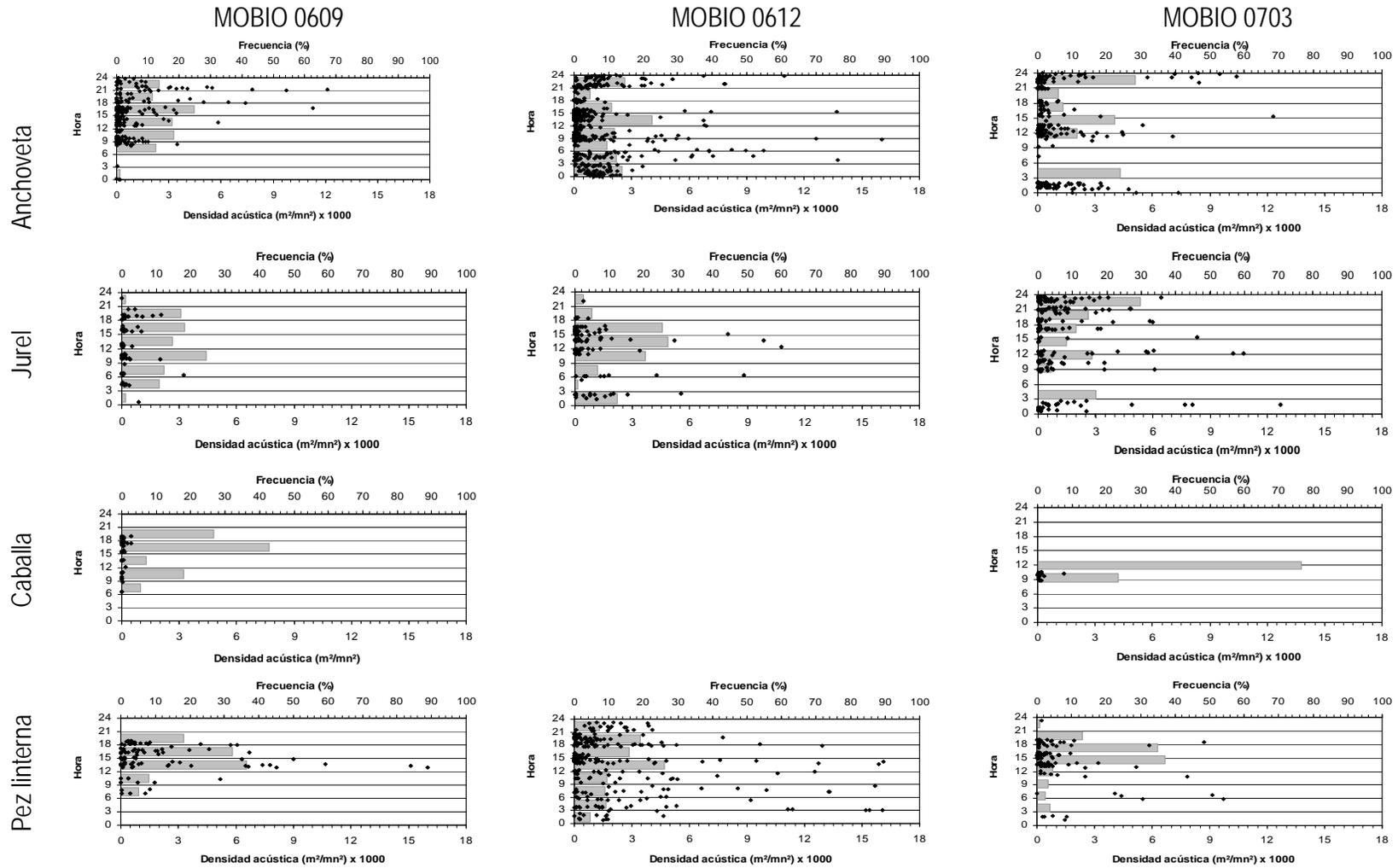


Figura 148. Distribuci3n de la densidad acústica – S_a (m^2/mn^2) respecto a la hora por especie en los cruceros Mobio 0609 y 0612.

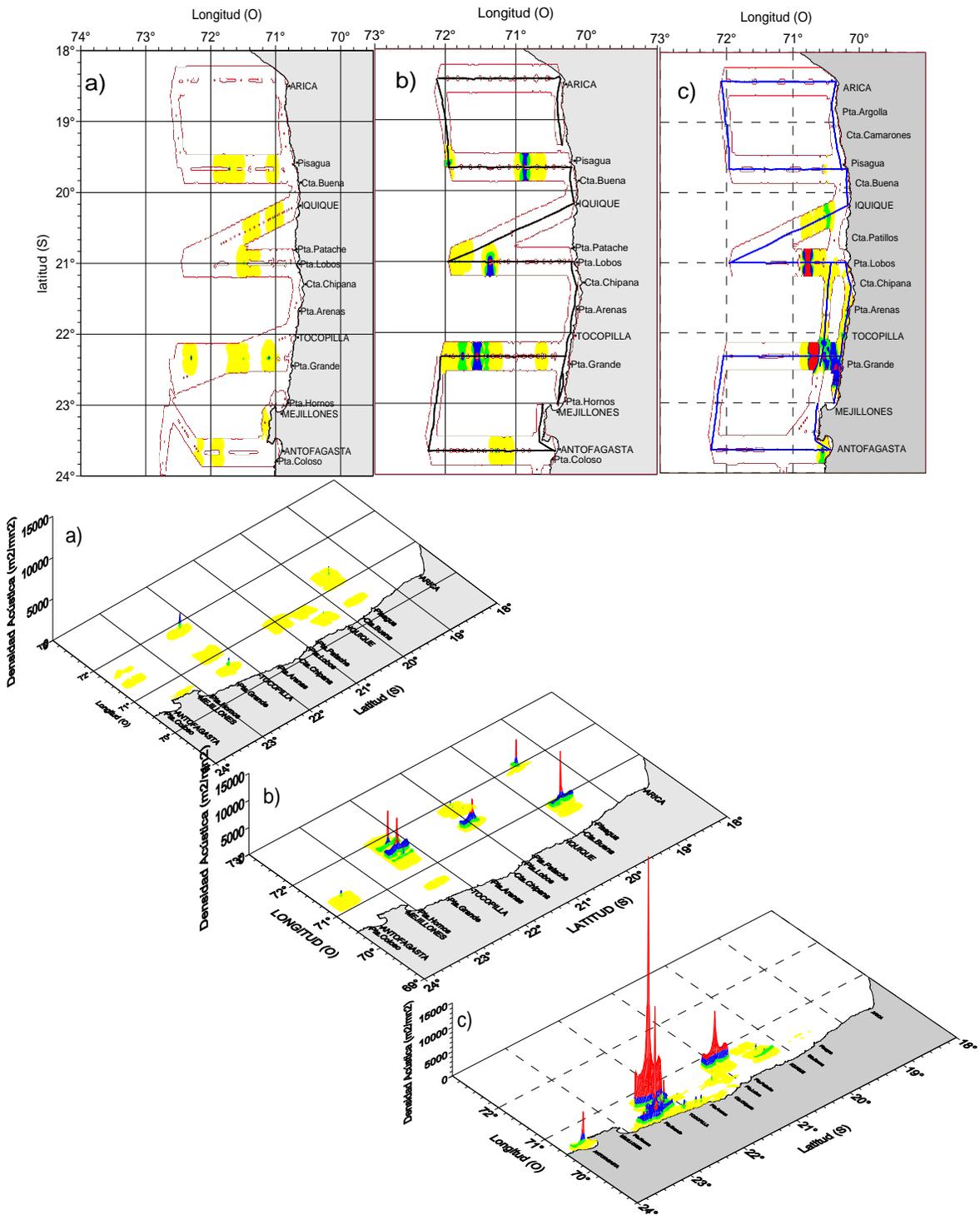


Figura 149. Distribuci3n espacial de juel, cruces MOBIO a) 0609 b) 0612 y c) 0703.

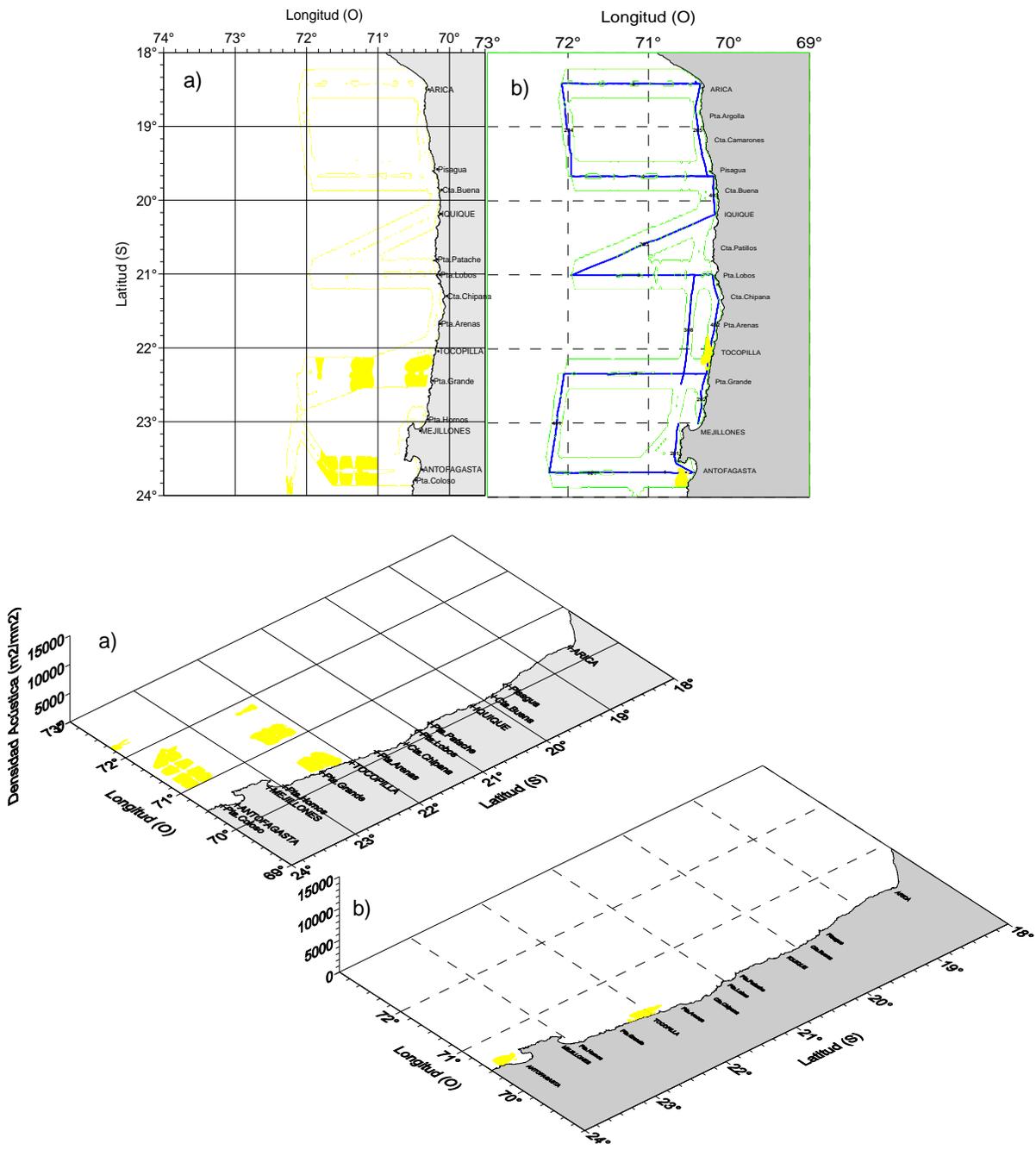


Figura 150. Distribuci3n espacial de caballa, cruceros a) MOBIO 0609 y b) MOBIO 0703.

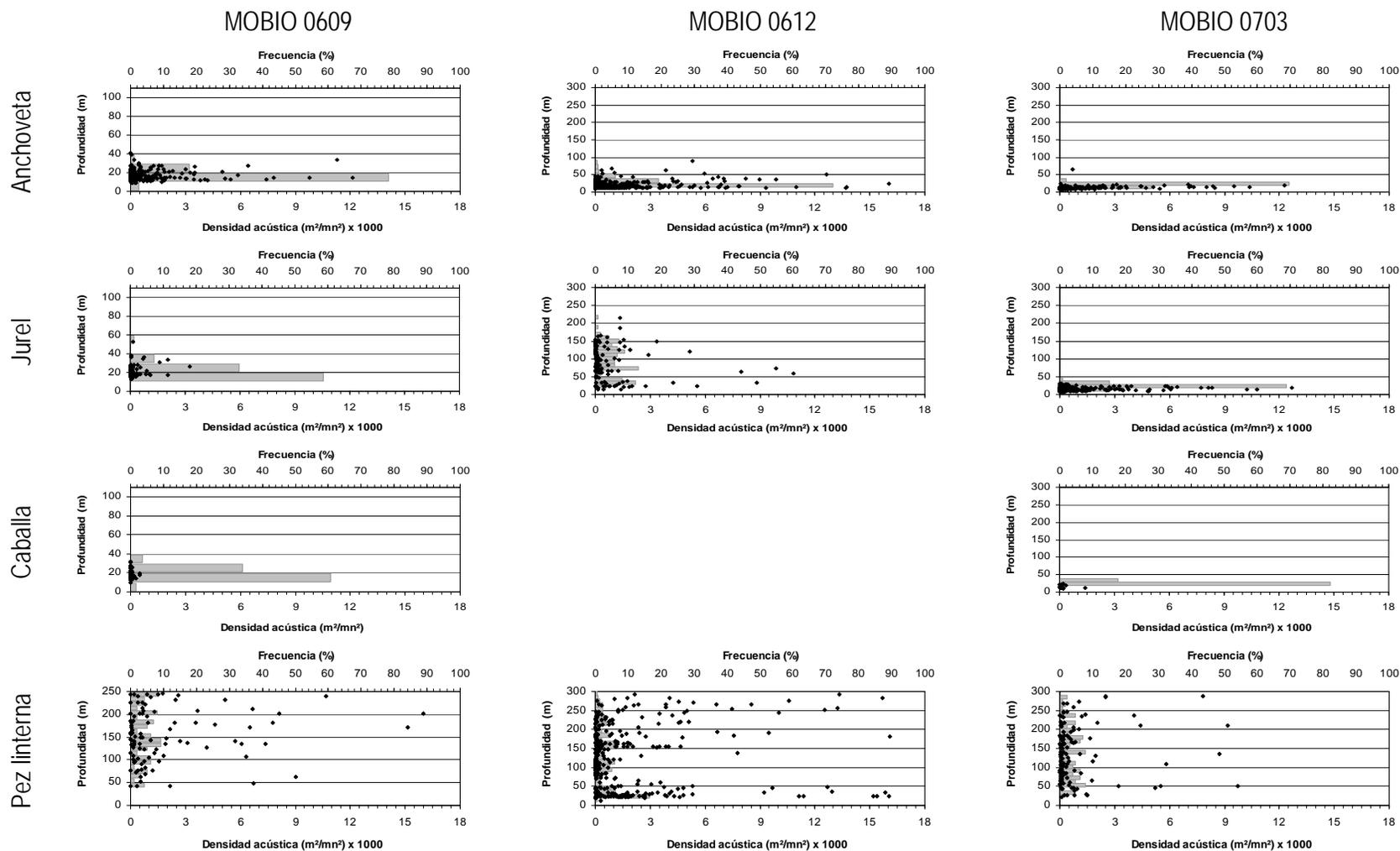


Figura 151. Distribuci3n de la densidad acústica – Sa (m²/mn²) respecto a la profundidad (psu) por especie en los cruceros Mobio 0609, 0612 y 0703.

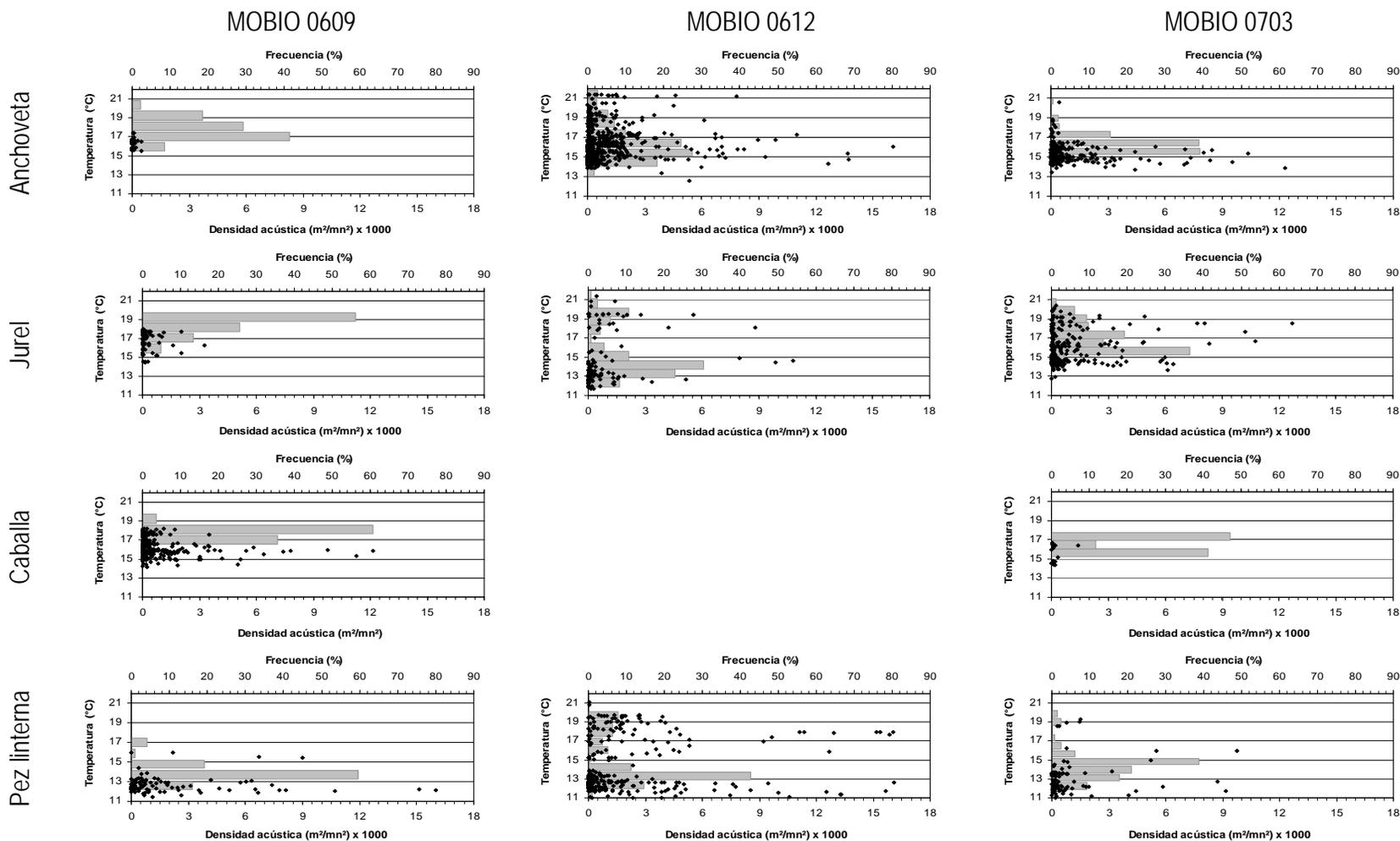


Figura 152. Distribuci3n de la densidad acústica – Sa (m²/mn²) respecto a la temperatura (°C) por especie en los cruceros Mobio 0609, 0612 y 0703.

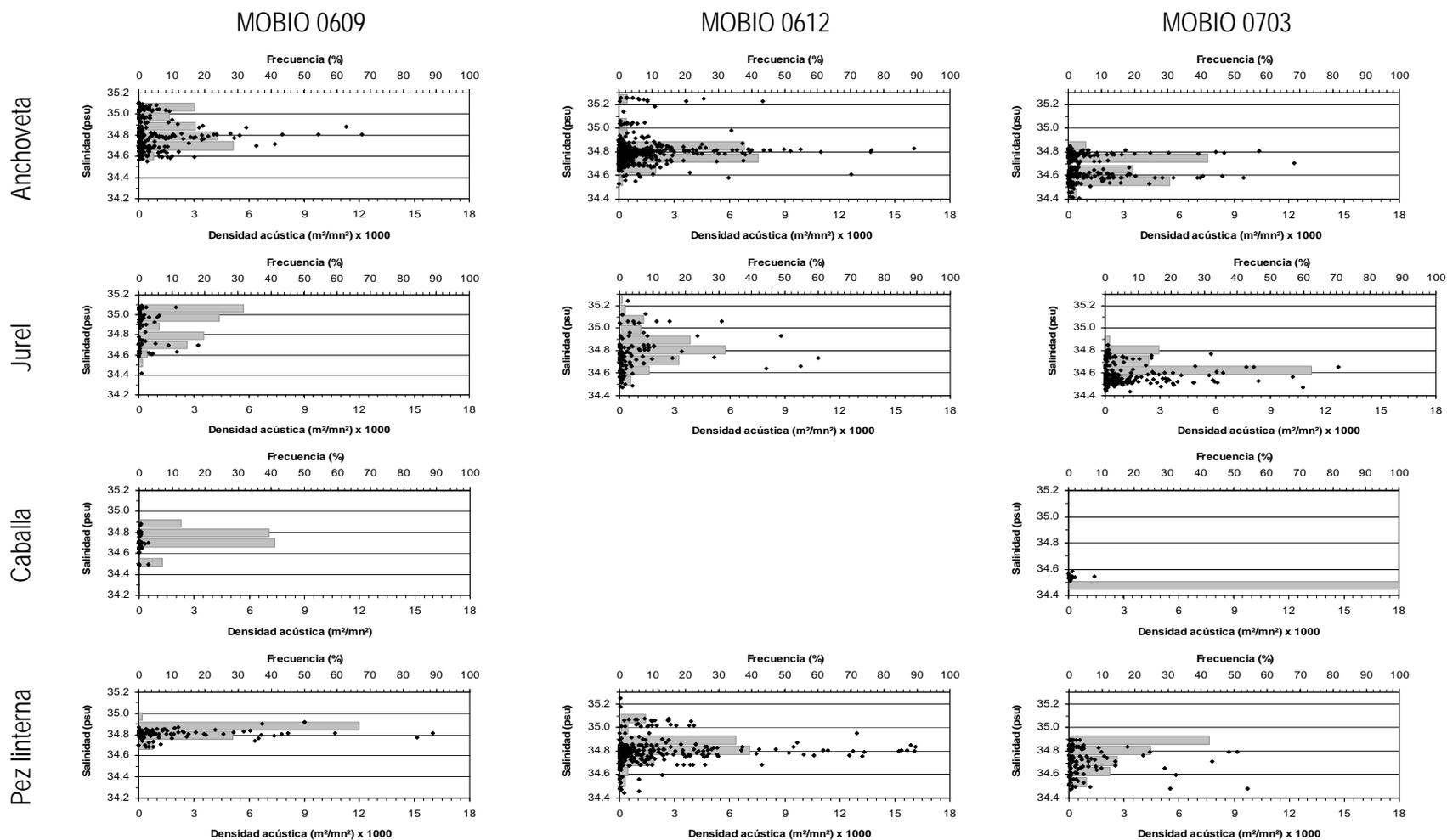


Figura 153. Distribuci3n de la densidad acústica – Sa (m²/mn²) respecto a la salinidad (psu) por especie en los cruceros Mobio 0609, 0612 y 0703

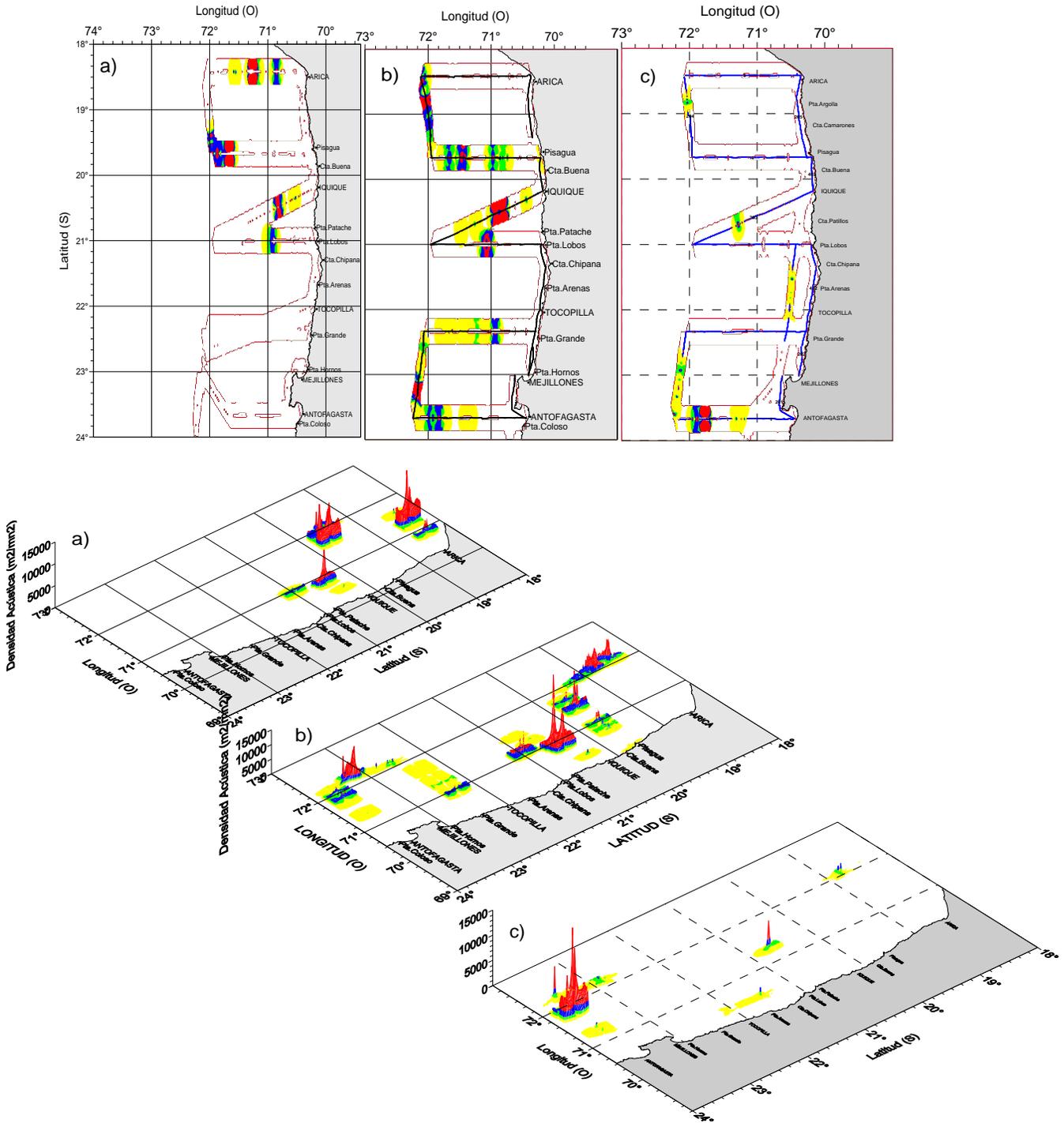


Figura 154. Distribuci3n espacial de *Vinciguerria*, cruceros MOBIO a) 0609 b) 0612 y c) 0703.

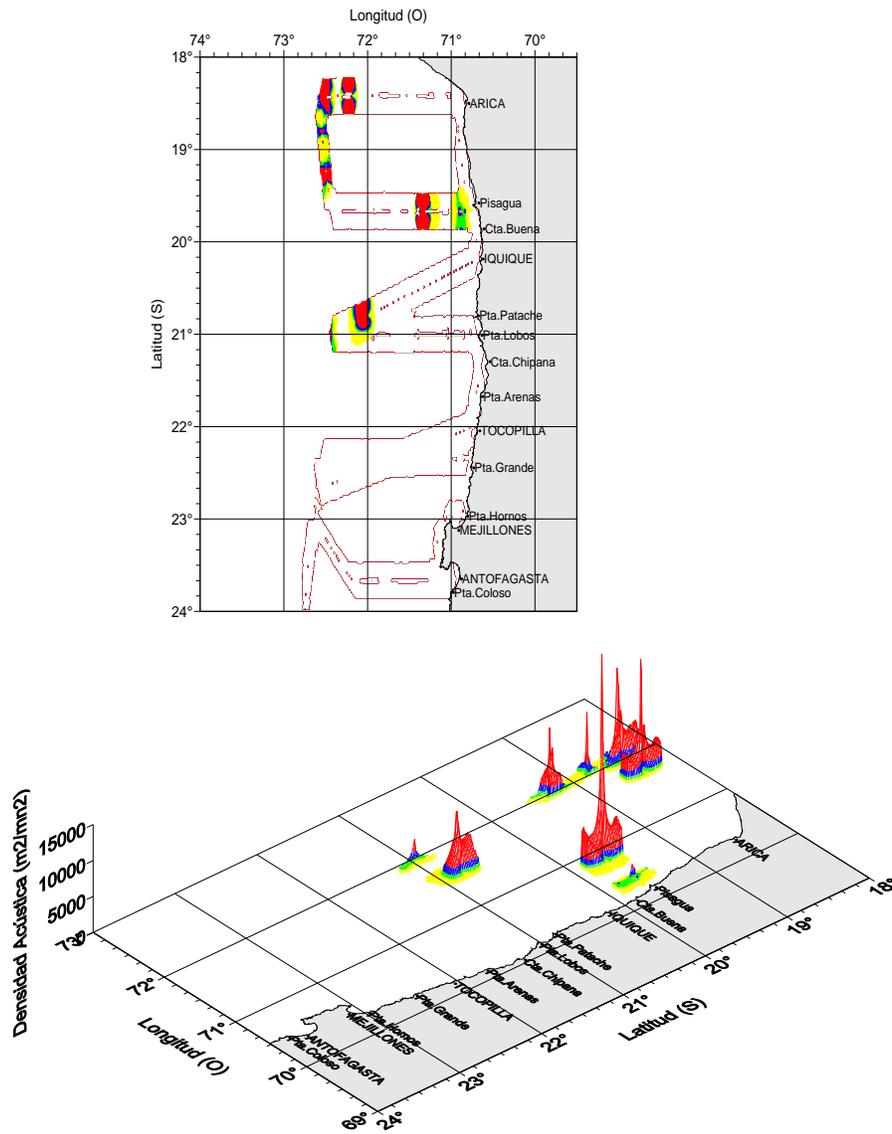


Figura 155. Distribución espacial langostino crucero MOBIO 0609.

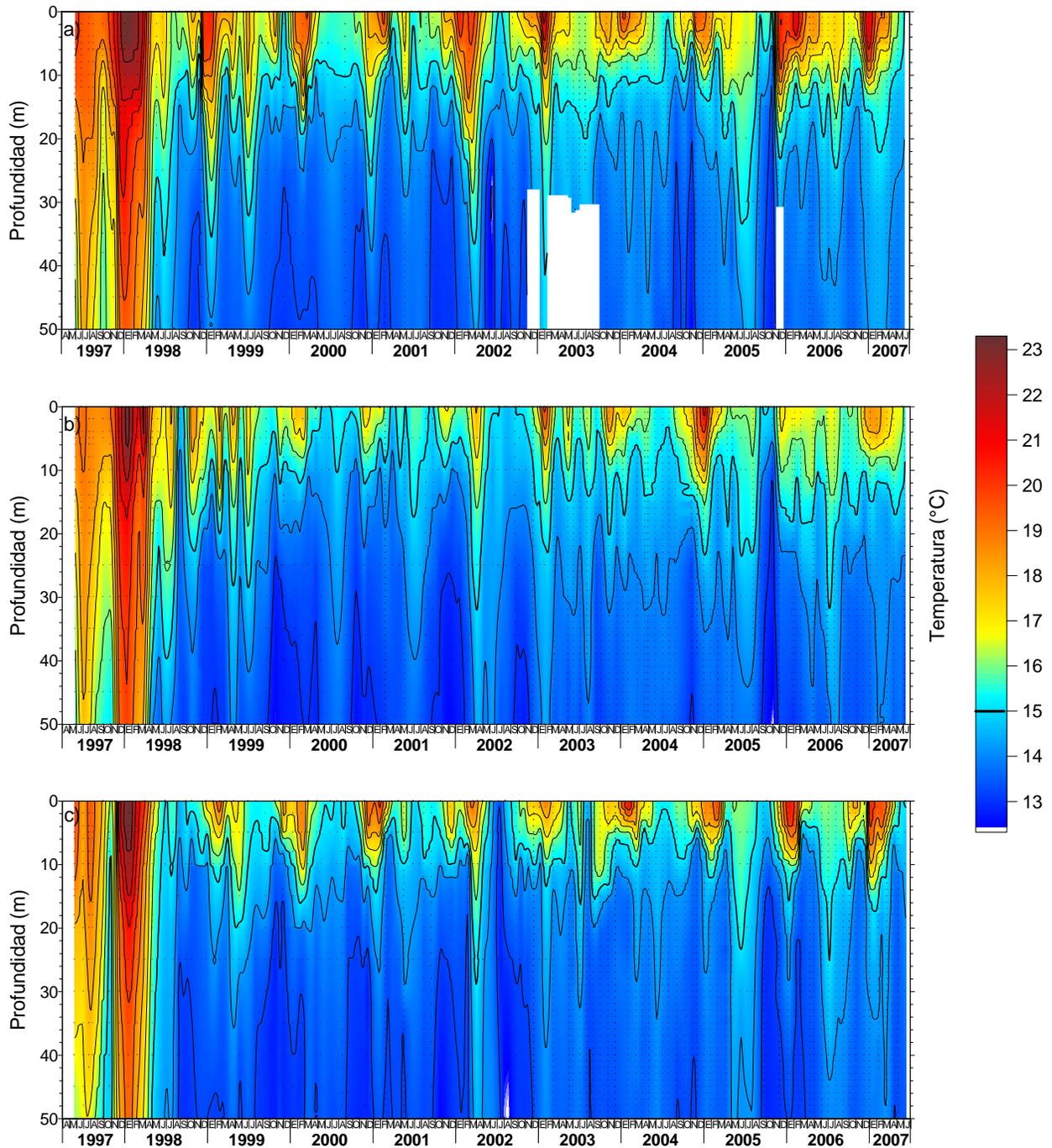


Figura 156. Variabilidad temporal de la distribuci3n vertical de temperatura (°C) en las estaciones fijas de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones en el periodo mayo de 1997 a junio de 2007.

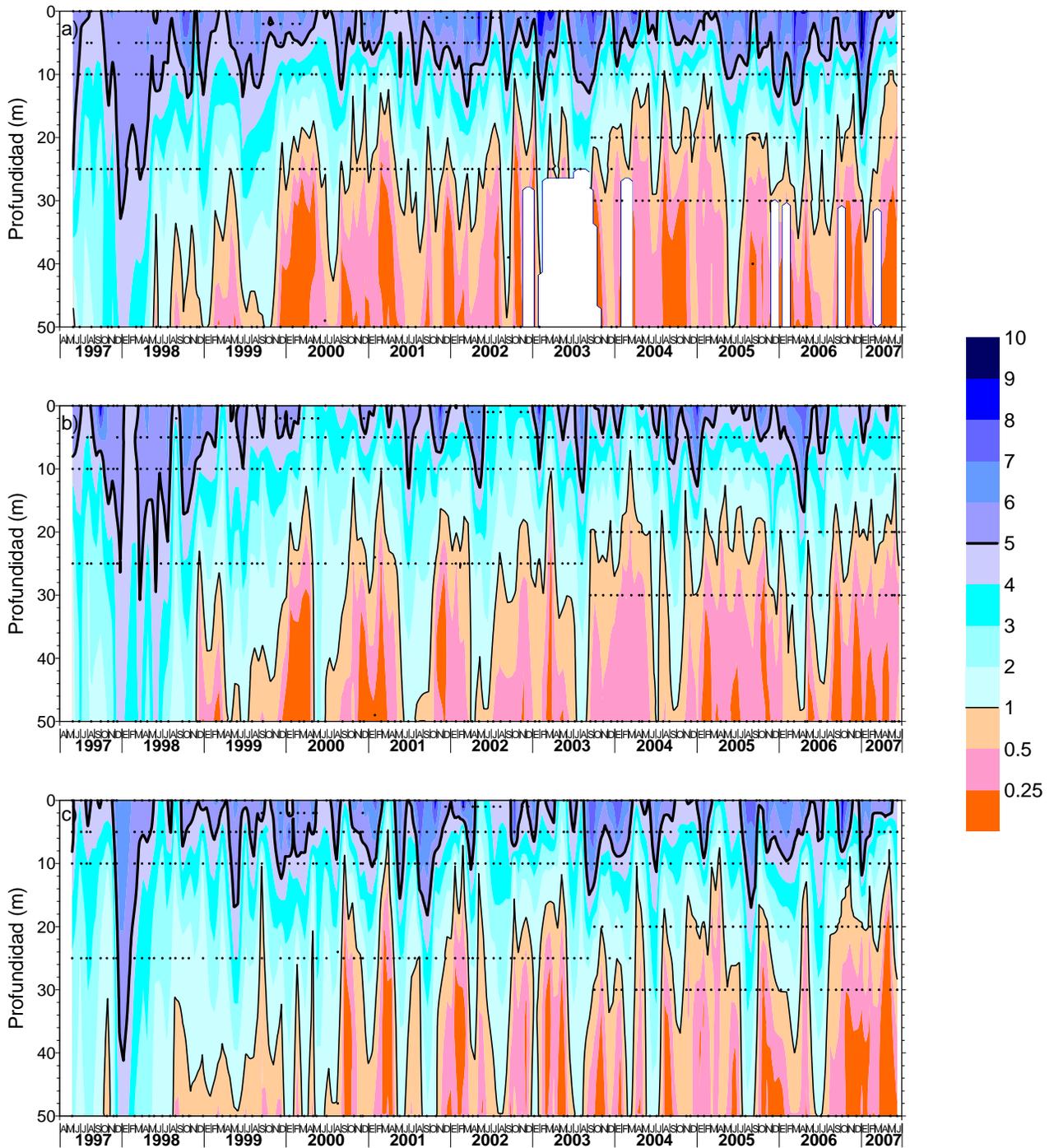


Figura 158. Variabilidad temporal de la distribuci3n vertical de ox3geno disuelto (mL/L) en las estaciones fijas de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones en el periodo mayo de 1997 a junio de 2006.

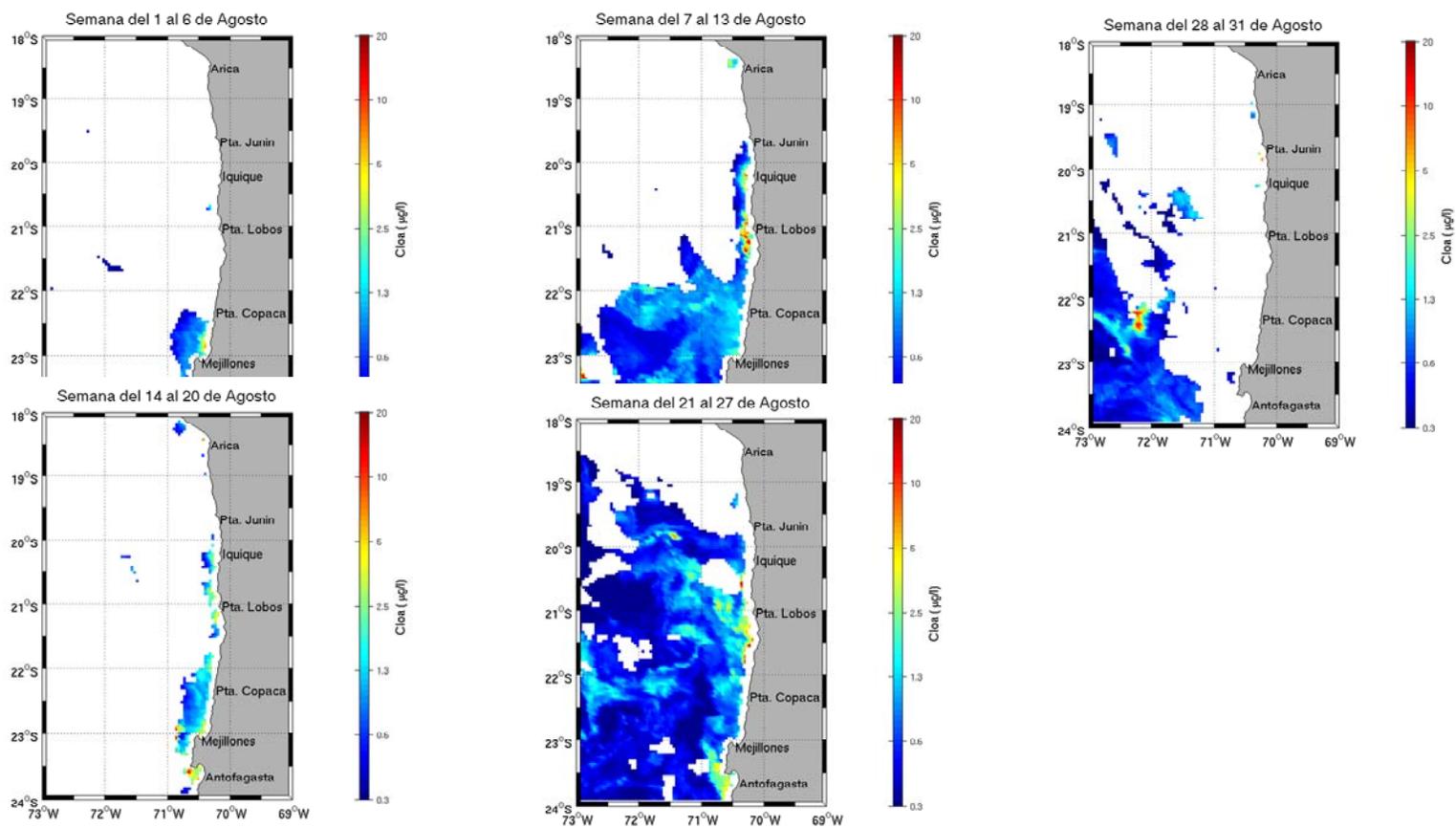


Figura 160. Distribuci3n semanal de la clorofila satelital en la zona norte de Chile, agosto de 2006.

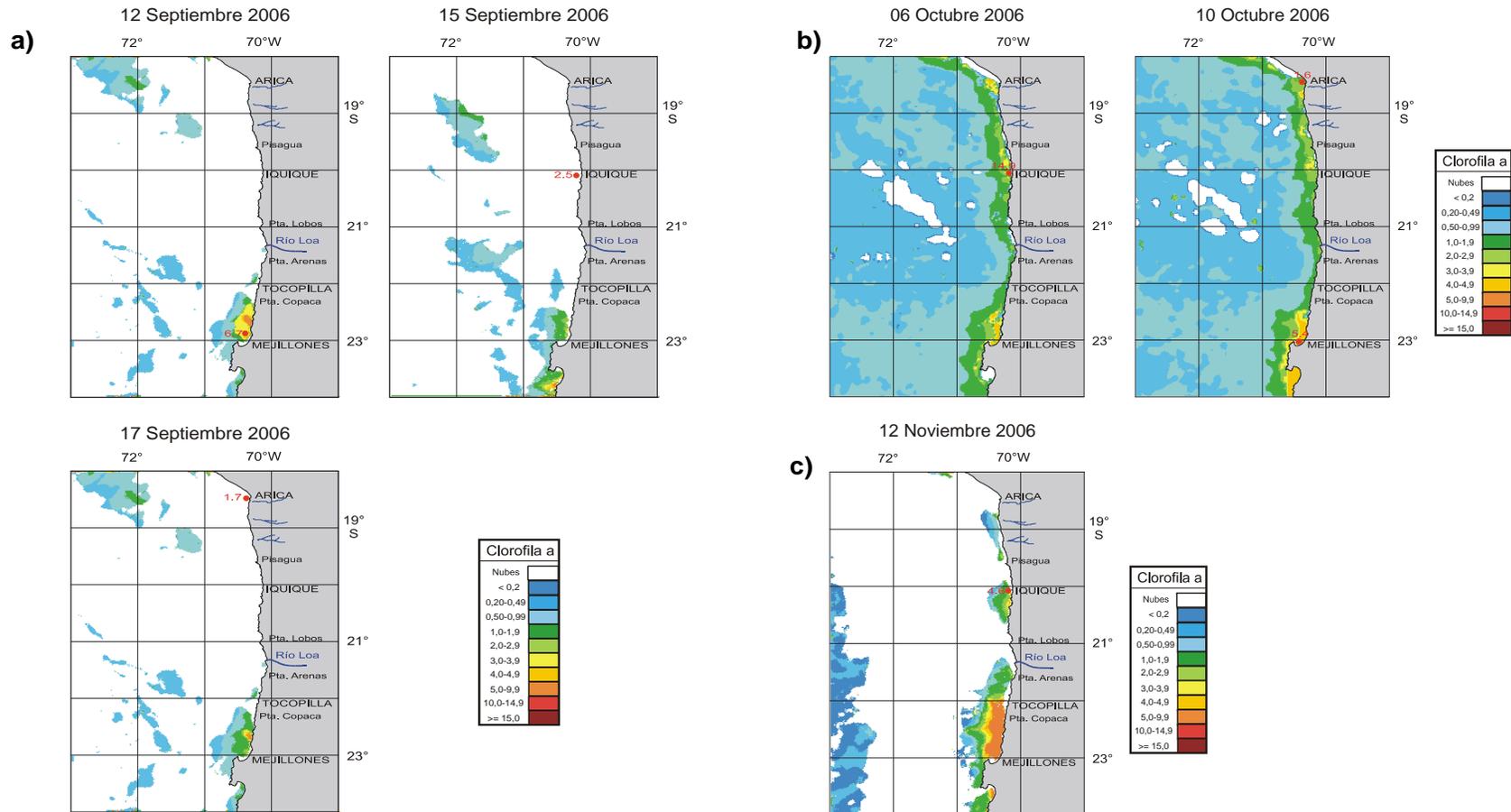


Figura 161. Distribuci3n espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los d1as a) 12, 15 y 17 de septiembre, b) 6 y 10 de octubre y c) 12 de noviembre. El punto rojo indica la estaci3n de monitoreo realizada en la fecha o pr3xima a la de la imagen satelital.

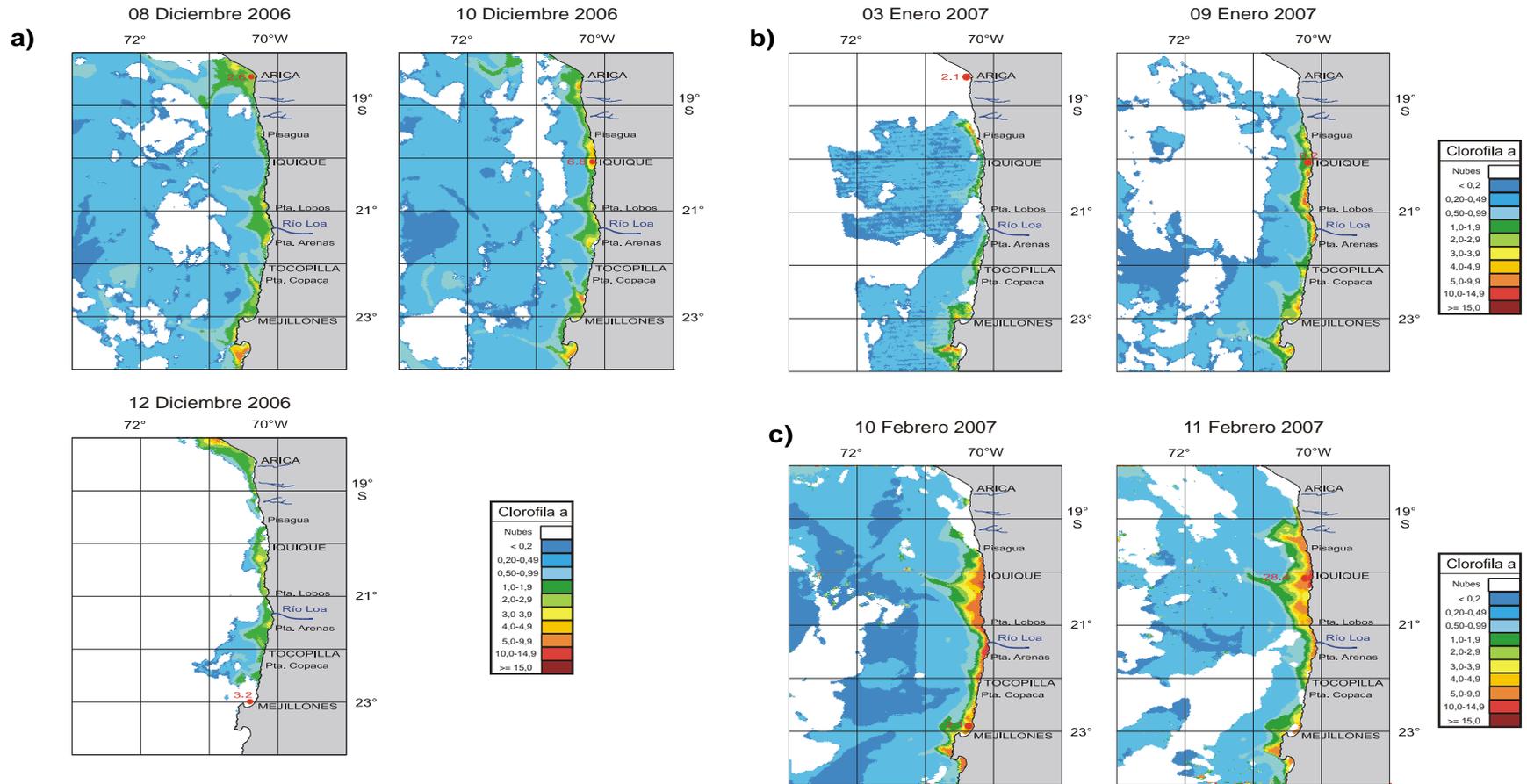


Figura 162. Distribuci3n espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los d1as a) 8, 10 y 12 de diciembre, b) 3 y 9 de enero y c) 10 y 11 de febrero. El punto rojo indica la estaci3n de monitoreo realizada en la fecha o pr3xima a la de la imagen satelital.

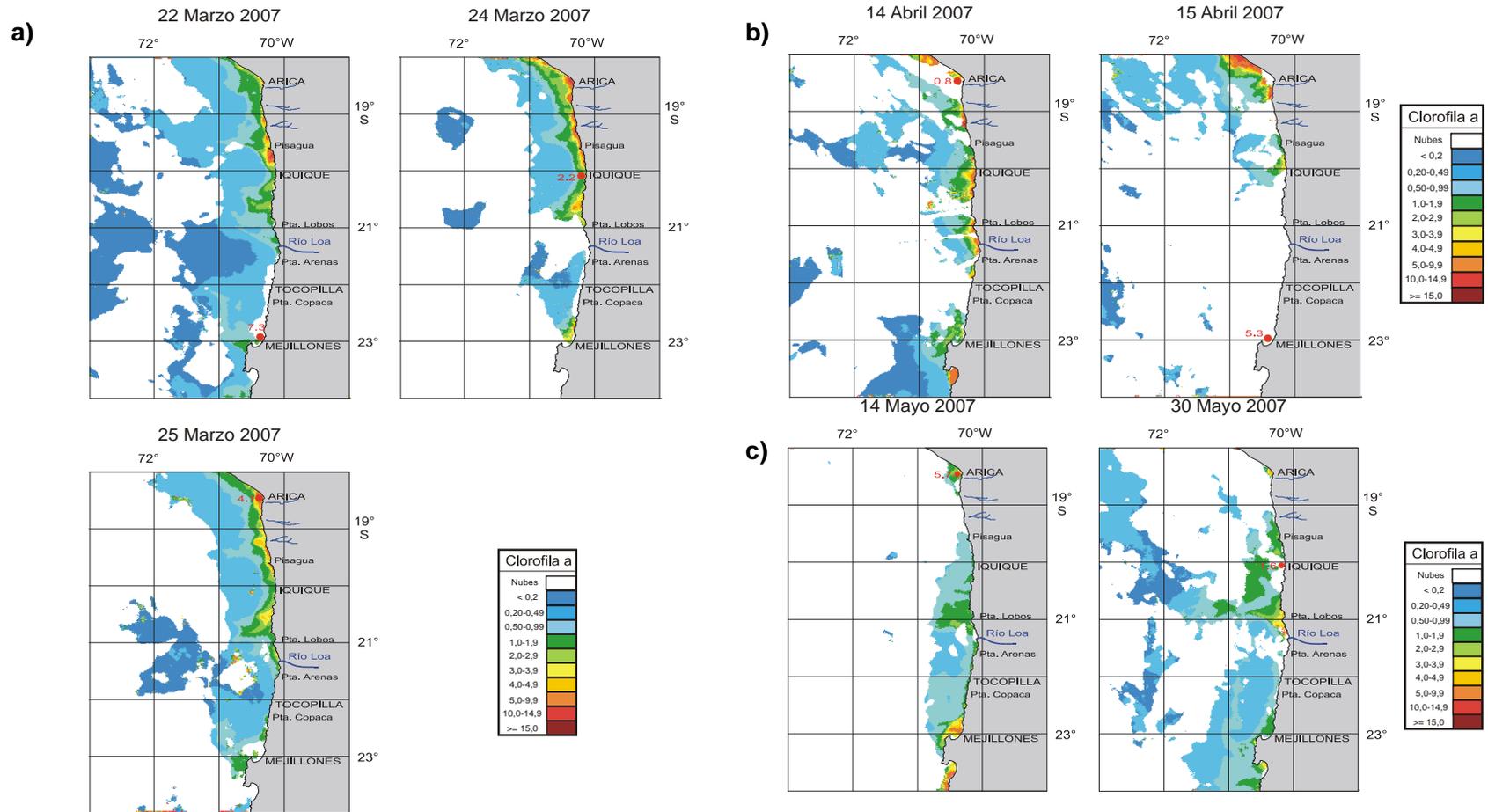


Figura 163. Distribuci3n espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los d1as a) 22, 24 y 25 de marzo, b) 14 y 15 de abril y c) 14 y 30 de mayo. El punto rojo indica la estaci3n de monitoreo realizada en la fecha o pr3xima a la de la imagen satelital.

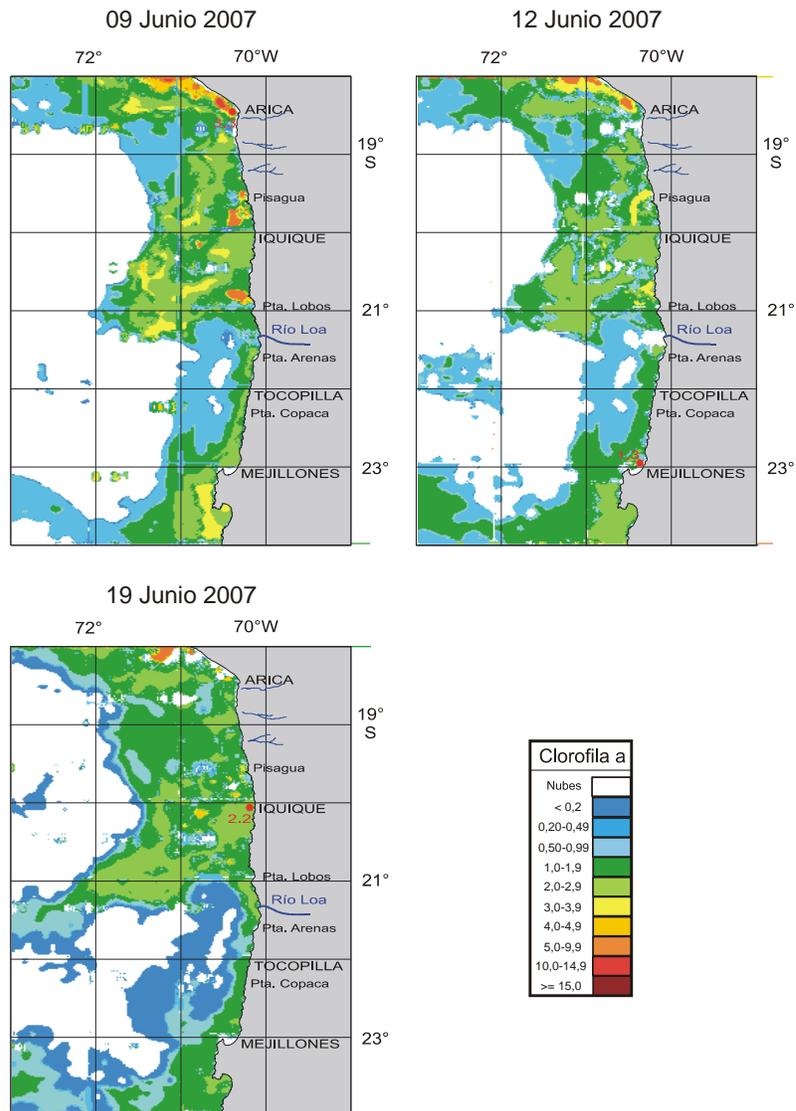


Figura 164. Distribución espacial de clorofila satelital en la zona norte de Chile, correspondiente a los días 9, 12 y 19 de junio. El punto rojo indica la estación de monitoreo realizada en la fecha o próxima a la de la imagen satelital.

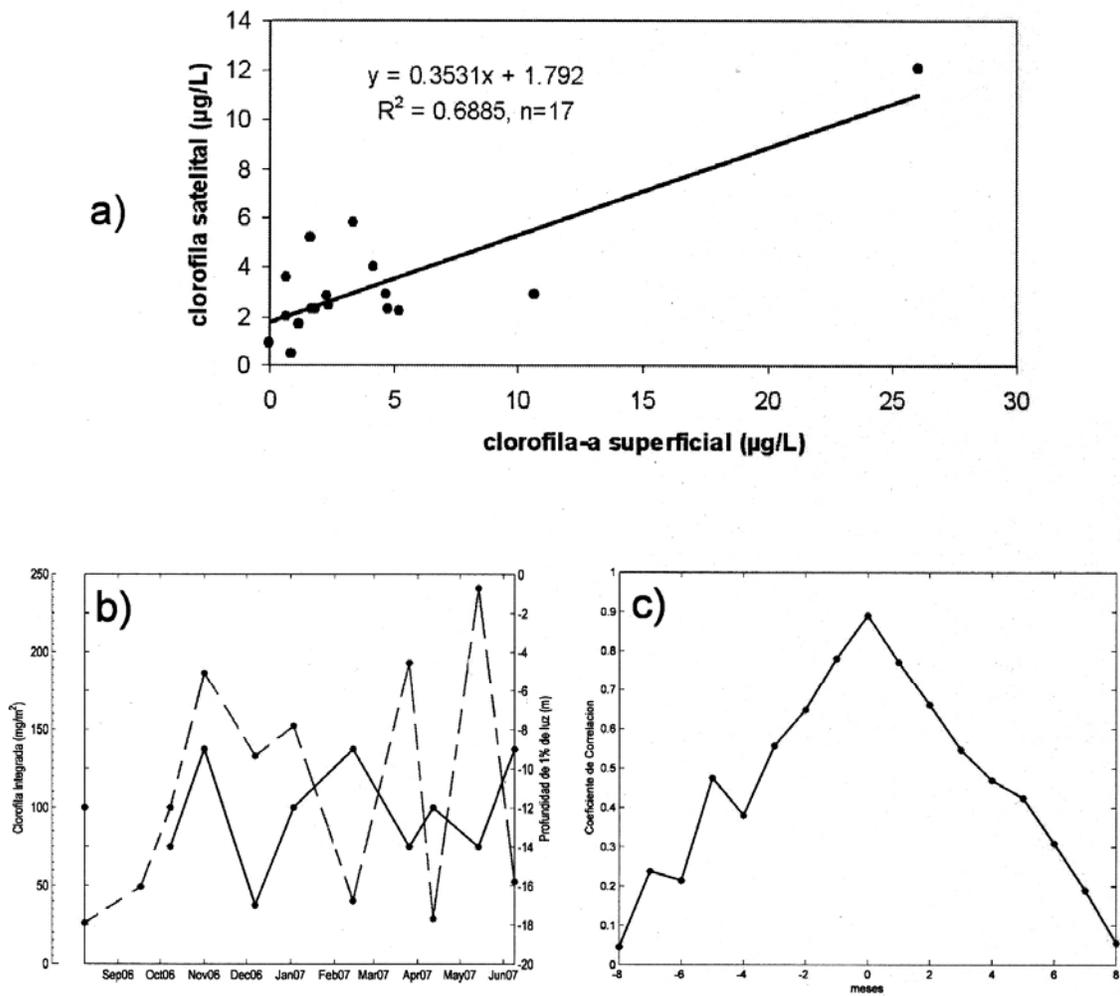


Figura 165. a) Asociaci3n entre la clorofila satelital y la clorofila total de las estaciones fijas. b) Series de tiempo de la profundidad del 1% de penetraci3n de la luz incidente en superficie y la concentraci3n de clorofila integrada en la estaci3n fija de Arica en el periodo agosto 2006 a junio 2007. c) Correlaci3n cruzada entre la profundidad del 1% de penetraci3n de la luz y la concentraci3n de clorofila integrada en la estaci3n fija de Arica.

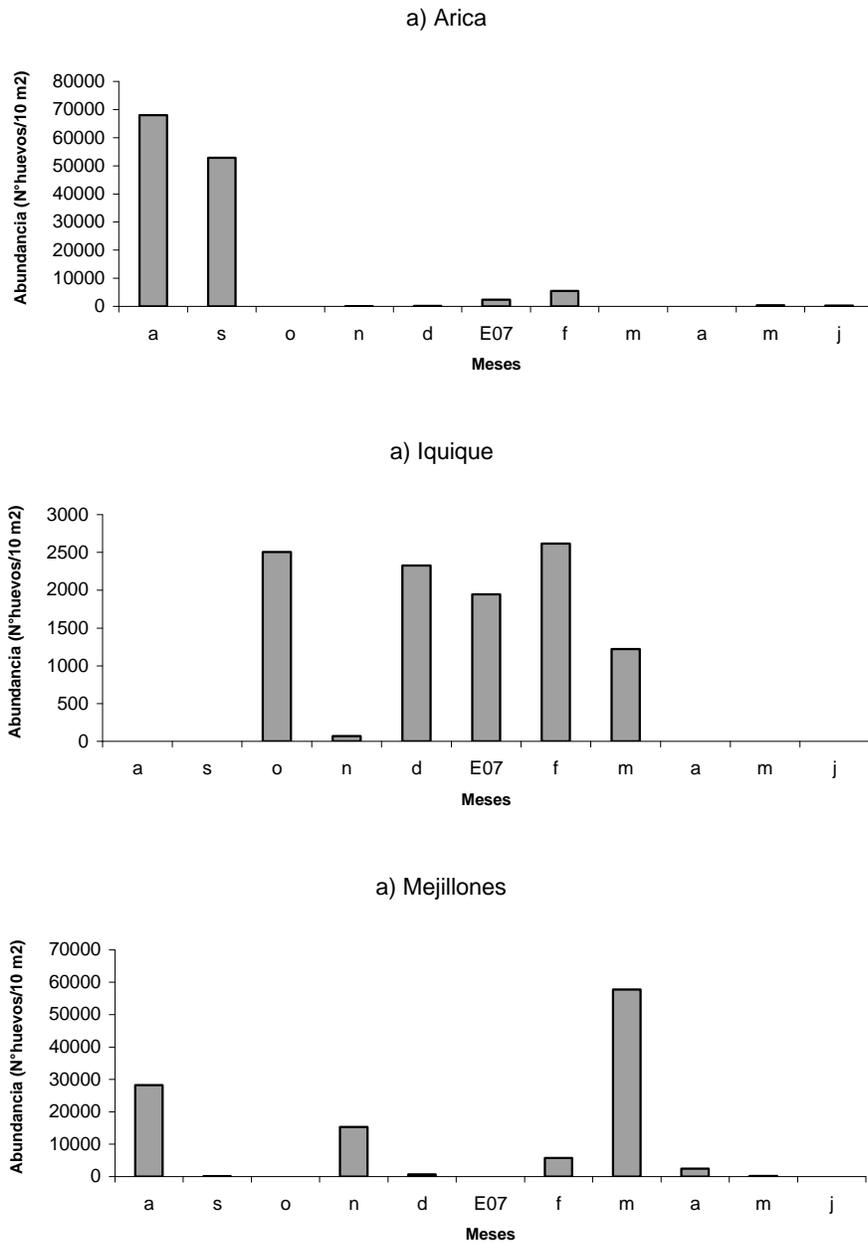
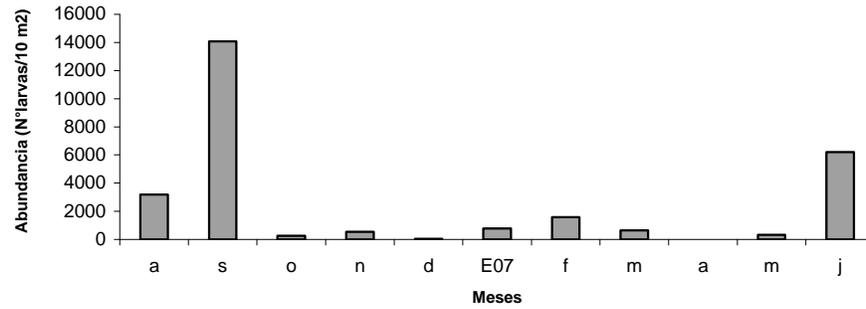


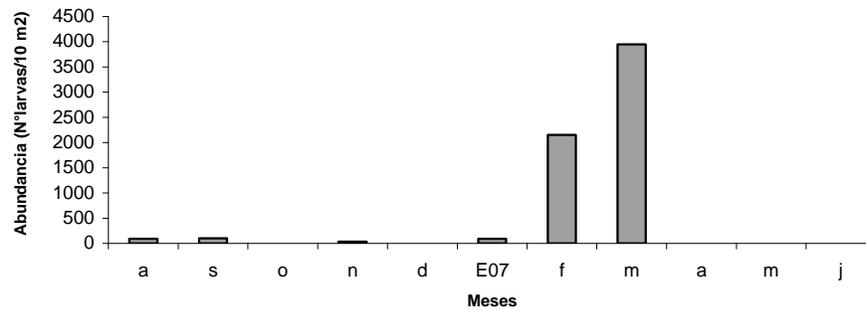
Figura 166. Abundancia mensual de huevos de anchoveta en las estaciones costeras de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones. Período agosto 2006 – junio 2007.



a) Arica



a) Iquique



a) Mejillones

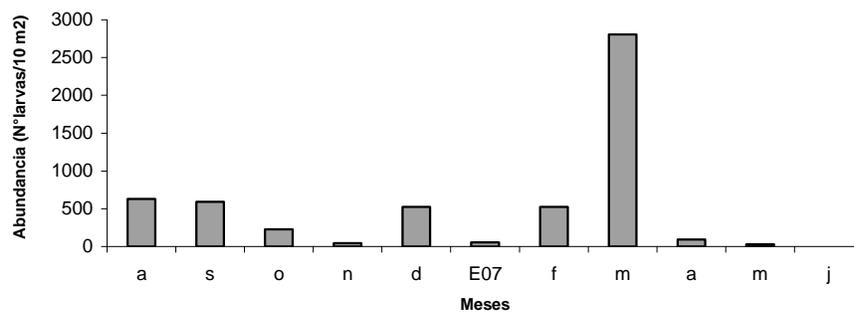


Figura 167. Abundancia mensual de larvas de anchoveta en las estaciones costeras de a) Arica, b) Iquique y c) Mejillones. Período agosto 2006 – junio 2007.

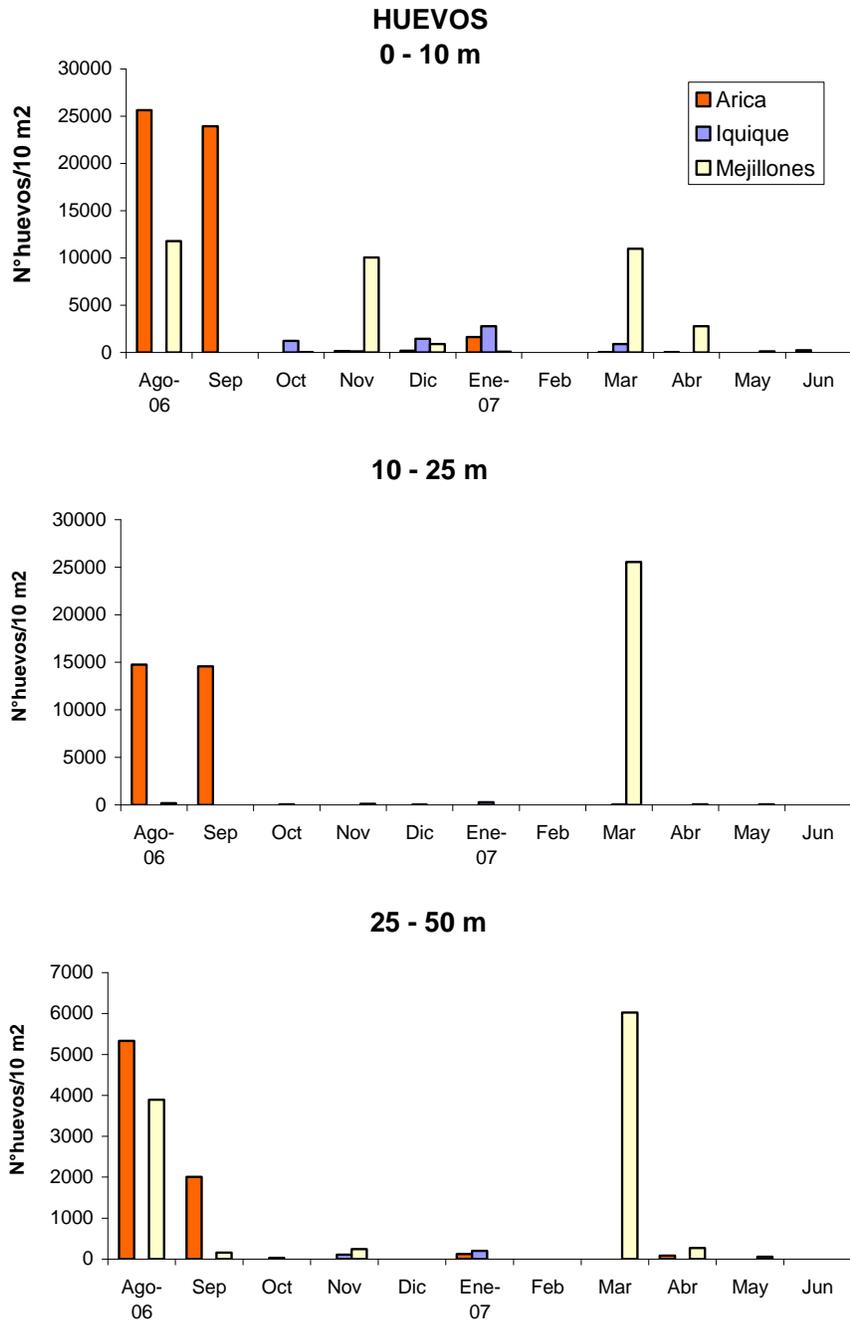


Figura 168. Abundancia de huevos de anchoveta a diferentes niveles de profundidad en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, periodo agosto 2006 – junio 2007.

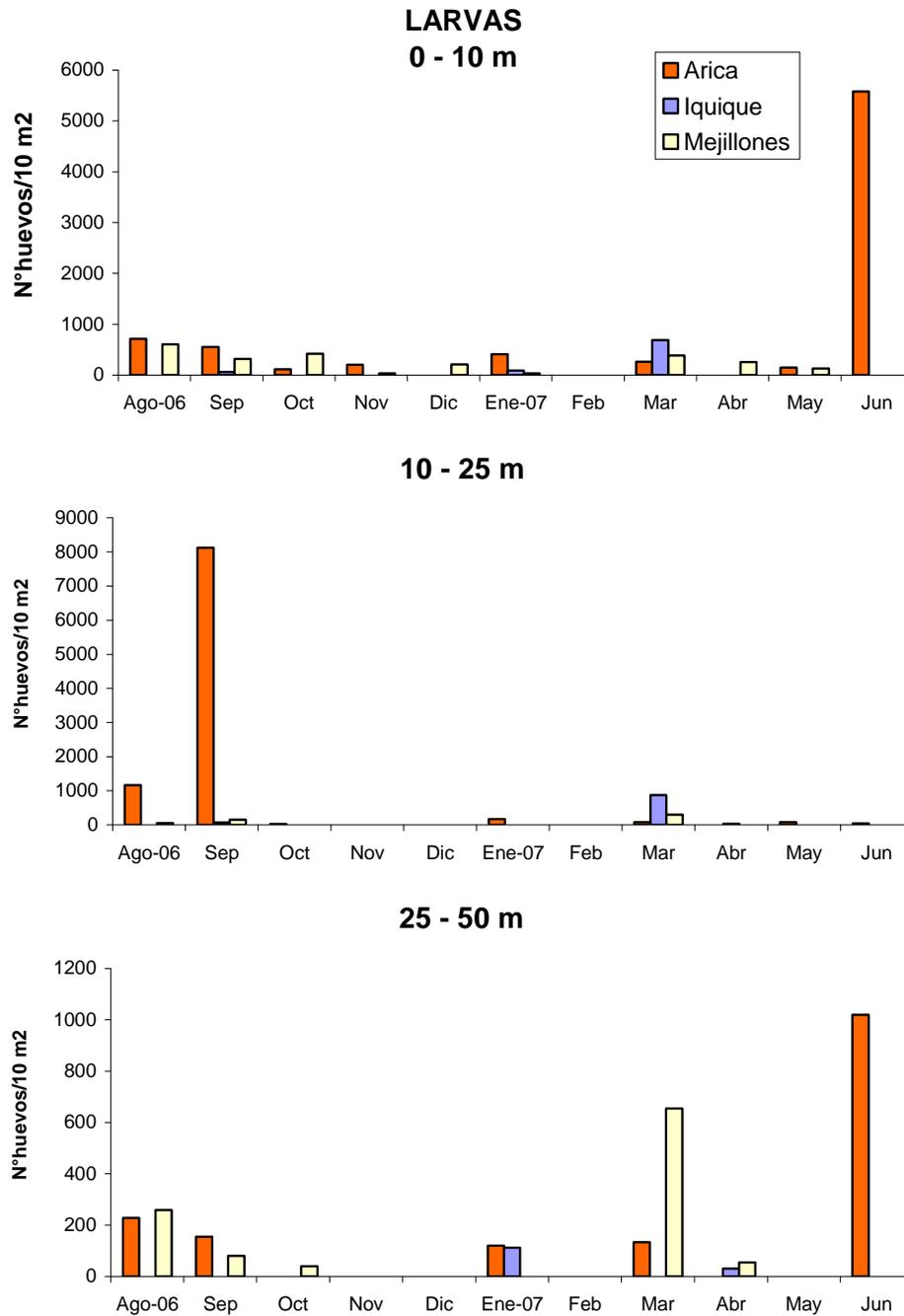


Figura 169. Abundancia de larvas de anchoveta a diferentes niveles de profundidad en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, período agosto 2006 – junio 2007.

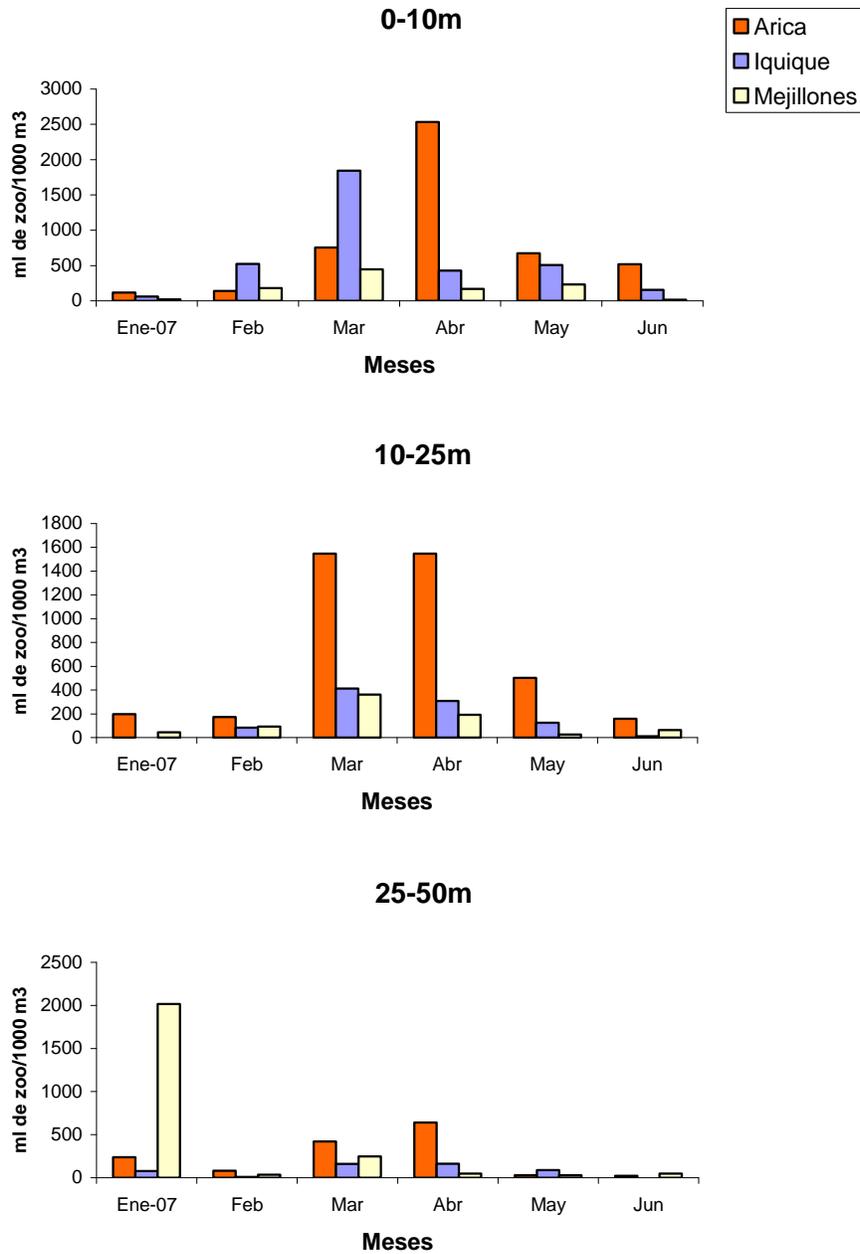


Figura 170. Biomasa zooplanct3nica a diferentes niveles de profundidad en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, per3odo agosto 2006 – junio 2007.

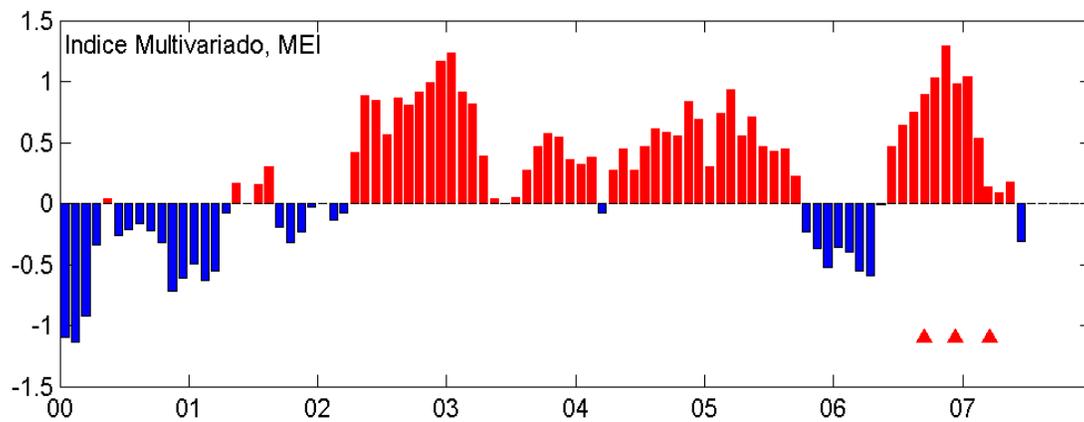


Figura 171. Índice multivariado ecuatorial (MEI), que muestra los períodos cálidos (rojo) y fríos (azul) entre enero de 2006 y junio de 2007. Los triángulos rojos representan los 3 creuceros de monitoreo oceanográficos realizados en septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007.

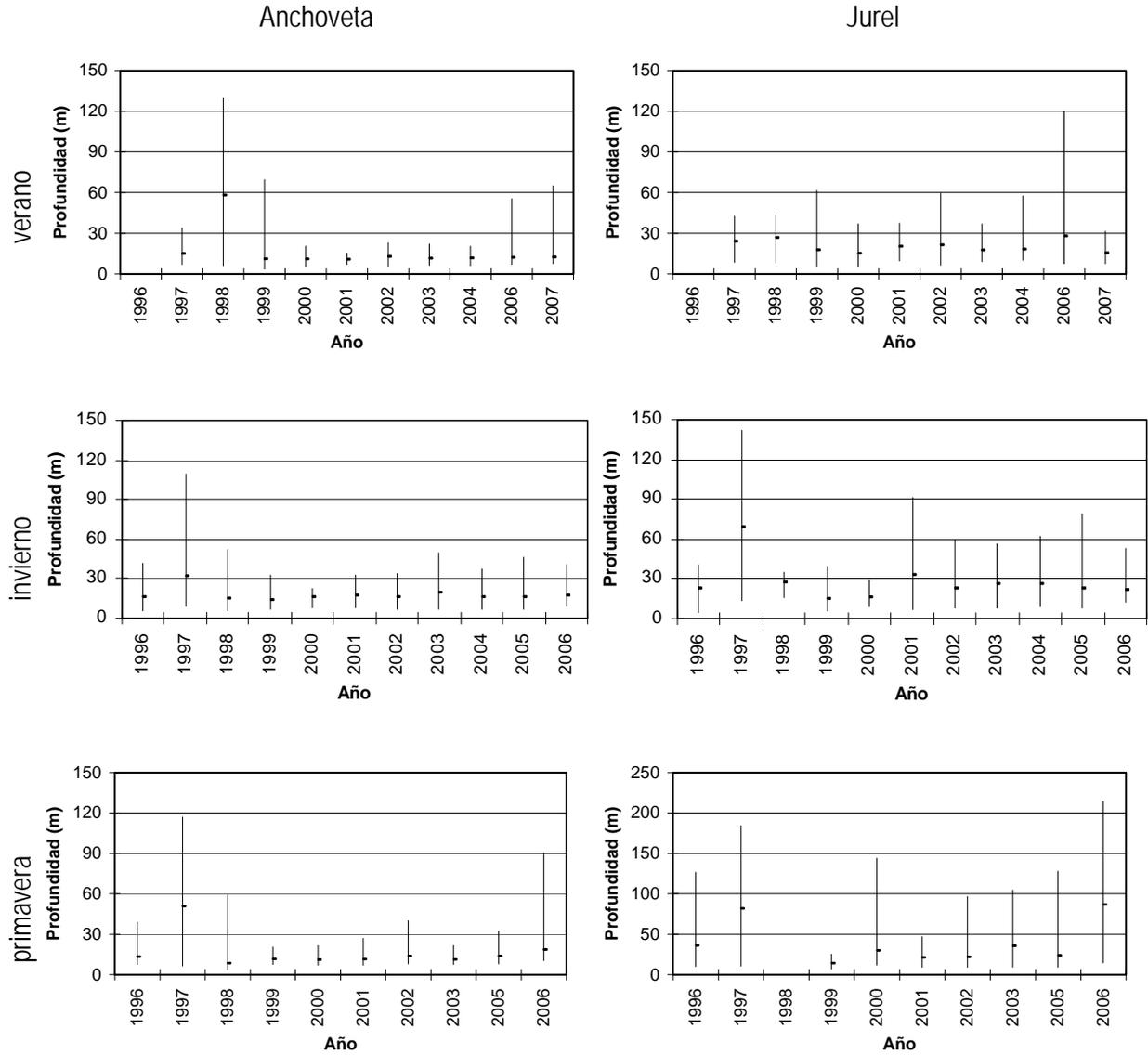


Figura 172. Máximos y mínimos de las profundidades en que se han distribuido históricamente la anchoveta y el jurel.

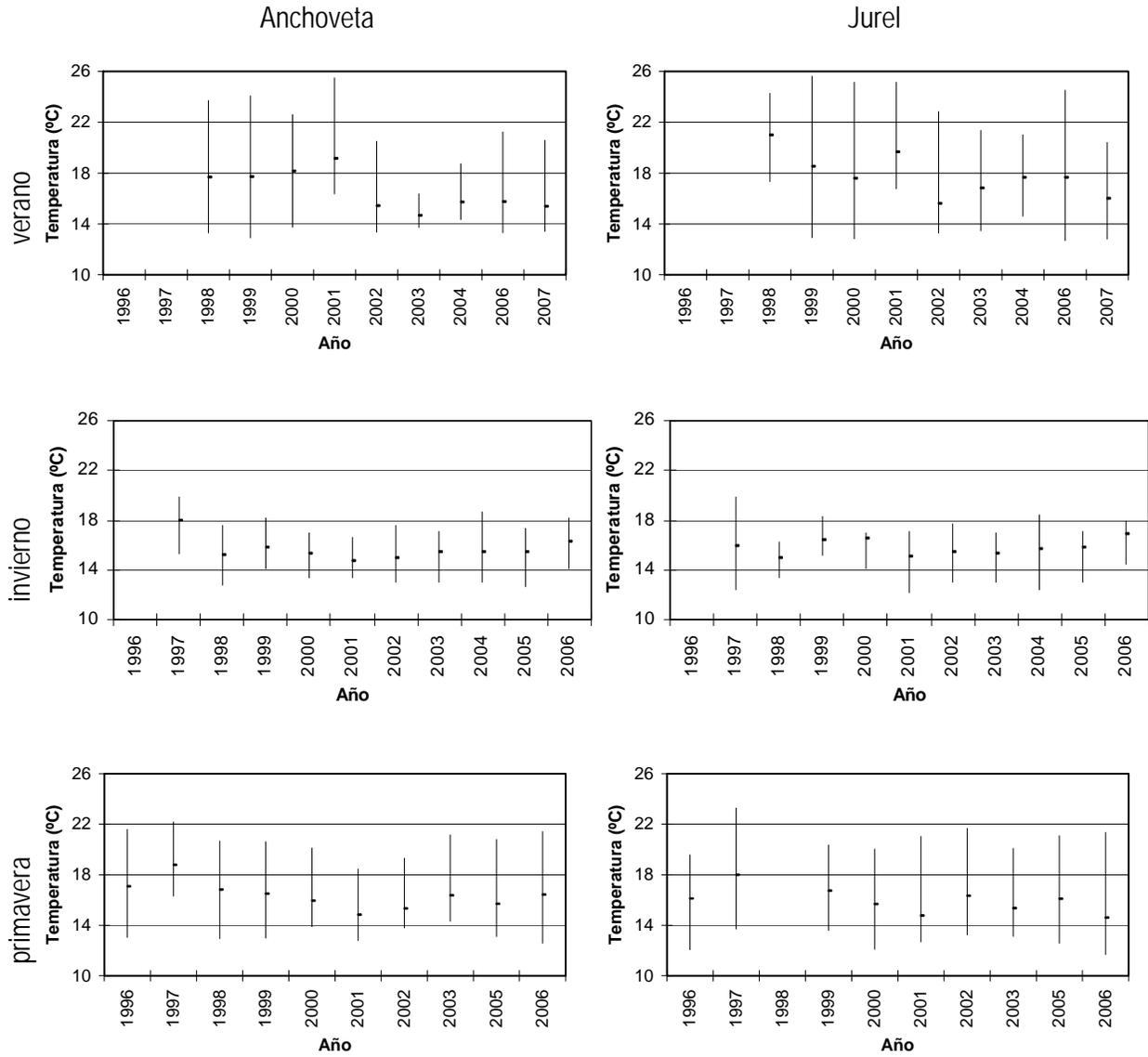


Figura 173. M3ximos y m3nimos de las temperaturas en que se han distribuido hist3ricamente la anchoveta y el jurel.

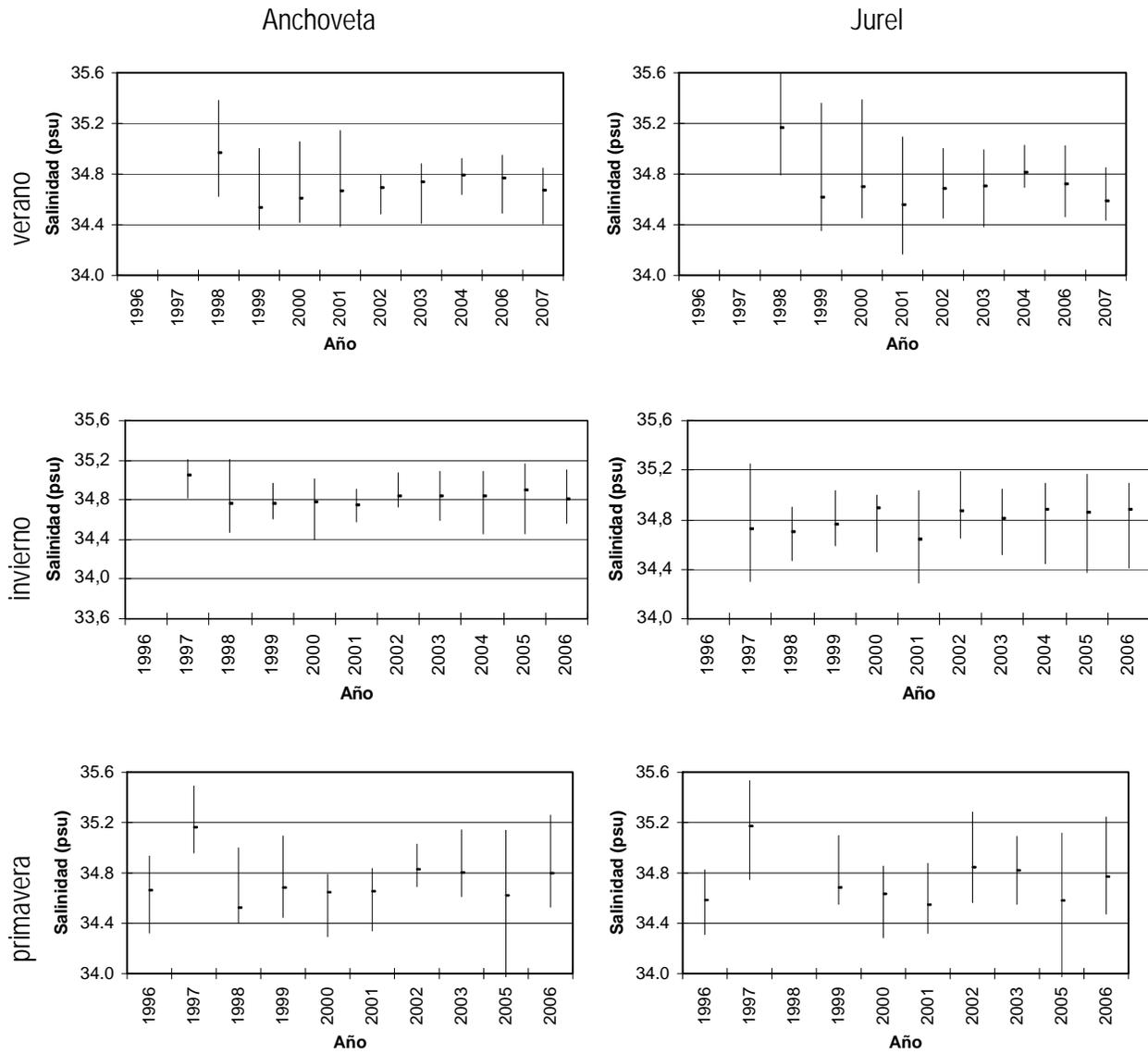


Figura 174. Máximos y mínimos de las salinidades en que se han distribuido históricamente la anchoveta y el jurel.

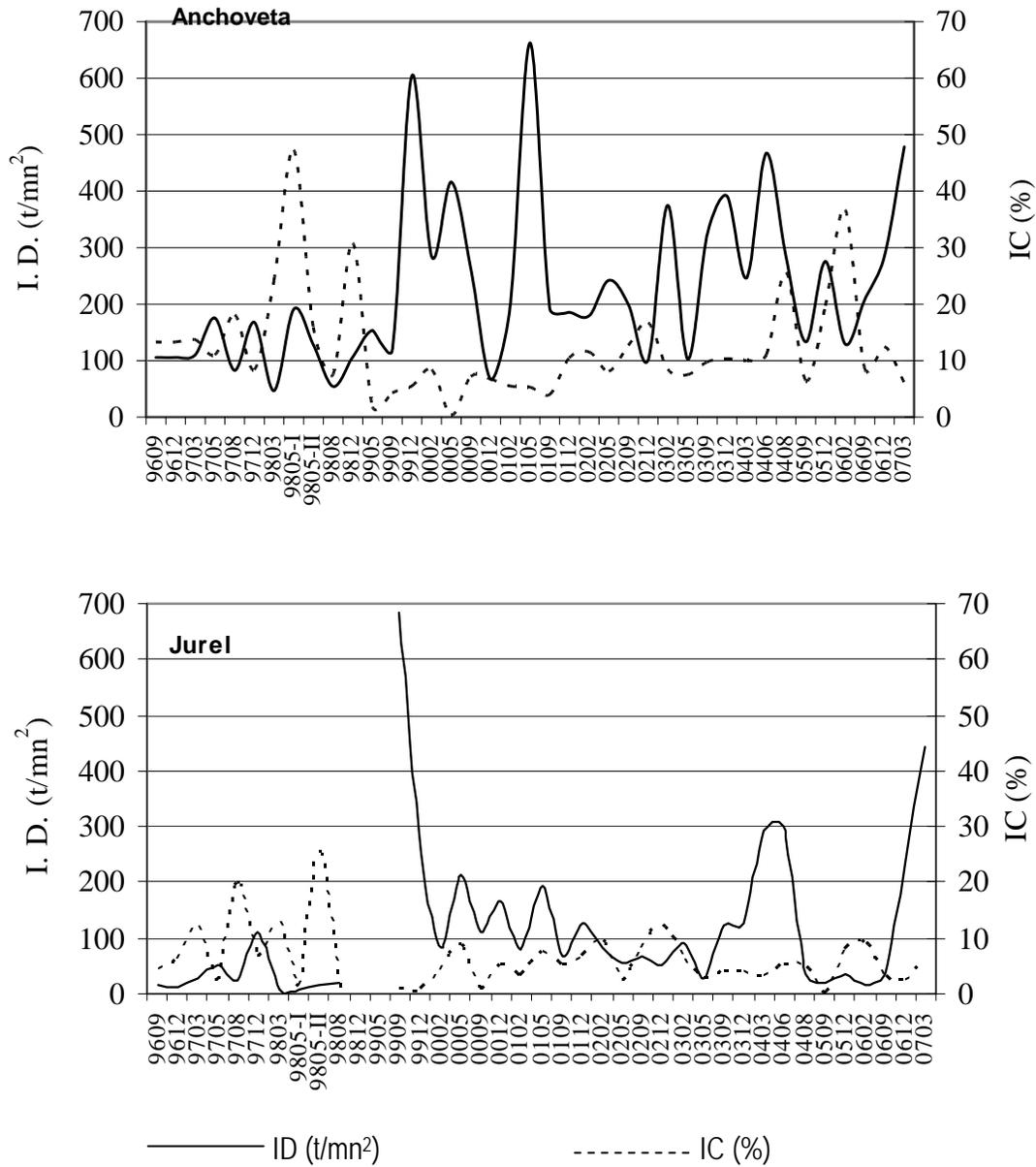


Figura 175. Índices de Cobertura (IC) (%) y Densidad (ID) t/mn² anchoveta y jurel históricos. Período 1997-2007.

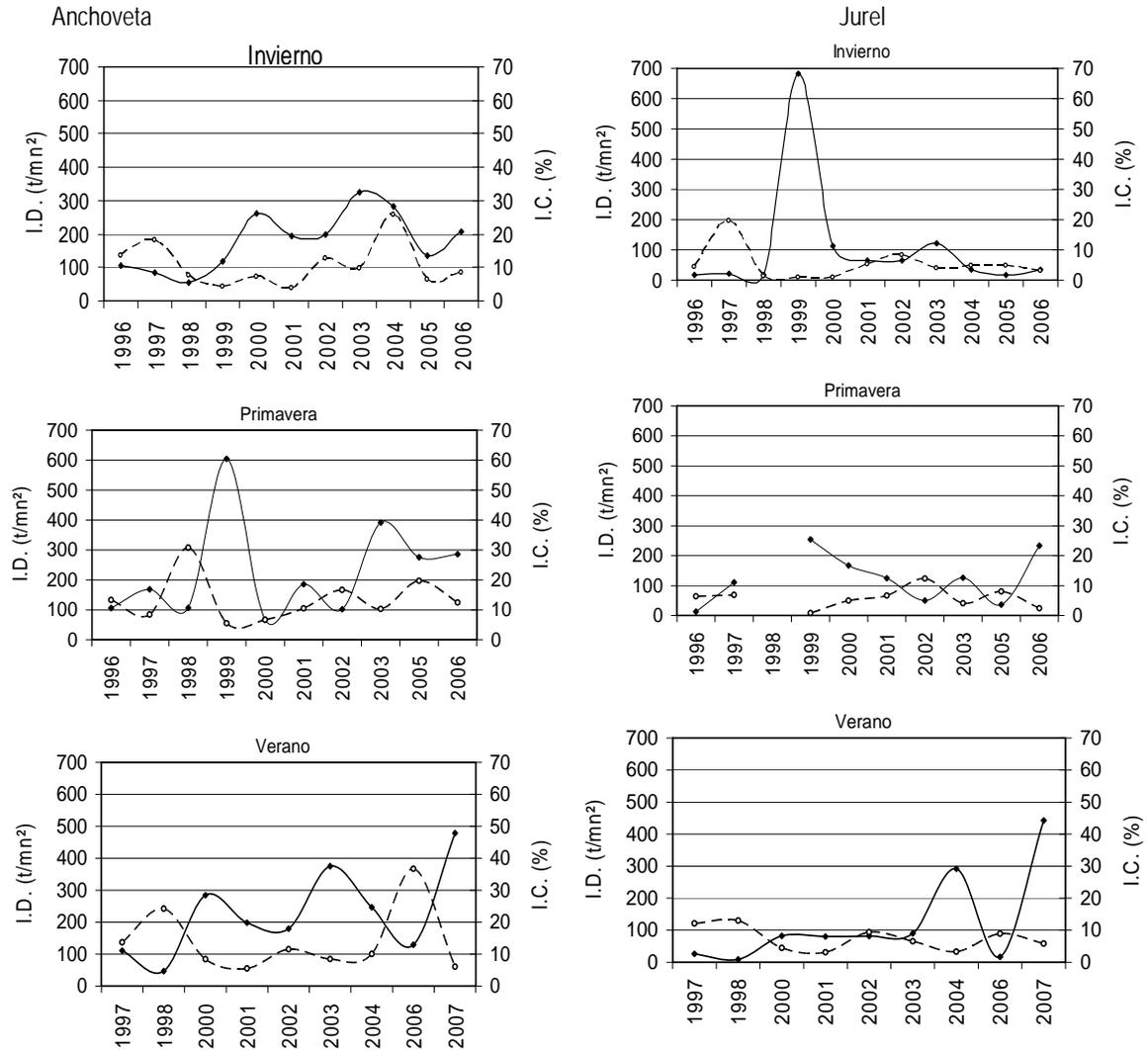


Figura 176. Índices de Cobertura (IC) y Densidad (ID) estacionales de anchoqueta y jurel.

T A B L A S



Tabla 1. Cruceros estacionales realizados durante el per3odo comprendido entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

Cruceros	Año	Nº Estaciones	Rango latitudinal	Fecha Inicio y Término
Septiembre	2006	103	18°25' – 32°08' LS	03 – 22 septiembre
Diciembre	2006	54	18°25' – 23°40' LS	07 –15 diciembre
Marzo	2007	54	18°25' – 23°40' LS	17 – 30 marzo



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Tabla 2. Bitácora de estaciones bio-oceanográficas y registro de datos meteorológicos. Crucero MOBIO 0609. Septiembre de 2006.

Table with columns: N° EST, FECHA AA MM DD, HORA HH MM GR, LAT GR MIN, LONG GR MIN, PROF. ECOS (m), RED CODIGO, MALLA, FLUJOMETRO COD, N°FIN, CALADO MM, VIRADO MM, CABLE ARR, TEMP(C) ANG, SALIN. Om, PRESION ATMOSF (hpa), TEMPARE SECA HUMEDA, DISTANCIA COSTA (mm), NUMERO TRANSECTA, LOCALIDAD, SECCI (m), OLAS ALT. DIR., VIENTO DIR. VEL, TIEMPO PRESENTE, NUBES TIP. CAN.



Tabla 3. Bitácora de estaciones bio-oceanográficas y registro de datos meteorológicos. Crucero MOBIO 0612. Diciembre de 2006.

N° EST	FECHA			HORA			LAT		LONG		PROF. ECOS.	RED CÓDIGO	FLUJÓMETRO MALLA COD.	CABLE N.º FIN. ARR.	TEMP(°C) 0m	SALINI. 0m	PRESIÓN ATMOSF. (hpa)	DISTANCIA COSTA (mn)	TEMP.AIRE SECA	HUMEDAD	NUMERO TRANSECTA	LOCALIDAD	OLAS		VIENTO		VISIBILIDAD	NUBES TIP. CAN.		
	AA	MM	DD	HH	MM	GR	MIN	GR	MIN	ALT.													DIR.	DIR.	VEL.					
1	06	12	7	7	46	19	22,0	70	20,0	118	03	297 A06	838	100	27	20,638	35,049	1016,5	4	19,0	17,0	Inter T2-T1	Pta. Camarones	22	3,00	0,0	7	6	8	
2	06	12	7	10	30	19	3,0	70	23,3	457	03	297 A06	925	100	23	18,443	34,813	1017,0	4	20,0	18,0	Inter T2-T1	Pta. Madrid	22	3,00	0,0	7	6	8	
3	06	12	7	13	35	18	44,0	70	25,0	137	03	297 A06	639	100	10	18,264	34,810	1017,0	4	25,0	21,5	Inter T2-T1	Pta. Pinto	22	3,00	0,0	7	6	4	
4	06	12	7	14	25	18	25,0	70	22,1	25	03	297 A06	68	20	19	18,383	34,808	1016,0	1	26,0	22,0	T1	Arica	22	3,00	21	10,0	7	6	6
5	06	12	7	18	20	18	25,0	70	26,3	80	03	297 A06	503	75	19	20,346	34,841	1016,0	5	22,5	19,0	T1		22	3,00	21	10,0	7	6	6
6	06	12	7	20	5	18	25,0	70	31,6	118	03	297 A06	659	100	15	20,160	34,849	1017,0	10	21,5	19,0	T1		22	3,00	22	6,0	7	6	6
7	06	12	7	22	20	18	25,0	70	42,0	190	03	297 A06	848	100	25	19,589	34,855	1098,0	20	20,0	18,0	T1		22	3,00	19	6,0	7	6	7
8	06	12	8	2	12	18	25,0	71	0,3	880	03	297 A06	662	100	13	21,930	35,029	1018,0	40	20,0	18,0	T1		22	3,00	18	5,0	7	6	8
9	06	12	8	7	9	18	25,0	71	34,9	2690	03	297 A06	692	100	10	22,037	35,166	1017,0	70	20,0	17,0	T1		21	3,00	25	3,0	7	6	8
10	06	12	8	12	31	18	25,0	72	0,6	4500	03	297 A06	762	100	15	21,974	35,340	1018,0	100	21,5	20,5	T1		21	3,00	20	10,0	7	6	8
11	06	12	8	16	18	18	44,0	72	0,2	5850	03	297 A06	661	100	17	21,604	35,278	1017,0	100	24,0	20,0	Inter T1-T2		21	4,00	20	10,0	7	8	3
12	06	12	8	19	55	19	0,2	71	59,5	7600	03	297 A06	741	100	24	21,299	35,251	1017,0	100	21,0	18,0	Inter T1-T2		20	4,00	17	8,0	7	8	6
13	06	12	8	11	28	19	21,3	71	57,4	5600	03	297 A06	680	100	8	21,229	35,264	1019,0	100	20,0	17,0	Inter T1-T2		20	4,00	17	10,0	7	6	7
14	06	12	9	3	0	19	40,0	71	56,7	4580	03	297 A06	687	100	15	21,290	35,282	1018,0	100	19,0	17,0	T2	Punta Junin	2	3,00	21	5,0	7	6	8
15	06	12	9	7	53	19	40,0	71	24,8	6000+	03	297 A06	749	100	30	21,451	35,146	1019,0	70	20,0	17,5	T2		21	3,00	18	7,0	7	8	5
16	06	12	9	12	35	19	40,0	70	52,8	2330	03	297 A06	661	100	15	21,691	34,903	1019,0	40	24,0	21,0	T2		21	3,00	21	9,0	7		
17	06	12	9	16	25	19	40,0	70	31,6	795	03	297 A06	703	100	22	23,095	35,303	1018,0	20	21,0	18,0	T2		21	3,00	18	0,3	7	6	1
18	06	12	9	22	25	19	40,0	70	21,0	660	03	297 A06	611	100	2	20,949	34,863	1019,0	10	20,0	18,0	T2		21	3,00	12	0,3	7	6	1
19	06	12	10	0	50	19	40,0	70	15,8	200	03	297 A06	599	100	5	19,733	34,833	1018,0	5	18,5	17,0	T2		21	3,00	13	0,5	7	6	1
20	06	12	10	2	18	19	40,0	70	12,4	40	03	297 A06	591	80	7	17,913	34,798	1018,0	1,5	18,5	17,0	T2		21	3,00	15	0,5	7		0
21	06	12	10	11	33	20	23,1	70	36,1	1016	03	297 A06	808	100	32	22,565	35,285	1019,0	20	26,0	24,0	Diag T2-T3		21	3,00	18	7,0	7	0	3
22	06	12	10	15	37	20	35,1	71	0,3	4770	03	297 A06	671	100	16	22,422	34,958	1017,5	40	23,0	21,0	Diag T2-T3		21	3,00	16	10,0	7	0	3
23	06	12	10	20	55	20	48,1	71	29,9	5220	03	297 A06	640	100	20	22,215	35,242	1016,5	70	20,5	18,0	Diag T2-T3		21	3,00	18	10,0	8	8	3
24	06	12	11	0	12	21	0,0	71	57,6	4250	03	297 A06	593	100	5	21,009	35,005	1019,0	100	18,5	17,5	T3	Punta Lobos	21	3,00	0,0	8	8	3	
25	06	12	11	4	55	21	0,0	71	25,4	5730	03	297 A06	651	100	10	21,697	35,229	1017,0	70	20,0	18,0	T3		21	3,00	15	5,0	7	6	8
26	06	12	11	9	45	21	0,0	70	53,2	3800	03	297 A06	580	100	8	21,376	34,869	1018,0	40	20,0	18,0	T3		21	3,00	16	10,0	7	6	8
27	06	12	11	16	4	21	0,0	70	31,9	870	03	297 A06	628	100	37	21,161	35,021	1017,0	20	24,0	21,0	T3		21	3,00	18	14,0	7	6	8
28	06	12	11	18	46	21	0,0	70	21,2	110	03	297 A06	692	100	12	19,848	34,843	1016,5	10	25,0	21,5	T3		21	3,00	17	12,0	7	8	4
29	06	12	11	20	24	21	0,0	70	16	95	03	297 A06	671	90	27	19,592	34,812	1018,0	5	22,0	19,0	T3		21	3,00	17	10,0	7	6	3
30	06	12	11	21	53	21	0,0	70	11,7	76	03	297 A06	492	70	18	17,063	34,808	1019,0	1	19,0	17,0	T3		21	3,00	16	10	7	6	4
31	06	12	12	1	37	21	21,0	70	7,5	79	03	297 A06	463	75	7	18,340	34,812	1019,5	2	17,0	16,0	Inter T3-T4	Caleta Chipana	2	2,00	0,0	7	6	3	
32	06	12	12	4	8	21	37,5	70	10,1	87	03	297 A06	438	80	15	15,451	34,810	1018,5	1	17,0	16,0	Inter T3-T4	Punta Arenas	x	x	7	3,0	7	6	3
33	06	12	12	7	39	22	0,1	70	13,5	112	03	297 A06	654	100	18	16,153	34,722	1019,0	2	17,5	16,5	Inter T3-T4	Tocopilla	22	1,00	0,0	7	7	8	
34	06	12	12	18	6	22	45,9	70	20	97	03	297 A06	521	90	14	15,137	34,789	1017,5	1	26,5	21,5	Inter T5-T4	Punta Gualaguala	x	1,00	24	5,0	7	7	2
35	06	12	12	20	11	22	33,0	70	20	375	03	297 A06	612	100	17	18,058	34,736	1018,0	1	22,0	19,0	Inter T5-T4	Punta Cobija	21	2,00	18	10,0	7	0	3
36	06	12	12	22	43	22	20,0	70	16,6	115	03	297 A06	648	100	20	18,278	34,675	1020,0	1	18,0	16,0	T4	Punta Copaca	21	2,00	17	10,0	7	6	2
37	06	12	12	23	57	22	20,0	70	20,6	408	03	297 A06	621	100	15	18,564	34,698	1020,0	5	18,0	16,0	T4		21	3,00	17	10,0	7	6	2
38	06	12	13	1	35	22	20,0	70	26	860	03	297 A06	719	100	19	19,069	34,719	1020,0	10	18,0	16,5	T4		21	3,00	17	12,0	7	6	2
39	06	12	13	3	59	22	20,0	70	36,8	1250	03	297 A06	753	100	14	19,958	34,819	1018,0	20	17,5	16,5	T4		22	2,00	15	5,0	7	6	2
40	06	12	13	7	45	22	20,0	70	58,7	4950	03	297 A06	617	100	16	20,300	34,888	1019,5	40	19,0	17,0	T4		22	3,00	20	11,0	7	6	8
41	06	12	13	12	29	22	20,0	71	30,7	6000+	03	297 A06	641	100	10	21,137	34,941	1020,5	70	22,0	19,0	T4		22	3,00	20	10,0	7	6	8
42	06	12	13	17	14	22	20,0	72	0,34	4290	03	297 A06	619	100	13	21,019	34,964	1018,5	100	22,0	18,0	T4		22	3,00	20	17,0	7	6	7
43	06	12	13	20	46	22	40,0	72	0,48	4200	03	297 A06	625	100	13	20,619	34,958	1018,0	100	19,0	17,0	inter T4-T5		21	3,00	18	11,0	7	6	8
44	06	12	14	0	28	23	0,0	72	7,70	4340	03	297 A06	598	100	12	20,784	34,970	1018,5	100	18,5	16,0	inter T4-T5		21	2,00	18	7,0	7	6	8
45	06	12	14	4	9	23	20,0	72	10,30	3960	03	297 A06	649	100	14	20,573	35,006	1017,0	100	19,0	16,0	inter T4-T5		21	2,00	21	6,0	7	6	8
46	06	12	14	7	26	23	40,0	72	14,3	4315	03	297 A06	727	100	23	20,060	34,769	1018,0	100	18,0	16,0	T5	Bahia Moreno	22	2,00	20	12,0	7	6	8
47	06	12	14	12	15	23	40,0	71	41,3	5250	03	297 A06	581	100	14	20,375	34,849	1017,0	70	22,5	19,5	T5		22	2,00	20	10,0	7	6	8
48	06	12	14	17	2	23	40,0	71	8,6	6000+	03	297 A06	662	100	12	21,077	34,953	1015,0	40	24,0	20,0	T5		21	3,00	19	16	7	6	4



Tabla 4. Bitácora de estaciones bio-oceanográficas y registro de datos meteorológicos. Crucero MOBIO 0703. Marzo de 2007.

N° EST	NUMERO TRANSECTA	DISTANCIA COSTA (mn)	LOCALIDAD	FECHA		HORA				LAT	LONG	PROF.	RED	FLUJÓMETRO N°FIN.	CALADO MIN SEG	VIRADO MIN SEG	CABLE ARR. ANG.	SECCHI	TEMP(°C)	SALINI. Om	OLAS ALT. DIR.	VIENTO DIR. VEL.	PRESIÓN ATMOSF. (hpa)	TEMPAIRE SECA HÚMEDA	NUBES TIP. CAN.	VISIBILIDAD									
				AA	MM	DD	HH	MM	GR																		MIN	GR	MIN	GR	MIN	ECOS.	CÓDIGO	MALLA	
1	1	40	Bahía Moreno	07	3	18	23	57	23	40,00	71	8,6	5000	03	297	979	1	31	1	53	100	31	22,09	34,89	1	24	0	0,0	15,5	19,0	18,0	0	0	7	
2	1	20	Bahía Moreno	07	3	19	4	11	23	40,00	70	46,7	4000	03	297	843	2	25	1	43	100	5	18,10	34,34	1	24	20	7,0	15,0	19,0	18,0	0	0	7	
3	1	10	Bahía Moreno	07	3	19	7	24	23	40,00	70	35,8	479	03	297	741	1	34	1	37	100	33	15,17	34,54	1	22	95	6,0	17,0	19,0	17,5	0	0	7	
4	1	5	Bahía Moreno	07	3	19	9	23	23	40,00	70	30,4	145	03	297	605	1	30	1	41	100	23	14,55	34,57	1	22	0	0,0	17,5	21,0	19,0	7	1	7	
5	1	1	Bahía Moreno	07	3	19	10	57	23	40,00	70	26,0	84	03	297	478	1	4	1	9	77	21	13,60	34,49	1	23	28	1,0	17,5	24,0	21,5	0	0	7	
6	T1-T2		Calela Errázuriz	07	3	19	14	17	23	27,70	70	40,0	600	03	297	660	1	35	1	45	100	14	15,44	34,41	2	22	20	1,0	16,0	22,0	19,0	0	0	7	
7	T1-T2		Punta Chacayuz	07	3	19	18	19	23	0,00	70	37,6	396	03	297	571	1	33	1	30	100	7	15,81	34,69	1	22	21	9,0	15,0	23,0	19,0	0	0	7	
8	1	70	Bahía Moreno	07	3	20	4	35	23	40,00	71	41,3	5000	03	297	652	1	25	1	38	100	16	21,38	34,71	1	22	10	5,0	16,0	19,8	21,6	7	4	7	
9	1	100	Bahía Moreno	07	3	20	9	0	23	40,00	72	14,2	4380	03	297	578	1	31	1	39	100	11	22,60	35,01	1	24	32	3,0	18,0	23,0	20,5	6	8	8	
10	T1-T2	100	Calela Banduria del Sur	07	3	20	13	5	23	19,80	72	11	4000	03	297	580	1	40	1	35	100	6	22,61	35,21	1	24	2	4,0	18,0	24,0	21,0	6	5	7	
11	T1-T2	100	Punta Chacaya	07	3	20	16	5	23	0,00	72	8,4	4000	03	297	661	1	33	1	42	100	5	22,26	35,09	1	24	0	0,0	15,0	25,0	21,0	6	4	7	
12	T1-T2	100	Punta Tames	07	3	20	20	3	22	39,80	72	5,8	4190	03	297	565	1	23	1	41	100	20	21,89	34,79	1	24	15	5,0	16,0	21,0	18,5	6	2	7	
13	2	100	Pta. Copaca	07	3	20	23	26	22	20	72	3,1	4340	03	297	643	1	34	1	43	100	23	22,08	34,90	1	24	15	3,0	16,5	21,0	19,0	6	2	7	
14	2	70	Pta. Copaca	07	3	21	4	13	22	20	71	30,6	4000	03	297	720	1	35	1	32	100	26	22,18	34,88	0	18	18	5,0	15,0	20,0	10,0	6	2	7	
15	2	40	Pta. Copaca	07	3	21	8	54	22	20	70	58	4960	03	297	620	1	31	1	40	100	15	15,72	34,36	1	21	16	6,0	15,5	22,0	20,5	6	2	8	
16	2	20	Pta. Copaca	07	3	21	12	53	22	20	70	36,5	1250	03	297	644	1	31	1	38	100	27	18,93	34,52	2	20	18	12,0	14,5	23,0	21,0	7	2	7	
17	2	10	Pta. Copaca	07	3	21	15	27	22	20	70	25,7	845	03	297	601	1	22	1	31	100	25	8	20,99	34,62	2	20	20	15,0	13,0	21,0	23,0	7	2	7
18	2	5	Pta. Copaca	07	3	21	17	28	22	20	70	20,3	373	03	297	800	1	39	1	31	100	31	9	18,80	34,54	2	20	20	10,0	13,0	25,3	22,5	7	2	7
19	2	1	Pta. Copaca	07	3	21	19	6	22	20	70	16,1	111	03	297	621	1	33	1	36	100	11	16,68	34,50	2	20	17	5,0	13,0	20,0	19,0	0	0	7	
20	T2-T1		Punta Cobja	07	3	21	21	36	22	33	70	20,0	372	03	297	590	1	34	1	39	100	15	15,47	34,52	1	22	19	5,0	14,5	19,0	18,0	0	0	7	
21	T2-T1		Punta Guadalupe	07	3	21	0	12	22	48	70	21,1	80	03	297	525	1	0	1	9	70	26	14,70	34,52	1	22	0	0,0	15,0	18,0	17,0	0	0	7	
22	T2-T3	1	Pta. Aña	07	3	22	10	48	22	0,0	70	12,8	97	03	297	589	1	29	1	20	80	16	8	17,23	34,60	1	22	20	5,0	15,0	22,5	21,0	6-7	8	7
23	T2-T3	1	Pta. Arenas	07	3	22	13	32	21	40,0	70	10,0	47	03	297	255	0	37	0	40	40	20	11	14,18	34,63	2	22	18	10,0	13,5	24,0	22,0	6-7	4	7
24	T2-T3	1,5	Cta. Chipana	07	3	22	16	5	21	20,0	70	7,5	79	03	297	420	1	3	1	5	70	16	6	14,72	34,66	1	20	18	5,0	12,5	24,0	22,0	6-7	2	7
25	T3	1	Pta. Lobos	07	3	22	18	53	21	0,0	70	12,0	77	03	297	550	1	1	1	8	70	25	15,17	34,76	1	20	17	12,0	13,0	20,3	18,0	6-7	2	7	
26	T3	5	Pta. Lobos	07	3	22	20	1	21	0,0	70	15,5	92	03	297	501	1	8	1	18	80	35	15,23	34,79	1	20	16	5,0	13,0	19,1	17,0	6-7	2	7	
27	T3	10	Pta. Lobos	07	3	22	21	20	21	0,0	70	20,9	107	03	297	675	1	24	1	28	100	24	15,69	34,75	1	20	18	3,0	14,5	19,0	18,0	0	0	7	
28	T3	20	Pta. Lobos	07	3	22	23	18	21	0,0	70	31,6	780	03	297	781	1	29	1	35	100	33	18,73	34,76	1	21	18	2,0	15,5	20,0	19,0	6-7	8	7	
29	T3	40	Pta. Lobos	07	3	23	2	38	21	0,0	70	53,0	3860	03	297	780	1	34	1	32	100	38	21,84	34,75	1	20	17	8,0	15,0	20,0	19,0	6	4	7	
30	T3	70	Pta. Lobos	07	3	23	7	4	21	0,0	71	25,1	4000	03	297	600	1	35	1	43	100	15	21	24,05	35,30	2	20	15	8,0	15,0	21,0	19,0	6	6	7
31	T3	100	Pta. Lobos	07	3	23	11	29	21	0,0	71	57,4	4300	03	297	674	1	35	1	28	100	28	18	23,85	35,22	2	22	15	7,0	16,5	25,5	22,5	6	4	8
32	T3-T4	80	Pta. Patache	07	3	23	16	3	20	48,0	71	29,8	5000	03	297	504	1	31	1	33	100	19	19	24,13	35,26	2	17	17	14,0	14,0	28,0	24,0	6-8	2	8
33	T3-T4	50	Calela Ligate	07	3	23	20	18	20	35,0	71	3,0	4870	03	297	649	1	32	1	35	100	28	21,48	34,64	2	19	17	11,0	15,0	22,0	19,5	6-8	1	8	
34	T3-T4	20	Punta Gruesa	07	3	24	0	35	20	23,0	70	36,0	1000	03	297	798	1	29	1	35	100	23	20,00	34,77	2	20	17	14,0	14,0	20,0	19,0	0	0	7	
35	T4	1	Pta. Junin	07	3	24	10	1	19	40,10	70	11,9	82	03	297	690	1	2	1	6	70	13	6	15,78	34,84	2	20	0	0,0	15,0	21,0	19,0	3-7	2	6
36	T4	5	Pta. Junin	07	3	24	11	20	19	40,00	70	15,8	190	03	297	610	1	30	1	38	100	18	5	16,03	34,80	2	20	15	4,0	15,0	25,0	23,0	7	1	6
37	T4	10	Pta. Junin	07	3	24	12	54	19	40,00	70	21,1	670	03	297	620	1	31	1	37	100	24	2	17,26	34,64	2	21	15	5,0	14,0	25,0	22,0	7-8	2	6
38	T4	20	Pta. Junin	07	3	24	15	22	19	40,00	70	31,7	795	03	297	698	1	35	1	33	100	25	17	21,31	34,76	2	20	8	3,0	14,0	24,0	21,0	7-8	2	6
39	T4	40	Pta. Junin	07	3	24	18	48	19	40,00	70	53,0	2375	03	297	568	1	35	1	40	100	22	23,55	34,94	2	18	18	6,0	15,0	22,0	19,0	6	8	7	
40	T4	70	Pta. Junin	07	3	24	23	28	19	40,00	71	25,0	>5000	03	297	574	1	24	1	41	100	12	22,14	34,72	1	18	7	3,0	17,5	22,0	20,0	6	8	7	
41	T4	100	Pta. Junin	07	3	25	3	46	19	40,00	71	56,7	4600	03	297	644	1	28	1	35	100	23	23,46	35,10	2	19	16	10,0	15,5	21,0	20,0	6	8	7	
42	T4-T5	100	Pta. Camarones	07	3	25	7	10	19	21,50	71	57,5	>5000	03	297	595	1	39	1	32	100	13	12	22,79	34,90	1	19	12	6,0	16,0	22,0	20,5	7	8	7
43	T4-T5	100	Pta. Madrid	07	3	25	10	33	19	1,90	71	59,6	>6000	03	297	620	1	32	1	32	100	21	14	24,02	34,86	2	19	15	5,0	17,0	15,0	13,0	6	8	7
44	T4-T5	100	Pta. Pinto	07	3	25	13	54	18	44,00	72	2,1	5860	03	297	669	1	36	1	42	100	19	13	23,64	34,87	2	19	15	10,0	15,0	26,0				



Tabla 5. Valores de los pares T-S de las aguas tipo, utilizados en los triángulos de mezcla.

AGUA TIPO	SIGLA	INVIERNO		PRIMAVERA		VERANO	
		T°C	SAL.	T°C	SAL.	T°C	SAL.
SUBTROPICAL	AST	20,00	35,20	22,50	35,30	25,00	35,40
SUBANTARTICA	ASAA	11,80	33,80	12,50	33,80	13,00	33,80
ECUATORIAL SUBSUPERFICIAL	AESS	13,00	35,00	13,00	35,00	13,00	35,00
INTERMEDIA ANTARTICA	AIAA	3,00	34,00	3,00	34,00	3,00	34,00
PROFUNDA DEL PACIFICO	APP	1,75	34,68	1,75	34,68	1,75	34,68

Tabla 6. Tamaños de muestra, valor del estadístico y p-value de prueba de Shapiro-Wilk, para el análisis distribucional de la densidad de huevos o larvas de anchoveta, en los cruceros correspondientes al FIP 2006-01 y los cruceros realizados en el periodo de invierno desde 1993 al 2006.

Hipótesis distribucional	FIP 2006-01			PERIODO INVIERNO		
	n	Estadístico (SW)	Valor P	n	Estadístico (SW)	Valor P
lognormal						
Densidad de huevos	59	0,955	0,03	338	0,077	0,04
Densidad de larvas	113	0,97	0,06	714	0,04	0,26

Tabla 7. Categorías por densidad

Categoría	Intervalo (t/mn ²)	Calificación de densidad
I	1 - 75	Muy baja
II	76 - 150	Baja
III	151 - 300	Densa
IV	301 - >	Muy densa



Tabla 8. Valores m3ximos y m3nimos de las principales variables monitoreadas en los cruceros MOBIO de septiembre y diciembre de 2006 y marzo de 2007.

VARIABLE OBSERVADA	M3XIMO						M3NIMO					
	VALOR	ESTACI3N	LATITUD	LONGITUD	TRANS	D.COST (mn)	VALOR	ESTACI3N	LATITUD	LONGITUD	TRANS	D.COST (mn)
S Temperatura superficial (°C)	18,63	96	18 ° 25 'S	71 ° 2 'W	T5	40	11,65	14	31 ° 14 'S	71 ° 41 'W	T11	1
E Salinidad superficial (psu)	35,14	90	19 ° 40 'S	71 ° 57 'W	T4	100	33,91	5	32 ° 8 'S	72 ° 23 'W	T12	40
P Densidad superficial (sigma-t)	26,24	14	31 ° 14 'S	71 ° 41 'W	T11	1	25,14	65	22 ° 20 'S	70 ° 26 'W	T2	10
T Anomalia de temperatura sup. (°C)	2,2	65	22 ° 20 'S	70 ° 26 'W	T2	10	-1,8	103	19 ° 20 'S	70 ° 20 'W	T5	5
I Anomalia de salinidad sup. (psu)	0,09	83	20 ° 23 'S	70 ° 36 'W	Diag T3-T4	25	-0,33	48	25 ° 0 'S	71 ° 45 'W	T6	70
E Prof. Isoterma de 15°C (m)	65	49	25 ° 0 'S	72 ° 19 'W	T6	100	0	42	26 ° 20 'S	70 ° 39 'W	T7	1
M Anomalia prof. Isoterma de 15°C (m)	27	49	25 ° 0 'S	72 ° 19 'W	T6	100	-38	93	18 ° 43 'S	72 ° 30 'W	inter T4-T5	100
B Oxigeno disuelto superficial (mL/L)	7,56	98	18 ° 25 'S	70 ° 30 'W	T5	10	2,51	103	19 ° 20 'S	70 ° 20 'W	T5	5
R Espesor de la capa de mezcla (m)	66	8	31 ° 14 'S	73 ° 37 'W	T11	100	0	9 / 101	*	*	T11 / T5-T4	70 / 4
E Profundidad final termoclina (m)	94	20	30 ° 20 'S	73 ° 2 'W	T10	70	9	103	19 ° 20 'S	70 ° 20 'W	T5	5
Temperatura final termoclina (°C)	16,84	87	19 ° 40 'S	70 ° 32 'W	T4	20	11,68	16	30 ° 20 'S	71 ° 46 'W	T10	5
2 Espesor de la termoclina (m)	25	92	19 ° 3 'S	72 ° 1 'W	inter T4-T5	100	2	**	**	**	**	**
0 Gradiente promedio termoclina (°C/m)	0,49	90	19 ° 40 'S	71 ° 57 'W	T4	100	0,10	17 / 20	*	*	T10 / T10	10 / 70
0 Prof. gradiente. m3ximo de la termocl (m)	90	20	30 ° 20 'S	73 ° 2 'W	T10	70	6	103	19 ° 20 'S	70 ° 20 'W	T5	5
6 M3ximo gradiente termoclina (°C/m)	0,94	78	21 ° 0 'S	70 ° 53 'W	T3	40	0,11	20	30 ° 20 'S	73 ° 2 'W	T10	70
Profundidad de inicio de la capa de m3nimo OD	200	7 / 49	*	*	T12 / T6	100 / 100	9	103	19 ° 20 'S	70 ° 20 'W	T5	5
Temperatura superficial (°C)	23,10	17	19 ° 40 'S	70 ° 32 'W	T4	20	15,14	34	22 ° 46 'S	70 ° 20 'W	Inter T2-T1	1
D Salinidad superficial (psu)	35,34	10	18 ° 25 'S	72 ° 4 'W	T5	100	34,63	49	23 ° 40 'S	70 ° 46 'W	T1	20
I Densidad superficial (sigma-t)	25,78	34	22 ° 46 'S	70 ° 20 'W	Inter T2-T1	1	24,07	22	20 ° 35 'S	71 ° 3 'W	Diag T4-T3	50
C Anomalia de temperatura sup. (°C)	3,6	17	19 ° 40 'S	70 ° 32 'W	T4	20	-3,0	32	21 ° 38 'S	70 ° 10 'W	Inter T3-T2	1
I Anomalia de salinidad sup. (psu)	0,34	17	19 ° 40 'S	70 ° 32 'W	T4	20	-0,23	22	20 ° 35 'S	71 ° 3 'W	Diag T4-T3	50
E Prof. Isoterma de 15°C (m)	61	12 / 15	*	*	T5-T4 / T4	100 / 70	6	103	23 ° 1 'S	70 ° 25 'W	Fija Mej	2
M Anomalia prof. Isoterma de 15°C (m)	27	17	19 ° 40 'S	70 ° 32 'W	T4	20	-28	22	20 ° 35 'S	71 ° 3 'W	Diag T4-T3	50
B Oxigeno disuelto superficial (mL/L)	7,68	2	19 ° 3 'S	70 ° 23 'W	Inter T5-T4	1	2,97	32	21 ° 38 'S	70 ° 10 'W	Inter T3-T2	1
R Espesor de la capa de mezcla (m)	16	15	19 ° 40 'S	71 ° 25 'W	T4	70	0	**	**	**	**	**
E Profundidad final termoclina (m)	62	16	19 ° 40 'S	70 ° 52 'W	T4	40	9	33	22 ° 0 'S	70 ° 12 'W	Inter T3-T2	1
Temperatura final termoclina (°C)	19,21	43	22 ° 40 'S	72 ° 5 'W	inter T2-T1	100	13,44	45	23 ° 20 'S	72 ° 10 'W	inter T2-T1	100
2 Espesor de la termoclina (m)	45	16	19 ° 40 'S	70 ° 52 'W	T4	40	4	33	22 ° 0 'S	70 ° 12 'W	inter T3-T2	1
0 Gradiente promedio termoclina (°C/m)	0,56	52	23 ° 40 'S	70 ° 26 'W	T1	1	0,12	30	21 ° 0 'S	70 ° 12 'W	T3	1
0 Prof. gradiente. m3ximo de la termocl (m)	37	48	23 ° 40 'S	71 ° 8 'W	T1	40	5	19	19 ° 40 'S	70 ° 16 'W	T4	5
6 M3ximo gradiente termoclina (°C/m)	1,70	22	20 ° 35 'S	71 ° 3 'W	Diag T4-T3	50	0,18	30	21 ° 0 'S	70 ° 12 'W	T3	1
Profundidad de inicio de la capa de m3nimo OD	109	42	22 ° 20 'S	72 ° 2 'W	T2	100	9	34	22 ° 46 'S	70 ° 20 'W	Inter T2-T1	1
Temperatura superficial (°C)	24,82	46	18 ° 25 'S	71 ° 33 'W	T5	70	16,18	35	19 ° 40 'S	70 ° 12 'W	T4	1
Salinidad superficial (psu)	35,30	30	21 ° 0 'S	71 ° 25 'W	T3	70	34,50	15	22 ° 20 'S	70 ° 58 'W	T2	40
Densidad superficial (sigma-t)	25,58	35	19 ° 40 'S	70 ° 12 'W	T4	1	23,50	43	19 ° 2 'S	71 ° 60 'W	inter T4-T5	100
M Anomalia de temperatura sup. (°C)	3,5	38	19 ° 40 'S	70 ° 32 'W	T4	20	-3,4	49	18 ° 25 'S	70 ° 30 'W	T5	10
A Anomalia de salinidad sup. (psu)	0,15	10	23 ° 20 'S	72 ° 11 'W	inter T1-T2	100	-0,50	15	22 ° 20 'S	70 ° 58 'W	T2	40
R Prof. Isoterma de 15°C (m)	90	31	21 ° 0 'S	71 ° 57 'W	T3	100	7	5 / 23	*	*	T1 / T2-T3	1 / 1
Z Anomalia prof. Isoterma de 15°C (m)	34	31	21 ° 0 'S	71 ° 57 'W	T3	100	-45	12	22 ° 40 'S	72 ° 6 'W	inter T1-T2	100
O Oxigeno disuelto superficial (mL/L)	7,26	19	22 ° 20 'S	70 ° 16 'W	T2	1	3,70	51	18 ° 25 'S	70 ° 21 'W	T5	1
R Espesor de la capa de mezcla (m)	22	30	21 ° 0 'S	71 ° 25 'W	T3	70	0	**	**	**	**	**
2 Profundidad final termoclina (m)	66	30	21 ° 0 'S	71 ° 25 'W	T3	70	7	6 / Fija Me	*	*	T4 / Fija Mej	2 / 2
0 Temperatura final termoclina (°C)	22,11	31	21 ° 0 'S	71 ° 57 'W	T3	100	12,77	5	23 ° 40 'S	70 ° 26 'W	T1	1
0 Espesor de la termoclina (m)	40	8	23 ° 40 'S	71 ° 41 'W	T1	70	2	35	19 ° 40 'S	70 ° 12 'W	T4	1
7 Gradiente promedio termoclina (°C/m)	0,91	23	21 ° 40 'S	70 ° 10 'W	inter T2-T3	1	0,12	35	19 ° 40 'S	70 ° 12 'W	T4	1
Prof. gradiente. m3ximo de la termocl (m)	36	32	20 ° 48 'S	71 ° 30 'W	inter T3-T4	80	2	6	23 ° 28 'S	70 ° 40 'W	inter T1-T2	2
M3ximo gradiente termoclina (°C/m)	2,63	45	18 ° 25 'S	72 ° 5 'W	T5	100	0,13	35	19 ° 40 'S	70 ° 12 'W	T4	1
Profundidad de inicio de la capa de m3nimo OD	148	31	21 ° 0 'S	71 ° 57 'W	T3	100	9	25 / 53	**	**	T3 / T5-T4	1 / 2



Tabla 9. Bitácora de las estaciones con medición de transparencia del agua, profundidades del 1% de penetración de luz y CM. Septiembre 2006.

tran	est	dcost	Hora	Secchi	1%	capa de mezcla
T2	8	100	8:44	12	35,0	66
T2	9	70	13:06	15	44,0	0
T2	10	40	17:26	14	41,0	4
T3	15	1	8:30	14	41,0	7
T3	16	5	9:26	12	35,0	3
T3	17	10	10:41	16	47,0	4
T3	18	20	12:21	10	29,5	4
T3	19	40	15:27	10	29,5	5
T4	22	100	9:31	13	37,5	11
T4	23	70	13:45	12	35,0	4
T4	24	40	18:03	9	27,0	14
T5	29	1	12:20	15	44,0	5
T5	30	5	13:19	21	62,0	4
T5	31	10	14:23	18	53,0	4
T5	32	20	16:13	15	44,0	6
T6	36	100	16:40	17	50,0	7
T6	41	5	7:55	5	14,0	4
T8	53	70	10:03	14	41,0	5
T8	54	40	14:33	11	32,0	5
T8	55	20	18:14	6	17,5	8
T8-T9	61	1	10:15	5	14,0	4
T8-T9	62	1	11:45	6	17,5	4
T9	63	1	14:32	12	35,0	4
T9	64	5	15:57	8	25,0	5
T9	65	10	17:15	8	25,0	3
T9	69	100	8:06	12	35,0	19
T8-T9	70	100	11:30	11	32,0	13
T10	74	1	9:40	9	27,0	7
T10	75	5	10:40	5	14,0	6
T10	76	10	11:49	7	21,0	6
T10	77	20	13:47	8	25,0	8
T10	78	40	17:02	11	32,0	13
Diagonal	82		10:33	10	29,5	21
Diagonal	83		14:40	10	29,5	6
T11	89	70	11:10	12	35,0	10
T11	90	100	15:23	13	37,5	6
T12	96	40	11:29	15	44,0	3
T12	97	20	14:58	6	17,5	4
T12	98	10	17:16	6	17,5	3



Tabla 10. Bitácora de las estaciones con medición de transparencia del agua, profundidades del 1% de penetración de luz y CM. Diciembre 2006.

tran	est	dcost	Hora	Secchi	1%	capa de mezcla
T2-T1	1	1	7:46	9	27,0	0
T2-T1	2	1	10:30	3	9,0	0
T2-T1	3	1	13:35	7	21,0	0
T1	4	1	14:25	6	17,5	0
T1	5	5	18:20	8	25,0	0
T1	9	70	7:09	11	32,0	5
T1-T2	11	100	16:18	12	35,0	3
T1-T2	12	100	19:55	11	32,0	7
T2	15	70	7:53	6	17,5	16
T2	16	40	12:35	9	27,0	0
T2	17	20	16:25	8	25,0	0
Diagonal	21	20	11:33	8	25,0	3
Diagonal	22	40	15:37	10	29,5	0
Diagonal	23	70	20:55	13	37,5	3
T3	26	40	9:45	9	27,0	2
T3	27	20	16:04	8	25,0	4
T3	28	10	18:46	6	17,5	0
T3-T4	34	1	18:06	4	12,0	0
T4	40	40	7:45	15	44,0	2
T4	41	70	12:29	14	41,0	4
T4	42	100	17:14	14	41,0	4
T5	46	100	7:26	6	17,5	6
T5	47	70	12:15	13	37,5	0
T5	48	40	17:02	17	50,0	7
T5-T4	54	1	10:33	6	17,5	4
Fija	Arica	2		6	17,5	0
Fija	Iquique	2		4	12,0	0
Fija	Mejillones	2		4	12,0	0



Tabla 11. Bitácora de las estaciones con medición de transparencia del agua, profundidades del 1% de penetración de luz y CM. Marzo 2007.

tran	est	dcost	Hora	Secchi	1%	capa de mezcla
T1	3	10	7:24	4	12,0	3
T1	4	5	9:23	5	14,0	0
T1	5	1	10:57	4	12,0	0
Inter 1 -2	6		14:17	5	14,0	0
Inter 1 -2	7		18:19	4	12,0	0
T1	9	100	9:00	19	55,0	7
Inter 1 -2	10	100	13:05	18	53,0	0
Inter 1 -2	11	100	16:05	15	44,0	0
T2	15	40	8:54	9	27,0	0
T2	16	20	12:53	10	29,5	0
T2	17	10	15:27	8	25,0	0
T2	18	5	17:28	9	27,0	3
Inter 2 -3	22		10:48	8	25,0	0
Inter 2 -3	23		13:32	11	32,0	0
Inter 2 -3	24		16:05	6	17,5	0
T3	30	70	7:04	21	62,0	22
T3	31	100	11:29	18	53,0	2
Diag T3-T4	32	80	16:03	19	55,0	7
T4	35	1	10:01	6	17,5	0
T4	36	5	11:20	5	14,0	0
T4	37	10	12:54	2	6,0	0
T4	38	20	15:22	17	50,0	0
T4-T5	42	100	7:10	12	35,0	6
T4-T5	43	100	10:33	14	41,0	0
T4-T5	44	100	13:54	13	37,5	5
T5	45	100	17:22	15	44,0	12
T5	48	20	6:42	10	29,5	6
T5	49	10	9:16	5	14,0	0
T5	50	5	10:44	3	9,0	0
T5	51	1	12:53	5	14,0	0
T5-T4	52		15:43	6	17,5	0
T5-T4	53		18:24	5	14,0	0
Fija	Arica	2	11:37	5	14,0	0



Tabla 12. Selecci3n paso a paso de un modelo de efectos principales a partir de un modelo con interacci3n, basado en el criterio de informaci3n de Akaike. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

Clorofila

Modelo	AIC	R ²
LogC _{loa} ~ CM * Crucero + CF * Crucero	46,9	0,72
LogC _{loa} ~ CM + Crucero + CF + CM:Crucero	45,6	0,72
LogC _{loa} ~ CM + Crucero + CF	48,1	0,69

CM: Capa de Mezcla

CF: Capa F3tica

Clorofila Integrada

Modelo	AIC	R ²
LogC _{loInt} ~ MGT * Crucero + ET * Crucero	90,8	0,28
LogC _{loInt} ~ MGT + Crucero + ET + ET:Crucero	91,8	0,25
LogC _{loInt} ~ MGT + Crucero + ET	92,1	0,23

MGT: M3ximo gradiente de la termoclina

ET: Espesor de la termoclina

Clorofila Total

Modelo	AIC	R ²
LogC _{lot} ~ Fliv	418	0,42
LogC _{lot} ~ Fliv + Crucero	415	0,45
LogC _{lot} ~ Fliv + Crucero + Fliv x Crucero	406	0,49
LogC _{lot} ~ Fliv + Fliv ² + Crucero	393	0,53

Fliv : fluorescencia in vivo



Tabla 13. Tabla de análisis de varianza para el modelo seleccionado en el procedimiento paso a paso, asociado al modelamiento de la concentración de clorofila-a. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

$$\text{A) } \text{Log(Clo-a)} = \beta_0 + \beta_1 \text{CM} + \beta_2 \text{Dic} + \beta_3 \text{Mar} + \beta_4 \text{CF} + b_5(\text{CMxDic}) + b_6(\text{CMxMar})$$

Suma de Cuadrados tipo III

	GL	SSC	CCM	F	P(F)
CM	1	1,9	1,9	4	N.S.
Crucero	2	2,6	1,3	3	N.S.
CF	1	69,1	69,1	136	< 0,01
CM:Crucero	2	4,1	2,1	4	< 0,05
Residuales	76	38,5	0,5		

CM: Capa de Mezcla

Dic: Diciembre 2006

Mar: Marzo 2007

CF: Capa Fótica

NS : Diferencias no significativas

$$\text{B) } \text{Log(Clo-a)} = \beta_0 + \beta_1 \text{CM} + \beta_2 \text{Dic} + \beta_3 \text{Mar} + \beta_4 \text{CF}$$

Suma de Cuadrados tipo III

	GL	SSC	CCM	F	P(F)
CF	1	89,1	89,1	161	< 0,01
Crucero	2	4,1	2	4	< 0,05
Residuales	79	43,8	0,6		

CF: Capa Fótica

Mar: Marzo 2007

Dic: Diciembre 2006

Tabla 14. Resultados de la prueba de hipótesis respecto a las diferencias por crucero de la concentración de clorofila-a. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

Hipotesis	Wa	Chi	df	p.v.
Ho: Sep = Dic = Mar	7,33	5,99	2	< 0,05
Ho: Sep = Dic	7,33	3,84	1	< 0,01
Ho: Sep = Mar	2,32	3,84	1	N.S.
Ho: Dic = Mar	1,87	3,84	1	N.S.

NS : Diferencias no significativas



Tabla 15. Tabla de análisis de varianza para los efectos principales, ajustados a la clorofila integrada, según selección paso a paso (A) y modelo seleccionado (B). Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

$$\text{A) } \text{Log(Clolnt)} = \beta_0 + \beta_1\text{MGT} + \beta_2\text{Dic} + \beta_3\text{Mar} + \beta_4\text{ET} + b_5(\text{MGTxDic}) + b_6(\text{MGTxMar}) + b_7(\text{ETxDic}) + b_8(\text{ETxMar})$$

Suma de Cuadrados tipo III

	GL	SSC	CCM	F	P(F)
MGT	1	1,5	1,48	2,9	N.S.
Crucero	2	3,1	1,56	3,1	< 0,05
ET	1	7,5	7,54	15	< 0,01
MGTxCrucero	2	2,9	1,47	2,9	N.S.
ETxCrucero	2	2,3	1,13	2,2	N.S.
Residuos	162	81,7	0,5		

MGT: Máximo gradiente de la termoclina

Dic: Diciembre 2006

Mar: Marzo 2007

ET: Espesor de la termoclina

NS : Diferencias no significativas

$$\text{B) } \text{Log(Clolnt)} = \beta_0 + \beta_1\text{ET} + \beta_2\text{Dic} + \beta_3\text{Mar}$$

Suma de Cuadrados tipo III

	GL	SSC	CCM	F	P(F)
ET	1	14,6	14,6	27,8	< 0,01
Crucero	2	20,4	10,2	19,4	< 0,01
Residuos	167	87,7	0,5		

ET: Espesor de la termoclina

Dic: Diciembre 2006

Mar: Marzo 2007

Tabla 16. Resultados de la prueba de hipótesis respecto a las diferencias por crucero de la concentración de clorofila integrada. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

Hipotesis	Wa	Chi	df	p.v.
Ho: Sep = Dic = Mar	38,9	5,99	2	< 0,01
Ho: Sep = Dic	38,66	3,84	1	< 0,01
Ho: Sep = Mar	15,72	3,84	1	< 0,01
Ho: Dic = Mar	6,42	3,84	1	< 0,05



Tabla 17. Tabla de an3lisis de varianza para los efectos principales, ajustados a la clorofila total, segun modelo seleccionado. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

$$\text{Log(Clot)} = \beta_0 + \beta_1\text{Fliv} + \beta_2\text{Fliv}^2 + \beta_3\text{Dic} + \beta_4\text{Mar}$$

Suma de Cuadrados tipo III

	GL	SSC	CCM	F	P(F)
Fliv	1	45	45,1	62,9	< 0,01
Fliv ²	1	18	17,8	24,8	< 0,01
Crucero	2	9	4,7	6,5	< 0,01
Residuals	149	107	0,7		

Fliv : fluorescencia in vivo

Dic: Diciembre 2006

Mar: Marzo 2007

Tabla 18. Resultados de la prueba de hip3tesis respecto a las diferencias por crucero de la concentraci3n de clorofila total. Cruceros realizados entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

Hipotesis	Wa	Chi	df	p.v.
Ho: Sep = Dic = Mar	13,1	5,99	2	< 0,01
Ho: Sep = Dic	0,43	3,84	1	N.S.
Ho: Sep = Mar	6,47	3,84	1	< 0,05
Ho: Dic = Mar	11,75	3,84	1	< 0,01

Tabla 19. Tabla de an3lisis de varianza para los efectos principales, crucero (septiembre - diciembre), profundidad (0-5, 10-30 y 50-10 m) y filtro (0,2 – 0,7 μm), con sus respectivas interacciones.

	GL	Suma de Cuadrados Tipo III	Cuadrado Medio	F	valor-p
Crucero	1	15	15	14	0,00
Filtro	1	0	0	0	0,62 *
Profundidad	2	361	180	163	0,00
Crucero:Filtro	1	0	0	0	0,92 *
Crucero:Profundidad	2	0	0	0	0,91 *
Filtro:Profundidad	2	0	0	0	0,86 *
Crucero:Filtro:Profundidad	2	0	0	0	0,99 *
Residuals	310	342	1		

* Efecto no significativo del factor o interacci3n



Tabla 20. Densidad promedio, constancia y dominancia numérica de huevos de peces. Cruceros MOBIO 2006/2007.

Especie	Crucero	Númer. Estació Positiv	Número de Huevos	Densidad Promedio Estaciones Totales	Densidad Promedio Estaciones Positivas	Constancia o Frecuencia (%)	Dominancia Numérica (%)
<i>Sardinops sagax</i>	Septiembre	4	172	2	43	3,88	0,05
	Diciembre						
	Marzo						
	Total	4	172				
<i>Engraulis ringens</i>	Septiembre	29	302838	2940	10443	28,16	88,98
	Diciembre	16	317666	5883	19584	29,63	66,57
	Marzo	18	45275	838	2515	33,33	42,90
	Total	63	665779	3155	10567	29,86	72,12
<i>Trachurus murphyi</i>	Septiembre	10	3140	30	314	9,71	0,92
	Diciembre	1	1152				
	Marzo						
	Total	11	4292	20	390	5,21	0,46
<i>Scomber japonicus</i>	Septiembre	2	129	2	65	1,94	0,05
	Diciembre	1	131				
	Marzo	2	581	11	291	3,70	0,55
	Total	5	841	48	168	2,36	0,09
Otras especies	Septiembre	80	34080	331	426	77,67	10,01
	Diciembre	40	158245	2930	3956	74,07	33,16
	Marzo	41	59688	1105	1456	75,93	56,55
	Total	161	252013	1194	1565	76,30	27,30
Total Huevos	Septiembre	87	340359	3304	3912	84,47	100,0
	Diciembre	47	477195	8837	10153	87,04	100,0
	Marzo	45	105544	1955	2345	83,33	100,0
	Total	179	923098	4375	5157	84,83	100,0



Tabla 21. Densidad promedio, constancia y dominancia numérica de larvas de peces. Cruceros MOBIO 2006/2007.

Especie	Crucero	Número de Estaciones Positivas	Número de Larvas	Densidad Promedio Estaciones Totales	Densidad Promedio Estaciones Positivas	Constancia o Frecuencia (%)	Dominancia Numérica (%)
<i>Sardinops sagax</i>	Septiembre						
	Diciembre	1	30				
	Marzo						
	Total	1	30				
<i>Engraulis ringens</i>	Septiembre	56	106538	1034	1902	54,37	68,70
	Diciembre	35	29604	548	846	64,81	35,71
	Marzo	32	27056	501	846	59,26	38,96
	Total	123	163198	773	1327	58,29	53,08
<i>Trachurus murphyi</i>	Septiembre	5	358	3	72	4,85	0,23
	Diciembre	4	223	4	56	7,41	0,27
	Marzo						
	Total	9	581	3	65	4,26	0,19
<i>Scomber japonicus</i>	Septiembre	1	102				
	Diciembre	4	170	3	43	7,41	0,21
	Marzo	2	66	1	33	3,70	0,005
	Total	7	338	2	48	3,31	0,11
Otras especies	Septiembre	98	48075	467	491	95,15	31,00
	Diciembre	48	52867	979	1101	88,89	63,78
	Marzo	47	42322	784	900	87,04	60,94
	Total	193	143264	679	742	91,47	46,60
Total Larvas	Septiembre	99	155072	1506	1566	96,12	100,0
	Diciembre	54	82895	1535	1535	100,0	100,0
	Marzo	53	69444	1286	1310	98,15	100,0
	Total	206	307411	1457	1492	97,63	100,0



Tabla 22. Estimaciones de la densidad media, varianza y coeficiente de variación de la abundancia de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros estacionales MOBIO. Zona Arica – Antofagasta.

Huevos	Media Est. Totales	V(media Est. Totales)	CV (%)	Media D. Delta	V(media D. Delta)	CV (%)
Invierno 2003	10691	23967048,2	46,0	14455,6	18416620,7	29,7
Primavera 2003	2102	1305299,1	54,0	2309,6	593166,7	33,0
Verano 2004	1460	907697,9	65,0	145,0	2893,7	37,0
Otoño 2004	881	232804,2	55,0	25989,6	119097620,9	41,0
Invierno 2004	15115	45974497,4	45,0	71178,8	14918819,01	54,0
Invierno 2005	8303	21522216,1	56,0	9251,5	31763697,8	60,9
Primavera 2005	3451	3172673,0	52,0	4164,9	5070000,3	54,0
Verano 2006	4459	1970303,7	31,0	9829,4	36797670,4	62,0
Invierno 2006	4199	3441822,9	44,0	8722,6	37300448,6	70,0
Primavera 2006	5883	14257339,1	64,0	1559,3	202136,7	28,8
Verano 2007	838	115692,0	41,0	12031,2	22459713,2	39,0
Larvas						
Invierno 2003	3301	1867911,9	41,0	4459,2	2568872,5	35,9
Primavera 2003	205	5112,0	35,0	36,4	33,04	15,7
Verano 2004	303	12975,3	38,0	30,3	21,93	15,4
Otoño 2004	237	6146,2	33,0	751,1	21054,7	19,0
Invierno 2004	1547	97622,1	20,0	2010,6	442588,1	33,0
Invierno 2005	2187	243215,3	23,0	2319,2	397292,1	27,1
Primavera 2005	1201	184764,1	36,0	1260,3	255796,5	40,0
Verano 2006	1384	203772,3	33,0	1832,1	639817,9	43,0
Invierno 2006	1886	199821,0	24,0	2384,8	652603,6	33,0
Primavera 2006	548	32285,6	33,0	531,0	29729,5	32,5
Verano 2007	501	13219,8	23,0	1585,9	85333,2	18,4



Tabla 23. Abundancia de huevos y larvas de anchoveta recolectados a diferentes estratos de profundidad en la zona Arica – Antofagasta. Cruceros estacionales MOBIO 2006/2007.

Huevos					
Intervalo de profundidad (m)	N° Estaciones positivas	Media Est (+)	Mínimo Est (+)	Máximo Est (+)	D.S.
Septiembre 2006					
0 – 10	14	4065	21	46669	12321,6
10 – 25	11	2107	24	8235	2687,0
25 – 50	12	2645	22	8378	3181,0
Diciembre 2006					
0 – 10	10	1714	37	8723	3231,7
10 – 25	7	8529	22	48075	17736,6
25 – 50	4	302	55	467	175,0
Marzo 2007					
0 – 10	8	1909	30	8466	3193,8
10 – 25	4	1250	28	4708	2305,7
25 – 50	3	309	49	753	386,3
Larvas					
Intervalo de profundidad (m)	N° Estaciones positivas	Media Est (+)	Mínimo Est (+)	Máximo Est (+)	D.S.
Septiembre 2006					
0 – 10	15	268	21	1133	281,9
10 – 25	18	1150	25	5978	1522,6
25 – 50	12	1125	18	6488	2000,5
Diciembre 2006					
0 – 10	10	50	9	204	56,0
10 – 25	14	254	35	985	328,1
25 – 50	7	134	39	288	96,1
Marzo 2007					
0 – 10	11	214	31	895	261,8
10 – 25	14	115	20	305	90,30
25 – 50	7	160	55	342	115,3



Tabla 24. Biomasa promedio y rangos del zooplancton por crucero. Serie Invierno 1983/2006.

Crucero	Fecha	N	Mínimo	Máximo	Promedio	Sd	CV(%)
277(3)83ITCP		40	15	344	82	58,39	0,71
288(3)84 CP		34	16	259	75	51,20	0,69
299(3)85 CP	04/08 - 17/08	41	12	698	121	136,28	1,12
305(3)86 CP	07/08 - 25/08	46	5	1659	139	243,34	1,75
310(3)87 CP	03/08 - 20/08	69	5	430	93	68,37	0,74
318(3)88 CP	10/08 - 29/08	57	17	778	172	143,1	0,83
326(3)89 CP	21/08 - 11/08	67	24	1231	233	214,72	0,92
334(3)90 CP	27/07 - 31/08	62	37	1474	263	256,11	0,98
338(3)91 AM	17/07 - 27/08	115	4	961	246	186,78	0,76
354(3)92 CP	06/09 - 01/10	137	19	2884	262	458,70	1,75
362(3)93 CP	02/08 - 17/09	118	57	1123	242	205,58	0,85
370(3)94 CP	23/08 - 01/10	119	14	4002	471	479,35	1,02
383(3)95 CP	06/08 - 16/09	117	8	1016	253	178,33	0,71
394(3)96 CP	31/08 - 09/09	34	79	484	240	103,24	0,43
404(3)97 CP	15/08 - 22/08	34	61	534	197	95,12	0,48
416(3)98 CP	24/08 - 03/09	35	47	2552	300	457,50	1,53
425(3)99 CP	16/09 - 25/09	50	54	701	254	131,6	0,52
436(3)00 CP	06/09 - 15/09	47	84	726	304	130,1	0,43
447(3)01 CP	17/09 - 29/09	61	4	552	209	119,8	0,57
456(3)02 CP	15/09 - 03/10	59	85	1215	377	203,6	0,54
464(3)03 CP		53	80	921	304	181,9	0,60
471(3)04 CP		54	73	2135	375	330,8	0,88
477(3)05 CP	01/09 - 16/10	54	28	988	318	231,2	0,73
487(3)06 AM	02/09 - 22/09	54	89	1691	375	367,4	0,98



Tabla 25. Biomasa promedio y rangos del zooplancton por crucero. Serie Primavera 1993/2006.

Crucero	Fecha	N	Mínimo	Máximo	Promedio	Sd	CV(%)
364(4)93 AM	23/11 - 29/11	70	17	911	263	174,4	0,66
1994							
1995							
396(4)96 AM	11/12 - 16/12	35	165	1682	585	377,2	0,65
408(4)97 CP	12/12 - 19/12	35	63	1331	450	318,6	0,71
319(4)98CP	12/12 - 18/12	47	26	685	202	133,9	0,66
427(4)99CP	30/11 - 10/12	41	93	6622	621	1052,2	1,69
438(4)00CP		47	38	955	256	164	0,64
449(4)01CP	11/12 - 18/12	47	46	1436	331	226,0	0,68
457(4)02CP	10/12 - 17/12	50	71	767	347	157,1	0,45
465(4)03CP	9/12 - 19/12	53	13	1344	240	302,2	1,26
478(4)05 CP	2/12 - 13/12	52	54	862	321	179,1	0,56
489(4)06 AM	7/12 - 15/12	54	30	1669	267	256,6	0,96

Tabla 26. Biomasa promedio y rangos del zooplancton por crucero. Serie Primavera 1993/2006.

Crucero	Fecha	N	Mínimo	Máximo	Promedio	Sd	CV(%)
1993							
365(1)94 AM	28/02-10/03	69	53	1792	280		
1995							
398(1)97 CP	18/03-26/03	35	72	1082	258	189	1
410(1)98CP	28/02-08/03	35	66	456	176	85	0
420(1)99 AM	22/02-02/03	49	54	1268	270	224	1
430(1)00CP	25/02-03/03	47	68	1933	374	359	1
441(1)01CP	26/02-08/03	47	84	726	304	130	0
451(1)02CP	27/02-07/03	47	15	993	263	177	1
460(1)03AM	10/03 - 19/03	50	75	3193	392	432	1
467(1)04CP	10/04 - 19/04	52	50	1033	351	236	1
481(1)06CP	10/06 - 20/06	53	64	2027	247	302,54	1,23
493(1)07AM	17/03 - 31/03	54	5	1506	336	331	1



Tabla 27. Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta, Zona Antofagasta – Arica en invierno de 1984 – 2006.

Año	Índice Larval (L)	Varianza de (L) (VarL)	Varianza logaritmo (L) (VarlogL)	Límite inferior (LI)	Límite superior (LS)
1984	1,61E+11	2,15E+21	0,0797	7,00E+10	2,52E+11
1985	2,16E+13	6,29E+25	0,1265	6,05E+12	3,72E+13
1986	6,40E+12	1,36E+24	0,0327	4,11E+12	8,68E+12
1987	1,68E+12	2,11E+23	0,0721	7,80E+11	2,58E+12
1988	4,19E+12	5,96E+23	0,0334	2,77E+12	5,61E+12
1989	8,86E+12	8,33E+24	0,1009	3,54E+12	1,42E+13
1990	3,15E+12	1,21E+24	0,1151	1,00E+12	5,30E+12
1991	8,16E+11	3,67E+22	0,0537	4,40E+11	1,19E+12
1992	3,29E+12	3,19E+23	0,0290	2,18E+12	4,40E+12
1993	8,08E+12	7,04E+23	0,0107	6,44E+12	9,73E+12
1994	1,84E+13	1,07E+25	0,0311	1,20E+13	2,48E+13
1995	5,09E+12	8,32E+23	0,0316	3,31E+12	6,88E+12
1996	5,42E+12	7,03E+24	0,2146	2,21E+11	1,06E+13
1997	6,84E+12	4,37E+24	0,0893	2,74E+12	1,09E+12
1998	1,20E+12	4,47E+23	0,2703	-1,11E+11	2,51E+12
1999	3,62E+12	2,40E+24	0,1682	5,84E+11	6,65E+12
2000	4,18E+12	8,47E+23	0,0473	2,37E+12	5,98E+12
2001	2,47E+12	4,89E+23	0,0771	1,10E+12	3,84E+12
2002	5,72E+12	4,51E+24	0,1291	1,56E+12	9,88E+12
2003	9,28E+12	1,27E+25	0,1376	2,30E+12	1,63E+13
2004	5,23E+12	1,07E+24	0,0384	3,21E+12	7,26E+12
2005	5,94E+12	2,08E+24	0,0574	3,11E+12	8,76E+12
2006	5,65E+12	1,69E+24	0,0516	3,10E+12	8,20E+12

Tabla 28. Estimación del índice de abundancia larval para sardina, Zona Antofagasta – Arica en invierno de 1984 – 2006.

Año	Índice Larval (L)	Varianza de (L) (VarL)	Varianza logaritmo (L) (VarlogL)	Límite inferior (LI)	Límite superior (LS)
1983	1,74E+12	3,92E+23	0,1218	5,13E+11	2,97E+12
1984	6,08E+11	2,77E+11	0,0000	2,81E+11	9,34E+11
1985	2,43E+11	7,71E+21	0,1227	7,05E+10	4,15E+11
1986	8,40E+11	5,56E+22	0,0758	3,77E+11	1,30E+12
1987	6,38E+11	1,41E+23	0,2974	-9,76E+10	1,37E+12
1988	5,22E+11	2,19E+22	0,0773	2,32E+11	8,12E+11
1989	3,03E+11	9,61E+21	0,0996	1,11E+11	4,95E+11
1990	2,34E+11	5,46E+21	0,0951	8,97E+10	3,79E+11
1991	4,60E+10	8,73E+20	0,3454	-1,17E+10	1,04E+11
1992	1,70E+11	1,34E+21	0,0453	9,82E+10	2,41E+11
1993	1,07E+11	2,08E+21	0,1669	1,76E+10	1,96E+11
1994	1,24E+11	2,08E+21	0,1269	3,43E+10	2,13E+11
1995	4,90E+10	1,96E+20	0,0785	2,15E+10	7,64E+10
1996	2,00E+10	1,93E+20	0,3937	-7,29E+09	4,72E+10
1997	3,30E+10	5,83E+20	0,4288	-1,40E+10	8,06E+10
1998	2,90E+10	4,17E+20	0,4027	-1,09E+10	6,91E+10
1999	1,58E+11	1,47E+22	0,4630	-7,91E+10	3,96E+11
2000	5,10E+10	1,72E+21	0,5076	-3,06E+10	1,32E+11
2001	1,82E+11	1,67E+22	0,4082	-7,14E+10	4,35E+11
2002	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-
2004	4,00E+09	8,62E+18	0,431	-1,56E+09	9,95E+09
2005	-	-	-	-	-
2006	-	-	-	-	-



Tabla 29. Densidad promedio, constancia y dominancia numérica de huevos de sardina, anchoveta y jurel. Área comparativa: Antofagasta – Coquimbo 0 – 10 mn. Invierno: 1983 – 2006.

E S P E C I E	Año	Número de estaciones positivas	Número de huevos	Densidad promedio por estaciones		Constancia o Frecuencia (%)	Dominancia numérica (%)
				Totales	Positivas		
Sardinops sagax	1983	12	12336	649	1028	63,2	67,4
	1984	8	13455	336	1682	20,0	60,4
	1986	7	4465	223	638	35,0	19,5
	1987	16	6970	162	436	37,2	12,8
	1991	11	4138	61	376	16,2	34,9
	1993	9	3218	34	358	9,5	3,9
	1994	29	9139	79	315	25,2	2,3
	1995	17	5008	44	295	14,8	1,5
	2004	0	0	0	0	0,0	0,0
	2005	0	0	0	0	0,0	0,0
2006	3	144	3	48	6,1	0,2	
Engraulis ringens	1983	0	0	0	0	0,0	0,0
	1984	14	3127	78	223	35,0	14,0
	1986	15	17379	869	1159	75,0	75,8
	1987	21	26427	615	1258	48,8	48,6
	1991	0	0	0	0	0,0	0,0
	1993	8	23893	252	2987	8,4	29,1
	1994	32	347088	3018	10847	27,8	87,4
	1995	27	289577	2518	10725	23,5	86,3
	2004	15	7623	212	508	41,7	52,9
	2005	6	3817	80	636	12,5	22,6
2006	4	76065	1552	19016	8,2	81,9	
Trachurus murphyi	1983	0	0	0	0	0,0	0,0
	1984	1	43	1	43	2,5	0,2
	1986	1	32	2	32	5,0	0,1
	1987	13	1790	42	138	30,2	3,3
	1991	4	649	10	162	5,9	5,5
	1993	13	1373	14	106	13,7	1,7
	1994	43	11936	104	278	37,4	3,0
	1995	4	387	3	97	3,5	0,1
	2004	4	851	24	213	11,1	5,9
	2005	11	4265	89	388	22,9	25,2
2006	5	2472	50	494	10,2	2,7	



Tabla 30. Densidad promedio, constancia y dominancia numérica de larvas de sardina, anchoveta y jurel. Área comparativa: Antofagasta – Coquimbo 0 – 10 mn. Invierno: 1983 – 2006.

E S P E C I E	Año	Número de estaciones positivas	Número de larvas	Densidad promedio por estaciones		Constancia o Frecuencia (%)	Dominancia numérica (%)
				Totales	Positivas		
Sardinops sagax	1983	14	5492	289	392	73,7	44,6
	1984	6	5317	133	886	15,0	35,7
	1986	6	927	46	155	30,0	4,0
	1987	16	2050	48	128	37,2	5,1
	1991	20	3584	53	179	29,4	14,3
	1993	28	1659	17	59	29,5	3,1
	1994	24	4230	37	176	20,9	2,3
	1995	10	877	8	88	8,7	0,9
	2004	0	0	0	0	0,0	0,0
	2005	0	0	0	0	0,0	0,0
2006	0	0	0	0	0,0	0,0	
Engraulis ringens	1983	0	0	0	0	0,0	0,0
	1984	22	1423	36	65	55,0	9,6
	1986	14	16009	800	1144	70,0	69,8
	1987	33	23616	549	716	76,7	59,0
	1991	10	1015	15	102	14,7	4,0
	1993	42	9660	102	230	44,2	18,1
	1994	85	138691	1206	1632	73,9	76,6
	1995	68	62400	543	918	59,1	61,6
	2004	30	11032	306	368	83,3	42,7
	2005	12	4392	92	366	25,0	11,6
2006	10	4684	96	468	20,4	25,9	
Trachurus murphyi	1983	0	0	0	0	0,0	0,0
	1984	0	0	0	0	0,0	0,0
	1986	0	0	0	0	0,0	0,0
	1987	5	504	12	101	11,6	1,3
	1991	0	0	0	0	0,0	0,0
	1993	5	303	3	61	5,3	0,6
	1994	28	2866	25	102	24,3	1,6
	1995	0	0	0	0	0,0	0,0
	2004	0	0	0	0	0,0	0,0
	2005	4	758	16	190	8,3	2,0
2006	2	82	2	41	4,1	0,5	



Tabla 31. Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta, Zona Antofagasta – Arica en primavera de 1985 – 2006.

Año	Índice Larval (L)	Varianza de (L) (VarL)	Varianza logaritmo (L) (VarlogL)	Límite inferior (LI)	Límite superior (LS)
1985	1,98E+12	2,48E+23	0,0616	9,99E+11	2,95E+12
1986	1,61E+12	2,72E+23	0,0997	5,89E+11	2,63E+12
1987	1,91E+11	9,91E+21	0,2403	-3,76E+09	3,86E+11
1988	1,75E+12	8,24E+23	0,2380	-2,86E+10	3,53E+12
1989					
1990	5,02E+11	2,40E+22	0,0910	1,99E+11	8,06E+11
1991	2,17E+11	1,16E+22	0,2202	5,77E+09	4,29E+11
1992	7,54E+11	7,25E+22	0,1200	2,26E+11	1,28E+12
1993	3,25E+11	8,01E+21	0,0731	1,50E+11	5,01E+11
1994					
1995					
1996	2,69E+12	1,98E+24	0,2417	-6,37E+10	5,45E+12
1997	9,74E+11	1,35E+23	0,1330	2,53E+11	1,69E+12
1998	1,20E+12	2,69E+23	0,1702	1,87E+11	2,22E+12
1999	5,15E+12	1,20E+25	0,3731	-1,63E+12	1,19E+13
2000	1,08E+12	1,19E+23	0,0971	4,06E+11	1,76E+12
2001	1,24E+12	2,17E+23	0,1328	3,23E+11	2,15E+12
2002	8,54E+11	9,59E+22	0,1235	2,47E+11	1,46E+12
2003	6,64E+11	4,55E+22	0,0982	2,46E+11	1,08E+12
2004					
2005	3,29E+12	1,33E+24	0,1162	1,02E+12	5,55E+12
2006	1,62E+12	2,29E+23	0,0837	6,82E+11	2,56E+12



Tabla 32. Estimación del índice de abundancia larval para sardina, Zona Antofagasta – Arica en primavera de 1983 – 2006.

Año	Índice Larval (L)	Varianza de (L) (VarL)	Varianza logaritmo (L) (VarlogL)	Límite inferior (LI)	Límite superior (LS)
1983	4,60E+10	7,40E+20	0,2999	-7,19E+09	9,98E+10
1984					
1985	1,15E+11	2,93E+21	0,2001	8,49E+09	2,21E+11
1986	1,31E+12	1,23E+23	0,0695	6,20E+11	1,99E+12
1987	8,52E+11	1,64E+23	0,2037	5,83E+10	1,65E+12
1988	2,28E+11	8,39E+21	0,1496	4,80E+10	4,07E+11
1989					
1990	4,20E+10	3,27E+20	0,1701	6,13E+09	7,70E+10
1991	1,32E+11	2,92E+21	0,1549	2,65E+10	2,38E+11
1992	9,70E+10	1,43E+21	0,1415	2,30E+10	1,71E+11
1993					
1994					
1995					
1996					
1997	6,50E+10	1,32E+21	0,2719	-6,52E+09	1,36E+11
1998	2,20E+10	1,60E+20	0,2856	-2,68E+09	4,69E+10
1999	2,32E+11	4,88E+22	0,6454	-2,01E+11	6,65E+11
2000	5,00E+09	2,32E+19	0,6565	-4,62E+09	1,43E+10
2001					
2002					
2003					
2004					
2005					
2006	2,00E+09	4,39E+18	0,7407	-2,01E+09	6,21E+09



Tabla 33. Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta, Zona Antofagasta – Arica en verano de 1987 – 2007.

Año	Índice Larval (L)	Varianza de (L) (VarL)	Varianza logaritmo (L) (VarlogL)	Límite inferior (LI)	Límite superior (LS)
87	1,40E+10	2,09E+20	0,7258	4,56E+09	2,25E+10
88	4,24E+11	1,38E+22	0,0740	1,94E+11	6,54E+11
89	7,13E+11	6,31E+22	0,1170	2,20E+11	1,21E+12
90	8,14E+11	4,82E+22	0,0702	3,84E+11	1,24E+12
91	1,86E+12	5,49E+23	0,1476	5,05E+11	3,41E+12
92	1,32E+12	1,66E+23	0,0910	5,21E+11	2,12E+12
93					
94	9,12E+11	1,56E+23	0,1719	1,37E+11	1,69E+12
95					
96					
97	1,07E+12	6,52E+22	0,0550	5,73E+11	1,57E+12
98	4,37E+11	4,28E+22	0,2022	3,14E+10	8,42E+11
99	1,62E+12	1,76E+23	0,0650	7,98E+11	2,44E+12
'00	5,33E+12	7,42E+24	0,2322	-1,05E+10	1,07E+13
'01	2,25E+12	7,28E+23	0,1339	5,82E+11	3,93E+12
'02	1,82E+12	4,08E+23	0,1160	5,69E+11	3,07E+12
'03	6,63E+12	1,15E+25	0,2326	-1,95E+10	1,33E+13
'04	8,56E+11	1,00E+23	0,1279	2,35E+11	1,48E+12
'05					
'06	4,89E+12	2,31E+24	0,0922	1,91E+12	7,87E+12
'07	1,71E+12	1,54E+23	0,0513	9,38E+11	2,47E+12

Tabla 34. Estimación del índice de abundancia larval para sardina, Zona Antofagasta – Arica en verano de 1987 – 2007.

Año	Índice Larval (L)	Varianza de (L) (VarL)	Varianza logaritmo (L) (VarlogL)	Límite inferior (LI)	Límite superior (LS)
87	1,94E+11	4,14E+21	0,1044	6,83E+10	3,20E+11
88	2,92E+11	1,22E+22	0,1337	7,62E+10	5,08E+11
89	6,69E+11	9,86E+22	0,1991	5,34E+10	1,28E+12
90	8,80E+10	3,50E+21	0,3729	-2,81E+10	2,04E+11
91	4,20E+10	3,27E+20	0,1701	6,13E+09	7,70E+10
92	1,25E+11	2,06E+21	0,1238	3,63E+10	2,14E+11
93					
94					
95					
96					
97	1,30E+10	1,03E+20	0,4759	-6,93E+09	3,28E+10
98					
99	1,25E+11	1,55E+21	0,0946	4,76E+10	2,02E+11
'00	5,76E+11	3,12E+23	0,6629	-5,19E+11	1,67E+12
'01	1,69E+11	2,53E+22	0,6344	-1,43E+11	4,80E+11
'02	5,00E+09	2,32E+19	0,6565	-4,62E+09	1,43E+10
'03	1,80E+10	3,28E+20	0,6993	-1,74E+10	5,36E+10
'04					
'05					
'06					
'07					



Tabla 35. Síntesis por año del número de estaciones totales, número de estaciones sin y con presencia de huevos y larvas de anchoveta y densidad media de las estaciones positivas, Cruceros realizados en la I y II Región, en la estación de invierno.

	AÑO														Promedio histórico
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Estaciones	80	115	118	34	34	35	49	46	51	50	52	54	53	54	59
Estac. sin huevos	33	54	68	25	19	32	39	27	38	23	30	22	27	29	33
Estac. con huevos	46	59	49	9	14	2	9	19	10	23	19	26	26	25	24
Densidad media de huevos / 10 m ²	2218,6	5955,5	3476,5	5123,6	3086,8	404,0	431,7	2574,1	6067,4	4849,9	3433,3	4424,7	17245,0	9070,9	4883,0
Estac. sin larvas	4	11	5	1	0	15	16	8	23	5	11	0	7	8	8
Estac. con larvas	76	104	113	33	34	20	33	38	28	45	41	54	46	46	51
Densidad media de larvas / 10 m ²	2528,7	4475,7	1503,0	1572,3	1780,0	550,7	1503,1	1523,6	1825,3	2315,1	2731,4	1547,5	2446,3	2214,2	2036,9



Tabla 36. Resumen de estadísticas descriptivas por año para las variables longitud, latitud, temperatura superficial, salinidad superficial y densidad de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Regi3n, en la estaci3n de invierno.

		Año														Promedio histórico
		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
Longitud (° W)	Min	-72,22	-72,39	-72,39	-72,07	-72,22	-72,22	-72,21	-72,20	-72,35	-72,36	-72,22	-72,22	-72,23	-72,23	-72,25
	Max	-70,12	-70,12	-70,12	-70,18	-70,19	-70,18	-70,17	-70,13	-70,19	-70,14	-70,11	-70,12	-70,12	-70,14	-70,15
	Range	2,10	2,27	2,27	1,89	2,03	2,04	2,04	2,07	2,16	2,22	2,11	2,10	2,11	2,09	2,11
	Mean	-70,88	-70,89	-70,87	-70,86	-70,86	-70,90	-70,97	-71,02	-70,99	-70,91	-70,88	-70,91	-70,84	-70,94	-70,91
	Median	-70,63	-70,65	-70,64	-70,61	-70,61	-70,60	-70,67	-70,82	-70,72	-70,67	-70,61	-70,62	-70,60	-70,61	-70,65
	S.D.	0,63	0,63	0,61	0,58	0,61	0,63	0,72	0,71	0,68	0,62	0,60	0,64	0,59	0,69	0,64
Latitud (° S)	Min	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-24,33	-24,33	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,76
	Max	-18,38	-18,40	-18,40	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,41
	Range	5,29	5,27	5,27	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,91	5,91	5,25	5,25	5,25	5,25	5,35
	Mean	-20,18	-20,99	-21,00	-20,94	-20,98	-21,05	-21,08	-21,03	-21,47	-21,48	-21,01	-21,11	-21,07	-21,07	-21,03
	Median	-20,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-21,00	-20,93
	S.D.	1,21	1,63	1,64	1,85	1,89	1,86	1,71	1,80	2,08	2,08	1,79	1,82	1,84	1,82	1,79
Temperatura superficial (° C)	Min	15,22	14,13	13,39	13,96	17,51	13,95	14,85	14,63	13,43	14,47	14,05	13,36	13,62	15,01	14,40
	Max	18,71	17,58	17,18	16,68	20,55	18,26	18,46	17,51	17,74	17,78	18,03	19,18	17,42	18,63	18,12
	Range	3,49	3,45	3,79	2,72	3,04	4,31	3,61	2,88	4,31	3,31	3,98	5,82	3,8	3,62	3,72
	Mean	17,05	16,40	15,59	15,72	19,32	15,86	16,79	16,32	16,01	16,38	16,14	16,63	15,53	16,96	16,48
	Median	17,10	16,50	15,62	15,71	19,49	15,68	16,69	16,35	16,03	16,20	16,17	16,64	15,50	16,83	16,47
	S.D.	0,76	0,71	0,88	0,64	0,77	1,17	0,98	0,65	1,01	0,82	0,99	1,36	0,94	0,94	0,90
Salinidad superficial (psu)	Min	34,63	34,74	34,51	34,37	34,76	34,54	34,60	34,56	34,52	34,63	34,68	34,50	34,49	34,42	34,57
	Max	35,38	35,22	35,06	34,91	35,26	35,29	35,17	35,03	35,09	35,18	35,13	35,09	35,12	35,14	35,15
	Range	0,750	0,480	0,550	0,540	0,500	0,750	0,570	0,470	0,570	0,550	0,450	0,590	0,630	0,720	0,580
	Mean	35,12	34,94	34,81	34,74	35,15	34,83	34,83	34,82	34,79	34,87	34,87	34,85	34,84	34,87	34,88
	Median	35,10	34,92	34,84	34,77	35,19	34,80	34,79	34,83	34,78	34,87	34,85	34,84	34,87	34,84	34,88
	S.D.	0,17	0,10	0,12	0,13	0,11	0,20	0,13	0,12	0,16	0,14	0,12	0,13	0,17	0,15	0,14
Densidad de huevos/10 m ²	Min	23	28	27	67	26	30	30	25	43	62	31	38	47	25	36
	Max	12.230	31.250	29.490	29.540	15.520	778	1.268	11.360	30.370	25.040	23.100	31.890	240.400	88.870	40.793
	Range	12.207	31.222	29.463	29.473	15.494	748	1.238	11.335	30.327	24.978	23.069	31.852	240.353	88.845	40.757
	Mean	2.219	5.955	3.476	5.124	3.087	404	432	2.574	6.067	4.850	3.433	4.425	17.240	9.071	4.883
	Median	799	1.171	747	1.265	900	404	134	487	87	1.662	538	1.008	2.308	1.998	965
	S.D.	2.947	8.261	6.281	9.473	4.503	529	515	3.826	11.803	6.583	6.067	8.048	47.995	19.089	9.709
Densidad de larvas/10 m ²	Min	35	2	28	20	55	21	31	35	32	38	37	20	32	34	30
	Max	9.443	28.330	15.450	19.920	17.610	5.005	18.740	12.050	8.592	30.800	29.120	10.320	18.510	18.170	17.290
	Range	9.408	28.328	15.422	19.900	17.555	4.984	18.709	12.015	8.560	30.762	29.083	10.300	18.478	18.136	17.260
	Mean	2.529	4.476	1.503	1.572	1.780	551	1.503	1.524	1.825	2.315	2.731	1.547	2.446	2.214	2.037
	Median	1.851	2.726	528	371	550	114	254	1.038	735	545	617	529	942	1.002	843
	S.D.	2.383	5.390	2.786	4.181	3.369	1.260	3.599	2.085	2.339	5.276	6.034	2.296	3.796	3.459	3.447



Tabla 37. Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM binomial para la variable presencia/ausencia de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde los años 1993 a 2006.

Modelo binomial presencia/ausencia de huevos

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
Intercepto	1			
Año	13			
s(Lat)	1	3	5,40	0,001
s(Lon)	1	3	3,96	0,008
s(TSM)	1	3	1,53	0,205
s(Sal)	1	3	3,86	0,010
Devianza modelo nulo	195 sobre 801 grados de libertad			
Devianza residual	164 sobre 772 grados de libertad			
Parámetro de dispersión	0,212			
Pseudo R2	0,161			

Modelo binomial presencia/ausencia de larvas

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
Intercepto	1			
Año	11			
s(Lat)	1	1,9	4,31	0,015
s(Lon)	1	1,8	3,14	0,048
s(TSM)	1	2	1,33	0,264
s(Sal)	1	1,9	2,47	0,089
Devianza modelo nulo	94,6 sobre 736 grados de libertad			
Devianza residual	60,8 sobre 713 grados de libertad			
Parámetro de dispersión	0,085			
Pseudo R2	0,369			



Tabla 38. Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM normal para la variable logaritmo de la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región en invierno, desde los años 1993 a 2006.

Densidad de huevos

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
Intercepto	1			
Año	13			
s(Lat)	1	2	3,98	0,020
s(Lon)	1	2	1,04	0,355
s(TSM)	1	2	0,43	0,653
s(Sal)	1	2	2,93	0,055

Devianza modelo nulo	1483 sobre 335 grados de libertad
Devianza residual	1255 sobre 310 grados de libertad
Parámetro de dispersión	3,86
Pseudo R2	0,154

Densidad de larvas

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
Intercepto	1			
Año	13			
s(Lat)	1	2	3,43	0,033
s(Lon)	1	2	5,22	0,006
s(TSM)	1	2	0,92	0,400
s(Sal)	1	2	2,98	0,052

Devianza modelo nulo	2032 sobre 710 grados de libertad
Devianza residual	1153 sobre 685 grados de libertad
Parámetro de dispersión	2,05
Pseudo R2	0,236



Tabla 39. Síntesis por crucero del número de estaciones totales, número de estaciones sin y con presencia de huevos y larvas de anchoveta y densidad media con sus errores estándar entre paréntesis, cruceros realizados en la I y II Región.

	Mes			Media
	Sep-06	Dic-06	Mar-07	
Estaciones	54	54	54	54
Estac. sin huevos	29	38	36	34
Estac. con huevos	25	16	18	20
Densidad media de huevos / 10 m ²	8720 (92400)	4290 (28200)	1110 (6970)	5000 (72900)
Estac. sin larvas	8	19	22	16
Estac. con larvas	46	35	32	38
Densidad media de larvas / 10 m ²	2529 (1280)	4475,7 (1470)	1503 (7800)	1070 (3620)

* () indica el error estandar de la estimaci3n

Tabla 40. Resumen de estadísticas descriptivas para las variables longitud, latitud, temperatura superficial, salinidad superficial, densidad de agua y clorofila integrada. Crucero realizados en la I y II Región, marzo de 2007.

Estadísticos	Longitud (° W)	Latitud (° S)	Temperatura superficial (° C)	Salinidad superficial (psu)	Densidad (sigma-t)(kg/m ³)	Clorofila superficial (µg/L)	Capa de mezcla (m)	Oxigeno superficial (ml/L)
Mínimo	-72,2	-23,7	15,01	34,42	23,50	10,8	0,0	2,5
Máximo	-70,1	-18,4	24,82	35,34	25,78	475,7	27,0	7,7
Rango	2,1	5,3	9,81	0,92	2,29	464,9	27,0	5,2
Media	-70,9	-21,1	19,24	34,87	24,83	58,7	4,9	5,5
Mediana	-70,6	-21,0	18,64	34,83	24,87	31,9	3,5	5,6
Desv. Est.	0,7	1,8	2,47	0,19	0,59	68,9	5,6	0,8



Tabla 41. Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM binomial para la variable presencia/ausencia de huevos y larvas de anchoveta. Cruceros realizados en la I y II Región entre septiembre de 2006 y marzo de 2007.

Modelo binomial presencia/ausencia de huevos

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
Crucero	2	-	-	-
s(Latitud)	1	3	5,08	0,002
s(Longitud)	1	2,9	4,82	0,003
s(tsm)	1	2,9	2,07	0,109
s(ssm)	1	2,9	1,45	0,231
s(dsm)	1	2,9	1,16	0,326
s(clo.int)	1	2,9	3,06	0,033
s(oxi.sup)	1	2,9	5,27	0,002
s(capa.mezcla)	1	2,9	1,41	0,243

Devianza modelo nulo	212 sobre 161 grados de libertad
Devianza residual	92,4 sobre 127 grados de libertad
Parámetro de dispersión	0,70
Pseudo R2	0,565

Modelo binomial presencia/ausencia de larvas

Predictores	Df	Df Npar	F	Pr(F)
Crucero	2	-	-	-
s(Latitud)	1	2,9	7,27	0,000
s(Longitud)	1	2,9	1,05	0,370
s(tsm)	1	2,9	1,42	0,242
s(ssm)	1	2,9	1,28	0,284
s(dsm)	1	2,9	0,77	0,508
s(clo.int)	1	2,9	1,92	0,131
s(oxi.sup)	1	3	0,71	0,545
s(capa.mezcla)	1	2,9	1,81	0,150

Devianza modelo nulo	199 sobre 161 grados de libertad
Devianza residual	62,1 sobre 128 grados de libertad
Parámetro de dispersión	0,763
Pseudo R2	0,687



Tabla 42. Análisis de devianza para los efectos no-paramétricos y resumen de los ajustes de los modelos GAM normal para la variable logaritmo de la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Crucero realizado en la I y II Regi3n en marzo de 2007.

Densidad de huevos

Modelo	Resid. Df	Resid. Dev	Deviance	F Value	Pr(F)
Crucero	56	312	-	-	-
s(Latitud)	54	315	13,6	0,58	0,676
s(Longitud)	54	270	58,8	2,94	0,029
s(tsm)	54	288	40,4	1,89	0,125
s(ssm)	54	281	47,4	2,27	0,073
s(dsm)	54	296	32,7	1,49	0,217
s(clo.int)	54	309	19,7	0,86	0,494
s(oxi.sup)	54	303	25,5	1,14	0,350
s(capa.mezcla)	54	308	21,2	0,93	0,454

Devianza modelo nulo	329 sobre 58 grados de libertad
Devianza residual	135 sobre 24 grados de libertad
Parámetro de dispersi3n	5,63
Pseudo R2	0,589

Densidad de larvas

Modelo	Resid. Df	Resid. Dev	Deviance	F Value	Pr(F)
Crucero	110	244	-	-	-
s(Latitud)	106	229	15,29	1,77	0,141
s(Longitud)	106	211	33,21	4,16	0,004
s(tsm)	106	233	11,22	1,27	0,285
s(ssm)	106	241	3,96	0,44	0,783
s(dsm)	106	231	13,21	1,51	0,203
s(clo.int)	106	226	18,85	2,21	0,073
s(oxi.sup)	106	226	18,53	2,17	0,077
s(capa.mezcla)	106	238	6,9	0,77	0,547

Devianza modelo nulo	261 sobre 112 grados de libertad
Devianza residual	149 sobre 78,2 grados de libertad
Parámetro de dispersi3n	1,75
Pseudo R2	0,429



Tabla 43. Resultados históricos de las calibraciones del sistema acústico EK-500 del B/C Abate Molina, en frecuencia de 38 KHz.

Fecha	Lugar	TS-transducer gain			Sv-transducer gain		
		Corto (0,3ms)	Medio (1,0ms)	Largo (3,0ms)	Corto (0,3ms)	Medio (1,0ms)	Largo (3,0ms)
01.10.92	Quintero	26.9	27.9	28.1	27.0	27.5	27.9
20.06.93	Valparaíso	26.8	27.9	27.9	26.9	27.5	27.6
09.11.93	Valparaíso	26.5	27.2	27.4	26.9	27.2	27.6
27.02.94	Mejillones	26.0	27.0	27.0	26.1	26.7	27.0
15.05.94	Mejillones	26.1	27.1	27.1	26.2	27.0	27.2
06.01.95	Mejillones	27.0	27.6	27.8	27.1	27.7	28.1
12.07.95	Valparaíso	27.1	28.1	28.0	27.2	28.0	28.1
04.09.96	Pto. Yates	26.8	27.9	27.9	26.9	27.6	28.1
19.11.96	Mejillones	26.7	27.9	27.9	26.9	27.7	28.0
18.04.97	Valparaíso	26.8	27.5	27.6	27.3	27.7	27.8
29.12.97	Valparaíso	26.8	27.7	27.7	27.2	27.5	27.9
21.11.98	Valparaíso	26.9	27.4	27.2	27.1	27.2	27.3
21.12.99	Valparaíso	26.34	27.52		27.02	27.32	
13.01.00	Valparaíso	26.82	27.43	29.09	26.47	27.64	27.40
28.12..00	Valparaíso	26.47	27.64	27.40	26.82	27.43	27.09
23.12.01	Valparaíso	26,57	27,67	28,35	26,97	27,53	25,27
02.01.03	Valparaíso	26,52	27,23	27,63	25,98	27,30	28,01
03.01.05	Valparaíso	26.35	27.7	28.04	26.76	27.38	27.77
01.03.06	Valparaíso	26,52	27,77	28,57	26,95	27,65	28,18
30.05.06	Valparaíso	26,53	27,59	28,15	26,78	28,25	27,82
01.12.06	Pisagua	26,53	27,62	28,31	26,76	27,37	27,77
29.12.06	Valparaíso	26,27	27,61	28,37	26,87	27,58	28,13



Tabla 44. Densidades acústicas totales medidas en SA y aportes relativos por especie, en los cruceros MOBIO 0609, 0612 y 0703.

Especie	MOBIO 0609						MOBIO 0612			MOBIO 0703		
	Arica - Antofagasta			Antofagasta - Pichidangui			Arica - Antofagasta			Arica - Antofagasta		
	$\sum SA$	N	%	$\sum SA$	N	%	$\sum SA$	N	%	$\sum SA$	N	%
Jurel	22.272,7	68	2,7	64.999	156	25,9	107.698	75	7,8	335.723	123	41,3
Anchoveta	214.635	183	26,3	72.362	45	28,9	604.344	389	43,7	332.999	128	41,0
Caballa	2.745	41	0,3	5.346	54	2,1	-	-	-	3.247	15	0,4
Pez linterna	238.579	76	29,2	107.841	40	43,0	655.985	233	47,4	140.300	58	11,3
Langostino	339.386	74	41,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bacaladillo	-	-	-	-	-	-	15.028	12	1,1	-	-	-
Total	817.619	442	100	250.548	295	100	1383070	976	100	812.269	324	100

Tabla 45. Estadísticos de la distribución vertical de las especies detectadas en los cruceros MOBIO 0609; 0612 y 0703 respecto a las variables profundidad, temperatura, salinidad y densidad acústica.

Crucero	Zona	Profundidad				Temperatura				Salinidad				Sa				
		Especie	\bar{X}	Máx	Mín	$V(\bar{X})$	\bar{X}	Máx	Mín	$V(\bar{X})$	\bar{X}	Máx	Mín	$V(\bar{X})$	\bar{X}	Máx	Mín	$V(\bar{X})$
MOBIO 0609	Arica - Antofagasta	Jurel	21,7	52,5	12,5	42,7	16,8	18,0	14,5	0,9	34,87	35,09	34,41	0,031	271,6	3.252,0	0,0	276.924,3
		Anchoveta	16,9	41,0	9,0	25,5	16,2	18,2	14,2	0,9	34,1	35,12	34,56	0,023	800,9	12.137,0	0,0	2.733.233,1
		Caballa	19,6	32,0	13,0	19,9	16,3	17,4	15,6	0,2	34,71	34,88	34,61	0,004	52,8	482,0	0,0	6.722,0
		Pez linterna	152,6	245,5	42,0	3.206,5	12,7	16,0	11,5	0,7	34,81	34,92	34,68	0,002	2.410,4	48.320,0	0,0	31.019.348,1
		Langostino	24,4	51,5	13,5	79,9	16,4	17,9	14,5	0,7	34,90	35,09	34,65	0,010	4.465,6	34.248,0	37,0	37.680.768,6
MOBIO 0609	Antofagasta - Pichidangui	Jurel	36,4	147,00	9,00	639,9	14,4	16,1	11,17	1,6	34,36	34,62	34,02	0,0099	315,6	4493,00	0	415.905,4
		Anchoveta	19,6	32,00	10,00	35,0	15,3	16,04	13,19	0,5	34,41	34,63	34,25	0,0159	1206,1	11869,00	0	4.593.987,0
		Caballa	19,5	50,5	10,00	68,7	15,1	15,92	13,13	0,7	34,36	34,60	34,0	0,0176	74,3	706,00	0	21.044,8
		Pez linterna	221,3	251,00	46,00	3432,3	11,8	13,72	10,71	0,6	34,71	34,78	34,44	0,0094	2696,1	13804,00	2	7.826.801,1
MOBIO 0612	Arica - Antofagasta	Jurel	86,75	214,00	14,50	2130,30	14,60	21,40	11,70	7,10	34,77	35,25	34,47	0,02	882,80	10807,00	0	3420437,4
		Anchoveta	18,60	90,50	10,50	83,10	16,40	21,40	12,60	3,00	34,79	35,26	34,53	0,01	1180,40	16059,00	0	4039826,1
		Pez linterna	124,50	293,50	12,50	6152,90	14,10	21,10	10,90	7,10	34,79	35,25	34,44	0,01	1987,80	38429,00	0	15487669,6
		Bacaladillo	13,80	15,00	12,50	0,70	15,80	16,10	14,90	0,09	34,75	34,76	34,73	0,00	1252,50	2431,00	319	333817,7
MOBIO 0703	Arica - Antofagasta	Jurel	15,53	31,50	7,50	25,59	16,02	20,41	12,81	2,94	34,59	34,85	34,43	0,01	1563,44	42803,00	4	16608000
		Anchoveta	12,39	65,00	7,50	19,46	15,39	20,58	13,41	0,86	34,67	34,85	34,41	0,01	1242,25	45049,00	10	12605000
		Caballa	14,41	24,50	10,50	18,85	15,56	16,67	14,37	0,86	34,54	34,58	34,51	0,00	191,12	1393,00	9	102840
		Pez linterna	134,93	287,50	22,00	4927,47	13,03	19,30	10,17	2,90	34,74	34,89	34,48	0,02	1196,66	41559,00	13	16021000



Tabla 46. Estadísticos de la distribuci3n vertical de las especies detectadas en el periodo 1994-2003 por estaci3n respecto a las variables densidad acústica (Sa), profundidad, temperatura y salinidad. Se ha descartado el ańo 1997 por presentarse fuera de rango en la mayoría de las variables.

		Otońo s/1997 y 1998							Invierno s/1997						
	especie	Sardina	Jurel	Anchoveta	Caballa	Linterna	Langostino	Bacaladillo	Sardina	Jurel	Anchoveta	Caballa	Linterna	Langostino	Bacaladillo
Sa	\bar{x}	2.726,43	999,96	2.127,17	509,13	315,00	450,33	312,50	2877	579	2148,25	356,11	3488,80	4647,73	3429,47
	Máx.	59.028	59.647	84.095	6.545	1.516	2.500	854	20051	7655	40213,00	4422,00	20409,00	74749,00	71438,00
	Min.	38	2	1	0	11	34	84	150	3	10	10	54	50	8
	$S^2(\bar{x})$	69.043.589,54	7.634.008,05	34.046.415,52	1.076.409,09	100.038,83	428.332,75	53.138,00	31333835,78	710050,28	13247687,58	345201,59	20061032,90	79243531,57	107483032,87
	CV	3,05	2,76	2,74	2,04	1,00	1,45	0,74	1,95	1,45	1,69	1,65	1,28	1,92	3,02
Profundidad	\bar{x}	15,48	52,71	19,51	25,25	91,32	99,21	13,44	26,47	24,94	17,01	14,17	81,33	34,37	22,32
	Máx.	33,00	233,00	93,00	68,00	194,50	198,00	15,00	41	91,5	52	103,5	240,5	121	34,5
	Min.	8,00	5,00	6,00	4,50	31,50	33,50	13,00	18	5	5,5	6,5	21,5	14,5	11
	$S^2(\bar{x})$	26,95	2.697,33	219,83	186,81	1.222,30	2.639,85	0,53	43,98	151,58	37,70	108,85	2645,60	514,37	40,13
	CV	0,34	0,99	0,76	0,54	0,38	0,52	0,05	0,25	0,49	0,36	0,74	0,63	0,66	0,28
Temperatura	\bar{x}	17,96	15,05	16,20	16,78	13,67	15,04	14,61	15,29	15,40	15,25	16,07	13,74	15,73	13,98
	Máx.	21,57	21,78	21,39	21,31	17,18	19,10	16,27	15,66	18,27	18,238	17,69	16,42	17,43	15,23
	Min.	14,08	11,70	12,75	12,95	11,56	11,15	14,02	14,27	12,11	12,74	13,11	11,17	12,43	13,23
	$S^2(\bar{x})$	4,97	4,25	3,69	4,62	2,22	8,26	1,02	0,19	1,20	1,07	1,35	1,05	2,26	0,39
	CV	0,12	0,14	0,12	0,13	0,11	0,19	0,07	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,04
Salinidad	\bar{x}	34,918	34,592	34,748	34,817	34,748	34,517	34,732	34,686	34,803	34,808	34,884	34,841	34,855	34,844
	Máx.	35,693	35,711	35,577	35,545	34,884	34,829	34,775	34,813	35,184	35,21	35,185	34,962	35,055	34,902
	Min.	34,510	33,937	34,180	34,501	34,599	33,780	34,715	34,507	34,293	34,394	34,643	34,678	34,572	34,774
	$S^2(\bar{x})$	0,06	0,05	0,04	0,04	0,01	0,09	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
	CV	0,007	0,007	0,006	0,006	0,002	0,009	0,001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Tabla 46. (cont.)

		primavera s/1997							Verano s/1998					
		Sardina	Jurel	Anchoveta	Caballa	Linterna	Langostino	Bacaladillo	Sardina	Jurel	Anchoveta	Caballa	Linterna	Langostino
Sa	\bar{x}	4355,01	748,10	1752,25	685,47	3300,20	2795,24	2775,52	1773,53	713,52	1838,29	685,70	930,30	1279,63
	Máx.	34404	24924	53152	4975	80400	40800	77260	20137,00	23298,00	99812,00	8587,00	9501,00	2365,00
	Mín.	416,9	3	3	3	11	5	3	27,00	19,00	5,00	5,00	27,00	250,00
	$S^2(\bar{X})$	42230845,78	3344559,49	16190573,52	1033846,25	78478223,45	33787858,66	46295535,33	8082887,88	2297317,14	20215288,95	1029542,18	2434158,12	448841,13
	CV	1,49	2,44	2,30	1,48	2,68	2,08	2,45	1,60	2,12	2,45	1,48	1,68	0,52
Profundidad	\bar{x}	16,36	30,29	14,49	16,32	100,89	17,87	130,41	14,66	21,35	12,83	14,77	89,47	43,69
	Máx.	35	184,5	117	35,5	280,5	57,5	248	35,50	241,50	69,50	62,50	178,00	73,00
	Mín.	7	7	3,5	7,5	5	4	7,5	6,00	5,00	3,50	3,50	17,50	24,00
	$S^2(\bar{X})$	32,99	630,31	188,24	49,48	7837,40	88,59	5427,87	41,49	415,55	23,87	71,53	2153,70	216,42
	CV	0,35	0,83	0,95	0,43	0,88	0,53	0,56	0,44	0,95	0,38	0,57	0,52	0,34
Temperatura	\bar{x}	17,05	15,99	16,07	16,56	14,51	16,17	13,77	18,12	17,25	16,87	17,77	14,70	16,64
	Máx.	21,3	23,29	22,19	22,63	21,94	19,81	22,11	24,80	25,62	25,49	24,27	28,28	19,73
	Mín.	14,1	11,8	12,8	13,89	10,81	13,16	11,02	13,69	12,10	12,90	12,97	12,03	14,21
	$S^2(\bar{X})$	3,269	3,96	2,59	3,72	11,02	2,82	7,79	9,56	8,11	5,78	5,63	8,81	4,27
	CV	0,11	0,13	0,10	0,12	0,23	0,10	0,20	0,17	0,17	0,14	0,13	0,20	0,12
Salinidad	\bar{x}	34,833	34,776	34,762	34,826	34,781	34,801	34,783	34,745	34,695	34,700	34,692	34,686	34,852
	Máx.	35,39	35,532	35,491	35,381	35,06	34,934	35,175	35,430	35,488	35,420	35,067	35,746	35,037
	Mín.	34,509	34,285	34,292	34,429	34,564	34,573	34,403	34,383	34,167	34,362	34,416	34,449	34,761
	$S^2(\bar{X})$	0,05	0,05	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,042	0,031	0,020	0,013	0,042	0,008
	CV	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00



Tabla 47. Índices de cobertura (IC) y densidad (ID) por especie y crucero

Crucero	Especie	IC (%)	ID (t/mn ²)
MOBIO 0609 Arica – Antofagasta	Jurel	3,2	34,1
	Anchoveta	8,6	208,2
	Caballa	1,9	9,4
	Langostino	3,5	642,1
	Pez linterna	3,6	439,5
MOBIO 0609 Antofagasta - Pichidangui	Jurel	6,1	72,4
	Anchoveta	1,8	316,8
	Caballa	2,1	13,9
	Pez linterna	1,6	377,4
MOBIO 0612 Arica – Antofagasta	Jurel	2,4	232,9
	Anchoveta	12,5	285,8
	Pez linterna	7,5	394,2
	Bacaladillo	0,4	175,3
MOBIO 0703 Arica – Antofagasta	Anchoveta	6,07	478,64
	Jurel	5,83	442,73
	Caballa	0,71	30,31
	Pez Linterna	2,75	338,66

Tabla 48. Valores de la biomasa zooplanctónica en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones entre agosto de 2006 y junio de 2007.

BIOMASA	ARICA		IQUIQUE		MEJILLONES		PROMEDIO
Agosto	195	(08/08/06)	151	(04/08/06)	22	(09/08/06)	123
Septiembre	115	(17/09/06)	361	(15/09/06)	391	(12/09/06)	289
Octubre	316	(08/10/06)	781	(05/10/06)	474	(09/10/06)	524
Noviembre	185	(29/11/06)	50	(12/11/06)	1134	(05/11/06)	456
Diciembre	26	(07/12/06)	64	(10/12/06)	418	(12/12/06)	169
Ene-07	64	(03/01/07)	45	(06/01/07)	206	(09/01/07)	105
Febrero	43	(03/02/07)	108	(06/02/07)	29	(09/02/07)	60
Marzo	2485	(26/03/07)	522	(24/03/07)	295	(22/03/07)	1101
Abril	818	(14/04/07)	100	(22/04/07)	26	(15/04/07)	315
Mayo	421	(14/05/07)	156	(19/05/07)	41	(12/05/07)	206
Junio	206	(09/06/07)	66	(19/06/07)	11	(11/06/07)	94

(): Fecha Muestreo

A N E X O S

A N E X O 1

**Criterio de análisis de las condiciones
oceanográficas Superficiales**



Anexo 1

Criterio de análisis de las condiciones oceanográficas Superficiales

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

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

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

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

Referencias del anexo

- Hormazabal, S., G. Shaffer, J. Letelier and O. Ulloa, 2001: Local and remote forcing of sea surface temperature in the coastal upwelling system off Chile. *J. Geophys. Res.*, 106,16657-16672.
- Blanco, J. L. A. C. Thomas, M. E. Carr y P. T Strub. 2001. Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. *J. Geophys. Res.*, 106, C6, 11451-11467.
- Braun, M.; H. Reyes; J. Osses, J. Castillo y V. Castañi. 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).
- Narváez, D. 2000. Observaciones de vórtices de meso escala frente a la costa norte de Chile utilizando altimetría satelital y datos hidrográficos. Tesis para optar al título de oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso, 47 pp.

A N E X O 2

**Distribución de TMS Satelital
y Circulación Geostrófica Superficial
en el Período Agosto 2006 – Junio 2007**



Anexo 2

Distribución de TSM satelital y Circulación geostrófica Superficial en el período agosto 2006 – junio 2007

Agosto 2006

Durante la primera semana del mes de agosto (Figs. 1 y 2) se observó una temperatura superficial del mar con satélite (TSMsat) superior a 17°C al norte de los 22°30'S y en la franja costera, y la presencia de nubosidad en el sector oceánico. Al sur de la latitud indicada, la TSMsAT presentó valores entre los 15° y 16°C, hasta los 71°W hacia el oeste. Durante la segunda semana predominaron TSMsat de 16°C al sur de los 21°S y en la parte norte de la zona de estudio la TSMsAT presentó valores superiores a los 18°C en la franja costera. Durante la tercera y cuarta semana de agosto se observó un predominio de la TSMsAT de 16°C al sur de los 21°S, y al norte predominaron temperaturas cercanas a de 18°C, mientras que la parte oceánica de la zona de estudio estuvo dominada por la presencia de nubosidad. En la quinta semana se destaca la aparición de temperaturas de 14°C cerca de los 22°S y la aparición en la franja costera de gradientes térmicos débiles.

Septiembre 2006

La primera semana de septiembre (Figs. 1 y 2) se constató un leve aumento de las TSMsat en aproximadamente +1,0°C respecto a la observada en las últimas semanas de agosto. Las TSMsat presentaron una distribución de valores entre los 15° y 19°C, desde la costa hacia el sector oceánico, apreciándose la ausencia de temperaturas inferiores a los 15°C. En esta semana se destacó también la aparición de la isothermas de 19°C (color amarillo) frente a Iquique. La segunda y tercera semana, presentaron una disminución de las TSMsat respecto de la primera semana, especialmente en el sector oceánico, lo que se observa por la desaparición de la isoterma de 19°C (color amarillo), por otro lado, hay una leve disminución de las temperaturas en la franja costera del área sur, donde se registraron valores cercanos a los 15°C en las proximidades de Antofagasta y rodeando la península de Mejillones. En la última semana se presentó una alta nubosidad en la zona, la que es característica de esta época del año. No obstante, se logró apreciar aguas cálidas (>19°C) en el sector oceánico frente a las costa de Arica. Se puede señalar también la ausencia de focos de agua de temperatura de 15° y 16°C en la zona de Mejillones y áreas adyacentes, situación que se había registrado durante las dos semanas anteriores.

Octubre 2006

La primera semana de octubre (Figs. 1 y 2), se visualiza un leve aumento de las temperaturas respecto de las últimas semanas de septiembre. Las TSMsat presentaron una distribución entre los 16° y 20°C, con una lengua de aguas cálidas (color amarillo) que se extiende desde el extremo norte y que alcanza las inmediaciones del río Loa, adicionalmente, se aprecia una delgada franja de aguas frías en la costa que está asociada a eventos de surgencia. La segunda semana presentó nuevamente un aumento de las TSMsat respecto de la semana anterior, especialmente frente a las costas de Iquique, lo que se observa por el desplazamiento de la isoterma de 19°C (color amarillo) hacia el sur y hacia el oeste, y por la aparición de un foco con aguas de 21°C (color salmón) a unas 50 mn de Iquique. Por otro lado, hubo un aumento de las temperaturas en la franja costera, aunque se mantienen valores menores a 18°C y con ello los gradientes térmicos latitudinales (este-oeste) entre ambos sectores. La tercera y cuarta semana exhiben una estructura térmica similar. Respecto de lo observado durante la segunda semana, éstas muestran una leve disminución



de las TSMSAT lo que se refleja en la desaparición de aguas de 21°C y un decrecimiento de las temperaturas en el extremo sur, principalmente en la última semana del mes. Así también, en estas dos semanas se advierte un desplazamiento de las isotermas de 18° y 19°C en sentido norte.

Noviembre 2006

En noviembre, la TSMSat (**Figs. 1 y 2**) en el área de estudio presentó un rango de variación entre los 16° y 21°C. En las imágenes del mes se aprecia la intrusión de aguas cálidas desde el noroeste y un sector de aguas más frías en el sector costero, lo que implica la formación de frentes térmicos en las primeras 25 mn de la costa. La primera semana de noviembre tuvo un leve aumento de las temperaturas en aproximadamente 1,5°C respecto de la última semana de octubre. La TSMSat presenta un rango entre los 18° y 21°C, que aumenta desde la costa hacia el sector oceánico, apreciándose la desaparición de aguas de temperatura inferior a 17°C. En esta semana también se destaca la aparición de la isotermas de 21°C (color salmón oscuro), que alcanza la cuadra de Tocopilla, adicionalmente, se aprecia una delgada franja de aguas frías en los alrededores de Mejillones, que está asociada a eventos de surgencia. Las semanas segunda y tercera presentan una estructura térmica similar entre ambas y, respecto a la anterior, muestran una disminución de las TSMSat, especialmente en el sector oceánico, lo que se aprecia por la desaparición de valores > 21°C. En la tercera semana se registró una importante nubosidad en el área de estudio, la que se ubicó sobre los focos de mayores temperaturas. En estas semanas se aprecia un desplazamiento de las isotermas de 20° y 21°C hacia el norte lo que significa un decrecimiento de las temperaturas superficiales, principalmente en la mitad norte oceánica del área de estudio. También se observa la aparición de focos de agua de temperatura menor a 16°C.

Diciembre 2006

Durante diciembre, la TSMSat (**Figs. 1 y 3**) tuvo un rango de variación entre los 16° y 23 °C, destacándose la presencia de aguas de temperaturas mayores a 21°C en el sector oceánico de la mitad norte de la zona. La primera semana del mes presentó un incremento de las temperaturas en aproximadamente 1,5°C respecto de las últimas semanas del mes anterior. Esta semana exhibe la aparición de las isotermas de 20 y 21°C (color salmón claro y oscuro), las que alcanzaron hasta el suroeste de Tocopilla. Paralelamente hubo una banda de aguas frías entre la costa hasta las primeras 25 a 30 millas náuticas. Las semanas segunda y tercera muestran una estructura térmica parecida, acentuándose el aumento de las TSMSat respecto de la semana anterior, especialmente en el extremo norte, lo que se refleja en la presencia de aguas de 22°C y en el desplazamiento de las isotermas de 20 y 21°C en dirección sureste, alcanzando la cuadra de Mejillones. Así también, se mantiene la franja de aguas frías en la costa y con ello los gradientes térmicos latitudinales (este-oeste). En las dos últimas semanas del mes se vuelve a presentar un aumento de la TSMSat, especialmente al norte de Iquique con un crecimiento en la cobertura espacial de las aguas de 22°C. A su vez, también se observa la ausencia de aguas de 16° y 17°C en la franja costera, lo que es normal para la época del año.

Enero 2007

Las dos primeras semanas de enero (**Figs. 1 y 3**) presentaron una distribución horizontal de las TSMSat muy similar a la última semana de diciembre de 2006, con una gran cobertura espacial de aguas con temperatura de 22° y 23°C, que dominan ampliamente la región oceánica, a su vez, se advierte la desaparición de aguas menores a 19°C. Durante la tercera semana de enero, se observó un incremento de las temperaturas en aproximadamente +1,0°C respecto de las semanas precedentes. Esta semana exhibe la aparición de la isoterma de 25°C (color café), las que logran alcanzar hasta la cuadra de Pisagua, pero en una zona muy



oceánica. Así también se destaca un gran foco de aguas surgentes, que se localizó en el área costera entre Iquique y el río Loa y que presentó temperaturas de 17°C, lo que generó importantes gradientes este-oeste. En las últimas semanas del mes se advirtió una disminución de las TSM, especialmente en el sector oceánico y que implica la virtual desaparición de aguas > 25°C. En estas semanas, el área de estudio estuvo dominada por las isotermas de 22° y 23°C. Se mantiene también una franja de aguas más frías en la costa y con ello los gradientes térmicos relevantes.

Febrero 2007

La primera semana de febrero (Figs. 1 y 3) presentó un aumento de aproximadamente +1°C respecto de la última semana del mes anterior, con una distribución horizontal de las TSMsat que indica altas temperaturas en la parte oceánica y una banda de aguas frías en la zona costera, con dos focos surgentes localizados frente de Arica y Mejillones, lo que genera fuertes gradientes térmicos en dichas zonas. En las semanas dos y tres se observó un incremento de las temperaturas en aproximadamente +0,5°C, respecto de la semana precedente. Estas semanas exhiben el desplazamiento de las isotermas de 24° y 25°C (color café) hacia áreas más costeras y logran alcanzar la cuadra de Tocopilla. Así también, se destaca un gran foco de aguas surgentes, que se localizó entre Iquique y el río Loa y que presentó temperaturas de 16° y 17°C, lo que sigue generando importantes gradientes térmicos en la franja costera. En la última semana del mes, se advirtió una leve disminución de las TSMsat, especialmente en el sector oceánico y que implica la virtual desaparición de aguas con TSMsat > 25°C. En estas semanas, el área de estudio estuvo dominada por TSMsat de 22° y 23°C. Se mantiene una franja de aguas más frías en la costa y con ello los gradientes térmicos relevantes.

Marzo 2007

La primera semana de marzo (Figs. 1 y 3), presentó en el sector oceánico una distribución de TSMsat similar a lo registrado durante la última semana del mes de febrero, midiéndose sólo una disminución de aproximadamente +0,5°C en el valor mínimo observado en la zona costera. La distribución horizontal de TSMsat indica la presencia de aguas de alta temperatura (> 25°C) en la parte oceánica y una banda de aguas frías en la zona costera (primeras 10 mn de la costa), destacándose dos focos de aguas surgentes, localizados uno entre Arica y Pisagua y otro, de mayor tamaño e intensidad, desde Tocopilla hasta Antofagasta. Tal condición señalada generó fuertes gradientes térmicos horizontales en las zonas mencionadas. En las semanas dos y tres del mes, se observó un incremento de las temperaturas en aproximadamente +0,5°C en el sector oceánico, respecto de la primera semana. Estas semanas exhiben un desplazamiento de las isotermas de 23° y 24°C (color rojo) hacia áreas más costeras, destacándose un gran foco de aguas surgentes que se localizó entre Iquique y el río Loa, el cual presentó temperaturas más frías, lo que sigue generando importantes gradientes térmicos costa-océano. Así también se advierte la disminución de tamaño en las áreas costeras que tienen aguas menores a 18°C.

Abril 2007

Las imágenes de TSMsat (Figs. 1 y 4) muestran una importante nubosidad durante el mes, principalmente en el sector oceánico al oeste de los 71°W. La imagen de la segunda semana tiene una extensa cobertura nubosa, por lo que no se considerará con reserva. En comparación con las TSMsat del mes anterior se registra una importante disminución de los valores del sector oceánico que es de 2°C en la mitad norte y de 3°C en la mitad sur de la zona, mientras que en la costa, se registra un notorio aumento hacia el oeste de las áreas de baja relativa (16 a 17°C). En las imágenes



disponibles de abril se registra una menor TSMSAT en la costa respecto del sector oceánico, manteniéndose aun la presencia de gradientes térmicos entre ambos sectores. Las TSMSat en la franja costera son de 16° a 17°C, mientras que las máximas térmicas relativas fueron de 22° a 23°C y que abarcan el sector oceánico de la mitad norte de la zona. Se destaca en la primera semana un foco de TSMSat de 20°C cercano a la costa frente a Iquique y punta Arenas y en la segunda semana los focos cálidos en la costa de Antofagasta e Iquique. En la última semana de abril, se registra una disminución en 1° a 2°C de las TSMSat en el sector oceánico. En comparación con los promedios históricos mensuales disponibles para la zona, se puede indicar que en las tres primeras semanas la TSMSat registró valores que son similares en el sector oceánico, mientras que en la costa estos son de 1° a 2°C más bajos. En la última semana del mes se repite la situación descrita para el sector costero, pero en el sector oceánico la disminución de TSMSat registrada esa semana, significaría la presencia de anomalías negativas cercanas a 1° y 2°C en la mitad norte y sur, respectivamente.

Mayo 2007

El rango general de la TSMSat (**Figs. 1 y 4**) en las imágenes promedio semanal del mes de mayo estuvo entre 15° y 23°C. Las mínimas temperaturas se ubicaron en la franja costera de las primeras 30 mn, mientras que las máximas se ubicaron siempre en el sector oceánico al oeste de los 71°W.

La primera semana del mes registró una franja costera con aguas frías entre los 15° y 19°C, la que se hizo más extensa hacia el oeste en la mitad sur de la zona de estudio. Esta semana se presentaron las menores TSMSat en el sector de Mejillones, los que abarcan una mayor área en comparación con los otros focos de surgencia observados para esa semana. Las mayores TSMSat se ubicaron en el sector nor-oeste de la zona de estudio, no encontrándose focos cálidos con TSMSAT mayores a 21°C al sur de los 20°S. La segunda semana del mes registra nuevamente focos cálidos en la misma área que la semana anterior, los cuales se han hecho más intensos pero siempre ubicados preferentemente al norte de los 20°S. La aparición de TSMSat entre 15 y 17°C a lo largo de prácticamente toda la franja costera (primeras 10 mn) señala una intensificación de los procesos de surgencia respecto de la semana anterior. Esta semana se mantiene e intensifica en tamaño el foco de agua fría que rodea a la península de Mejillones. En la mitad sur de la zona observada, se aprecia una extensión hacia el oeste de las aguas frías costeras, alcanzando las TSMSat de 18° a 19°C hasta los 72°W. La tercera semana de mayo la TSMSat se mantiene en el sector costero y oceánico central (entre 71 y 72°W) similar a lo presentado la semana anterior, sin embargo, hacia el sector nor-oeste desaparecen los focos cálidos de aguas mayores a 21°C. El foco de agua fría que rodea la península de Mejillones registró una disminución en tamaño y también en él se miden TSMSat levemente superiores. La cuarta semana del mes registra una condición similar a la semana anterior, sin embargo, se produce una notoria disminución de las TSMSat en el sector noroeste de la zona. Así es como aguas con TSMSAT mayores a 21°C en la primera semana, hacia fines de mayo han disminuido a valores entre 18 y 19°C. Dado lo extenso del área en que ha disminuido la TSMSAT en menos de una semana, es posible que ésta situación se deba a un proceso de mesoescala. La comparación de la distribución de TSMSat con los promedios mensuales de TSMSat histórica indica que el sector oceánico registró condiciones similares al promedio durante las dos primeras semanas. En la tercera semana se registró un valor cercano a -1°C de anomalía en el área al norte de la latitud



19°S y al oeste de los 71°W, valor que aumentó a -2°C en la cuarta semana. En la franja costera se observó en forma constante en el tiempo y a lo largo de toda el área un valor cercano a los -1°C de anomalía.

Junio 2007

El mes de junio (**Figs. 1 y 4**) registró temperaturas superficiales del mar satelitales (TSMsat) en el rango de 14° y 20°C, midiéndose las menores en el sector costero de bahía Moreno (Antofagasta) y cercanías de Mejillones. Las máximas térmicas superficiales fueron entre 19° y 20°C y se observaron sólo en la primera semana del mes abarcando, al menos, el sector oceánico por sobre las 60 mn de la costa entre Arica y Mejillones. La franja costera de las primeras 30 mn fue la que registró las menores TSMsat, destacándose entre ellos aquellos sectores de Iquique y Mejillones. La primera semana del mes se caracterizó por temperaturas que superaron los 19°C en el sector oceánico (color amarillo) y que abarcaron una extensa área central, no pudiéndose determinar la extensión de esta condición térmica hacia el área ubicada más al norte debido a la nubosidad. En esta semana se destacaron las bajas térmicas en el sector de Mejillones, que fueron cerca de 15°C. Desde la segunda semana del mes en adelante se observa una similitud en la distribución de la TSMsat. En este período no se observan las máximas térmicas señaladas para la primera semana, ya que la TSMsat disminuyó en aproximadamente 1° a 2°C, quedando por lo tanto focos de agua con temperaturas entre 17° y 19°C en el sector oceánico al oeste de los 72°W. En las semanas segunda a cuarta, se registraron las menores TSMsat del período en el sector costero cerca de Mejillones y bahía Moreno, con valores entre 14° y 15°C, los que no se observaron en la última semana del mes en análisis. De acuerdo a los promedios históricos mensuales obtenidos por IFOP para el área de estudio, ésta se encuentra bajo una condición fría ya que se presentan anomalías térmicas negativas en gran parte de la zona y a lo largo de todo el mes. La única excepción lo es el área de temperaturas mayores a 19°C en el sector oceánico en la primera semana, la que presenta anomalías cercanas a cero. Sin embargo, el resto de las semanas en el sector oceánico las TSMsat fueron entre 1 y 2°C menores al promedio histórico, mientras que en la costa estas alcanzaron un máximo de anomalía negativa de 3°C en el sector de Mejillones y Antofagasta.

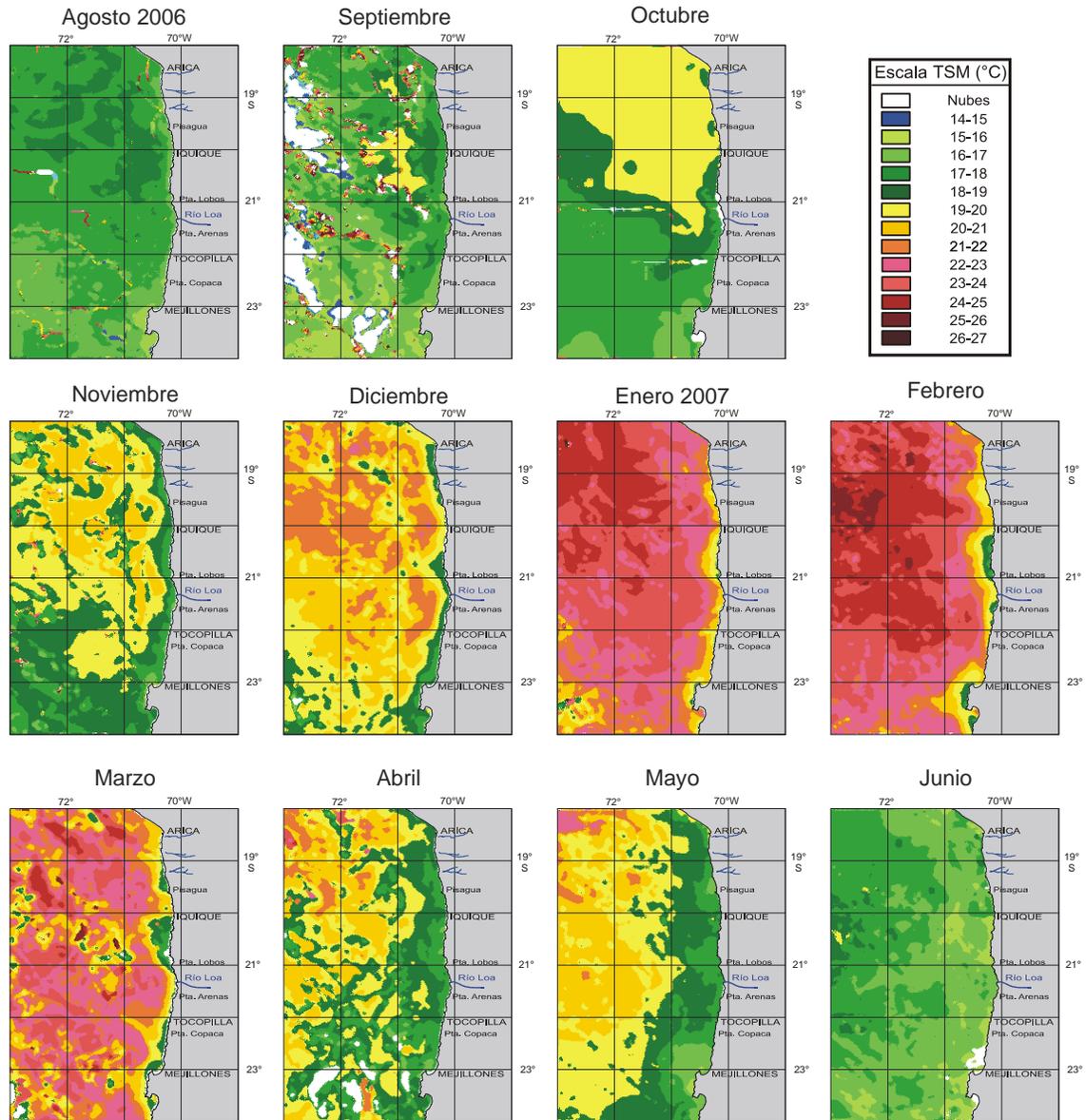


Figura 1. Distribuci3n espacial y mensual de la TSMAT satelital. Agosto 2006 – junio 2007.

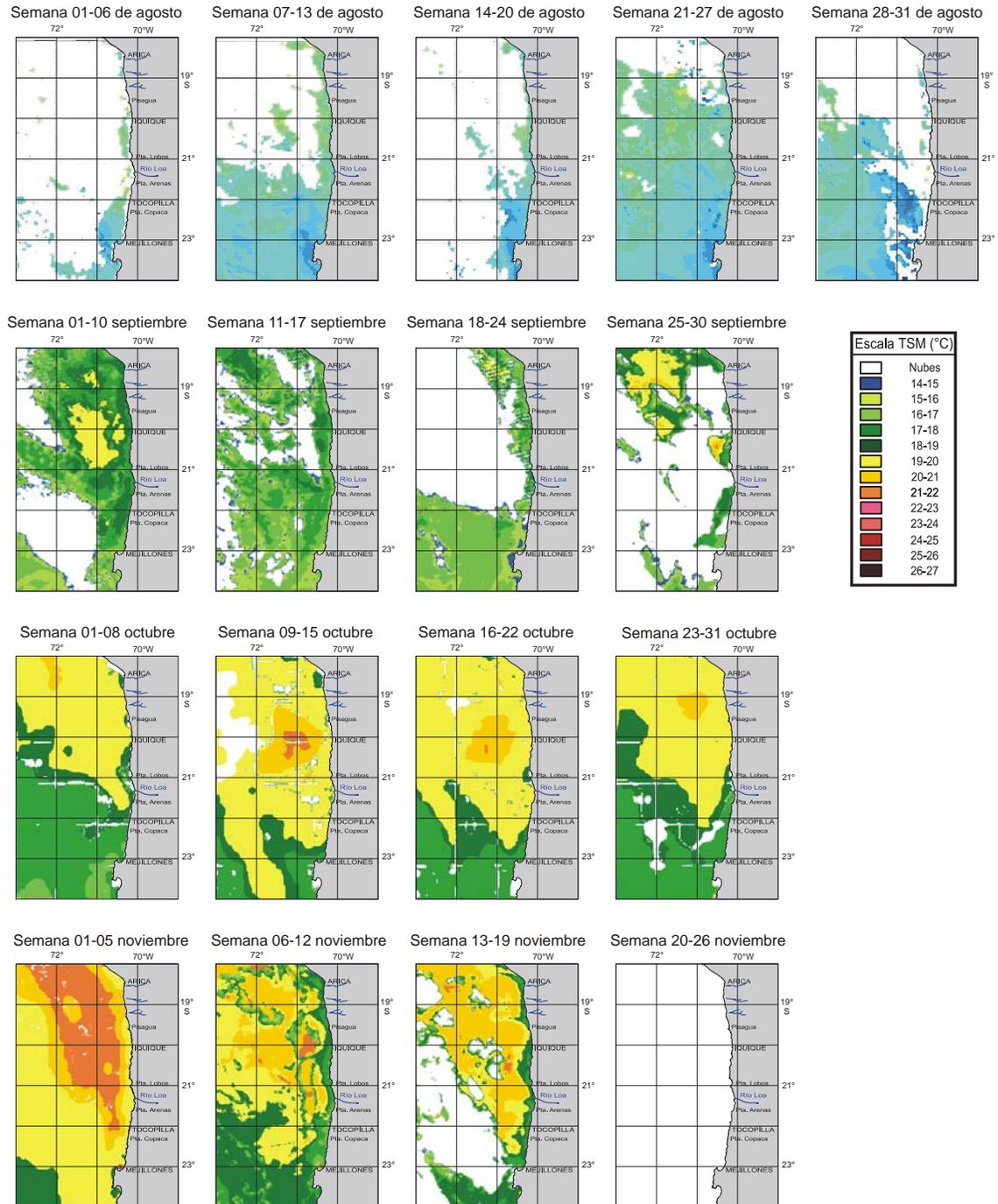


Figura 2. Distribuci3n espacial y semanal de la TSMAT satelital. Agosto – noviembre 2006.

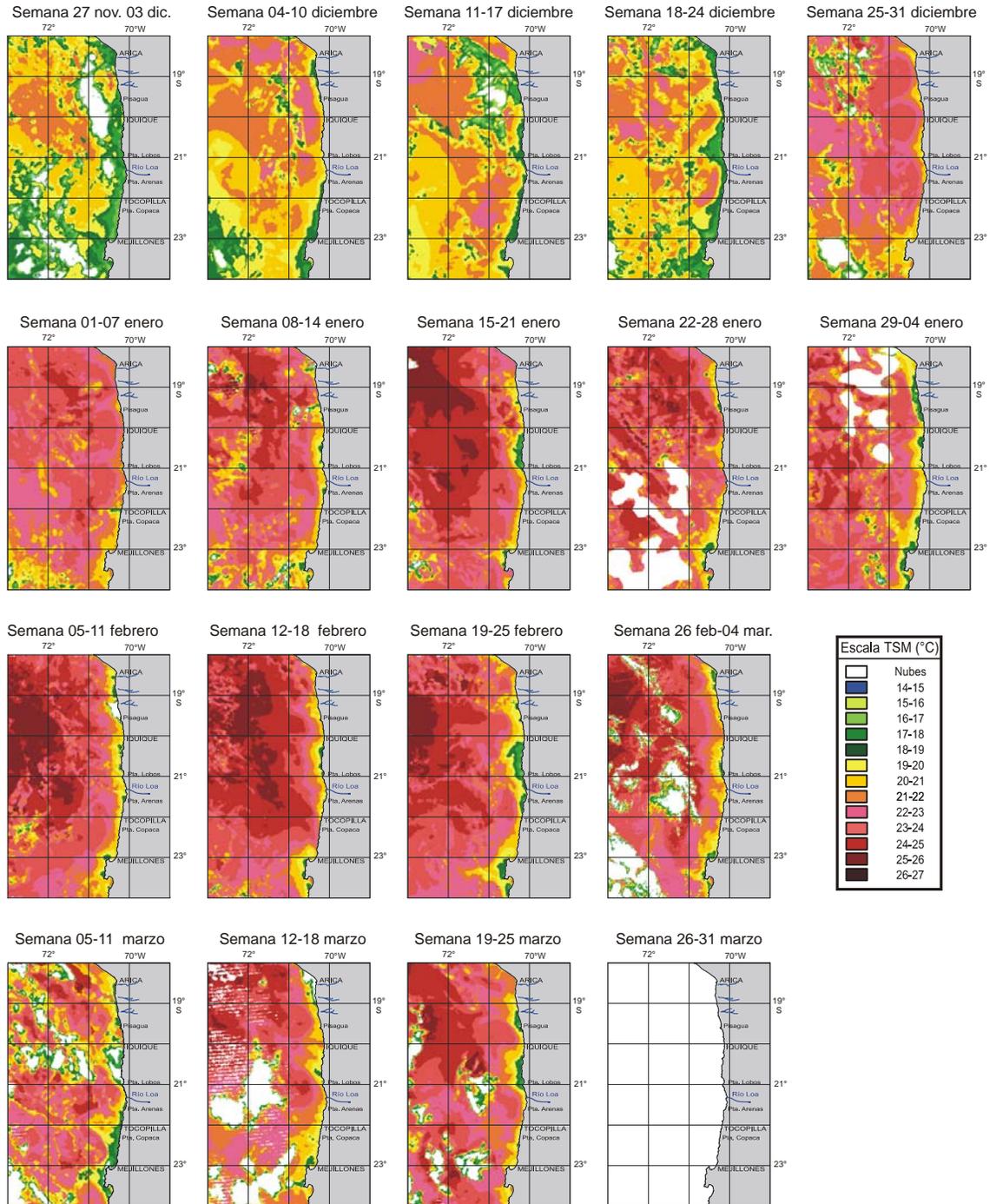


Figura 3. Distribuci3n espacial y semanal de la TSMsAT satelital. Diciembre 2006 – marzo 2007.

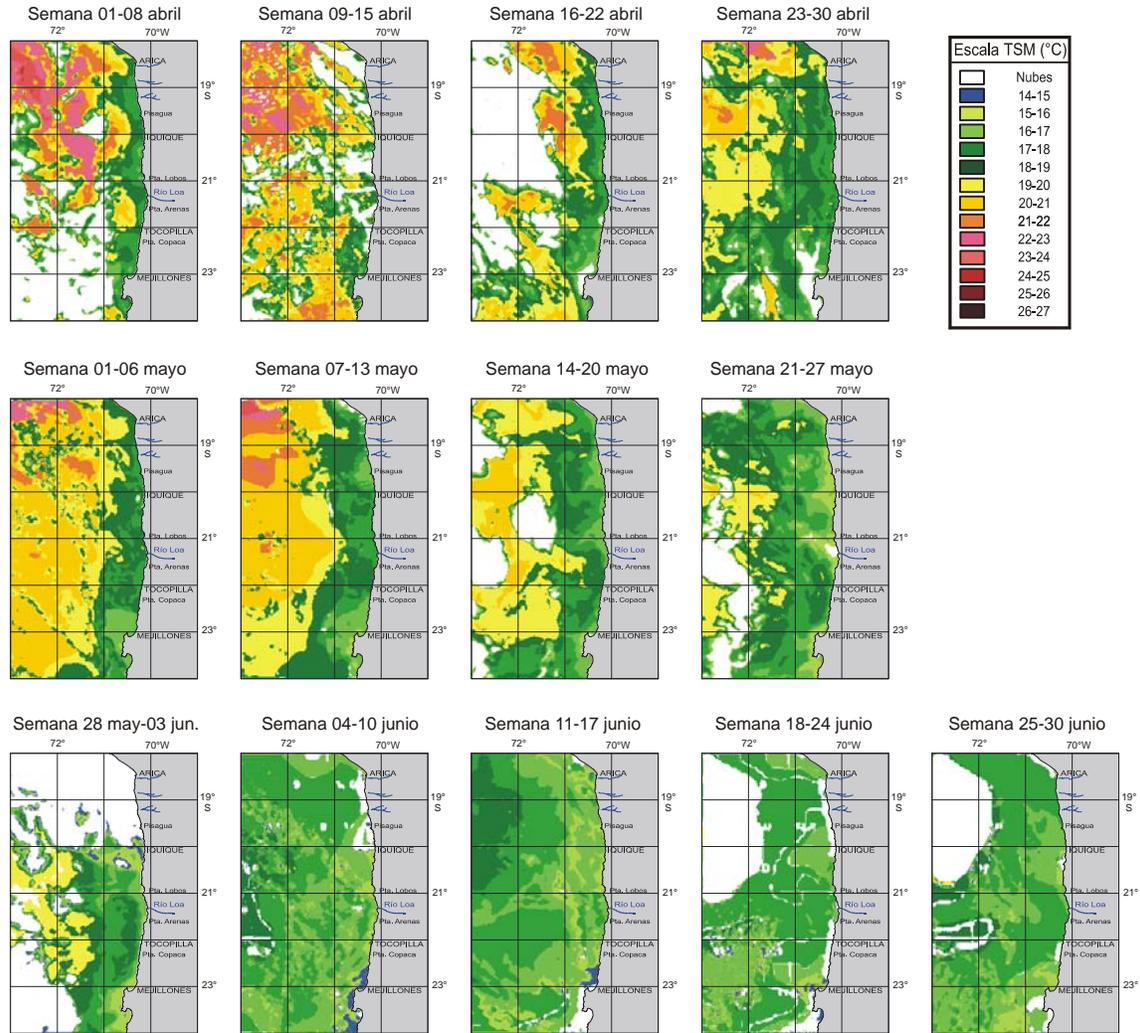


Figura 4. Distribuci3n espacial y semanal de la TSMsAT satelital. Abril – junio 2007.

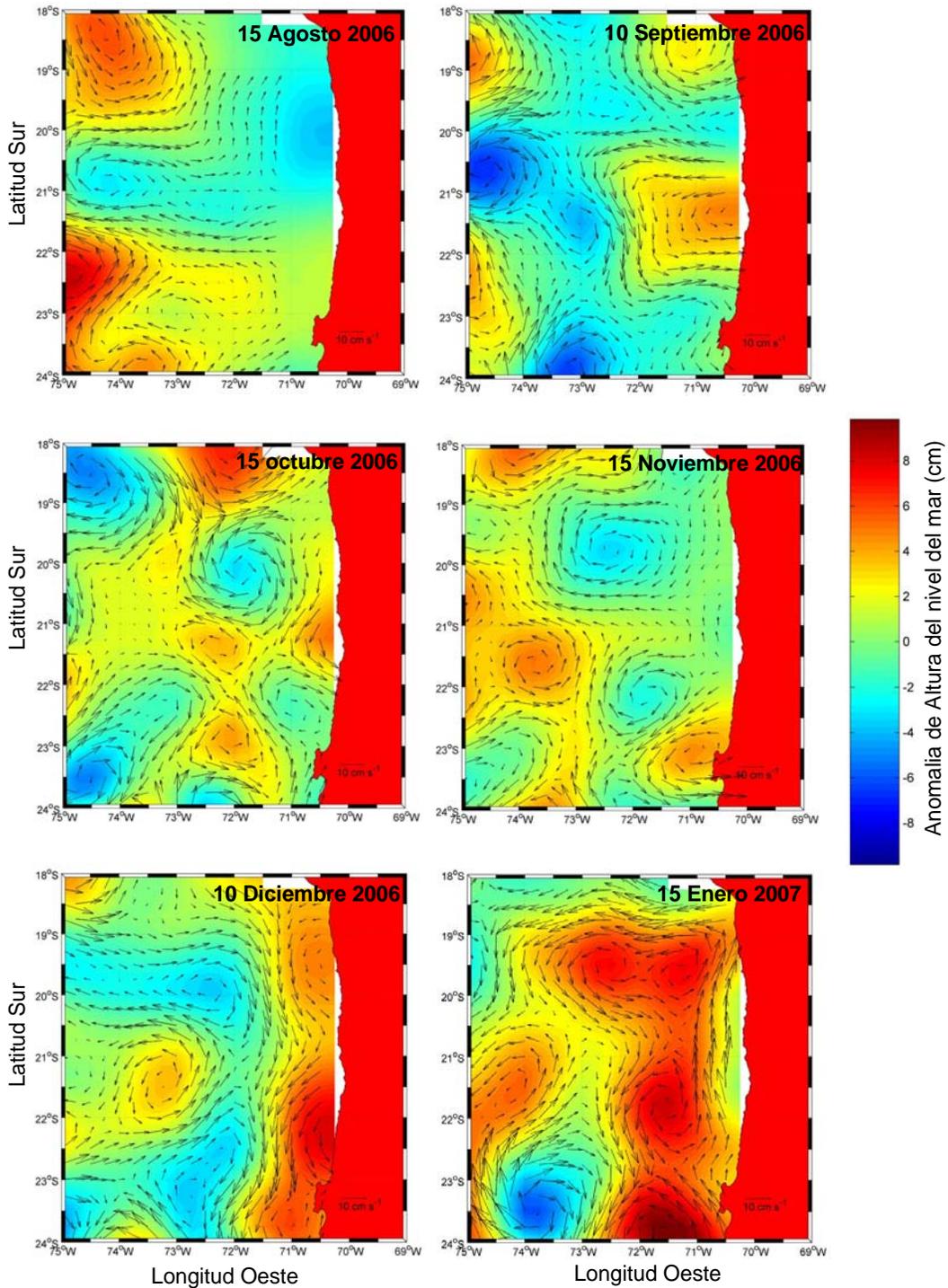


Figura 5. Imágenes de circulación geostrófica superficial y altura del mar medida con satélite para los meses de agosto de 2006 a enero de 2007.

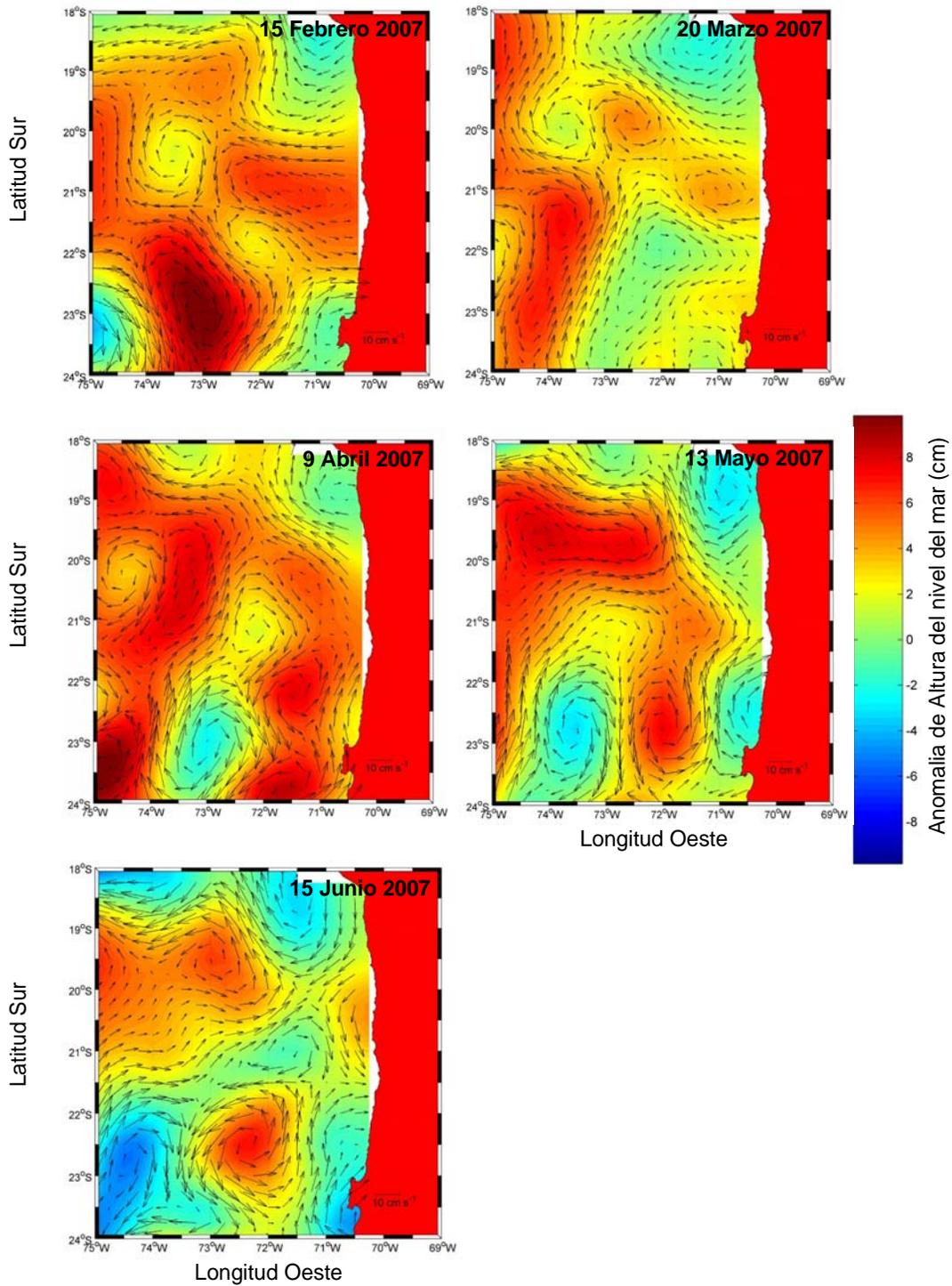


Figura 6. Imágenes de circulación geostrófica superficial y altura del mar medida con satélite para los meses de febrero a junio de 2007.

A N E X O 3

**Talleres de difusión,
lista de asistentes y
fotos actividades
cruceros
(en CD)**



ANEXO 4

**Personal participante
por actividad**

**PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD****A. INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO IFOP - CORPESCA S.A**

Nombre	Título	Función
Mauricio Braun Alegría	Licenciado en Biología	Jefe de Proyecto Coordinación general Cruceros y estaciones costeras de vigilancia, Participa en cruceros estacionales, procesamiento, análisis de ictioplancton y sus relaciones con variables físicas, CUFES, elaboración de boletines mensuales, informes y análisis integrado .
Hernán Reyes Rivas	Oceanógrafo	Participa en cruceros, procesamiento y análisis de información oceanográfica, elaboración de boletín mensual e informes.
Jorge Castillo Pizarro	Ingeniero Pesquero	Participa en cruceros, procesamiento y análisis de datos acústicos, elaboración de informes.
Vivian Valenzuela Cuevas	Biólogo Marino	Participa en cruceros. Coordinación estaciones costeras, procesamiento y análisis del ictioplancton, CUFES, elaboración boletines mensuales e informes de avance.
Eliza Pizarro Revello	Oceanógrafo	Procesamiento y análisis de clorofila-a y contenido de oxígeno disuelto, elaboración de boletines mensuales e informes.
Victor Catasti Barraza	Ingeniero Pesquero	Participa en cruceros, análisis de TSM satelitales y relaciones exploratorias entre huevos y larvas de peces y variables físicas, elaboración de boletines mensuales e informes.
Guillermo Galindo Pérez	Técnico	Participa en cruceros, analista de oxígeno a bordo, procesamiento de muestras zooplanctónicas.
José Cañon Canales	Oceanógrafo CORPESCA	Participa en cruceros y estaciones costeras de vigilancia, procesamiento y análisis de salinidad y oxígeno de estaciones costeras, Elaboración boletines.
Fernando Espindola R.	Ingeniero Pesquero Candidato Magister Cs.	Procesamiento y análisis sensores remotos.
Jorge Toro M	Técnico CORPESCA	Participa en estaciones costeras, colecta de muestras y analista de oxígeno a bordo.
Manuel Rojas R.	Técnico Marino	Participa en cruceros in situ
Juan Saavedra Nievas	Master en Estadística	Análisis estadístico - Modelación Numérica



HORAS/HOMBRE POR ACTIVIDAD PRINCIPAL

Objetivo Específico 2.1

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernan Reyes R.	134	46	80	70	330
Fernando Espindola		30	30		60
Milena Pizarro R.	134	100	133	70	437
TOTAL	268	176	243	140	827

Objetivo Específico 2.2

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A.	21	100	269	180	570
Vivian Valenzuela C.	160	150	85	100	495
Juan Saavedra N.		40	40	10	90
Guillermo Galindo P.	164	100			264
Victor Catasti B.	138	26	50	40	254
TOTAL	483	416	444	330	1673

Objetivo Específico 2.3

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Jorge Castillo P.	157	68	103	49	377
Manuel Rojas	144				144
TOTAL	301	68	103	49	521



Objetivo Específico 2.4

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A.		40	100	70	210
Milena Pizarro R.		52	20	20	92
Vivian Valenzuela C.		50	30	80	160
Guillermo Galindo P.		96			96
Victor Catasti B.		10	26	9	45
Hernán Reyes R.		10	14	10	34
CORPESCA					
José Cañon C.	100	40		100	240
Jorge Toro M.	280	40		80	400
TOTAL	380	338	190	369	1277

A N E X O 5

**CD con Informe final en pdf y
Resumen Ejecutivo en word**





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO
Blanco 839, Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl