



**INFORME FINAL
CORREGIDO**

Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas
entre la XV y IV Regiones, año 2009
FIP N° 2009-38 / Diciembre-2010



**INFORME FINAL
CORREGIDO**

**Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas
entre la XV y IV Regiones, año 2009**

FIP N° 2009-38 / Diciembre-2010

REQUIRENTE

FONDO DE INVESTIGACIÓN PESQUERA

Presidente Consejo de Investigación Pesquera:
Pablo Galilea Carrillo

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Jefe División Investigación Pesquera
Mauricio Braun Alegría

Director Ejecutivo
Jorge Antonio Toro Da'Ponte

JEFE DE PROYECTO

Mauricio Braun Alegría



FIP N° 2009-38 / Diciembre-2010

AUTORES

*Distribución espacial y variaciones espacio temporales
de las variables oceanográficas físicas y químicas*

**Hernán Reyes R.
Elisa Pizarro R.
Liliana Herrera C.
Mauricio Braun A.
Edgardo Santander P.**

Abundancia, distribución y composición del plancton

**Mauricio Braun A.
Vivian Valenzuela C.
Juan Saavedra N.
Victor Catasti B.
Jorge Angulo A.**

Distribución y abundancia de los recursos pelágicos

Jorge Castillo P.

*Variabilidad superficial de temperatura, clorofila
y nivel del mar por medio de percepción remota*

**Fernando Espindola R.
Jorge Castillo P.**

COLABORADORES

**Hernán Miles U.
Guillermo Galindo P.
Manuel Rojas G.
Jeannelle Jaque B.**



I. RESUMEN EJECUTIVO

De conformidad con lo establecido en los Términos Técnicos de Referencia y la Propuesta Técnica, se presentan los resultados relativos a las condiciones oceanográficas físicas del área de estudio, la distribución y abundancia de macrozooplancton y de huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa y la distribución y abundancia relativa de dichos recursos pelágicos evaluados por medio de técnicas hidroacústicas, correspondientes al crucero realizado en octubre de 2009 del proyecto FIP N° 2009-38 "Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas entre la XV y IV Regiones, año 2009".

Este crucero correspondió a la primera actividad de terreno del proyecto en comento, el cual se identificó dentro de las necesidades de investigación por el Consejo Nacional de Investigación Pesquera para el año 2009 y que fue licitado al Instituto de Fomento Pesquero, a objeto de mantener un sistema regular, oportuno y periódico de observación de las condiciones de la pesquería y de su ambiente bio-oceanográfico, a objeto de poder fundamentar de mejor manera la adopción de medidas de administración pesquera en pos de una adecuada conservación de los recursos hidrobiológicos.

Metodológicamente, se realizó el crucero bio-oceanográfico desde el 05 al 29 de octubre de 2009 a bordo del B/C "Abate Molina", efectuando además, las tres estaciones costeras de frecuencia de observación mensual localizadas a 2 mn al oeste de Mejillones, Iquique y Arica, con el fin de recabar los datos biológicos, pesqueros y oceanográficos; y posteriormente, procesar y analizar la información con el fin de determinar y evaluar las condiciones bio-oceanográficos de primavera en la zona norte del país.



Los principales resultados del monitoreo bio-oceanográfico de octubre de 2009 de la zona norte, son los siguientes:

La distribución horizontal y vertical de temperatura, salinidad y densidad mostraron durante octubre de 2009, eventos de surgencia débil al norte de Tocopilla y surgencias intensas alrededor de la bahía de Coquimbo, donde se alcanzaron las mayores concentraciones de clorofila junto con el sector norte de Mejillones. La zona de Arica, presentó en una estrecha banda latitudinal la penetración de aguas de origen Subtropical y la capa de mínimo oxígeno se presentó menos profunda de lo habitual. Anomalías negativas del nivel del mar a lo largo de la zona de estudio, evidenciaron el predominio de circulación geostrófica de tipo ciclónica que favoreció las corrientes hacia el sur en el eje de las 72°W.

Condiciones cálidas asociadas al paso de ondas atrapadas a la costa como consecuencia del evento “El Niño” se manifestaron en la zona norte entre diciembre de 2009 y junio de 2010, con un pico de intensidad en Arica en los meses de enero y febrero, disminuyendo en intensidad hacia el sur y con un desfase de tiempo de un mes.

En el período de mayor intensidad del proceso cálido, disminuyeron en el área costera entre Arica y Antofagasta las concentraciones de clorofila. Este proceso cálido fue el más intenso registrado después de la ocurrencia de “El Niño 1997-98” en la zona norte de Chile.

La información del crucero, satelital y de las estaciones fijas, indicó que la zona norte de Chile, mantuvo condiciones neutras e incluso levemente frías durante el mes de octubre, salvo la localidad costera y oceánica de Arica, que por un proceso local tuvo anomalías térmicas positivas



Hasta octubre de 2009, no se evidencia en la zona de estudio, los efectos del evento “El Niño”, que produjo el aumento de la temperatura a lo largo de todo el Pacífico Ecuatorial y la costa de California. La tendencia del índice multivariado ecuatorial, señalaba que este evento cálido en desarrollo podría reforzarse durante los últimos meses de 2009 y durar al menos, hasta el verano de 2010.

Entre las formas nitrogenadas, los valores máximos detectados de amonio, nitrito y nitrato fueron de 6,964, 12,84 y 30,44 μM respectivamente. El fosfato exhibió una concentración máxima de 6,35 μM , y el silicato de 29,78 μM . La distribución vertical de todos los nutrientes se caracterizó por el aumento de las concentraciones con la profundidad. La distribución horizontal reveló altas concentraciones de nitrito, fosfato y silicato en un área comprendida entre Arica y Rada Raposo, mientras que hacia el sur, entre Punta Ballenita y Pichidangui, destacaron mayores valores de nitrato.

Las concentraciones se mantuvieron dentro de los rangos detectados en la zona. La estructura química vertical sería producto de la actividad fotoautotrófica dentro de los primeros 25 m y de procesos regenerativos junto a la presencia del agua fuente de la surgencia en aguas más profundas. Los altos valores de nitrito detectados en la zona norte, estarían asociados a la presencia de la zona de mínima concentración de oxígeno y a procesos de desnitrificación. Las altas concentraciones de fosfato y silicato en la zona norte sugieren un proceso de surgencia activo.

Las altas concentraciones de nitrato registradas en la parte sur de la zona de estudio, han sido atribuidas a reducidos procesos de mezcla y circulación, además, pueden relacionarse a una componente planctónica autotrófica con menores requerimientos de nutrientes. Sin embargo, las bajas concentraciones de fosfato y silicato sugieren la presencia de una comunidad que puede hacer uso



activo de estos elementos, lo cual requiere de un mayor análisis en el cual podría incorporarse la estructura biológica representada por la biomasa fitoplanctónica.

El análisis de las muestras recolectadas en las 209 estaciones zooplanctónicas permitió verificar la presencia de 298.596 huevos y 72.000 larvas de anchoveta, señalando una situación característica de una importante actividad reproductiva a lo largo de la extensión latitudinal comprendida principalmente entre Arica y bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$). Entre rada Paposo ($25^{\circ}00'S$) y Pichidangui ($32^{\circ}08'S$) no se registró presencia de huevos de esta especie, a excepción de la estación de 1 mn realizada frente a caleta Cruz Grande ($29^{\circ}40'S$), mientras que los estadios larvales, latitudinalmente se distribuyeron entre Arica y punta Farellones ($30^{\circ}20'S$), no registrándose su presencia al oeste de punta Molle ($28^{\circ}20'S$), frente a caleta Maitencillo de Coquimbo ($31^{\circ}15'S$) y Pichidangui, respectivamente.

La distribución horizontal de huevos y larvas de anchoveta durante octubre de 2009, muestra una coherencia espacial con las corrientes geostroficadas. En el codo de Arica se genera una acumulación de huevos y larvas asociadas a bajas intensidades de corriente. Entre Arica e Iquique, corrientes anticiclónicas asociadas a un giro anticiclónico de mesoescala presente en la zona, producen una dispersión de huevos y larvas desde la zona costera hacia la zona oceánica. Específicamente frente a Iquique, se observa la mayor cantidad de huevos y larvas fuera de la costa, asociadas al centro de un giro ciclónico. Al sur de Iquique, tanto huevos como larvas son proyectados hacia fuera de la costa por una corriente divergente asociada a un giro ciclónico frente a Iquique y uno anticiclónico ($\sim 21^{\circ}S$). Las corrientes de este último, concentran a los huevos y larvas hacia la costa, cerca de los $21,5^{\circ}S$. La zona de bahía de Mejillones y bahía Moreno, parecen comportarse como zonas de retención, ya que al menos la última está vinculada espacialmente a una corriente convergente hacia la costa,



producida por un giro anticiclónico. Una situación similar ocurrió al norte de bahía Coquimbo y en la zona de Chañaral.

Respecto a los rangos de distribución preferencial del ictioplancton de anchoveta cabe señalar que los huevos se ubicaron en el margen interno de aguas de 17 y 18°C y en sectores de diferenciales térmicos importantes, lo que se relaciona con la franja de aguas frías que recorre la costa. Por su parte, las larvas mayoritariamente se presentaron en aguas de 16-19°C (a excepción de 1997 y 2002) y en sectores de gradientes térmicos moderados.

El patrón de distribución de los huevos, indicó que en general mostraron un comportamiento espacial costero, donde las mayores agregaciones se localizaron en las 20 primeras millas de la costa. Por su parte, las larvas exhibieron una distribución geográfica más extensa, especialmente desde el año 2005 en adelante, período en el cual incrementaron fuertemente su repartición geográfica, detectándose focos de altas densidades que abarcaron desde la costa hasta las 100 millas náuticas. Asimismo, la distribución espacial del ictioplancton mostró tres sectores principales, el primero localizado en los alrededores del puerto de Arica, el que posee una baja extensión espacial, un segundo núcleo se ubicó en las proximidades de punta Lobos (foco principal) y el tercer núcleo se observó en las inmediaciones de Antofagasta (sector ribereño), destacándose el área adyacente a punta Lobos, como un sector en el cual históricamente se han registrado densidades importantes de huevos y larvas de la especie.

Por su parte, el patrón de distribución de los centros de gravedad indicó que éstos no presentaron un comportamiento territorial muy definido, sin embargo en el caso de los huevos, éstos se posicionaron mayoritariamente en las primeras millas de la costa. Respecto a las larvas, éstas presentaron **CG** más oceánicos y exhibieron



una distribución geográfica más extensa especialmente desde el año 2005 en adelante.

Las especies detectadas en la prospección acústica fueron la anchoveta (*Engraulis ringens*), jurel (*Trachurus murphyi*), pez linterna (*Vinciguerria*) y jibia (*Dosidicus gigas*). El recurso más abundante en toda la zona de estudio (Arica a Pichidangui) fue el pez linterna con un 60,3% de la densidad acústica total; la anchoveta con un 32,1%; el jurel con un 6,4%; y la jibia con un 0,3%.

En general la anchoveta se distribuyó principalmente en las primeras 20 mn de la costa entre Arica y Antofagasta, En el sentido vertical, esta especie se localizó hasta los 41,5 m de profundidad, con promedio de 12,3 m, asociado a una temperatura promedio de 15,8°C, valor que concuerda con las temperaturas históricas del período considerado “normal” previo al 2006. La salinidad promedio en que se distribuyó la anchoveta fue 34,83 psu, valor comparable al promedio histórico.

El jurel presentó una distribución vertical promedio de 25,4 m, con un leve incremento en la profundidad hacia el sur de Caldera. La temperatura promedio en que se distribuyó el jurel fue 14,1°C, valor comparable al 2007 (14,7°C) y a los obtenidos en la serie histórica de invierno “normal” previa al 2005. La salinidad promedio fue de 34,57 psu valor que se mantiene por debajo de los promedios previos al 2007.



II. ÍNDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN EJECUTIVO.....	1
II. ÍNDICE GENERAL	7
III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS.....	10
IV. OBJETIVOS	27
1. Objetivo general.....	27
2. Objetivos específicos.....	27
V. ANTECEDENTES GENERALES	29
VI. METODOLOGÍA POR OBJETIVO.....	35
1. Zona de estudio	35
2. Diseño de muestreo	35
3. Objetivo específico N° 2.1.....	37
3.1 Recolección de muestras y registro de datos	37
3.2 Procesamiento de la información obtenida en el crucero	41
3.3 Distribución espacial y temporal de la temperatura superficial del mar (TSM) satelital cotánea al crucero	50
3.4 Distribución espacial y temporal de la clorofila superficial del mar satelital correspondientes al periodo de crucero	51
3.5 Imágenes satelitales de viento superficial correspondientes al período de crucero	51
3.6 Imágenes satelitales de anomalía de nivel del mar y corrientes geostróficas correspondientes al periodo de crucero	52
4. Objetivo específico N° 2.2	53
4.1 Calibración de flujómetros TSK	53
4.2 Recolección de las muestras	53
4.3 Macrozooplancton	55
4.4 Ictioplancton	64



5.	Objetivo espec3fico N° 2.3.....	76
5.1	Calibraci3n del sistema ac3stico	76
5.2	Identificaci3n de especies.....	78
5.3	Distribuci3n de los recursos.....	81
5.4	3ndices de cobertura y densidad	81
6.	Objetivo espec3fico N° 2.4	83
6.1	Variables oceanogr3ficas	83
6.2	Variables biol3gicas	84
6.3	Informaci3n satelital	84
6.4	Plancton	84
7.	Objetivo espec3fico N° 2.5	85
7.1	Monitoreo oceanogr3fico satelital	85
VII.	RESULTADOS	90
A.	Objetivo espec3fico N° 2.1	90
1.	Condiciones oceanogr3ficas	90
B.	Objetivo espec3fico N° 2.2	131
2.	Distribuci3n y abundancia de huevos y larvas de peces	131
C.	Objetivo espec3fico N° 2.3	165
3.	Distribuci3n espacial de los recursos	165
D.	Objetivo espec3fico N° 2.4	176
4.	Estaciones costeras de vigilancia Arica, Iquique y Mejillones.....	176
E.	Objetivo espec3fico N° 2.5	189
5.	Serie de temperatura superficial del mar satelital (TMS)	189
VIII	DISCUSI3N	194



IX	CONCLUSIONES.....	226
X.	BASE DE DATOS	231
1	Datos oceanográficos y meteorológicos	231
2.	Clorofila-a	234
3.	Nutrientes	234
4.	Huevos y larvas de peces	235
5.	Datos zooplancton y biomasa zooplanctónica del crucero	235
6.	Estaciones fijas	238
7.	Acústica	239
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	241

FIGURAS

TABLAS

ANEXOS:

- Anexo 1.** Bitácora de estaciones bio-oceanográficas y registro de datos meteorológicos.
- Anexo 2.** Personal participante por actividad.
- Anexo 3.** Taller de difusión y discusión de resultados.
- Anexo 4.** Base Datos Corregida Proyecto FIP N° 2009-38.



III. ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

FIGURAS

- Figura 1.** Ubicación geográfica de las estaciones bio-oceanográficas. Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.
- Figura 2.** Posición geográfica de las estaciones CUFES. Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.
- Figura 3.** Dirección e intensidad del viento (m/s) (a), índice de surgencia promedio (b) e índice de turbulencia (c) del viento predominante medido cada una hora sobre el track de navegación. Crucero MOBIO Octubre 2009.
- Figura 4.** Distribución superficial de (a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (b) anomalía de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (c) salinidad (psu) y (d) anomalía de salinidad (psu). Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 5.** Distribución superficial de (a) densidad ($\sigma\text{-t}$) (kg/m^3), (b) contenido de oxígeno disuelto (mL/L), (c) profundidad de la isoterma de 15°C (m) y (d) anomalía de profundidad de la isoterma 15°C (m). Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 6.** Distribución espacial de (a) Profundidad de la isolínea de oxígeno correspondiente a la concentración de $1 \text{ mL}/\text{L}$, como indicadora del límite superior de la capa de mínimo oxígeno disuelto, b) espesor de la capa de mezcla (m), (c) espesor de la termoclina (m) y (d) temperatura base de la termoclina ($^{\circ}\text{C}$). Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 7.** Profundidad de la base de la termoclina (m) (a), gradiente de temperatura promedio de la termoclina ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) (b), máximo gradiente de temperatura en la termoclina ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) (c) y profundidad del máximo gradiente de temperatura en la termoclina (m) (d). Crucero MOBIO - Octubre 2009.



- Figura 8.** Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas 1 a 6. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 9.** Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas 7 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 10.** Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas 13 a 18. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 11.** Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en las transectas 19 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 12.** Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas 1 a 6. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 13.** Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas 7 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 14.** Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas 13 a 18. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 15.** Distribución vertical de salinidad (psu) en las transectas 19 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 16.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$)(kg/m^3) en las transectas 1 a 6. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 17.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$)(kg/m^3) en las transectas 7 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 18.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$)(kg/m^3) en las transectas 13 a 18. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 19.** Distribución vertical de densidad ($\sigma\text{-t}$)(kg/m^3) en las transectas 19 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.



- Figura 20.** Anomalía vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y salinidad (psu) en las transectas: 13 (Bahía Moreno, $23^{\circ}40'\text{S}$), 17 (Pta. Lobos; $21^{\circ}00'\text{S}$) y 21 (Arica; $18^{\circ}25'\text{S}$).
- Figura 21.** Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas 1 a 6. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 22.** Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas 7 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 23.** Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas 13 a 18. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 24.** Distribución vertical del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas 19 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 25.** Distribución vertical de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y salinidad (psu) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 26.** Distribución vertical de contenido de oxígeno disuelto (mL/L) 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. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 27.** Diagramas T-S de las estaciones por sección perpendicular a la costa. Transectas 1 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 28.** Diagramas T-S de las estaciones por sección perpendicular a la costa. Transectas 13 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Figura 29.** Distribución vertical del porcentaje de participación de la masa de agua Subtropical (AST), agua Subantártica (ASAA) y agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas 1, 4, 9, 13, 17 y 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.



- Figura 30.** Distribución de a) clorofila-a superficial ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmento superficial ($\mu\text{g/L}$), c) fluorescencia in vivo (volt). Crucero MOBIO - Octubre de 2009.
- Figura 31.** Distribución de a) clorofila integrada (mg/m^2) y b) feopigmentos integrados (mg/m^2). Crucero MOBIO 0910 - Octubre de 2009.
- Figura 32.** Distribución histórica de clorofila-a superficial ($\mu\text{g/L}$) en: bahía Moreno (T1), punta Copaca (T2), punta Lobos (T3), punta Junín (T4) y Arica (T5), para el trimestre agosto-octubre en el período 1993 - 2009. (cruceros realizados en los años 1993 y 1996 sin información de clorofila-a).
- Figura 33.** Distribución vertical de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 1 a 8. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.
- Figura 34.** Distribución vertical de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 9 a 16. Crucero MOBIO 0910 - Octubre de 2009.
- Figura 35.** Distribución vertical de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 17 a 21. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.
- Figura 36.** Distribución vertical de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 1 a 8. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.
- Figura 37.** Distribución vertical de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 9 a 16. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.
- Figura 38.** Distribución vertical de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 17 a 21. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.
- Figura 39.** Distribución vertical de fluorescencia in vivo (volt) en las transectas 1 a 8. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.



- Figura 40.** Distribución vertical de fluorescencia in vivo (volt) en las transectas 9 a 16. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.
- Figura 41.** Distribución vertical de fluorescencia in vivo (volt) en las transectas 17 a 21. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.
- Figura 42.** Distribución horizontal de la concentración de amonio (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.
- Figura 43.** Distribución horizontal de la concentración de amonio (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.
- Figura 44.** Distribución vertical de la concentración de amonio (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Paposó (T11), Caldera (T8) y Cta. Maitencillo de Coquimbo (T2).
- Figura 45.** Distribución horizontal de la concentración de nitrito (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.
- Figura 46.** Distribución horizontal de la concentración de nitrito (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.
- Figura 47.** Distribución vertical de la concentración de nitrito (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Paposó (T11), Caldera (T8) y Caleta Maitencillo de Coquimbo (T2).
- Figura 48.** Distribución horizontal de la concentración de nitrato (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.
- Figura 49.** Distribución horizontal de la concentración de nitrato (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.
- Figura 50.** Distribución vertical de la concentración de nitrato (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Paposó (T11), Caldera (T8) y Caleta Maitencillo de Coquimbo (T2).



- Figura 51.** Distribución horizontal de la concentración de fosfato (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.
- Figura 52.** Distribución horizontal de la concentración de fosfato (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.
- Figura 53.** Distribución vertical de la concentración de fosfato (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Paposos (T11), Caldera (T8) y Caleta Maitencillo de Coquimbo (T2).
- Figura 54.** Distribución horizontal de la concentración de silicato (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.
- Figura 55.** Distribución horizontal de la concentración de silicato (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.
- Figura 56.** Distribución vertical de la concentración de silicato (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Paposos (T11), Caldera (T8) y Caleta Maitencillo de Coquimbo (T2).
- Figura 57.** Temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente al promedios semanales entre el (a) 30 de septiembre y 7 de octubre, b) entre el 8 y 15 de octubre y c) entre el 16 y 23 de octubre de 2009.
- Figura 58.** Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente al promedio semanal entre el (a) 30 de septiembre y 7 de octubre, b) entre el 8 y 15 de octubre y c) entre el 16 y 23 de octubre de 2009. La línea negra gruesa marca la isolínea de 1 $\mu\text{g/L}$ y la línea negra delgada marca la concentración de 0,25 $\mu\text{g/L}$.
- Figura 59.** Anomalía de nivel del mar (cm) y velocidad geostrofica (cm/s) de los días 1 y 11 de octubre de 2009.



- Figura 60.** Intensidad del viento (m/s) y velocidad del viento (m/s) proveniente de imágenes satelitales Quikscat y que representan los promedios semanales entre el 28 de septiembre y 4 de octubre, el 5 y 11 de octubre, 12 y 18 de octubre y 19 y 25 de octubre de 2009.
- Figura 61.** Distribución y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de Anchoveta (Nº huevos/larvas/10m²) Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.
- Figura 62.** Densidad media de huevos de anchoveta (a) estimada para el período 1983-2009, a través de la media de una distribución delta y proporción de estaciones positivas (b). Intervalos de confianza alfa=0,1.
- Figura 63.** Densidad media de larvas de anchoveta (a) estimada para el período 1983-2009, a través de la media de una distribución delta y proporción de estaciones positivas (b). Intervalos de confianza alfa=0,1.
- Figura 64.** Distribución de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta en conjunto con las anomalías de nivel del mar y corrientes geostróficas del día 19 de octubre, tomado como representativo de la circulación observada durante el período del crucero.
- Figura 65.** Abundancia promedio de huevos de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta - Arica en primavera de los años 1983/2009.
- Figura 66.** Abundancia promedio de larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta - Arica en primavera de los años 1983/2009.
- Figura 67.** Distribución y abundancia de huevos de Anchoveta, *Engraulis ringens*. Cruceros Primavera. Período 1983 - 2009.
- Figura 68.** Distribución y abundancia de larvas de Anchoveta, *Engraulis ringens*. Cruceros Primavera. Período 1983 - 2009.



- Figura 69.** Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta y sardina en primavera del período 1983/2009.
- Figura 70.** Variación temporal de la intensidad del desove de (A) huevos y (B) larvas de anchoveta, para el período invierno 1995 - primavera 2009. (Línea negra=media móvil).
- Figura 71.** Distribución y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de *Vinciguerria* (Nº huevos/larvas/10m²) Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.
- Figura 72.** Distribución y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de *M. gayi* común (Nº huevos/larvas/10m²) Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.
- Figura 73.** Distribución y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de agujilla (Nº huevos/larvas/10m²) Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.
- Figura 74.** Distribución y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de Mictophidae (Nº huevos/larvas/10m²) Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.
- Figura 75.** Distribución y abundancia de huevos y larvas de anchoveta recolectados con la bomba de huevos CUFES. Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.
- Figura 76.** Distribución espacial y temporal de los huevos de anchoveta y las TSM. Años 1997-2009
- Figura 77.** Distribución espacial y temporal de las larvas de anchoveta y las TSM. Años 1997-2009.
- Figura 78.** Rangos de distribución preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la temperatura (°C). Años 1997-2009.
- Figura 79.** Rangos de distribución preferencial de las larvas de anchoveta respecto de la temperatura (°C). Años 1997-2009.



- Figura 80.** Distribución espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de a) huevos y b) larvas de anchoveta. Años 1997-2009.
- Figura 81.** Densidad media y proporción de estaciones positivas con su intervalo de confianza para huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, por año y período total. Cruceros realizados en la XV, I y II Región entre octubre y diciembre desde los años 1997 a 2009.
- Figura 82.** 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 entre octubre y diciembre, desde el año 1997 a 2009.
- Figura 83.** 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 XV, I y II Región entre octubre y diciembre, desde el año 1997 a 2009.
- Figura 84.** 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 XV, I y II Región entre octubre y diciembre, desde el año 1997 a 2009.

- Figura 85.** 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 XV, I y II Región entre octubre y diciembre, desde el año 1997 a 2009.
- Figura 86.** 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 XV, I y II Región entre octubre y diciembre, desde el año 1997 a 2009.
- Figura 87.** Distribución de la abundancia promedio de los principales grupos zooplanctónicos con respecto a la distancia de la costa. Crucero MOBIO – Octubre 2009.
- Figura 88.** Rangos latitudinales donde se presentaron las agregaciones más altas de los diferentes grupos zooplanctónicos (en colores) y posición latitudinal de sus abundancias máximas (■). Crucero MOBIO – Octubre 2009.
- Figura 89.** Distribución de la abundancia promedio de los principales grupos zooplanctónicos con respecto a la latitud. Crucero MOBIO – Octubre 2009.
- Figura 90.** Distribución geográfica de los distintos grupos zooplanctónicos presentes entre Arica y Pichidangui. Crucero MOBIO - Octubre 2009.



- Figura 91.** Abundancia promedio por estrato de profundidad de copépodos, apendicularias, quetognatos, larvas de eufáusidos y eufáusidos. Crucero MOBIO – Octubre 2009.
- Figura 92.** Distribución y abundancia por estación de copépodos, larvas de eufáusidos, quetognatos, apendicularias, doliólidos y eufáusidos. Crucero MOBIO – Octubre 2009.
- Figura 93.** Distribución de la biomasa zooplanctónica para la zona Arica - Pichidangui en Primavera de 2009. Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.
- Figura 94.** Distribución de la biomasa zooplanctónica para la zona Arica - Antofagasta en Primavera de los años 1993 - 2009.
- Figura 95.** Distribución espacial de los índices de: A) Riqueza específica de Margalef, B) Diversidad de Shannon-Wiener, C) Diversidad de Hill N1, D) Homogeneidad de Pielou y E) Homogeneidad de Sheldon, para el área prospectada.
- Figura 96.** Dendrograma de estaciones y grupos para el área de estudio.
- Figura 97.** Proporción observada de estaciones (A) y número de taxas (B) por período del día separadas por zona. Valores al interior de las barras y entre paréntesis en el eje de las ordenadas corresponden a los tamaños de muestra (A) y al número de taxas en millones (B).
- Figura 98.** Porcentaje de estaciones por distancia a la costa y número de taxas (* 10^6) respecto de la zona y período del día.
- Figura 99.** Composición de la estructura zooplanctónica por período del día y zona, para los copépodos y el restante conjunto de taxas.
- Figura 100.** Distribución geográfica de anchoveta entre Arica-Antofagasta y Antofagasta-Pichidangui. Crucero MOBIO 0910.



- Figura 101.** Distribución geográfica de jurel entre Arica-Antofagasta y Antofagasta-Pichidanguí. Crucero MOBIO 0910.
- Figura 102.** Distribución geográfica de *Vinciguerria* entre Arica-Antofagasta y Antofagasta-Pichidanguí. Crucero MOBIO 0910.
- Figura 103.** Gráfico box-plot de la distribución batimétrica (m), temperatura (°C), salinidad (PSU) y sus gradientes (*m) para las agregaciones de anchoveta, jurel, *Vinciguerria* y jibia por latitud. Crucero MOBIO 0910.
- Figura 104.** Distribución vertical de Anchoveta por transecta respecto a los límites de la termoclina. Crucero MOBIO 0910.
- Figura 105.** Distribución vertical de Jurel por transecta respecto a los límites de la termoclina (Transecta 1-12). Crucero MOBIO 0910.
- Figura 106.** Efectos de los predictores Latitud (lat), Oxígeno disuelto (oxi), Distancia a la costa (dcost), Gr. Térmicos (gtem), Gr. Oxígeno (goxi) y Salinidad (sal) sobre la variable densidad de anchoveta, ajustado a un modelo GAM. Líneas segmentadas corresponden a bandas de confianza y lo (predictor) función suavizadora loess.
- Figura 107.** Variabilidad temporal de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) oxígeno disuelto (mL/L) y d) clorofila-a (µg/L), en la estación costera de Arica. Mayo 1997 - Mayo 2010.
- Figura 108.** Variabilidad temporal de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) oxígeno disuelto (mL/L) y d) clorofila-a (µg/L), en la estación costera de Iquique. Mayo 1997 - Mayo 2010.
- Figura 109.** Variabilidad temporal de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) oxígeno disuelto (mL/L) y d) clorofila-a (µg/L), en la estación costera de Mejillones. Mayo 1997 - Mayo 2010.



- Figura 110.** Distribución y abundancia de huevos y larvas de anchoveta en los diferentes estratos de profundidad de las estaciones de monitoreo mensual.
- Figura 111.** Distribución temporal de la biomasa zooplanctónica en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones. Crucero MOBIO - Octubre de 2009/Junio 2010.
- Figura 112.** Distribución temporal por estrato de profundidad de la biomasa zooplanctónica en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.
- Figura 113.** Monitoreo de la temperatura superficial del mar (°C) semanal en la banda costera (~20 km) de la zona norte de Chile (16°-34°S), durante el período 2005-2010 (Fuente: Ocean Color Web, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).
- Figura 114.** Monitoreo de la clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) semanal en la banda costera (~20km) de la zona norte de Chile (16°-34°S), durante el período 2005-2010 (Fuente: Ocean Color Web, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).
- Figura 115.** Anomalía del nivel del mar (cm) semanal de los píxeles más cercanos a la costa para la zona norte de Chile (16°-34°S) medido por la combinación de los satélites ERS, Topex y Jason, durante el período 2005-2010. Se muestra el valor medio dado a lo largo del tiempo (panel superior) y el valor medio a lo largo de la latitud (panel izquierdo) (Fuente: Aviso, <http://www.aviso.oceanobs.com>).
- Figura 116.** Transporte perpendicular a la costa (m^3/s) por 1000 metros de costa generado por la componente a lo largo de la costa, del viento medido por el satélite QuikScat de los píxeles más cercanos a la costa para la zona norte de Chile (16°-34°S) durante el periodo 2005-2009. Se muestra el valor medio dado a lo largo del tiempo (panel superior) y el valor medio a lo largo de la latitud (panel izquierdo) (Fuente: PO.DAAC, <http://podaac-www.jpl.nasa.gov>).



- Figura 117.** Series latitudinales promedio para el año 2009 de la a) captura (ton), transporte de Ekman y Nivel (m^3/s) del mar (cm) y las series b) captura (ton), temperatura superficial del mar ($^{\circ}C$) y clorofila-a ($\mu g/L$).
- Figura 118.** Series temporales del transporte de Ekman (m^3/s), anomalía del nivel del mar (cm), concentración de clorofila-a ($\mu g/L$) y temperatura superficial del mar ($^{\circ}C$) durante el período 2005-2010.
- Figura 119.** Mapa indicando las diferentes regiones de “El Niño” en el Océano Pacífico y serie de tiempo de anomalía de la Temperatura Superficial del mar ($^{\circ}C$) de cada una de ellas en los periodos junio 2008 a mayo 2009 y de junio 2009 a mayo 2009 (note que las escalas para los gráficos son distintas). Las anomalías están computadas respecto al periodo 1971-2000. Fuente: CPC/NCEP).
- Figura 120.** Valores históricos del índice multivariado Ecuatorial entre el período enero 2000 – abril 2010 (Fuente: Earth system research Laboratory (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>)).
- Figura 121.** Anomalía de temperatura superficial promedio entre las fechas del 4 y 31 de octubre de 2009 en Océano Pacífico (fuente: Earth System Research Laboratory).
- Figura 122.** Índices de Cobertura (IC) (%) y Densidad (t/mn^2) de anchoveta y jurel en los inviernos del período 1996-2009.
- Figura 123.** Índices de Cobertura (IC) (%) y Densidad (t/mn^2) de anchoveta y jurel históricos. Período 1997-2009.
- Figura 124.** Serie histórica de los valores promedio, mínimos y máximos de profundidad, temperatura y salinidad de jurel y anchoveta en los inviernos de los períodos 1996-2009.



TABLAS

- Tabla 1.** Categorías por densidad.
- Tabla 2.** Bitácora de las estaciones con medición de profundidad del 1% de penetración de luz, estimado a través de la profundidad del disco Secchi, con la correspondiente estimación de CM y la hora de medición. Octubre 2009.
- Tabla 3.** Densidad promedio, constancia, dominancia numérica y rangos de huevos y larvas de peces. Crucero MOBIO Octubre 2009. Zona Arica - Pichidangui.
- Tabla 4.** Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta, Zona Antofagasta - Arica en primavera de 1985 - 2009.
- Tabla 5.** Estimación del índice de abundancia larval para sardina, Zona Antofagasta - Arica en primavera de 1985 - 2009.
- Tabla 6.** Tamaños de muestra, valor del estadístico y p-value de prueba de Kolmogorov-Smirnov, para el análisis distribucional de la densidad de huevos o larvas de anchoveta, en los cruceros realizados entre octubre y diciembre, desde los años 1997 a 2009.
- Tabla 7.** 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 XV, I y II Región entre octubre y diciembre.
- Tabla 8.** 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 XV, I y II Región entre octubre y diciembre.
- Tabla 9.** 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 XV, I y II Regi3n entre octubre y diciembre, desde los a1os 1997 a 2009.

- Tabla 10.** An3lisis de devianza para los efectos no-param3tricos 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 XV, I y II Regi3n entre octubre y diciembre, desde los a1os 1997 a 2009.
- Tabla 11.** Grupos zooplanct3nicos identificados en las pescas planct3nicas. (t): totales; (+): positivas; DE: desviaci3n est3ndar, Dom (%): porcentaje de dominancia num3rica; FREC (%): porcentaje de frecuencia de ocurrencia. Crucero MOBIO – Octubre 2009.
- Tabla 12.** Porcentajes de ocurrencia, dominancia y patrones de clasificaci3n de los grupos zooplanct3nicos. Crucero MOBIO - Octubre 2009.
- Tabla 13.** Resultado de la prueba de Kruskal-Wallis. Los valores significativos se indican en negrita (valor $p < 0,05$). Crucero MOBIO – Octubre 2009.
- Tabla 14.** Biomasa promedio y rangos del zooplancton por crucero. Serie Primavera 1983/2009.
- Tabla 15.** N3mero estaciones, especies y ejemplares para las zonas al norte y sur de Antofagasta y per3odos del d3a.
- Tabla 16.** Porcentaje de ejemplares por grupo zooplanct3nico, seg3n per3odo del d3a, zona y total.
- Tabla 17.** Hip3tesis, estad3stico de Wald y valor p para el an3lisis por zona y per3odo del d3a.
- Tabla 18.** Resultados de las calibraciones hidroac3sticas hist3ricas de los sistemas SIMRAD EK-500 (para las frecuencias de 38 y EK-60 del B/C Abate Molina, por longitudes de pulso.



- Tabla 19.** Estadísticos de las variables de distribución vertical y de la hidrografía por especie y zona. Crucero MOBIO 0910.
- Tabla 20.** Análisis de Varianza de las covariables ajustadas al modelo gaussiano GAM para la relación con la densidad acústica de anchoveta seleccionadas a través del método de máxima verosimilitud. Valores P(F), AIC y Pseudo coeficiente de determinación.
- Tabla 21.** Índices de cobertura (IC) (%) y de Densidad (ID) (t/mn^2) de anchoveta, jurel, caballa y pez linterna estimados por zona en el crucero MOBIO 0910.
- Tabla 22.** Valores de temperatura ($^{\circ}C$), salinidad (psu), oxígeno disuelto (mL/L) y clorofila-a ($\mu g/L$) en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones obtenidos entre agosto de 2009 y junio de 2010.
- Tabla 23.** Abundancia de huevos y larvas de anchoveta por estrato de profundidad en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones. Octubre 2009 – Junio 2010.
- Tabla 24.** 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.

ANEXOS

- Anexo 1.** Bitácora de estaciones bio-oceanográficas y registro de datos meteorológicos.
- Anexo 2.** Personal participante por actividad.
- Anexo 3.** Taller de difusión y discusión de resultados.
- Anexo 4.** Base Datos Corregida Proyecto FIP N° 2009-38.



IV. 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** Determinar la distribución espacial, así como sus variaciones espacio-temporales, a nivel de meso-escala (km), de la variabilidad bio-oceanográfica, temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, clorofila-*a*, nutrientes y penetración de la luz, en la zona de estudio, en la estructura vertical de 0 a 200 m.
- 2.2** Determinar la abundancia estacional, distribución espacial y composición del plancton, incluyendo el macrozooplancton e ictioplancton, incluyendo huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa de la zona de estudio, y su relación con las condiciones oceanográficas indicadas en 2.1.
- 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** Determinar las variaciones mensuales en la zona costera de las variables señaladas en 2.1 y 2.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, dentro de la zona de estudio.



- 2.5** Determinar la variabilidad superficial de las variables temperatura del mar, clorofila-a y anomalía del nivel del mar por medio de percepción remota. La frecuencia mínima de análisis debe ser al menos mensual. Y asociar estas variaciones espacio-temporales con la actividad pesquera.



V. ANTECEDENTES GENERALES

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

Los desembarques del sector se sostienen principalmente en la extracción de unas pocas especies pelágicas y demersales, distinguiéndose entre los recursos pelágicos al jurel (*Trachurus murphyi*), anchoveta (*Engraulis ringens*) y caballa (*Scomber japonicus*), los cuales representan una fracción relevante de la captura total (SERNAPESCA, 2008). En efecto, durante los últimos años, la actividad pesquera de la zona norte se ha cimentado fundamentalmente en las capturas de anchoveta (69 %), caballa (10 %) y jurel (19 %) (Bohm y Aravena, 2010)

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.

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; produciéndose 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.

La importante actividad productiva generada en la XV, I y II Región mostró síntomas e indicadores de inestabilidad hace quince años, que se manifestaron en bajos niveles de desembarques en 1990, para estabilizarse en el período 1990-1995 en 2 millones de t y, transitoriamente, disminuir a la cifra histórica más baja de la pesquería con 240 mil t en 1998 (“El Niño” 1997-98). La producción pesquera se recuperó rápidamente, alcanzando en el período 1999-2006, las 1,0 millones de t.

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 de los factores reconocidos que permiten en la zona norte mantener la elevada biomasa fitoplanctónica que sostiene los niveles tróficos superiores, entre ellos a 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 autotróficos. 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; Chavez *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).

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.

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. 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 de estudio, es que 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 Chavez, 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 (Cañón, 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 (Cañón, 1986; Castillo y Guzmán, 1985; Castillo *et al.*, 1995a, Castillo *et al.*, 1995b).

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.

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 Investigaci3n Pesquera teniendo presente lo informado al efecto por la Subsecretar3a de Pesca, decidi3 el presente proyecto en el programa de investigaci3n pesquera correspondiente al a3o 2009, con la finalidad de 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.



VI. METODOLOGÍA POR OBJETIVO

1. Zona de estudio

El crucero de monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas correspondiente al año 2009, abarcó la zona marítima de la Décimo Quinta y Cuarta regiones, comprendida entre Arica (18°25'S) y Pichidanguí (32°08'S), desde la costa hasta una distancia de 100 millas náuticas. De acuerdo a lo señalado en las bases técnicas, la transecta realizada frente al puerto de Arica, tuvo una cobertura longitudinal máxima de 200 mn. En esta zona se realizó el crucero in situ y las estaciones costeras de vigilancia mensual.

2. Diseño de muestreo

En octubre de 2009 y de acuerdo a lo consignado en las bases especiales del proyecto, la zona de estudio se extendió hasta Pichidanguí por el sur, en concordancia con la ejecución del Décimo Segundo Crucero Internacional de los países miembros de la CPPS en el contexto del Estudio Regional para el evento “El Niño” (ERFEN).

En esta zona se efectuaron 21 transectas perpendiculares a la costa, paralelas y equidistantes entre sí cada 40 mn entre Arica y punta Farellones (30°20'S), y cada 55 mn en las dos últimas secciones del área sur (**Figura 1**). Las secciones se ubicaron frente a Arica (18°25'S), punta Madrid (19°0'S), punta Junín (19°40'S), punta Gruesa (20°20'S), punta Lobos (21°00'S), punta Arenas (21°40'S), punta Copaca (22°20'S), punta Hornos (23°00'S), Antofagasta (23°40'S), punta Tres Picos (24°20'S), rada Paposó (25°00'S), punta Ballenita (25°40'S), Chañaral (26°20'S), Caldera (27°00'S), bahía Salada (27°40'S), punta Molle (28°20'S), caleta Inglesa (29°00'S), caleta Cruz Grande (29°40'S), punta Farellones (30°20'S), caleta



Maitencillo (31°15'S) y Pichidangui (32°20'S), extendiéndose todas ellas desde la costa hasta una distancia máxima de 100 mn, a excepción de la transecta realizada al oeste de Arica la cual tuvo una cobertura longitudinal máxima de 200 mn.

En cada transecta se realizaron 10 estaciones bio-oceanográficas con muestreo superficial y vertical, las que estuvieron posicionadas a 1, 5, 10, 20, 30, 40, 55, 70, 85 y 100 millas de la costa, midiéndose las variables temperatura (°C), salinidad (psu), oxígeno disuelto (mL/L), nutrientes, clorofila-*a*, penetración de la luz, pescas planctónicas, registro de datos meteorológicos y la prospección acústica de los recursos objetivo del presente proyecto. Frente al puerto de Arica y para la zona comprendida entre las 100 y 200 mn se programaron 5 estaciones adicionales a 115, 130, 145, 160, 180 y 200 mn (**Figura 1**).

Entre Arica y Antofagasta y para la zona nerítica comprendida entre 1 y 40 mn, se realizó un muestreo automático, continuo y superficial mediante el uso de la bomba de huevos **CUFES** (Continuos Underway Fish Egg Sampler), para conocer la variabilidad espacial y relacionar la distribución de huevos a las variables oceanográficas (**Figura 2**).

Además, se efectuaron las tres estaciones costeras de vigilancia mensual, correspondientes al mes de octubre, las que se localizaron a 2 mn frente a las localidades de Arica (18°23'S; 70°24,8'W), Iquique (20°11'S; 70°10,5'W) y Mejillones (23°01'S; 70°23,1'W); con profundidades de muestreo discreto para oxígeno y clorofila iguales a 0, 5, 10, 20, 30 y 50, respectivamente. Este muestreo permitió aumentar la cobertura temporal y la frecuencia de observación respecto de las variables oceanográficas y la abundancia de los estadios tempranos de peces. Cabe señalar que las estaciones de Arica, Iquique y Mejillones, han aportado información de gran relevancia para interpretar los resultados de los cruceros in situ y asociar las fluctuaciones de las variables biológicas a cambios



en el ambiente físico. Particularmente, estas series, que datan de mayo de 1997, han permitido monitorear hasta ahora las características en la zona costera asociadas a los ciclos ENOS.

3. Objetivo específico N° 2.1

Determinar la distribución espacial, así como sus variaciones espacio-temporales, a nivel de meso-escala (km), de la variabilidad bio-oceanográfica, temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, clorofila-a, nutrientes y penetración de la luz, en la zona de estudio, en la estructura vertical de 0 a 200 m.

3.1 Recolección de muestras y registro de datos

La recolección de las muestras y el registro de datos se realizó de acuerdo a lo señalado en los puntos 1 y 2. Por condiciones meteorológicas adversas (viento intenso y marejadas), en la sección 5 no se realizaron las estaciones de 20 y 40 mn, las de 30 y 55 mn sólo fueron superficiales, en la sección 6 las estaciones entre 10 y 40 mn no pudieron realizarse, mientras que la de 55 mn también se muestreó superficialmente. En las estaciones efectuadas se midieron las variables temperatura (°C), salinidad (psu), fluorescencia in vivo (volt), concentración de oxígeno disuelto (mL/L), radianza, clorofila-*a* (µg/L) y nutrientes.

Durante la realización de las estaciones oceanográficas, se obtuvieron registros verticales continuos de temperatura (°C) y salinidad con profundidad hasta un máximo de 500 m, mediante el uso de un CTD Sea Bird Model modelo 911 plus operado en tiempo real y/o un CTD Sea Bird modelo 19 plus v2, equipado con bomba y en modo auto contenido. En las estaciones programadas a 30, 55, 85, 115,



145 y 180 mn de la costa, el registro de datos de CTD, clorofila-**a** y oxígeno fue sólo superficial.

Para la toma de muestras de agua se utilizaron botellas Niskin de 5,0 L dispuestas en un muestreador automático tipo ROSETA marca Sea Bird. 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, de acuerdo a la metodología descrita en 3.1.1. Las muestras de nutrientes se congelaron hasta su posterior análisis en el Laboratorio de Oceanografía química de la Universidad Arturo Prat, según metodología descrita en el punto 3.1.2.

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 Pichidangui 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** y nutrientes.

En cada estación con muestreo vertical, se recolectaron 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 al crucero, con el fin de contrastar ambas técnicas y explicar de mejor forma, la estacionalidad de la biomasa fitoplanctónica.



3.1.1 Análisis de Clorofila

Para los análisis de clorofila-*a*, se recolectó un total de 1.136 muestras, las que 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 en nitrógeno líquido hasta su posterior análisis en laboratorios 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 $\mu\text{g/L}$ (o mg/m^3) 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.



3.1.2 Nutrientes

En cada estación se obtuvieron muestras de agua, utilizando botellas Niskin, desde profundidades de 0, 10, 25, 50, 75, 100 y 200 m. Se extrajo un volumen de 50 mL de una submuestra de 250 mL previamente filtrada (20 μ m), los que fueron destinados a la medición inmediata de amonio. Los 200 mL restantes fueron fijados con 1 mL de cloroformo y congelados para el posterior análisis de nitrito, nitrato, fosfato y silicato.

Las concentraciones de amonio fueron determinadas siguiendo la metodología propuesta por Holmes *et al.* (1999) y Parsons *et al.* (1984), y las de nitrito, nitrato, fosfato y silicato de acuerdo a Grasshoff *et al.* (1999) y Parsons *et al.* (1984).

Se analizó la distribución horizontal de cada nutriente por profundidad. La distribución vertical fue examinada en secciones transversales de aquellas transectas donde se detectaron focos de alta concentración.

3.1.3 Datos meteorológicos

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 (**Anexo 1**). 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.



3.2 Procesamiento de la información obtenida en el crucero

La información de los CTD del crucero, se procesó de acuerdo a procedimientos estándares recomendados por el fabricante de cada equipo (<http://www.seabird.com/products/ModelList.htm>).. Con los datos ya procesados se confeccionaron las cartas de distribución superficial de las variables temperatura, salinidad, oxígeno y densidad (sigma-t). Con los datos verticales se obtuvo información de la capa de mezcla (espesor), termoclina (espesor, profundidad de la base, temperatura base, gradiente de temperatura promedio y máximo, profundidad del máximo gradiente), y el límite superior de la capa de mínimo **OD** (profundidad), realizándose las respectivas cartas y su posterior análisis.

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

- Capa de mezcla: Se considera como espesor de la capa de mezcla, la profundidad de la capa de agua superficial hasta donde se presente una diferencia menor a $0,01^{\circ}\text{C}$, $0,1$ psu y $0,1$ Kg/m^3 , en temperatura, salinidad y densidad, respectivamente, con los datos observados en el primer metro de la columna de agua. Los datos de observación de esta variable fueron los datos de CTD cada 1 metro.

- Termoclina: Se define como termoclina la capa de agua que presentó una variación de temperatura mayor o igual a $0,1^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Los cálculos de gradiente para la definición de termoclina y el valor de gradiente máximo se obtuvo por diferencia de temperatura entre dos niveles consecutivos (cada un metro). El valor de



gradiente promedio se obtuvo de los gradientes metro a metro que se registraron en la termoclina.

- L3mite de la capa de m3nimo ox3geno disuelto: Corresponde a la profundidad de ubicaci3n de la concentraci3n de 1 mL/L de ox3geno disuelto. Dado que los datos obtenidos en terreno son discretos, la ubicaci3n en la columna de agua de los l3mites superior e inferior de esta capa, se obtuvo por interpolaci3n lineal.

Para el c3lculo de densidad del agua se utiliz3 la ecuaci3n internacional de estado del agua de mar de 1980 dada por Millero & Poisson (1981) y UNESCO (1981a y 1981b), que corresponde a la siguiente expresi3n:

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

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

Para el nivel superficial se presentan valores de anomalía estacional de temperatura, salinidad, como también a nivel subsuperficial al de la profundidad de la isoterma de 15°C. El valor de anomalía corresponde a la diferencia entre el valor observado y el histórico, por lo tanto los valores positivos de esta variable indican una condición por sobre el promedio. Los valores promedio históricos fueron obtenidos de los promedios mensuales (Reynolds, 1982; Blanco, 1996; Rojas y Silva, 1996) del mes de octubre y que fueron actualizados por IFOP hasta el año 2002 según la metodología indicada por Blanco *et al.* (2001). Los promedios históricos de temperatura, salinidad y profundidad de la isoterma de 15°C recién señalados sólo están calculados para el área de Arica a rada Paposo (25°S), por lo tanto, las anomalías respectivas son obtenidas para el área señalada. Para el área sur, que va de rada Paposo (25°S) a Pichidangui, el cálculo de anomalías de temperatura y salinidad se hace con los promedios del Atlas Oceanográfico del SHOA (Rojas y Silva, 1996).

En la vertical, se prepararon todas las secciones de temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y fluorescencia in vivo. Se obtuvo los valores de anomalía vertical de temperatura y salinidad a lo largo de la transectas de bahía Moreno (23°40'S), punta Lobos (21°00'S) y Arica (18°25'S), con los que se realizaron gráficos de distribución. Los valores promedio estacionales de temperatura y salinidad de las transectas corresponden a los obtenidos con la serie histórica de IFOP desde 1963 al 1996 para el mes de septiembre. La



metodología aplicada en la obtención de los promedios verticales de estas transectas corresponde a la indicada por Blanco *et al.* (2001).

Con los datos de viento horario obtenidos durante la ejecución del crucero, se elaboró una carta de intensidad y dirección, la cual se utilizó 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 3ndice de Surgencia instant3neo se expresa como transporte Ekman hacia el oeste (M_x) por la siguiente ecuaci3n:

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

Donde:

M_x : Transporte de masa hacia el oeste

T_y : Coacci3n del viento sobre la superficie en la direcci3n norte-sur

f : Par3metro de Coriolis

Siendo:

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

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/m^3)

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

V : Componente norte sur de la velocidad del viento

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



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

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, 1982t). Con la información de los datos individuales de **IT** se obtuvo un valor de **IT** promedio costero y 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 se remitirá al CENDHOC, a fin de mantener actualizada la base de datos meteorológica del país.

La determinación de la “**condición de normalidad**” de la zona de estudio hace uso de valores de anomalía de temperatura y salinidad para el nivel de superficie y de la profundidad de la isoterma de 15°C° para el caso vertical. Las anomalías de estas variables corresponden a la diferencia de los datos obtenidos de crucero y los promedios de datos históricos para el mes respectivo. Los promedios históricos fueron calculados mediante la metodología descrita por Blanco *et al.* (2001) utilizando una serie de cruceros de más de 30 años en la zona norte de Chile (Braun *et al.*, 2002).

Los valores de anomalía registrados en el sector oceánico de la zona de estudio y que comprenden el rango en temperatura, salinidad y profundidad de la isoterma de 15°C que están en $\pm 1^\circ\text{C}$, $\pm 0,1$ psu y ± 10 m, respectivamente, se considerarán como no significativos y que se asocian a un valor normal de la variable para ese



mes. En el caso del sector costero (primeras 20 mn desde la costa), éste rango aumenta al doble, es decir $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y $\pm 0,2$ psu y hasta ± 20 m. Los rangos recién indicados para el sector costero y oceánico corresponden al valor promedio de 1 desviación estándar asociado al promedio histórico de los datos de cada variable, por lo tanto, éstos señalan el rango de variación normal del sistema. Se indica que los términos “anomalía no significativa” y “anomalía significativa” no están aplicados en un sentido estricto a una prueba estadística, bastando para ello el definir un criterio que en este caso corresponde al indicado.

El cálculo de anomalías y su tipificación tiene importancia en relación a los procesos físicos ya que los procesos locales pueden ser generadores de anomalías térmicas y salinas significativas a nivel superficial que abarcan 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) y con ello la generación de anomalías significativas también. Las características del muestreo y la información recopilada durante los cruceros no permiten, sin embargo, distinguir el paso de las OAC. Los eventos El Niño y La Niña son procesos físicos no locales que afectan a toda la zona por periodos de semanas a meses y generan anomalías



significativas en temperatura y salinidad superficial y en la profundidad de la isoterma de 15°C.

El uso de promedios de temperatura y salinidad provenientes de una serie de datos de más de 30 años, 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 determinar 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.

Se indica en esta metodología que la representación de la condición de anomalía para toda la zona (Arica - Pichidangui) a través de un indicador como la profundidad de la isoterma de 15°C, utilizando otra isoterma, se ha evaluado con anterioridad y no es posible por los siguientes motivos:

- Todas las isotermas de mayores a 13°C se presentan en superficie en alguna latitud de la zona y de ahí hacia el sur ya no es posible utilizarla, repitiendo el “problema” de la isoterma de 15°C. Entre más alto el valor de la isoterma, entonces más al norte desaparece ésta. Hay que considerar además la variación estacional de temperatura en la zona. En este caso, la isoterma de 15°C representa bien, durante todo el año, el área Arica-Antofagasta.
- En el área Arica- Antofagasta, la isoterma de 15°C representa de una mejor forma las variaciones estacionales, interanuales y los cambios por procesos locales como surgencia o por aquellos de forzamiento ecuatorial, como el paso de ondas atrapadas a la costa.



Por lo anterior, la profundidad de la isoterma de 15°C se ha utilizado en trabajos de descripci3n de la climatología como tambi3n para describir los efectos de eventos El Niño – La Niña en el área (Blanco *et al.* 2001; Blanco *et al.* 2002).

Respecto a la clorofila-*a* y a los feopigmentos, una vez cuantificadas las muestras, la informaci3n fue codificada, digitada y geo-referenciada por profundidad de origen. Esta informaci3n permiti3 confectionar cartas de distribuci3n superficiales. Los resultados de clorofila-*a* y de los productos de degradaci3n o feopigmentos se expresan en µg/L. La concentraci3n de los feopigmentos (**feop**) fue analizada solamente como un índice relativo de la degradaci3n de la biomasa fitoplanctónica activa.

Para la adecuada representaci3n de la estructura biológica de toda la columna, se calcul3 el valor de la clorofila-*a* y feopigmentos integrados (Lohrenz *et al.*, 1988), utilizando la siguiente ecuaci3n:

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

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 (µg/L), en la profundidad *i*, desde superficie a la profundidad máxíma 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/m²), 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 informaci3n se entrega en cartas de



distribuci3n tanto para la clorofila integrada como para los feopigmentos integrados.

A partir de las mediciones de la profundidad del disco Secchi se calcul3 la profundidad del 1% de luz incidente que representa la profundidad de la capa f3tica. Esta informaci3n se registr3 en un total de 98 estaciones repartidas en toda el 1rea de estudio en el horario entre las 5:50 hr y 19:22 hr.

3.3 Distribuci3n espacial y temporal de la temperatura superficial del mar (TSM) satelital cot1nea al crucero.

Se analizaron im1genes satelitales de temperatura superficial del mar (**TSM**), provenientes del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) abordo del sat3lite Aqua (EOS PM), los que son producidos y distribuidos por OCDPS (Ocean Color Data Processing System) del centro espacial a3reo Goddard de la NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). Las im1genes semanales se obtuvieron del promedio ponderado de las im1genes de d1a con im1genes de noche. Cada imagen representa un arreglo de dos dimensiones en una proyecci3n cil1ndrica equidistante, con una resoluci3n espacial aproximada de 4 km de 4320 filas y 8640 columnas, las que representan una cobertura global. Para cada imagen semanal global se obtuvo una imagen cortada de TSM que cubre el 1rea desde los 15°S hasta los 35°S de latitud y desde la costa hasta los 75°O. Se utilizaron im1genes promedio semanales ya que presentan menos problemas de nubes y no enmascaran procesos oceanogr1ficos de importancia de la zona. Los periodos semanales promediados corresponden del 30 de septiembre al 7 de octubre, 8 al 15, 16 al 23 y 24 a 31 de octubre de 2009.



3.4 Distribuci3n espacial y temporal de la clorofila superficial del mar satelital correspondientes al periodo de crucero.

Se recibieron y procesaron imágenes satelitales resoluci3n espacial media (4 km) de color del mar de la cual se deriva la clorofila (cloas) integrada hasta el 20 % de penetraci3n de la luz. Al igual que en la **TSM**, se consideraron imágenes satelitales promedio semanales, las cuales dan mejor cuenta de la distribuci3n espacial y la concentraci3n de las cloas . Esta informaci3n semanal 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/>).

Como ocurre con 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. Los periodos semanales promediados corresponden del 30 de septiembre al 7 de octubre, 8 al 15, 16 al 23 y 24 a 31 de octubre de 2009.

3.5 Imágenes satelitales de viento superficial correspondientes al periodo de crucero.

Datos promedios semanales 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 Propulsi3n Laboratory SeaWinds Project (<http://winds.jpl.nasa.gov/missions/quikscat/>). Este sensor remoto mide velocidad y direcci3n del viento cercano a la superficie sobre los océanos. Las imágenes del



campo vectorial del viento tienen una cobertura global y una resolución espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Los datos del nivel 3 dan una grilla global de 1440 píxeles en longitud por 720 píxeles de latitud (grilla de $0,25^\circ$). Estos datos están actualmente disponibles en HDF (Hierarchical Data Format) y existen desde julio de 1999 hasta noviembre de 2009. Un total de 4 imágenes promedio semanal fueron utilizadas en la caracterización del régimen de vientos presente en el área de estudio para el periodo del crucero. Los periodos semanales promediados son del 28 de septiembre al 4 de octubre, 5 al 11, 12 al 18 y del 19 a 25 de octubre de 2009.

3.6 Imágenes satelitales de anomalía de nivel del mar y corrientes geostróficas correspondientes al periodo de crucero.

Datos diarios del campo de anomalías de nivel del mar y 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. De esta información se obtuvo una imagen diaria de anomalías del nivel medio del mar y la velocidad geostrófica relativa a la superficie (flechas) en 4 días representativos durante el desarrollo del crucero, días 1, 11, 21 y 31 de octubre de 2009.



4. Objetivo específico N° 2.2

Determinar la abundancia estacional, distribución espacial y composición del plancton, incluyendo el macrozooplancton e ictioplancton, incluyendo huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa de la zona de estudio, y su relación con las condiciones oceanográficas indicadas en 2.1.

4.1 Calibración de flujómetros TSK

De acuerdo a la metodología propuesta por Smith y Richardson (1979) y metodología estándar del Instituto Nacional de Hidráulica de Chile, el flujómetro utilizado durante el crucero fue calibrado en la bahía de Valparaíso.

Los datos del número de revoluciones por segundo y metros por segundo registrados para cada lance fueron analizados mediante una regresión lineal simple, siendo sus ecuaciones de calibración las siguientes:

$$\text{TSK 7042} \quad V = 0,153768617 * N + 0,046453247$$

4.2 Recolección de las muestras

El crucero se efectuó a bordo del B/I “Abate Molina” durante el período comprendido entre el 05 y el 29 de octubre de 2009, realizándose un total de 209 estaciones zooplanctónicas distribuidas en 21 transectas perpendiculares a la costa, separadas entre sí por intervalos de 40 millas (**Figura 1**).



Las muestras se recolectaron mediante una red cilindro-cónica modelo WP-2 (Sameoto *et al.*, 2000), la cual tiene una abertura de 57 cm ($0,25 \text{ m}^2$ de área de boca) y un largo total de 261 cm, confeccionada con malla sintética monofilamento de $300 \mu\text{m}$ de abertura.

El área efectiva de filtración es de $2,996 \text{ m}^2$ y la relación área filtrante / área de la boca (R) es 6,48, la que se considera altamente favorable para evitar oclusión de las mallas en circunstancias de pescas prolongadas o de gran densidad de plancton.

Las muestras recolectadas se obtuvieron 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, con velocidades de calado e izado de la red iguales a 0,8 m/s y a 0,6 m/s, respectivamente.

La verticalidad del cable se trató de mantener mediante un lastre depresor de aproximadamente 25 kilogramos. El ángulo del cable con respecto a la vertical, se controló mediante un clinómetro manual, inmediatamente antes del izado de la red. Durante el crucero, el ángulo fluctuó entre 0° y 45° con una media igual a 17° .

La cuantificación del volumen de agua filtrada durante cada pesca se efectuó utilizando los registros de un medidor de flujo marca TSK, instalado en la boca de la red.

Durante la realización de cada uno de los lances zooplanctónicos, 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 (**Anexo 1**).

4.3 Macrozooplancton

4.3.1 Procesamiento y análisis de las muestras zooplanctónicas

Las muestras que se recolectaron en cada estación bio-oceanográfica fueron fijadas inmediatamente después de ser extraídas de los copos recolectores, con una solución de agua de mar con formalina al 5 %, neutralizada con tetraborato de sodio para mantener en óptimas condiciones a los organismos zooplanctónicos.

En el laboratorio y para los análisis cualitativo y cuantitativo del zooplancton, se utilizaron microscopios estereoscópicos, marca Nikon, Zeis y Olympus con aumentos de 8 a 50 veces. Cada grupo zooplanctónico fue separado y contabilizado en número de individuos. Para la cuantificación de aquellos zooplancteres cuyas abundancias fueran muy elevadas, se utilizó el submuestreador Folsom (Smith y Richardson, 1979; Boltovskoy, 1981 y Griffiths *et al.*, 1984) para su subdivisión, mientras que el conteo de los organismos poco abundantes se realizó sobre la muestra total.

La fracción de la muestra subdividida sobre la cual se efectuó el recuento y clasificación de los organismos, fué extrapolada posteriormente al total de la muestra.

La abundancia relativa del zooplancton cuantificado se estandarizo y se expresa como número de individuos presentes en 1.000 m³ de agua de mar filtrada y su representación gráfica se realiza según la escala métrica log² (Frontier, 1980), que permite determinar clases de abundancia con valores equidistantes, a su vez, la



densidad y área geográfica de distribución de los grupos zooplanctónicos numéricamente más importantes, se graficó en cartas de distribución geográfica a través del programa Surfer 8.

En el análisis se consideran principalmente a los organismos zooplanctónicos más abundantes en términos de su dominancia numérica y frecuencia de ocurrencia.

El criterio utilizado para la separación entre estaciones diurnas y nocturnas fué el siguiente:

Diurnas : 08:00 – 17:59h.

Nocturnas : 18:00 – 7:59 h.

Para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas de los grupos de mayor dominancia capturados en los lances diurnos y nocturnos, se aplicó el análisis no- paramétrico de Kruskal-Wallis, considerando un nivel de confianza del 95 %.

Los grupos zooplanctónicos se clasificaron en base al ordenamiento sistemático formulado por Bougis (1974) y Barnes (1986), utilizando como ayuda descriptiva para la determinación de ellos, algunos trabajos tales como los de Newell *et al.*, (1966), Vidal (1968), Arcos (1975), Boltovskoy (1981), Palma y Kaiser (1993) y Smith y Johnson (1996).

La constancia se calculó en base a la relación porcentual existente entre el número de muestras en que se encontró cada grupo y el total de muestras; clasificándose los grupos de acuerdo a la escala propuesta por Bodenheimer (1955):



0,0% a 25,0%grupos accidentales
25,1% a 50,0% grupos accesorios
50,1% a 100%grupos constantes

La dominancia numérica se calculó como la relación porcentual entre el número de ejemplares de cada grupo, respecto del total de individuos recolectados; valorándose según el esquema de Bodenheimer (1955).

0,0% a 2,5%grupos accidentales
2,6% a 5,0%grupos accesorios
5,1% a 100% grupos dominantes

Dentro de los parámetros empleados para el análisis de los grupos zooplanctónicos, se utilizó la **constancia numérica** o **frecuencia de ocurrencia**, que corresponde al porcentaje entre el número de estaciones con presencia de cada grupo/especie y el número total de estaciones y la **dominancia numérica** de los grupos, que corresponde al porcentaje entre el número total de individuos de cada grupo y el número total de organismos zooplanctónicos capturados en la zona de estudio.

4.3.2 Estructura comunitaria de los grupos zooplanctónicas

Con la finalidad de generar información para la descripción comunitaria existente en la zona, se realizaron algunos análisis a las comunidades presentes en el área. Los datos resultantes del estudio de la comunidad zooplanctónica, fueron utilizados para la obtención de índices de riqueza, diversidad y uniformidad de los grupos zooplanctónicos (Ludwing & Reynolds, 1988), además se analizó el grado de asociación que presentó cada grupo entre pares de muestras, mediante el índice de similitud de Winer (Saiz, 1980).



a) Índice de riqueza específica

Se utilizó el índice propuesto por Margalef (Ludwing & Reynolds, 1988):

$$R 1 = \frac{S - 1}{L n (n)}$$

Donde:

S = número total de grupos presentes en la muestra.

n = número total de individuos de todos los grupos presentes en la muestra.

El índice de Margalef de riqueza de grupos/especies toma el valor de 0, si y sólo si, el número de grupos/especies en la muestra es 1. Su valor será máximo mientras mayor sea el número de grupos/especies totales de la muestra.

b) Índices de diversidad de especies

Para estimar la diversidad de los grupos/especies, se utilizaran dos índices, el de Shannon & Weaver y el de Hill (Ludwing & Reynolds, 1988).

El índice de Shannon & Weaver a demostrado ser uno de los índices más ampliamente usado en estudios ecológicos (Jaksic, 2001) lo que facilita la comparación de nuestros resultados con los de estudios similares, sin embargo, este ha resultado ser más sensible a cambios en la uniformidad y en el número de especies raras en las muestras (Segnini, 1995), por lo que ha debido ser complementado con el uso del Índice de Hill (**$H1$**), el cual nos ha permitido observar



resultados similares a los descritos por Segnini op cit., gy sus consecuentes propiedades .

b1) Índice de Shannon & Weaver (H')

$$H' = - \sum_{i=1}^{S^*} (p_i \cdot \ln(p_i))$$

Donde:

p_i = abundancia proporcional

S^* = número de grupos/especies presentes en la muestra.

El índice de Shannon & Weaver (H') es igual a 0, si y sólo si, el número de grupos/especies en la muestra es 1. Es máximo sólo cuando todos los grupos/especies están representadas con el mismo número de individuos en la muestra (distribución uniforme).

b2) Índice de Hill ($N1$)

$$N1 = e^{H'}$$

Donde:

H' = índice de Shannon & Weaver.

El índice de Hill, dado que se obtiene con el valor del índice de Shannon & Weaver, fluctúa entre 1 y un valor máximo, que depende del valor máximo del índice H' . En general, representa el número de grupos/especies en la comunidad y se interpreta como el número mínimo de grupos/especies de igual abundancia que entregan un valor similar del índice de diversidad H' .



c) Índices de uniformidad

Para verificar la uniformidad de grupos/especies, se seleccionaron los índices de Pielou y el de Sheldon (Ludwing & Reynolds, 1988).

Las razones que sustentan el uso de ambos índices son similares a las anteriormente descritas para los índices de diversidad, ya que por una parte el índice de Pielou ofrece ventajas comparativas debido a su uso generalizado en la comunidad científica, mientras que por otra parte, la expresión exponencial del índice de Sheldon, en la práctica ha demostrado ser menos sensible a los cambios mínimos en la riqueza de especies.

c1) Índice de Pielou

$$E 1 = \frac{H'}{\ln(S)}$$

Donde:

H' = índice de Shannon & Weaver

S = número total de grupos/especies presentes en la muestra

c2) Índice de Sheldon

$$E 2 = \frac{e^{H'}}{S}$$

Donde:

H' = índice de Shannon & Weaver

S = número total de grupos/especies presentes en la muestra.

Los índices de Pielou y Sheldon permiten estimar el grado de uniformidad o similitud presente en una comunidad biológica o en un hábitat. Estos índices se



mueven en un rango de valores de 0 a 1. Tienden a cero cuando las abundancias relativas de los grupos/especies divergen de la uniformidad y existe una máxima dominancia de una especie o grupo. Tienden a 1 cuando todos los grupos/especies en una muestra son igualmente abundantes, aportan de igual forma a la diversidad de la muestra, indicando una máxima uniformidad.

d) Índice de similitud de Winer

El grado de asociación entre pares de muestras, se analizó mediante el índice de similitud de Winer (Saiz, 1980). Este índice permite agrupar a los individuos de acuerdo a su coexistencia, trabaja con el grado de asociación entre las especies o grupos en el par de muestras (A, B) que se está analizando. Tiene un dominio entre 0 y 1, el valor 0 indica que el par de especies o grupos zooplanctónicos no están presentes simultáneamente en ninguna muestra y el valor 1, indica lo contrario, es decir, que siempre están presentes simultáneamente.

$$S_w = \frac{\sum x y}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}}$$

Donde:

x e y son los valores de importancia de cada elemento en la condición A y B, respectivamente.

La obtención del índice para cada par de grupos de especies zooplanctónicos genera una matriz de índices, a partir de la cual es posible establecer relaciones de similitud entre unidades. Para este efecto, se elaborarán dendogramas de relaciones de similitud a través de un método de agrupamiento, siendo el promedio aritmético de pares no ponderado (UPGMA) uno de los métodos usados en este tipo de estudios (Sneath y Sokal, 1973).



4.3.2.1 Comparaci3n de estructuras zooplanct3nicas por zonas

Se compararon las distribuciones de frecuencias zooplanct3nicas asociadas a zonas definidas a priori y a per3odos del d3a, para determinar si existen diferencias estad3sticamente significativas entre 3stas. Bajo esta premisa la distribuci3n multinomial ha sido usada frecuentemente como un modelo en estudios ecol3gicos y/o biol3gico-pesqueros y en este sentido, se utiliz3 para describir las distribuciones zooplanct3nicas en la poblaci3n de estudio.

Existen distintos procedimientos estad3sticos que han sido dise1ados para abordar la comparaci3n de distribuciones multinomiales (Saavedra *et al.*, 2003), el modelamiento de la distribuci3n bajo un esquema modelo basado es uno de ellos. Bajo este enfoque se utiliza la teor3a asociada al uso de modelos lineales generalizados (GLM), realizando una generalizaci3n de la regresi3n log3stica para respuestas dicot3micas, denominada regresi3n log3stica nominal (Dobson, 2002).

Este tipo de modelo se utiliza cuando no existe un orden natural en las categor3as de la variable respuesta, como ocurre para las estructuras zooplanct3nicas. Una categor3a se elige arbitrariamente como la categor3a de referencia y las funciones de enlace est3n definidas por,

$$\log\left(\frac{\pi_j}{\pi_1}\right) = X_j^T \beta_j, \quad \text{para } j = 2, \dots, J$$

Donde: π_j representa la proporci3n de la j -3sima especie, β_j es el vector de par3metros asociado a la j -3sima especie y X_j es el vector de covariables. Las ecuaciones logitos ($j-1$) se utilizan simult3neamente para estimar los par3metros β_j .



Con esta generalización es posible hacer uso de todas las herramientas de la inferencia existente para estos tipos de modelos, particularmente para el contraste de hipótesis se utilizó la distribución muestral aproximada del estimador máximo verosímil.

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

La determinación del volumen del zooplancton se realizó con posterioridad a la extracción de los estadios tempranos de peces, a objeto de evitar posibles daños a los huevos y larvas, que pudieran dificultar su identificación y/o clasificación. Para la medición de los biovolúmenes se utilizó el método volumétrico de desplazamiento de volúmenes húmedos (Postel *et al.*, 2000). El volumen se determinó dos veces para cada muestra y el resultado corresponde al promedio de ambas mediciones. Se excluyeron de la medición solamente los organismos cuyo volumen individual excedía 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 en 1.000 m³

X = ml de zooplancton

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

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



4.4 Ictioplancton

4.4.1 Tratamiento de las muestras a bordo

Las muestras obtenidas fueron preservadas con una solución de formalina en agua de mar al 5%, tamponada con tetraborato de sodio, 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 copo recolector, evitando de esta manera un posible deterioro de los ejemplares provocado por autólisis.

4.4.2 Sistema de muestreo horizontal continuo, CUFES

Para incrementar la cobertura espacial en la zona comprendida entre Arica – Antofagasta y desde 1 a 40 mn, se realizó un muestreo superficial continuo a través de la 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 (**Figura 2**).

El sistema CUFES recolectó muestras cada 2,5 mn (app. 20 minutos entre una y otra) a una profundidad de 3 m y a una velocidad de crucero de 6,5 a 7 nudos..

4.4.3 Procedimiento en laboratorio

4.4.3.1 Separación e identificación de huevos y larvas

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

- Extracción de la totalidad de los estadios tempranos de peces (huevos y larvas), de cada una de las muestras recolectadas.



- Identificación taxonómica de huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa,
- Cuantificación de huevos y larvas de las especies objetivo y,
- Enumeración y agrupación del resto del ictioplancton, bajo la denominación de "otras especies".

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

La determinación taxonómica de las especies objetivo, se realizó 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 Garretón, (1977); Pérez, (1978); Aron, (1980); Balbontín y Pérez, (1980); Boltovskoy, (1981); Rojas y Mujica, (1981); Rojas *et al.*, (1983); Fahay, (1983); Orellana y Balbontín, (1983); Santander *et al.*, (1984); Sinclair y Tremblay, (1984); Sinclair *et al.*, (1985); Matarese *et al.*, (1989) y Olivar y Fortuño, (1991).

4.4.4 Estandarización de la estimación de la abundancia de huevos y larvas de peces

Con el propósito de hacer comparable el número de huevos y larvas obtenido del muestreo cuantitativo, se estandarizó toda la colección a una base común, en términos de número de huevos o larvas existentes en una unidad de área estándar de 10 m².



La estimación del número de huevos y larvas bajo una unidad de área de mar, se obtuvo mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- C : Número de huevos o larvas en una unidad de área de mar (10 m^2)
- d : Profundidad máxima del lance (m).
- w : Volumen de agua filtrado (m^3).
- c : Número de huevos o larvas en la muestra.

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

$$d = L_o \cos \theta$$

Donde:

- L_o : Cantidad de cable arriado (m).
- $\cos \theta$: Coseno del ángulo 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 (m²).

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 del análisis y con el propósito de contar con antecedentes comparativos entre las fases de desarrollo de las especies objetivo, 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 encuentren huevos o larvas de cada una de las especies y el total de muestras colectadas. 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.



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

El error del estimado de la abundancia del ictioplancton de las especies objetivo del proyecto, será 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}

Se calculó 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 estimaci3n, fue dada en t3rminos del coeficiente de variaci3n, entregado por:

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

Para efectos comparativos y adem3s de la estimaci3n cl3sica de la densidad promedio de huevos y larvas, se realiz3 la estimaci3n 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 = es la cantidad de estaciones (observaciones) positivas

n = es el total de estaciones

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

$G_m(r)$ = es una funci3n de la varianza de la variable transformada a logaritmo de la forma:

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



Donde:

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

Siendo:

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

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

La varianza de la densidad media estimada viene dada por:

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

4.4.5 Estimación del índice de abundancia larval

Para el cálculo del índice de abundancia larval de sardina y anchoveta, que entrega información respecto de la intensidad y extensión del desove, se utilizará 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:

$$L = A(p\bar{c})$$

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



Siendo:

L = índice de larvas

A = factor areal

p = proporción de estaciones positivas a larvas

c = número promedio de larvas de las estaciones positivas

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 el área 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 cual 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 que ha realizado IFOP durante 1993-2009, se entregan en tablas y figuras y fueron comparados entre cruceros.



4.4.6 Relaciones entre la distribución de huevos y larvas de anchoveta y las variables oceanográficas temperatura superficial del mar.

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.

A partir de dicha información se elaboraron 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 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 (Buttler *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 sera interpolada.

a) Análisis cartográfico entre la distribución del ictioplancton y la temperatura

Para establecer las relaciones se realizaron asociaciones cruzadas entre la distribución de huevos y larvas de anchoveta y las variables oceanográficas; posteriormente, se generaron los gráficos con la distribución de rangos de preferencia del ictioplancton respecto a la temperatura. Con esto se determinó rangos de distribución y estratos óptimos de preferencia en relación a dicha variable.



b) Asociaciones entre la densidad del ictioplancton y el gradiente t3rmico

Se efectu3 un an3lisis a trav3s de modelos de regresi3n. De esta manera, de cada uno de los pixeles se calcul3 la densidad de los huevos y larvas de anchoveta, adem3s de estimar los diferenciales de temperatura mediante los comandos del SIG. La prueba de la hip3tesis se realiz3 mediante modelos de regresi3n m3ltiple “paso a paso” (stepwise), en este an3lisis se utiliz3 un programa estadístico. Cabe seÑalar que dicha metodología es similar a la propuesta por Reddy *et al.* (1995); Y3ñez *et al.* (1997) y Braun *et al.* (2005a).

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

Existe m3s de una aproximaci3n para realizar el an3lisis de los datos, puede ser en un enfoque diseÑo basado (Cochran, 1977) acorde con el diseÑo implícito en la toma de datos o modelo basado, sobre la base de la distribuci3n de probabilidades de las variables. Los datos que se analizan se caracterizan por presentar una proporci3n de estaciones negativas (muestras en las cuales no se observan huevos o larvas), los que siguen una distribuci3n delta (Aitchison & Brown, 1957; Pennington, 1986), donde los valores ceros son tratados separadamente y los valores positivos se ajustan a una distribuci3n log-normal. Con el advenimiento de nuevas herramientas estadísticas, las componentes de la distribuci3n delta han sido modeladas como funci3n de factores o covariables a trav3s de modelos lineales generalizados (McCullagh & Nelder, 1983; Stefansson, 1996) y/o modelos aditivos generalizados (Hastie & Tibshirani, 1990; Gordon *et al.*, 1992; Augustin *et al.*, 1998).



Dado que el objetivo de este análisis se orienta a conocer la relación entre las variables oceanográficas y la distribución de huevos 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 (Hastie y Tibshirani, 1990); además, se incorporó un predictor lineal correspondiente al periodo de muestreo (año). 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 probaron además, los métodos alternativos de estimación cuasi-verosimilitud y robusto. Finalmente, se seleccionó del método de ajuste de cuasi-verosimilitud basado en el criterio de Cp de Mallows (Neter, 1990).

5. Objetivo específico N° 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.

5.1 Calibración del sistema acústico

5.1.1 Calibración electroacústica

El procedimiento de calibración electroacústica del sistema de ecointegración SIMRAD EK 500 consiste en un proceso iterativo, en que se miden las señales de la intensidad de blanco (**TS**) y ecointegración (**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 estándares de cobre diseñados para las frecuencias de 38 y 120 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 realizan al inicio de cada crucero, para lo cual el buque se fondea 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 ubica 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 (**Sa**), se aplicó el siguiente procedimiento:

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

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.

5.2 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:

$$S_v = \frac{CI V^2}{LxD}$$



Donde:

- S_v : Coeficiente volumétrico de dispersión de la agregación ó cardúmen.
 $C1$: Constante de calibración electrónica del equipo. En el caso del EK 500 está incluida en la salida calibrada del ecointegrador.
 L : Longitud de la agregación (m)
 D : Altura media de la señal remitida por la agregación (m).

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.

Esta línea de trabajo se encuentra entre las visiones más modernas para las aplicaciones de la 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, los que están abocados a la creación de sistemas expertos o redes neuronales para que en base a un banco de datos y en la determinación de parámetros medidos en el equipo, se produzca la separación de las especies, 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, en que 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.



5.3 Distribuci3n de los recursos

La informaci3n ac3stica por Intervalo B3sico de Muestreo (**I.B.M.**) ac3stico de 0,5 mn, separada por especie, es presentada en mapas de distribuci3n espacial, utilizando una escala de densidad ($t\text{ mn}^{-2}$), determinada por la siguiente expresi3n $75 \cdot 2^{(n-1)}$, donde n representa el nivel de la categor3a, siendo $0 < n \leq 4$ (**Tabla 1**).

Los mapas de distribuci3n espacial se confeccionaron realizando una interpolaci3n seg3n el m3todo de la distancia inversa al cuadrado entre las I.B.M's y transectas cercanas, trazando l3neas de isodensidad seg3n las categor3as se3aladas anteriormente.

5.4 Indices de cobertura y densidad

El 3ndice de cobertura (**IC**) indica el porcentaje del 3rea ocupada efectivamente por la especie, dando una idea acerca del grado de agregaci3n presentado por ella en el momento de la prospecci3n, su c3lculo fue realizado seg3n:

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

La abundancia relativa de los recursos se determin3 con el 3ndice de densidad (**ID**), que indica el grado de concentraci3n de ellos en aquellas observaciones ac3sticas que detectaron la presencia de estos. El procedimiento de c3lculo es:

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



Donde:

k : N3mero de observaciones ac3sticas con presencia de recurso.

Z : N3mero total de observaciones ac3sticas en el crucero.

S_{ij} : Lecturas ac3sticas en la i -3sima I.B.M de la j -3sima transecta.

C_e : Factor de eointegraci3n ($[t\text{mn}^{-2}]S\text{a}^{-1}$), obtenido en base a un TS_{kg} de -32,5 dB kg^{-1} .

IC : 3ndice de cobertura (%).

ID : 3ndice de densidad en $t\text{mn}^{-2}$.

El TS_{kg} , corresponde a la se1al ac3stica 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 seg3n el peso de las tallas medias presentes en las capturas de la flota, seg3n:

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

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 relaci3n $TS\ 20\ \text{Log}\ L - 73,3$ determinada por Castillo *et al.*, (2001) y que corresponde a una compilaci3n de una serie de experiencias realizadas en proyectos financiados por el FIP. En el caso de jurel y caballa, se utiliza la relaci3n $TS\ 20\ \text{Log}\ L - 68,67$ (C3rdova *et al.*, 1997; Lillo *et al.*, 1996).



6. Objetivo específico N° 2.4

Determinar las variaciones mensuales en la zona costera de las variables señaladas en 2.1 y 2.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, dentro de la zona de estudio.

Las estaciones costeras de monitoreo preestablecidas desde mayo del año 1997, están ubicadas a 2 mn al oeste de los puertos de Arica ($18^{\circ}22'S$; $70^{\circ}30'W$), Iquique ($20^{\circ}18'S$; $70^{\circ}15'W$) y Mejillones ($22^{\circ}58'S$; $70^{\circ}25'W$) y fueron realizadas en octubre de 2009 a bordo del B/I "Abate Molina". A partir de noviembre de 2009, los muestreos fueron realizados por **CORPESCA**. Con respecto a este equipo de trabajo, cabe señalar que el personal participante corresponde a la tripulación de un barco pesquero y dos técnicos de CORPESCA. La tripulación, bajo la supervisión de CORPESCA, realizó la recolección 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. En la realización de estas estaciones mensuales se recolectaron las muestras de plancton, clorofila-*a* y se obtuvo datos de temperatura, salinidad y oxígeno de acuerdo al siguiente procedimiento

6.1 Variables oceanográficas

Para la obtención de la información oceanográfica se realizaron lances con CTD y botellas de muestreo oceanográfico tipo Niskin, en superficie y a profundidades de 0, 5, 10, 20, 30 y 50 m (dependiendo de la batimetría de cada estación), recolectándose muestras de agua para los análisis de salinidad y contenido de oxígeno disuelto. El muestreo se realizó según la metodología indicada en 3.1 para la toma de información de CTD y su respectivo proceso. La información de



las estaciones fijas fue incorporada a la serie de tiempo de cada localidad, la cual se inició en mayo de 1997. Posteriormente esta información fue engrillada con el programa SURFER y graficada por variable en un formato profundidad vs tiempo.

6.2 Variables biológicas

Las muestras de las estaciones de vigilancia fueron obtenidas, almacenadas y analizadas según se indica en 3.1.1 para el crucero *in situ*, realizándose los análisis en los laboratorios de IFOP. Posteriormente la información de **cloa** fue graficada por variable en un formato profundidad vs tiempo.

6.3 Información satelital

Para la visión espacial asociada al muestreo mensual de las estaciones fijas, se incorporaron los promedios semanales de **TSM**, **cloa** y viento, como también algunas imágenes diarias representativas de la distribución espacial de la anomalía de nivel del mar y corrientes geostroficas. La metodología empleada para este objetivo específico se detalla en los puntos 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6.

6.4 Plancton

Se realizaron pescas planctónicas mediante arrastres verticales integrados y estratificados, utilizando la misma metodología para ambos sistemas de recolecta. El procesamiento de las muestras obtenidas y su respectivo análisis se realizó siguiendo la rutina descrita para las muestras recolectadas durante el crucero *in situ* (ver punto 4.2).



La información obtenida se incorporó a la base de datos, para su posterior análisis comparativo.

En forma adicional, se recolectaron muestras zooplanctónicas mediante arrastres verticales, procedentes de distintos niveles de profundidad, utilizando para tales efectos 2 redes tipo WP-2, una para el muestreo vertical continuo desde la superficie hasta la profundidad dependiente de la batimetría de cada una de las estaciones costeras y la segunda, para el muestreo vertical estratificado, donde se consideró la toma de muestras en tres intervalos de profundidad (0-10, 10-25 y 25-50 m).

De cada muestra, se separaron e identificaron los huevos y larvas de las especies anchoveta, sardina, jurel y caballa, provenientes del muestreo continuo (0-50 m) y de los distintos estratos de profundidad, información que posteriormente se compara con los registros históricos; estimándose luego la biomasa zooplanctónica a través de método volumétrico descrito en **4.3.2.2**.

7. Objetivo específico N° 2.5

Determinar la variabilidad superficial de las variables temperatura del mar, clorofila-a y anomalía del nivel del mar por medio de percepción remota. La frecuencia mínima de análisis debe ser al menos mensual. Y asociar estas variaciones espacio-temporales con la actividad pesquera.

7.1 Monitoreo oceanográfico satelital

La percepción remota (Remote Sensing) o teledetección puede definirse como la ciencia y arte de obtener información de un objeto, analizando los datos adquiridos mediante algún dispositivo que no está en contacto físico con dicho objeto. El monitoreo satelital tiene como objetivo apoyar un programa de observación



satelital de variables oceanográficas y ambientales. Esta metodología permite desarrollar cartas satelitales individuales para los boletines mensuales, los cruceros y el seguimiento costero mensual.

7.1.1 Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila (cloa)

Durante el desarrollo del proyecto se recopilaron y procesaron imágenes satelitales semanales de **TSM** y **cloa**, provenientes del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) abordo del satélite 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/>). Estos datos representan la recopilación entre enero de 2005 y junio de 2010.

El promedio semanal fue empleado para determinar el perfil costero latitudinal de las imágenes ocupando una banda espacial (~20 km desde la costa) que define la franja costera en las imágenes satelitales. Esta banda esta basada en una proyección de la línea de costa hasta las primeras 20 millas náuticas, entre los 15° S y los 35°S. La banda fue promediada en la dirección zonal obteniendo una columna de valores para cada fecha y así poder estudiar la variabilidad espacio-temporal de la **TSM** de manera de visualizar las condiciones ambientales que prevalecen a lo largo de la costa durante el período de estudio. Los datos ausentes en estas imágenes latitud-tiempo fueron interpolados linealmente por latitud, para generar una imagen suavizada y de mejor calidad. Se obtuvo diagramas 2D de temperatura (latitud vs tiempo) (Hovmüller) para el período enero 2005 - mayo 2010.

Se extrajo de la información global de **cloa** el área comprendida entre los 15°S hasta los 35°S. Posteriormente, se calculó el perfil costero latitudinal promedio (5



píxeles desde la costa). Con los diagramas latitud vs tiempo se estudió la variabilidad espacio-temporal de la **cloa** durante el período enero 2005 - mayo 2010, de manera de visualizar las condiciones ambientales que prevalecen a lo largo de la costa. Los diagramas latitud vs tiempo (Hovmüller) fueron interpolados linealmente por latitud y tiempo para generar una imagen de mejor calidad y posteriormente suavizada con una filtro espacial de 2x2.

7.1.2 Imágenes satelitales del régimen de viento

Datos diarios del campo vectorial superficial del viento del océano fueron obtenidos del satélite QuickSCAT Nivel 3, estos datos son creados para proporcionar de una manera simple y global datos vectoriales del viento (Jet Propulsión Laboratory SeaWinds Project, disponible en <http://winds.jpl.nasa.gov/missions/quikscat/>). Este sensor remoto mide velocidad y dirección del viento cercano a la superficie de los océanos. Las imágenes del campo vectorial del viento tienen una cobertura global y una resolución espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Para cada imagen diaria global de QSCAT se obtuvo una imagen que cubre el área desde los 18°S hasta los 35°S , y desde la costa hasta los 75°W .

Estas imágenes fueron utilizadas también para estimar el transporte de Ekman perpendicular a la costa en un diagrama 2D latitud vs tiempo (Hovmüller) para el período enero 2005 - noviembre 2009 (última fecha de datos disponible) entre la latitud 15°S y 35°S . La variabilidad espacio-temporal del índice de Ekman permitió visualizar algunas condiciones ambientales que prevalecen a lo largo de la costa durante nuestra ventana de observación. El transporte de Ekman o índice de surgencia instantáneo (Bakun, 1975) se estimó utilizando la componente del viento a lo largo de la costa.



7.1.3 Imágenes satelitales de anomalía del nivel del mar

Los datos de la anomalía del nivel del mar (**ANM**) han sido obtenidos del centro de datos de Oceanografía Satelital, Interpretación, Validación y Almacenamiento, conocido en su sigla en inglés como 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. La combinación de diferentes satélites ha permitido desarrollar mapas más realistas mejorando la descripción de la variabilidad de mesoescala del océano.

Se extrajo de la información global de **ANM** del área desde los 15°S hasta los 35°S de latitud. Posteriormente, se calculó el perfil costero latitudinal promedio (5 píxeles desde la costa). Se confeccionaron diagramas latitud vs tiempo del período enero 2005 - mayo 2010, los cuales fueron filtrados por un filtro espacial 2D de 3 pesos.

7.1.4 Ambiente – Recurso

Las series temporales ambientales del año 2009 se construyeron con la información satelital promedio entre los paralelos 18°S y 35°S , cuya metodología de cálculo se explicó en el punto 7.1.4. Estas series corresponden a las variables **TSM** y **cloa**, con una resolución de 4 km y del Transporte Ekman y **ANM**, con una resolución espacial de ~ 30 km, todas de la franja costera. Las series temporales ambientales de las variables descritas, fueron construidas al promediar las columnas de las matrices latitud-tiempo para cada variable ambiental. Las series



latitudinales ambientales fueron construidas al promediar las filas de las matrices latitud-tiempo para cada variable ambiental.

Las series latitudinales ambientales se correlacionaron con las capturas latitudinales de anchoveta para la flota industrial que opera entre los 34°-18°21'S. Las capturas corresponden a las toneladas de pesca de anchoveta acumuladas durante el año 2009 distribuidas por latitud. Estos registros pesqueros fueron recolectados durante la ejecución del proyecto "Investigación, Situación de la Pesquería Zona Norte 2009" ejecutado por IFOP (Böhm *et al*, 2010).

7.1.5 Caracterización de la condición ambiental regional

Para poder determinar el patrón espacial y temporal de las variables oceanográficas en el Pacífico Ecuatorial se trabajó con información y análisis de **TSM** y el Índice Multivariado Ecuatorial (**MEI**), obtenida de los sitios de Internet del Earth System Research Laboratory (ESRL) y Climatic Prediction Center-National (CPC/NCEP), ambas instituciones de la NOAA monitorean los eventos "El Niño"/ "La Niña" y diferentes fenómenos de mesoescala que pueden afectar la zona norte de Chile. Con esta información, se resumieron las características ambientales de la región ecuatorial presentes durante el año 2009 y 2010.



VII. RESULTADOS

A. Objetivo específico N° 2.1

Determinar la distribución espacial, así como sus variaciones espacio-temporales, a nivel de meso-escala (km), de la variabilidad bio-oceanográfica, temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, clorofila-a, nutrientes y penetración de la luz, en la zona de estudio, en la estructura vertical de 0 a 200 m.

1. Condiciones oceanográficas

1.1 Vientos

En la **Figura 3a** se muestran los vectores de vientos registrados con una frecuencia horaria durante el crucero. Esta información señala que para el área de estudio un 88,5% de los casos tuvo una componente favorable a la surgencia (segundo y tercer cuadrante). El porcentaje anterior es similar para las subzonas de Arica - Antofagasta y Antofagasta - Pichidanguí, con un 87% y 90%, respectivamente.

Con respecto a la intensidad (**Figura 3a**), el 53,6% de los vientos medidos en el área de estudio fueron menores a 5 m/s, 34,4% fluctuaron entre 5 y 10 m/s y el 12% restante exhibió intensidades mayores a 10 m/s. Sin embargo, al separar por subzonas, estos porcentajes cambian ya que entre Arica y Antofagasta los porcentajes fueron, respectivamente para estos mismos rangos de intensidad, de 72%, 25% y 3%, mientras que entre Antofagasta y Pichidanguí fueron de 37%, 44% y 19%. La distribución de vectores muestra, en general, que los vientos de



hasta 5 m/s se distribuyen en toda la zona, sin embargo, tal como dicen las estadísticas, estos tienen una mayor frecuencia en la mitad norte de la zona, mientras que los máximos se agrupan fuertemente entre puerto Carrizal Bajo y Caleta Inglesa. Las intensidades entre 5 y 10 m/s se agruparon entre los 22°S y el paralelo 26°S.

El índice de surgencia por latitud (**IS**) (**Figura 3b**) muestra que los menores valores del **IS** promedio se presentaron entre los 21° y 22°S, el cual tuvo un promedio de 56 m³/s por 1000 m de costa (en adelante sólo m³/s), mientras que el máximo promedio, ubicado en la mitad sur de la zona, fue de 5013 m³/s entre los 28° y 29°S.

El índice de turbulencia promedio costero (**IT**) (**Figura 3c**) tuvo un mínimo de 13 m³/s³ entre los 21° y 22°S y el máximo de 3561 m³/s³ correspondió a las mediciones entre los 28° y 29°S, ambas asociadas a las mismas áreas que tienen los valores extremos del **IS** en la zona. En el sector oceánico, el **IT** registró valores extremos de 38 y 2166 m³/s³, ubicados también en las mismas latitudes que aquellas mencionadas para el **IT** del sector costero.

1.2 Temperatura superficial del mar

La temperatura superficial (**TSM**) (**Figura 4a**) medida durante el crucero de octubre de 2009, fluctuó entre 12,1° y 19,6°C. Las menores temperaturas se presentaron en el extremo sur de la zona, donde la mínima se registró en la estación de 1 mn frente a caleta Maitencillo de Coquimbo. Las más altas temperaturas, > 19°C, se registraron frente a Arica, ubicándose el máximo a 85 mn de la costa. La **TSM** exhibe un gradiente norte-sur, disminuyendo gradualmente con la latitud hacia el sur, mientras que hacia la costa, principalmente en el área entre Arica y punta Ballenita, se registra una franja costera de menor temperatura con respecto a la observada en



el sector oceánico, marcando con ello el área de surgencia, formando un frente térmico de mayor intensidad. Respecto al afloramiento costero, se observaron áreas de importante actividad como en Coquimbo y punta Pozo y entre punta Arenas y Mejillones, áreas costeras que registran las más bajas temperaturas en la mitad sur y norte de la zona, respectivamente.

En general, en el sector oceánico entre Arica y punta Lobos, se encuentran las mayores temperaturas, las cuales superaron los 18°C, mientras que en la mitad sur, y en el área oceánica entre bahía Salada y el límite sur de la zona, se observaron las menores temperaturas, las cuales no superaron los 14°C.

Las anomalías de **TSM (Figura 4b)** medidas entre Arica y rada Paposó, señalan que anomalías positivas levemente significativas se registraron sólo en el borde norte de la zona, frente a Arica. En el sector oceánico entre punta Pinto y bahía Moreno (sector central) hubo anomalías tanto positivas como negativas no significativas, mientras que en el sector costero, las negativas superaron los 2°C (absoluto), pero estos valores no son tampoco significativos para aquel sector, mostrando sólo con ello un importante centro de surgencia. Anomalías negativas significativas (>1°C) se registraron en el sector oceánico desde bahía Moreno al sur, al menos hasta rada Paposó. Entre los 25° y los 32°S, las temperaturas medidas en el crucero, en general, se observaron entre 1° a 3°C menores a lo informado en el Atlas Oceanográfico, donde la **TSM** presenta para el mes, un predominio de temperaturas mayores a 16°C en toda el área señalada.

1.3 Salinidad superficial del mar

El rango de salinidad medido en la zona fue de 34,0 a 35,1 psu, con una disminución de norte a sur (**Figura 4c**). Salinidades mayores a 35 psu se midieron al norte de Iquique, con un máximo localizado en la estación de 115 mn frente a Arica. En el



sector oceánico al sur de Huasco, las salinidades fueron menores a 34 psu, presentándose el mínimo en la estación de 85 mn frente a Pichidangui. Entre Arica y Mejillones se midieron salinidades menores en la franja costera, respecto al sector oceánico, que muestran los procesos de surgencia, mientras estos mismos procesos son exhibidos desde Antofagasta al sur, especialmente entre Huasco y punta Pozo, por salinidades mayores a las medidas en el sector oceánico.

Las anomalías de salinidad (**Figura 4d**) entre Arica y rada Paposo señalan una condición similar a la observada en las anomalías térmicas, es decir, anomalías positivas significativas ($> 0,1$ psu) en el sector oceánico central del borde norte, hasta punta Madrid, con un máximo de 0,3 psu en la estación de 10 mn frente a Arica. Las anomalías no significativas ($< 0,1$ psu) se registraron entre punta Madrid y Mejillones, mientras que al sur de esta última localidad, se midieron anomalías negativas significativas, con un máximo de 0,23 psu (absoluto) a 85 mn frente a punta Tres Picos. Las únicas anomalías positivas en el sector costero se midieron entre punta Gualaguala y punta Tres Picos. Al sur de los 25°S , la salinidad registró anomalías negativas en torno a 0,1 psu en el sector oceánico, mientras que en la costa de Coquimbo las anomalías fueron positivas con un máximo de 0,3 psu, señalando un área de surgencia intensa.

1.4 Densidad superficial

La densidad superficial (**Figura 5a**) presentó un valor mínimo de $24,9 \text{ kg/m}^3$ en la estación de 85 mn frente a Arica y un máximo de $26,2 \text{ kg/m}^3$ en la estación costera frente a Pichidangui. El sector costero de la zona muestra gradientes latitudinales (este-oeste) desde caleta Chipana al sur. Los mayores gradientes costeros se registraron entre caleta Chipana y Mejillones y alcanzan hasta las 20 mn. Desde punta Ballenita al sur, las isopícnas de mayor densidad, ubicadas en el sector costero, se extienden hacia el oceánico, alcanzando la de $25,6 \text{ kg/m}^3$ más allá de



las 100 mn. Las menores densidades ($< 25,2 \text{ kg/m}^3$) se ubicaron en el sector oceánico central frente a Arica y se extendieron hacia el sur, en forma de lengua, hasta punta Lobos.

1.5 Distribuci3n superficial de OD

El rango de concentraciones del oxígeno disuelto (**OD**) superficial fluctuó entre 1,34 y 6,91 mL/L (**Figura 5b**). En el sector oceánico centro norte del área de estudio, en general el **OD** presentó muy poca variaci3n manteniéndose entre 5 y 6 mL/L, aumentando a valores $> 6 \text{ mL/L}$ desde Huasco al sur. La mayor alteraci3n en la distribuci3n correspondió a un pequeño foco de concentraci3n $< 4,5 \text{ mL/L}$ a 85 mn frente a Mejillones.

En el sector costero se observaron las mayores variaciones del **OD**, destacando cuatro focos de concentraciones $< 5 \text{ mL/L}$, de norte a sur: un pequeño foco se observó en la estaci3n costera de Iquique; luego el de mayor extensi3n que abarcó desde punta Arenas a punta Ballenita con una máxima extensi3n hacia el oeste $> 40 \text{ mn}$ en Mejillones, en este sector se registraron además las concentraciones más bajas del muestreo, $< 2 \text{ mL/L}$, en la estaci3n costera de punta Arenas y a 10 mn al oeste de Mejillones; más al sur los otros dos focos se ubicaron dentro de las primeras 5 mn, tanto de caleta Inglesa como desde punta Farellones hasta caleta Maitencillo de Coquimbo, registrándose un mínimo de 2,5 mL/L en esta última localidad.

Las mayores concentraciones, $> 6 \text{ mL/L}$, se registraron en pequeños focos ubicados en los sectores costeros de Arica, entre Chañaral y Caldera, y en Coquimbo, donde el **OD** superó los 6,5 mL/L. Por otra parte, tanto en las estaciones costeras de Mejillones como de bahía Moreno, se observaron claras inversiones en el **OD**, donde los mínimos estuvieron entre las 5 y 10 mn aumentando luego hacia la costa a $> 5 \text{ mL/L}$ y $> 6 \text{ mL/L}$ respectivamente.



1.6 Profundidad de la isoterma de 15°C

La profundidad de la isoterma de 15°C (**Figura 5c**) registró un máximo de 54 m en la estación de 100 mn frente a rada Paposo. Al sur de punta Ballenita no se observa en la columna de agua un valor de temperatura de 15°C. La distribución de profundidad de esta isoterma muestra, en general, que las menores se registran en la costa pero con variación en sus rangos. De Arica a Mejillones éstas son de entre 10 y 20 m, mientras que al sur de Mejillones, la profundidad mínima disminuye a menores a 10 m, con algunos focos de cero m, y la isolínea de 20 m se aleja de la costa, llegando a superar las 100 mn de la costa frente a punta Ballenita. Los dos extremos del sector que presentan temperaturas de 15°C, tienen características opuestas. En este sentido, frente a Arica se observaron máximas profundidades que llegan a más de 50 m en el borde noroeste, mientras que frente a punta Ballenita los valores de profundidad no superaron los 10 m.

La anomalía de esta variable exhibe un amplio predominio de valores negativos en toda la zona (**Figura 5d**). Focos de anomalía positiva se ubicaron en el borde norte de la zona entre Arica y punta Pinto, desde la costa hasta las 50 mn, y desde las 115 mn hacia el oeste. También hay anomalías menores a 10 m en bahía Moreno. Valores positivos significativos (>10 m) se ubicaron sólo desde la costa frente a Arica hasta las 40 mn con un máximo de 29 m. Los valores negativos de anomalía no son significativos en el sector costero de punta Madrid a punta Lobos y desde punta Hornos a punta Coloso. Desde esta última localidad, se extiende una lengua de baja anomalía (<10m) hacia el sector oceánico. El resto del área hacia el sur presentó valores negativos significativos que forman dos focos mayores a 30 m. El máximo negativo fue de -49 m en la estación de 70 mn frente a rada Paposo.



1.7 Profundidad de la capa de mínimo oxígeno

La profundidad de la isolínea de 1 mL/L, que representa el límite superior de la capa de mínimo **OD**, en esta oportunidad presentó dos sectores, al norte y al sur de bahía Moreno con un rango de profundidades entre 11 y 231 m (**Figura 6a**).

El sector norte muestra menor variación, con un rango costero de entre 5 y 40 m, aumentando en el sector oceánico en general hasta > 60 m, llegando a superar los 80 m en dos focos, fuera de las 100 mn en Arica y en las 100 mn de Mejillones. Por otra parte, entre punta Madrid y punta Lobos, las profundidades variaron menos. En este sentido un foco de profundidades < 40 m, se extendió hasta las 70 mn frente a punta Gruesa, mientras que en punta Madrid y punta Junín, se observó otro entre las 85 y 100 mn. En este sector, los gradientes zonales más intensos se observaron en Arica y en Mejillones, mientras que las menores profundidades (< 20 m) se registraron en las estaciones costeras de punta Madrid y entre punta Arenas y Mejillones.

El sector sur tuvo una clara presencia de gradientes costa océano, aumentando los rangos de profundidad entre 20 a 80 m en la costa y entre 100 a > 200 m en el sector oceánico. Aquí destacaron dos zonas de poca profundidad, < 80 m, los que se extienden fuera de las 75 mn tanto en rada Paposos como entre Caldera y bahía Salada. Por otra parte las mayores profundidades > 160 m, se alcanzaron en las estaciones más oceánicas frente a Chañaral y bahía Salada, además de un foco ubicado entre las 40 a 70 mn de punta Farellones hasta las 100 mn de Pichidangui. Además se observó una profundización > 200m a 70 mn frente a caleta Maitencillo de Coquimbo. En el sector costero, los focos de menor profundidad, ≤ 25 m, se observaron desde bahía Moreno a punta Tres Picos y frente a Chañaral, y < 40 m de caleta Maitencillo de Coquimbo dentro de la franja de las primeras 5 mn.



1.8 Espesor de la capa de mezcla

La capa de mezcla (**CM**) (**Figura 6b**) registró un espesor máximo de 32 m en la estación de 70 mn frente a bahía Salada. En general, la profundidad de la **CM** fluctuó entre 5 y 10 m en toda la zona, con algunos focos de **CM** mayores, principalmente ubicados en el área oceánica. Se destacan los focos de **CM** mayor a 20 m ubicados frente a punta Tres Picos (24°20'S) y bahía Salada, donde en este último se ubicó el máximo señalado. El área entre Arica y bahía Moreno registró, comparativamente, un menor espesor (< 5 m) de **CM** con respecto al observado al sur de bahía Moreno.

1.9 Termoclina

El espesor de la termoclina (**ET**) (**Figura 6c**) tuvo un rango de 0 a 27 m. Los mayores espesores (> 10 m) se presentaron entre Arica y caleta Chipana, abarcando una extensa área que cubre el sector costero y gran parte del oceánico. Desde caleta Chipana a bahía Moreno, el **ET** > 10 m se ubicó en el sector oceánico solamente. Desde Antofagasta hasta la latitud de Chañaral predominaron los **ET** entre 5 y 10 m, excepto en el sector costero que va de punta Tres Picos a punta Ballenita, donde los **ET** fueron menores. Desde Chañaral al sur, se registraron los menores **ET** con un predominio de espesores menores a 5 m, con algunos focos aislados en el sector oceánico que tuvieron un **ET** mayor.

La temperatura asociada a la base de la termoclina (**TBT**) (**Figura 6d**) fluctuó entre 11,3° a 17,6°C. El mínimo se midió en la estación de 20 mn frente a punta Farellones y el máximo en la estación de 40 mn frente a Arica. **TBT** mayores a 15°C sólo se registraron en el sector oceánico entre Arica y punta Lobos, formando una lengua de agua cálida que se ubicó desde el extremo norte y se



desplazó hacia el sur y sur oeste. El área entre punta Lobos y punta Ballenita presentó un predominio de temperaturas entre 13° y 14°C, mientras que hacia el sur el predominio fue entre 12°C y 13°C, con algunos focos aislados de **ETB** mayor.

La profundidad de la base de la termoclina (**PBT**) presentó un rango de 5 a 105 m. El máximo se midió en la estación de 100 mn en la sección frente a Pichidangui. En general la **PBT** registra los menores valores hacia la costa (**Figura 7a**), con 10 y 20 m, con algunas áreas más profundas como es el caso de punta Lobos, bahía Salada a Coquimbo, las cuales tienen **PBT** entre 20 y 30 m. Áreas de baja **PBT** se extienden hacia el oeste en rada Paposo, Caldera y en Coquimbo, siendo esta última la de mayor extensión. El borde oeste de toda la zona es la que registró las mayores **PBT**, sin embargo hay áreas donde se mantienen bajas profundidades tanto en la costa como en el sector oceánico, como es el caso frente a Iquique. Los focos de altos **PBT** se registraron en forma de focos con un brusco aumento de profundidad a más de 80 m, principalmente en aquellos ubicados al sur de bahía Moreno. Al norte de esta última localidad, en general, el **PBT** no superó los 50 m.

El gradiente de temperatura promedio de la termoclina (**GPT**) (**Figura 7b**) tuvo valores que oscilaron entre 0,1 y 0,52 °C/m, donde predominó un rango entre 0,2 y 0,3 °C/m entre Arica y bahía Salada y entre Caleta Maitencillo y Pichidangui. En el área intermedia a estas dos localidades, el rango predominante fue de 0,1 a 0,2°C/m. Existiendo algunos focos donde se superaron los 0,3°C/m, frente a punta Lobos y punta Tres Picos, que es donde el máximo señalado se midió a 40 mn de la costa.

El gradiente máximo en la termoclina (**GMT**) (**Figura 7c**) alcanzó los 1,5 °C/m a 1 mn frente a bahía Moreno. Se distingue un área con **GMT** altos que va de punta Junín a



Mejillones ($>0,4^{\circ}\text{C}/\text{m}$), con dos focos de valores mayores a $0,8^{\circ}\text{C}/\text{m}$ frente a punta Lobos. Un área de mínimos **GMT**, de $0,1$ a $0,2^{\circ}\text{C}/\text{m}$, se ubicó entre bahía Salada y punta Farellones, abarcando desde la costa hasta el borde oeste de la zona. Dentro de esa misma área hay una área costera que va de Huasco a caleta Inglesa, donde no se registró termoclina.

La profundidad donde se ubicaron estos gradientes máximos en la termoclina fluctuó entre 2 y 101 m (**Figura 7d**). El máximo se presentó en la estación de 100 mn frente a Pichidangui. En la costa esta variable registró una profundidad de 10 a 20 m, extendiéndose la isolínea de 20 m hacia el oeste en el área frente a Iquique y Coquimbo. El área de Arica a Mejillones registra, en general, las menores **PGMT** pues esta fue menor a 30 m, excepto en el sector oceánico, donde forma focos de profundidad mayor a 50 m. En el sector oceánico desde Antofagasta al sur, se presentan focos de **PGMT** que superan los 70 m, mientras que en la costa el área de mayores profundidades se extendió desde bahía Salada a caleta Inglesa, donde se midieron hasta 50 m.

1.10 Distribución vertical de temperatura

La distribución de temperatura en la vertical se presentan en las **Figuras 8 a 11**. Las secciones perpendiculares a la costa muestran un fuerte gradiente térmico en la capa superficial pero que es de profundidad variable. En las secciones de la mitad sur de la zona, este gradiente es menos intenso pero más profundo, alcanzando los 100 m en algunas secciones en el sector oceánico y hasta menos de 50 m en el costero. En la mitad norte, la intensidad de los gradientes es mayor pero ocupan una capa superficial de menor espesor alcanzando 50 m en el oceánico y unos 30 m el costero. Las secciones con menor gradiente térmico en la capa superficial son las de caleta Inglesa a bahía Salada.



En la capa superficial, se observaron ascensos de agua hacia la superficie frente a Pichidangui, punta Ballenita, bahía Moreno y punta Arenas, centrados cerca de las 50 mn de la costa.

Las transectas realizadas desde punta Tres Picos hasta Pichidangui, registraron una variación en la profundidad de las isotermas. Es así, como en la sección de caleta Maitencillo de Coquimbo, las isotermas mostraron un ascenso de cerca de 100 m en las 70 mn de la costa y desde la sección de caleta Cruz Grande hasta punta Tres Picos, las isotermas ubicadas bajo los 100 en dirección hacia la costa tienen una pendiente negativa. Destaca en la costa de punta Tres Picos la presencia de un foco de agua de temperatura entre 12° y 13°C entre los 50 y los 150 m, además de una inversión térmica en las 40 mn a 150 m de profundidad. Desde bahía Moreno al norte, las isotermas tienden a ubicarse más paralelas a la superficie, no obstante hay una tendencia a presentar una pendiente positiva hacia la costa en algunas de ellas como bahía Moreno, punta Lobos, punta Junín y punta Madrid. Las secciones también registraron hacia la costa un ascenso de las isotermas de la capa superficial, marcando aquellas de más intensidad en la surgencia, como las de caleta Maitencillo de Coquimbo a caleta Inglesa, en la mitad sur, y de punta Tres Picos a punta Arenas en la mitad norte.

1.11 Distribución vertical de salinidad

La distribución de salinidad en la vertical se muestra en las **Figuras 12 a 15**. Se observa una mayor variabilidad tanto vertical como horizontal en las secciones ubicadas hacia el sector sur de la zona. En esas secciones predominan núcleos de baja salinidad (< 34,8 psu) en los primeros 100 m y que en general llegan hasta las 10 mn de la costa, donde se posicionan núcleos de máxima relativa (> 34,8 psu) que corresponden a agua de tipo Ecuatorial Subsuperficial que está



participando en la surgencia. Los núcleos superficiales de baja salinidad se presentan bien desarrollados en las secciones de Pichidangui a Mejillones.

A partir de punta Copaca se ubica en superficie un núcleo de máxima que se hace más salino hacia el norte superando el valor de 35 psu en la sección de Arica y que es de 50 m de espesor. En las secciones señaladas, no obstante, se posiciona el foco de agua Ecuatorial menos salino en las primeras 10 a 20 millas de la costa. Este núcleo salino subsuperficial disminuyó su salinidad de norte a sur, como también su espesor y profundidad de ubicación. Es así como en las secciones de bahía Moreno al norte, su núcleo principal registra un valor de 34,8 psu que abarca desde la costa hasta las 100 mn centrado en los 150 m, con la presencia de algunos focos de menor tamaño pero más salinos (> 34,9 psu) en el área oceánica de las secciones de punta Lobos y punta Junín. Entre Pichidangui y punta Tres picos este núcleo de máxima subsuperficial se hizo más costero, eventualmente separado en dos núcleos a lo largo de la sección.

Respecto al núcleo de mínima salinidad ubicado en superficie entre Pichidangui y punta Tres Picos, este se hace subsuperficial hacia el norte disminuyendo en forma importante su espesor y aumentando la salinidad de núcleo característico de < 34,6 a <34,7 psu. En la sección de Arica este núcleo prácticamente no se observó, y sólo formando un delgado núcleo ubicado entre las 160 y 200 mn de la costa y centrado a 75 m de profundidad.

1.12 Distribución vertical de densidad

La densidad en la vertical (**Figuras 16 a 19**) mostró una fuerte estratificación en todas las secciones, la que fue más intensa y de menor espesor en las secciones de bahía Moreno al norte. Las isopícnas se comportaron como lo hicieron las isotermas, es decir, mostrando de igual forma ascensos en el sector costero, pero



con una pendiente menor negativa o positiva de aquellas secciones descritas anteriormente para la temperatura. Así también, los cambios de profundidad de las isopícnas bajo el nivel de 100 m, en las secciones de la mitad sur de la zona, no son tan marcados como los descritos para las isotermas en esas mismas secciones. Las primeras 20 mn del sector costero es un área de estratificación, tanto en la vertical como en sentido horizontal. Lo anterior se debe a que las isolíneas de densidad que ascienden desde el nivel de 50 m provocan gradientes en ambos sentidos.

1.13 Anomalías de temperatura y salinidad en las transectas de Arica, punta Lobos y bahía Moreno

Las anomalías de temperatura y salinidad en la vertical de las transectas de Arica (T21), punta Lobos (T17) y bahía Moreno (T13) se muestran en la **Figura 20**.

Las anomalías de temperatura muestran bajo el nivel de 100 m, en general, un amplio predominio de valores menores a $0,5^{\circ}\text{C}$ (absoluto). Sólo la transecta de Arica tiene un núcleo importante en tamaño con anomalías entre $0,5^{\circ}$ y $<1^{\circ}\text{C}$ al oeste de las 40 mn de la costa.

En los primeros 100 m de profundidad se observa una variada distribución de anomalía en las tres secciones. En Arica, en esta capa las anomalías son negativas entre la costa y las 60 mn con un máximo de hasta -2°C , mientras que al oeste el núcleo es subsuperficial, delgado y centrado en el nivel de 75 m con un máximo de -1°C . No se presentaron núcleos superficiales positivos en esta sección. En punta Lobos el núcleo de valores negativos es de menor espesor, se centra a nivel de 50 m entre el límite oeste y las 30 mn. En superficie de esta sección se presentaron dos núcleos, uno entre las 10 y 20 mn con un valor mínimo de hasta $+2^{\circ}\text{C}$ y otro desde las 50 mn de la costa hacia el oeste con un espesor



de 25 m con una anomalía de +1 y de máximo $>+2^{\circ}\text{C}$. En la sección de Antofagasta predomina en superficie una delgada capa de agua (menor a 25 m) con anomalías positivas de $+1^{\circ}\text{C}$, destacándose en la costa un núcleo de hasta $+2^{\circ}\text{C}$ hasta las 20 mn y centrado en los 15 m, mientras otro núcleo se presenta en el sector oeste pero con un espesor no mayor a 10 m. En esta sección las anomalías negativas forman un núcleo $> 1^{\circ}\text{C}$ desde las 70 mn hacia el oeste, centrado en los 50 m y con un espesor de 30 m.

La salinidad muestra también un predominio de bajos valores de anomalía en la capa bajo los 100 m de profundidad, los cuales no superan los 0,05. Sin embargo, en la sección de Arica se destaca la presencia de un núcleo de valores altos de anomalía en el nivel de 100 que abarca casi toda la sección y que son mayores a 0,1. En la sección de Antofagasta se presentaron también dos focos de anomalías negativas mayores a 0,05 en el centro de la sección. En la capa superficial predominan los núcleos de anomalías negativas, destacándose en la sección de Arica dos núcleos de anomalías mayores a 0,1 donde uno se ubica en la costa y se encuentra entre la superficie y los 25 m y el otro en el sector oceánico entre las 70 y 100 mn y centrado en los 60 m de profundidad. En la transecta de punta Lobos, los núcleos de anomalías negativas $> 0,1$ son de menor tamaño, destacándose en el centro de la sección un núcleo de valor $> 0,1$ en superficie otro núcleo $> 0,2$ ubicado a nivel subsuperficial.

La sección de Antofagasta presenta núcleos de bajo valor de anomalía, destacándose en la capa superficial un núcleo de anomalía $< +0,1$ entre las 5 y 10 mn. Las anomalías negativas que forman núcleos de anomalía $>0,1$ se ubican centradas en el nivel de 50 m y cruzan toda la sección.



1.14 Distribución vertical de oxígeno disuelto

Las distribuciones verticales de **OD** se entregan en las **Figuras 21 a 24**. Todas las transectas presentaron marcados gradientes verticales, aumentando su intensidad y disminuyendo su profundidad de sur a norte. Todos los gradientes, en mayor o menor grado, presentaron una inclinación hacia la superficie en las estaciones costeras, llegando a interceptarla en 9 de las 21 transectas con concentraciones < 5 mL/L.

La capa superficial bien oxigenada, > 5 mL/L, tuvo una mayor presencia hacia fuera de las 20 mn aumentando el espesor de 25 a 50 m en el norte y de hasta 50 a 100 m en el sur. En las transectas del centro norte, se observaron dentro de la capa oxigenada sólo algunos núcleos de concentraciones > 6 mL/L, los que tuvieron una mayor presencia desde punta Molle al sur.

En general, en la vertical se observan dos sectores, desde Arica a bahía Moreno, donde los gradientes típicos, de 5 a 1 mL/L, se ubicaron por sobre los 100 m y desde punta Tres Picos al sur donde los gradientes con menor fuerza se extienden hasta los 150 m.

Los ascensos más notables de los gradientes óxicos se observaron en sector sur, principalmente en las transectas de caleta Maitencillo de Coquimbo y Chañaral con ascensos > 150 m, y bahía Salada con 130 m. Mientras que los gradientes que más se acercaron a la superficie estuvieron en: punta Arenas, Mejillones, punta Tres Picos, punta Maitencillo de Coquimbo, punta Copaca, punta Gruesa y bahía Moreno. Por otra parte, tanto en punta Gruesa, Mejillones, bahía Moreno, Chañaral y Maitencillo de Coquimbo, el ascenso del gradiente se produjo en la línea de las 5 mn o hacia afuera, aumentando el **OD** hacia la costa.



En el caso de la transecta de Arica, el gradiente se desarrolló en total entre los 20 y 90 m, con una elevación de éste en la costa y entre las 70 y 100 m que lo ubicaron entre los 20 y 40 m. En la capa superficial, sólo en la costa se registró un núcleo de concentración > 6 mL/L, mientras que en la capa profunda los valores $< 0,25$ mL/L se detectaron a través de toda la transecta, abarcando la mayor parte de la capa de mínimo **OD**. En esta transecta no se detectó el límite inferior de la capa de mínimo **OD**.

Al sur de bahía Salada disminuyó la presencia de valores menores a 0,25 mL/L dentro de la capa de mínimo **OD**, los que prácticamente no fueron registrados en las transectas del extremo sur de la zona de estudio. Por otra parte, el límite inferior de la capa de mínimo **OD**, concentración de 1 mL/L, en la zona norte fue detectado solamente bajo los 450 m en el extremo oceánico de punta Copaca, mientras que en la zona sur, su presencia fue permanente desde punta Tres Picos al sur. En este sentido, desde punta Farellones a Pichidangui, a lo largo de gran parte de las transectas, el muestreo registra concentraciones > 3 mL/L bajo los 450 m.

1.15 Transecta de 100 mn paralela a la costa

Las distribuciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y **AESS**, para la transecta de 100 mn paralela a la costa se entregan en las **Figuras 25 y 26**.

1.15.1 Temperatura

La temperatura superficial en la sección de 100 mn tuvo los más altos valores en el límite norte de la zona, donde una capa de espesor de hasta 30 m registra un máximo de 19°C. Esta capa más cálida pero de mayor variabilidad en la vertical se extiende hacia el sur, disminuyendo la temperatura superficial hasta la latitud de



23°S en donde se midieron 16°C. Al sur de esta latitud la temperatura en la capa superficial disminuye de norte a sur en forma más lenta, registrándose un valor de 14°C en el límite sur de la zona (32°10'S). La capa de mayor variación térmica en la vertical se ubica en el sector más norte, hasta los 23°S en las capa subsuperficial hasta los 50 m. Al sur los 23°S esta capa disminuye notoriamente en intensidad su gradiente térmico y se profundiza hasta un nivel promedio de 80 m. Las isotermas ubicadas bajo la termoclina tienden a ubicarse en forma paralela a la superficie, sin embargo muestran una pendiente positiva hacia el sur lo que señala la disminución gradual de la temperatura en la vertical en ese sentido. En este contexto se destaca el ascenso de 50 m de la isoterma de 11°C en la latitud 30°30'S y también una notable profundización de todas las isotermas al sur de los 31°30'S.

1.15.2 Salinidad

Asociados a la capa de mayor temperatura en el extremo norte de la zona, ya señalado, se encuentra un núcleo con la mayor salinidad de la sección, la que supera los 34,9. Las salinidades superficiales más bajas se ubican en el extremo sur de la zona, con valores que no superan los 34,2 en un núcleo ubicado en superficie y que tienen más de 100 m de espesor. Un núcleo de máxima subsuperficial se extiende de norte a sur y abarca toda la sección, disminuyendo su salinidad en sentido sur y también su espesor promedio. En el extremo norte, este núcleo se caracteriza por salinidades máximas > 34,8 hasta los 23°S de latitud, mientras que en el extremo sur este núcleo tiene una salinidad > 34,5 como máximo. Entre los 28° y 29°S el núcleo de 34,8 presenta una discontinuidad.



1.15.3 Oxígeno

El **OD** presenta una disminución del espesor de la capa de mínimo (concentraciones < 1 mL/L) de norte a sur, teniendo en la estación de 100 mn frente a Arica un espesor aproximado de 610 m, partiendo desde los 50 m, mientras que frente a Pichidangui (E1) se observó un espesor aproximado de 120 m partiendo desde los 160 m. Las concentraciones $< 0,25$ mL/L se registraron en gran parte de esta capa desde el extremo norte hasta los 25° S, para prácticamente desaparecer hacia el sur, salvo por un pequeño núcleo en punta Farellones (E21). El gradiente óxico presente a lo largo de toda la transecta, y que separa la capa superficial bien oxigenada (> 5 mL/L) de la capa de mínimo **OD**, mostró una tendencia a debilitar su fuerza y a profundizarse hacia el sur. La capa superficial (> 5 mL/L) de espesor variable presentó un mínimo en punta Junín (E177), < 20 m, y un máximo espesor, 100 m, en el extremo sur. Dentro de esta capa, la presencia de valores > 6 mL/L sólo fue observada entre Huasco (E56) y caleta Inglesa (E41) más punta Farellones (E21).

En los niveles más profundos, las concentraciones > 1 mL/L se registraron a lo largo de toda la sección, aunque con una mínima presencia bajo los 660 m en Arica (E203), la que aumentó hacia el sur hasta registrarse bajo los 300 en Pichidangui (E1). En este sentido se registraron concentraciones de OD > 2 mL/L desde Punta Ballenita (E96) al sur, aumentando progresivamente a > 4 mL/L bajo los 500 m de Pichidangui (E1).

1.15.4 AESS

La masa de agua ecuatorial subsuperficial (**AESS**) en la sección muestra un núcleo de máximo porcentaje de participación de masa de agua (**PPMA**) $> 80\%$ entre el límite norte y los 23° S, centrado en los 160 m y de un espesor de 100 m.



En general, los núcleos de **AESS** disminuyen su espesor de norte a sur hasta un mínimo de 60%, destacándose una importante disminución de este núcleo en los 29°S y un ascenso en la vertical de todas las isótopos de **PPMA** en ese mismo punto. En superficie, el máximo **PPMA** fue de 40% y se presenta en una capa de 40 m de espesor desde el límite norte hasta los 24°S, mientras que el mínimo de **PPMA** fue <10% desde la latitud 28°S hacia el sur.

1.16 Masas de agua

Los diagramas **T-S** de todas las estaciones agrupadas por transecta, se presentan en la **Figuras 27 y 28**. Los porcentajes de participación de masas de agua (**PPMA**) Subtropical (**AST**), Subantártica (**ASAA**) y Ecuatorial Subsuperficial (**AESS**) de las transectas 1, 4, 9, 13, 17 y 21 se entregan en la **Figura 29**.

Los diagramas **T-S** muestran agrupaciones características por masa de agua y señalan en forma cualitativa presencia e intensidad a lo largo de la zona de estudio **Figuras 27 y 28**. El **AST** se muestra en forma muy débil en las secciones del área sur de la zona hasta la sección 8 (Caldera) que es de donde comienza a verse una participación mayor, que aumenta gradualmente con un máximo en el límite norte, caracterizando su núcleo por valores de 19°C y 35,1 psu en temperatura y salinidad, respectivamente. En esta masa de agua se presenta, no obstante, una variación en su participación en cada transecta, siendo más intenso entre las secciones 8 y 14.

El **ASAA** muestra un comportamiento contrario, con una más intensa y definida participación hacia el sur de la zona, con un núcleo caracterizado por 11°C en temperatura y 34,1 en salinidad. Desde la transecta 14 (Mejillones) al norte hay un rápido descenso en la participación de **ASAA**, alcanzándose la mayor presencia en el borde norte de la zona. Aún cuando hay mayor participación en las



transectas del lado sur de la zona, secciones 1 a 10, la variabilidad es mayor en ésta, lo que es mostrado por la separación de las líneas **T-S** en cada sección en las cercanías del valor tipo de **ASAA**.

El **AESS** se presenta en toda la zona, disminuyendo su participación de norte a sur, con valores de temperatura y salinidad en su núcleo de 14°C y 34,8 en el borde norte y de 11°C con 34,6 en el sur. En las secciones 1 a 12 se observa la mayor variabilidad en la participación de **AESS** debido a la mezcla con **ASAA**.

Los porcentajes de participación de masa de agua (**Figura 29**) (**PPMA**) de **AST** muestran una baja participación de esta masa de agua en el sector sur, con **PPMA** que no superan en general el 10%, encontrándose los mayores porcentajes hacia el lado oceánico de la sección. Los **PPMA** aumentan gradualmente hacia el norte, con porcentajes que superan ya en superficie los 20% en una delgada capa superficial. En la sección 17, punta Lobos, se presentan **PPMA** mayores a 50% en la capa de los primeros 50 m y hasta > 60% en la sección de Arica, sin embargo, en la costa estos porcentajes disminuyen notablemente y muestran un brusco ascenso de las isolíneas en ese sector. El **AST** llega con un 10% de participación hasta un nivel de 70 m como promedio en las secciones mostradas y se detecta con un mínimo hasta un máximo de profundidad de 150 m en la sección de punta Lobos.

El **ASAA** registra su máximo que es > 70% en el sector más oceánico de la sección del extremo sur de la zona donde el núcleo llega hasta los 100 m de profundidad. Sin embargo, hay un rápido descenso de los **PPMA** hacia el norte, con núcleos de 50% en Chañaral, 40% en bahía Moreno y de 20% en punta Lobos y Arica. En las dos últimas secciones indicadas, el núcleo de máximo **PPMA** se encuentra a nivel subsuperficial y centrado en los 50 m de profundidad. La participación de esta masa de agua llega en promedio hasta los 400 m de



profundidad, pero con un **PPMA** de 10% lo hace hasta los 200 m al menos hasta la sección de bahía Moreno y hasta los 150 m al norte de esa sección. Hay también una disminución de la participación de **ASAA** en la costa, mostrada por un ascenso de las isolíneas, excepto en la primera sección de Pichidangui.

El **AESS** tiene un núcleo subsuperficial centrado en los 150 m de profundidad. Su **PPMA** aumenta de sur a norte desde un máximo de 60% en Pichidangui a 80% en Arica. El núcleo de máxima participación se encuentra más pegado a la costa en las secciones del lado sur, generalmente hasta no más de 60 mn, hasta al menos la sección de Chañaral ((T9), sin embargo, desde la sección de bahía Moreno el núcleo de máximo se extiende a lo largo de toda la sección, incluso en la sección de Arica abarca toda la transecta (200 mn). El **PPMA** mínimo se encuentra siempre en superficie, siendo <20% en Pichidangui y de 30% en Arica. A nivel subsuperficial, el mínimo se ubica en los 500 m con valores de 30% en el lado sur y de cerca de 50% en el extremo norte. Todas las secciones registran un aumento de participación de **AESS** en la superficie del sector costero, siendo las secciones de la mitad sur las que tienen una mayor pendiente positiva de las isolíneas.

1.17 Distribución superficial de clorofila y feopigmentos

La clorofila-*a* (cloa) superficial abarcó un rango de concentraciones de entre 0,04 y 12,02 µg/L, donde la distribución del pigmento presentó claramente dos franjas costeras de concentraciones > 1 µg/L (**Figura 30a**). La primera entre Arica y punta Tres Picos, muy pegada a la costa ya que como máximo sobrepasó las 10 mn entre punta Copaca y punta Tres Picos. Dentro de esta franja destacan núcleos muy costeros de mayores concentraciones: uno entre Arica y punta Madrid, > 3 µg/L; en Iquique, > 4 µg/L; más un núcleo de mayor extensión hacia el oeste, 5 mn, que abarcó entre punta Copaca y Mejillones con concentraciones máximas de 8,9 µg/L y 9,7 µg/L respectivamente. La transecta de Arica sólo presentó un núcleo con



concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ que no superaron las 5 mn, mientras que en el resto de la transecta éstas se mantuvieron $< 0,2 \mu\text{g/L}$ hasta las 180 mn donde aumentó a $\geq 0,3 \mu\text{g/L}$. En punta Madrid, un pequeño núcleo $> 1 \mu\text{g/L}$ se ubicó en las 20 mn, separado del núcleo costero.

Entre rada Paposos y punta Ballenita está la separación de las franjas productivas, donde las concentraciones disminuyeron a $< 0,5 \mu\text{g/L}$, llegando incluso hasta $< 0,2 \mu\text{g/L}$.

En el sector sur, desde Chañaral y hasta Pichidangui la segunda franja productiva de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ aumenta su extensión hacia el oeste, partiendo con algo más de 10 mn en Chañaral hasta casi cubrir las primeras 100 mn de la costa en el extremo sur. Dentro de esta franja destacan varios núcleos de concentraciones de cloa $> 5 \mu\text{g/L}$, de norte a sur: dentro de las primeras 5 mn entre Chañaral y Caldera, registrándose en esta última localidad la concentración más alta del muestreo, $12 \mu\text{g/L}$; luego un pequeño núcleo muy costero en Huasco; otro núcleo en las 5 mn de caleta Inglesa, más otro ubicado dentro de las 10 mn frente a punta Farellones, siendo éste último el de mayor extensión hacia el oeste.

En el sector oceánico se observan dos áreas con una clara separación en Chañaral. Al norte de esta localidad la cloa se mantuvo en torno a los $0,2 \mu\text{g/L}$, con una sola excepción, un pequeño núcleo $> 0,5 \mu\text{g/L}$ en las 85 mn frente a Antofagasta, mientras que en sector sur destaca un núcleo de cloa $> 1 \mu\text{g/L}$ alejado de la costa ubicado en las 55 mn frente a Caldera, en tanto que las concentraciones $> 0,5 \mu\text{g/L}$ aumentaron notoriamente su cobertura, en relación al sector norte, llegando a superar las 100 mn en punta Farellones y Pichidangui, donde además los valores $> 1 \mu\text{g/L}$ sobrepasaron las 85 mn.



Los feopigmentos (feop) registraron un rango de concentraciones de entre 0 y 2,34 $\mu\text{g/L}$ (**Figura 30b**), rango muy inferior al de la cloa. En general, también se observaron tres sectores: Arica a punta tres Picos, rada Paposos a punta Ballenita y de Chañaral al sur. En el sector norte los feop presentaron en el borde costero concentraciones $> 0,2 \mu\text{g/L}$, con núcleos de mayores valores en la primera milla desde punta Arenas a punta Copaca, y en punta Tres Picos con $> 0,5 \mu\text{g/L}$. Entre rada Paposos y punta Ballenita las concentraciones estuvieron bajo los $0,2 \mu\text{g/L}$, a lo largo de toda la transecta. En el sector sur, una gran franja costera de concentraciones $> 0,2 \mu\text{g/L}$ se registró desde Chañaral a Pichidangui, dentro de la cual focos de concentración $> 0,5 \mu\text{g/L}$ se extendieron entre Chañaral y punta Farellones, conteniendo núcleos $> 1 \mu\text{g/L}$ entre Chañaral y Caldera, en Huasco y en punta Farellones. En el sector oceánico primaron las concentraciones $< 0,2 \mu\text{g/L}$.

1.18 Distribución superficial de fluorescencia in vivo

La distribución superficial de fluorescencia in vivo (fliv) presentó un rango de entre 0,1 y 17,9 volt (**Figura 30c**). En términos generales de norte a sur se observan tres áreas, la primera entre Arica y punta Tres Picos presentó una franja costera casi continua con valores > 1 volt, la que sin embargo abarcó casi las 100 mn de la transecta en punta Tres Picos, observándose además algunos focos de menor tamaño en la parte oceánica frente a punta Junín, punta Lobos y punta Arenas. En la banda costera de este sector los valores más altos superaron los 5 volt entre punta Copaca y Mejillones. En Arica, en particular fuera de las 5 mn, se mantuvieron los valores $< 0,5$ volt hasta las 200 mn, donde se observó un segundo foco de valores > 1 volt.

La segunda área que va de rada Paposos a punta Ballenita, la fliv se caracterizó por valores ≤ 1 volt. En una tercera área, desde Chañaral al sur, los valores > 1



volt ocuparon gran parte de las transectas. En este último sector se observaron dos focos de gran tamaño en donde se supera los 3 volt. Más al norte, Chañaral a Huasco, la fliv superó los 5 volt con máximos > 10 volt entre Chañaral y Caldera, en este último punto se registró el valor más alto del muestreo. Hacia el sur, el área entre caleta Inglesa y Pichidangui, tuvo valores > 2 volt que se registraron hasta una extensión máxima de 85 mn, de Coquimbo a punta Farallones y en Pichidangui, mientras que valores > 5 volt se observaron en pequeños focos entre las 5 y 10 mn de caleta Inglesa, en las 30 mn de Coquimbo y en las 10 mn de punta Farellones. En el sector oceánico destacó un foco > 4 volt a 85 mn frente a Pichidangui.

1.19 Distribución de clorofila y feopigmentos integrados

La clorofila integrada (cloaint) tuvo un rango de valores entre 4 y 344 mg/m², y al igual que en la distribución superficial, presentó dos franjas costeras productivas, con valores > 40 mg/m², separadas por un área de pobreza entre rada Paposo y punta Ballenita, < 20 mg/m² (**Figura 31a**).

En la franja norte se observaron en las primeras 5 mn en general pequeños focos de cloaint de valores > 100 mg/m², los que se ubicaron: desde punta Junín a punta Lobos, en punta Copaca, Mejillones y en las 10 mn de Antofagasta. Además de éstos, un foco de mayor tamaño se observó en punta Madrid, el que se extendió hasta las 20 mn, con un máximo > 250 mg/m², al que le siguió en valor el foco de punta Copaca con > 200 mg/m². En la franja sur, los focos productivos de valores > 100 mg/m² fueron aumentando su extensión hacia el oeste con dirección sur. El foco ubicado entre Caldera y bahía Salada se extendió hasta las 10 mn en esta última localidad, presentando un máximo, > 150 mg/m², dentro de las 5 mn en Caldera. Más al sur, un segundo foco de mayor tamaño se extendió desde el norte de Coquimbo (T4) hasta caleta Maitencillo de Coquimbo, formando una lengua con



dirección sur-oeste que presentó varios focos de valores $> 200 \text{ mg/m}^2$ en su centro, además del máximo valor del muestreo $> 300 \text{ mg/m}^2$, en la estación de 5 mn de punta Farellones. Valores > 80 se registraron hasta Pichidangui.

Los feopigmentos integrados (feopint) registraron un rango de valores de entre 1 y 92 mg/m^2 (**Figura 31b**). En general también se observaron dos sectores, Arica a punta Tres Picos y de Chañaral al sur. En el sector norte los feopint presentaron en el borde costero concentraciones $> 20 \text{ mg/m}^2$, observándose focos $> 40 \text{ mg/m}^2$ entre las 5 y 10 mn en punta Madrid y dentro de las 5 mn en punta Copaca, con un máximo $> 90 \text{ mg/m}^2$. Entre rada Paposo y punta Ballenita los valores se mantuvieron $\leq 20 \text{ mg/m}^2$, a lo largo de toda la transecta. En el sector sur una gran franja de concentraciones $> 20 \text{ mg/m}^2$ se extendió desde Chañaral a Pichidangui, conteniendo un foco $> 40 \text{ mg/m}^2$ en forma de lengua entre el norte de Coquimbo y hasta caleta Maitencillo de Coquimbo, registrándose valores $> 90 \text{ mg/m}^2$ en punta Farellones.

1.19.1 Distribución histórica de clorofila-a

Las distribuciones históricas de cloa para el período 1993-2009, se entrega en la **Figura 32**.

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

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 foco 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 los datos 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 focos 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 $> 1 \mu\text{g/L}$. De estos focos, 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 focos 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 $\mu\text{g/L}$, con focos 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



más bajos se registraron en las transectas de punta Junín ($> 3 \mu\text{g/L}$), y bahía Moreno ($2 \mu\text{g/L}$). Este año es apreciable la gran extensión que alcanzaron las lenguas frente a punta Copaca, punta Junín y el foco ubicado en el extremo oeste de la zona de muestreo frente a Arica.

En septiembre de 2006, se observan focos de altas concentraciones de cloa a lo largo de la zona costera y oceánica. Los valores costeros más 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 Junín y punta Lobos ($> 2 \mu\text{g/L}$), al norte de Mejillones ($> 4 \mu\text{g/L}$) y a 20 mn frente a bahía Moreno ($> 4 \mu\text{g/L}$). En el sector oceánico destacó la presencia de un foco oceánico de concentraciones $> 2 \mu\text{g/L}$ al norte de punta Lobos. Las menores concentraciones se registraron en punta Copaca ($< 1 \mu\text{g/L}$).

En septiembre-octubre de 2007, la franja costera de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ abarcó la mayor parte del área de estudio, siendo interrumpida sólo en el sector de punta Junín ($< 1 \mu\text{g/L}$). En la franja costera los valores más altos $> 5 \mu\text{g/L}$ se reportaron en punta Madrid, punta Lobos, punta Arenas y bahía Moreno. Por otra parte, en el sector oceánico un foco de $> 1 \mu\text{g/L}$, destacó en las 100 mn frente a punta Copaca.

En octubre de 2008, la franja muy costera de valores $> 1 \mu\text{g/L}$ abarcó toda el área de estudio, alcanzando mayor extensión hacia el oeste en Arica, > 30 mn. Dentro de esta franja los focos de concentraciones $> 4 \mu\text{g/L}$ se extendieron entre Arica e Iquique, y desde Punta Copaca a bahía Moreno. Los valores más altos se reportaron en Arica ($> 7 \mu\text{g/L}$), Iquique ($> 7 \mu\text{g/L}$) y bahía Moreno ($> 6 \mu\text{g/L}$).

En octubre de 2009, al igual que en el año anterior la franja productiva de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ estuvo presente en todas las estaciones costeras, dentro de las primeras 20 mn. Las menores concentraciones $< 2 \mu\text{g/L}$ se registraron en



punta Junín y punta Lobos, mientras que las mayores en punta Copaca, > 8 µg/L, Mejillones, > 9 µg/L, e Iquique, 5 µg/L.

1.20 Distribución vertical de clorofila

Las distribución vertical de clorofila-a se entrega en las **Figuras 33 a 35**.

En la vertical la cloa también presenta una separación de áreas, entre Pichidangui y Chañaral. Todas las transectas, salvo caleta Inglesa por falta de datos, presentaron núcleos productivos de concentraciones > 1 µg/L. En este sector los núcleos de mayor tamaño fueron los ubicados entre Pichidangui y caleta Cruz Grande, llegando a superar las 70 mn en el caso de Pichidangui, y las 40 mn en caleta Maitencillo de Coquimbo y punta Farellones. Además, el espesor del núcleo superó los 75 m en su parte más ancha, los demás núcleos en general no superaron los 30 m de profundidad. En este grupo de transectas las menores concentraciones se registraron en Pichidangui con > 2 µg/L y las mayores en Caldera con un núcleo de > 9 µg/L y un máximo superficial de 12 µg/L. Las demás transectas presentaron concentraciones máximas entre > 4 y > 8 µg/L. En el sector oceánico se registraron pequeños núcleos > 1 µg/L: a 75 m en las 70 mn de Pichidangui, a 30 m en las 70 mn de caleta Cruz Grande, y a nivel superficial en las 55 mn de Caldera.

Entre punta Ballenita y rada Paposó, las concentraciones de cloa descendieron notablemente, registrándose máximos de 0,6 y 0,7 µg/L respectivamente, primando en la capa de los primeros 30 m valores > 0,2 µg/L.

En el área de punta Tres Picos hasta Arica, todas las transectas presentaron núcleos productivos costeros, siendo éstos de menor tamaño que los observado en el sector sur. Los núcleos en general no superaron los 30 m de espesor, y



hacia el oeste como máximo sobrepasaron las 10 mn de la costa. Las concentraciones máximas estuvieron en el rango entre > 2 y < 5 $\mu\text{g/L}$, en las transectas de: punta Tres Picos, bahía Moreno, punta Arenas y punta Junín, aumentando a > 5 a > 10 $\mu\text{g/L}$ en las restantes Mejillones (> 9 $\mu\text{g/L}$), punta Copaca (> 8 $\mu\text{g/L}$), punta Lobos (> 5 $\mu\text{g/L}$), punta Gruesa (> 6 $\mu\text{g/L}$), punta Madrid (> 10 $\mu\text{g/L}$) y Arica (> 7 $\mu\text{g/L}$). En esta misma área, la excepción con un núcleo de mayor tamaño fue aquel subsuperficial de punta Madrid que superó las 20 mn y los 30 m de espesor, conteniendo además la concentración más alta del muestreo que fue de 13 $\mu\text{g/L}$. En el sector oceánico se destacaron dos núcleos de > 1 $\mu\text{g/L}$ en las 40 y 70 mn de punta Lobos y punta Gruesa.

1.21 Distribución vertical de feopigmentos

Las distribuciones verticales de feopigmentos se entregan en las **Figuras 36 a 38**. En la vertical los feopigmentos (feop) muestran las tres áreas, pero no en forma tan clara como la cloa. En general los feop presentaron bajas concentraciones, la mayoría de las transectas con núcleos de valores máximos $> 0,5$ $\mu\text{g/L}$, los que rara vez sobrepasaron las 20 mn. Las excepciones se vieron en caleta Maitencillo de Coquimbo, caleta Cruz Grande, punta Lobos y punta Gruesa con núcleos más alejados de la costa, 40 a 75 mn. Las mayores concentraciones de feop se registraron en las transectas de punta Farellones con valores máximos > 2 $\mu\text{g/L}$, caleta Cruz Grande, punta Molle, Caldera, Chañaral y punta Madrid, con núcleos > 1 $\mu\text{g/L}$, mientras que las menores concentraciones, $> 0,2$ $\mu\text{g/L}$, se registraron en las transectas de punta Ballenita, rada Paposos y bahía Moreno.

1.22 Distribución vertical de Fluorescencia

Las distribuciones verticales de fluorescencia *in vivo* (fliv) se entregan en las **Figuras 39 a 41**.



La distribución vertical de fliv también muestra claramente que el sistema está dividido en tres áreas. Desde el sur, entre Pichidangui y Chañaral todas las transectas presentaron núcleos de valores > 5 volt, y además los núcleos > 3 volt fueron los de mayor tamaño tanto en la vertical como en su extensión hacia el oeste. Así es como en la horizontal Pichidangui presentó un segundo núcleo en las 85 mn, mientras que en punta Farellones el núcleo se extendió hasta las 70 mn. Por otra parte, en la vertical de caleta Maitencillo de Coquimbo y punta Farellones los núcleos > 3 volt tuvieron espesores que superaron los 60 m. Los valores más altos de este sector se registraron en punta Farellones y Caldera > 15 volt, caleta Cruz Grande y Chañaral > 10 volt.

Hacia el norte, un sector de pobreza se observó entre punta Ballenita y rada Paposo donde la fliv sólo superó los 1 y 2 volt respectivamente.

El tercer sector norte, desde punta Tres Picos hasta Arica, presentó núcleos principalmente subsuperficiales dentro de las 20 mn de la costa, los que además rara vez se extendieron bajo los 30 m. Las excepciones estuvieron en las transectas de punta Lobos, punta Gruesa y punta Madrid en donde los núcleos se extendieron más allá de las 20 mn, con uno o más núcleos > 3 volt, y punta Arenas que presentó un espesor del núcleo > 40 m. En este sector los valores más bajos se registraron en punta Junín > 4 volt, y el máximo correspondió a bahía Moreno > 15 volt, siguiéndole punta Arenas, punta Lobos y punta Madrid, con mediciones > 10 volt, y punta Tres Picos, Mejillones, punta Copaca, punta Gruesa y Arica con > 5 volt.



1.23 Penetración de luz

En el sector costero, dentro de las 20 mn, se obtuvo un total de 47 registros con un rango total de la profundidad de la capa fótica de entre 7,5 y 55 m, del cual predominaron profundidades de entre 10 y 25 m. El sector costero además coincidió con un rango del espesor de capa de mezcla (**CM**) entre 0 y 8 m. En el sector oceánico, entre las 30 mn y 160 mn, se realizaron 51 mediciones, las cuales indicaron un rango de profundidad de capa fótica de entre 14 y 58 m, asociado a espesores de **CM** de mayores, entre 0 y 28 m (**Tabla 2**).

1.24 Nutrientes

a. Amonio

Las concentraciones de amonio fluctuaron entre un mínimo de 0,003 y un máximo de 6,964 μM . En general el área de estudio se caracterizó por la dominancia de bajos valores ($\sim 0,2 \mu\text{M}$) con focos de altas concentraciones muy localizados frente a Punta Arenas ($21^{\circ}40'S$) y desde Punta Farellones ($30^{\circ}20'S$) al sur. Estos últimos se hicieron más evidentes desde los 50 m de profundidad.

En la componente horizontal, el estrato superficial exhibió dos núcleos de alta concentración localizados frente a punta Arenas ($21^{\circ}40'S$), uno de ellos a 20 mn de la costa con un valor de 1,931 μM , y el otro a 100 mn con una magnitud de 0,941 μM . Hacia el sur, frente a Norte Coquimbo otro foco de 1,225 μM fue detectado a 100 mn de la costa. A 10 m de profundidad, la zona comprendida entre Arica ($18^{\circ}25'S$) y punta Hornos ($23^{\circ}00'S$) estuvo dominada por bajos valores de amonio ($\sim 0,1 \mu\text{M}$) excepto la franja costera entre 1 y 5 mn donde se registraron concentraciones cercanas a 0,3 μM . Desde punta Tres Picos ($24^{\circ}20'S$) hacia el sur, los altos valores ($>0,2 \mu\text{M}$) se distribuyeron en la región oceánica,



extendiéndose hacia la costa entre bahía Salada (27°40'S) y Pichidangui (32°08'S) (**Figura 42**).

A 25 m de profundidad se observó nuevamente un núcleo frente a punta Arenas (21°40'S), pero a 40 mn y de menor magnitud (1,163 μM), mientras que en el sur, entre punta Farellones y Pichidangui, la concentración de amonio se incrementó detectándose un máximo de 3,358 μM a 40 mn frente a Cta. Maitencillo de Coquimbo (31°15'S). A 50 m de profundidad el núcleo localizado al sur se extendió hacia la región oceánica alcanzando un valor de 6,151 μM frente a Pichidangui (32°08'S) (**Figura 42**).

A 75 m de profundidad el área estuvo dominada por valores cercanos a 0,2 μM , excepto por un foco de altos valores registrado frente punta Madrid (19°00'S) a 10 mn de la costa, con un valor de 2,596 μM , y por un núcleo de 6,947 μM que se detectó frente a Pichidangui a 70 mn de la costa. Un patrón similar se registró en los estratos de 100 y 200 m, con altos valores frente a punta Arenas (21°40'S), 1,931 y 6,282 μM respectivamente, y frente a Pichidangui (30°08'S), donde se registró la máxima concentración de este nutriente (6,964 μM) a 70 mn de la costa (**Figura 43**).

En la componente vertical el amonio exhibió un gradiente latitudinal caracterizado por la expansión de las mayores concentraciones (>0,2 μM) desde la costa hacia la región oceánica. En Arica (18°25'S), éstas se detectaron restringidas al borde costero (1-5 mn), mientras que hacia el sur se registraron entre 40 y 70 mn. Destaca el foco localizado a 25 m de profundidad frente a Cta. Maitencillo de Coquimbo que alcanzó una magnitud de 3,358 μM a 40 mn (**Figura 44**).



b. Nitrito

Las concentraciones de nitrito fluctuaron entre 0,0 y 12,84 μM . En general este nutriente estuvo caracterizado por presentar bajos valores ($<0,5 \mu\text{M}$) en el estrato superficial (0 - 25 m) y por el incremento en sus magnitudes hacia los estratos más profundos, especialmente en la zona entre Arica ($18^{\circ}25'S$) y punta Hornos ($23^{\circ}00'S$).

El análisis de la distribución horizontal permitió detectar, entre la superficie y los 10 m de profundidad, la presencia de dos focos con concentraciones superiores a $1,0 \mu\text{M}$, localizados el primero, entre punta Arenas y punta Hornos ($4,22 \mu\text{M}$) muy restringido a la franja costera, y el segundo frente a Caldera ($1,54 \mu\text{M}$) a 20 mn de la costa. El núcleo detectado en el norte exhibió un aumento a 25 m de profundidad, alcanzando un valor de $7,17 \mu\text{M}$ a 1 mn frente a punta Copaca ($22^{\circ}20'S$). A 50 m de profundidad este foco se extendió latitudinalmente hacia Arica, manteniendo concentraciones superiores a $5,00 \mu\text{M}$ entre 1 y 10 mn de la costa con un máximo de $12,37 \mu\text{M}$ frente a punta Lobos ($21^{\circ}00'S$), a 40 mn. Al sur de punta Hornos el nitrito exhibió, en promedio, concentraciones cercanas a $0,30 \mu\text{M}$ (**Figura 45**).

En los estratos más profundos, las altas concentraciones se mantuvieron restringidas al área entre Arica y punta Hornos, pero se extendieron longitudinalmente, detectándose valores por sobre los $10,00 \mu\text{M}$ a 70 y 100 mn en Arica y punta Lobos. A 100 m de profundidad se registró la máxima de nitrito ($12,84 \mu\text{M}$) a 5 mn frente a Punta Madrid ($19^{\circ}00'S$). Al sur de punta Hornos las concentraciones, en promedio estuvieron dentro del rango $0,50$ a $0,80 \mu\text{M}$. Núcleos inferiores a $6,00 \mu\text{M}$ fueron observados entre punta Tres Picos ($24^{\circ}20'S$) y Caldera ($27^{\circ}00'S$) localizados entre 1 y 20 mn de la costa (**Figura 46**).



Las secciones transversales muestran la presencia de las mayores concentraciones en la zona norte del área de estudio, extendiéndose hasta 100 mn de la costa bajo los 50 m de profundidad, con un gradiente latitudinal caracterizado por la disminución de los valores y la presencia de núcleos de baja magnitud restringidos a la franja costera (**Figura 47**).

c. Nitrato

Las concentraciones de nitrato fluctuaron entre un mínimo de 0,00 y un máximo de 30,44 μM . Este nutriente se caracterizó por exhibir un aumento con la profundidad y a lo largo de un gradiente latitudinal de norte a sur.

En la componente horizontal, a nivel superficial predominaron concentraciones de nitrato inferiores a 6,00 μM , incrementándose en el sur desde Norte Huasco (28°20'S) a Pichidangui (30°08'S). En este sector valores superiores a 9,00 μM alcanzaron las 70 mn de la costa, con un máximo de 24,07 μM a 1 mn frente a Cta. Maitencillo de Coquimbo. A 10 m de profundidad se detectó un incremento de los valores hacia el norte de área de estudio, con focos muy costeros (1-10 mn) entre Arica (18°25'S) y rada Raposo (25°00'S) que superaron los 10,00 μM . El núcleo detectado al sur intensificó su magnitud, y el máximo frente a Cta. Maitencillo de Coquimbo fue de 30,02 μM . Entre los 25 y 50 m de profundidad las altas concentraciones se extendieron hacia la región oceánica, exhibiendo valores superiores a 20,00 μM frente a Arica. En estos estratos las máximas de 27,20 y 24,71 μM se encontraron frente a Pichidangui, a 10 y 40 mn de la costa respectivamente (**Figura 48**).

Entre los 75 y 200 m de profundidad el área estuvo dominada por concentraciones superiores a 10,0 μM . En la zona norte se mantuvieron los focos superiores a 20 μM , especialmente entre Arica y punta Junín, y hacia el sur los mayores valores (>29,00 μM) se registraron desde Norte Huasco (28°20'S). Frente a caleta Inglesa



(29°00'S), a 100 m de profundidad y a 10 mn de la costa, se registró el máximo de nitrato, 30,44 μM (**Figura 49**).

Las secciones transversales de nitrato reflejan el incremento de las concentraciones con la profundidad y en un sentido latitudinal norte-sur. En Arica se observa la expansión del foco costero hacia la región oceánica asociado al aumento de los valores que alcanzaron por sobre los 20,00 μM . En las transectas del sur, Caldera y Cta. Maitencillo de Coquimbo, los altos valores se registraron desde los 10 m de profundidad, y se extendieron entre la costa y las estaciones más oceánicas (**Figura 50**).

d. Fosfato

El fosfato fluctuó entre un mínimo de 0,00 y un máximo de 6,35 μM . La distribución de este nutriente estuvo caracterizada por el aumento de las concentraciones con la profundidad, y su disminución a lo largo de un gradiente latitudinal norte-sur.

La distribución horizontal a nivel superficial reveló la presencia de concentraciones inferiores a 0,90 μM en casi toda el área de estudio. Excepto por el máximo localizado en la región oceánica frente a Caldera y bahía Salada (4,03 μM), las magnitudes superiores a 1,5 μM se concentraron en la zona norte entre Arica (18°25'S) y punta Arenas (21°40'S), las cuales se distribuyeron entre 1 y 100 mn de la costa (**Figura 51**).

A 10 y 25 m de profundidad, entre Arica y punta Lobos, altos valores de fosfato se registraron entre la costa y la región oceánica, restringiéndose a la franja costera (1-10 mn) desde rada Raposo al sur. A 10 m la máxima fue de 5,35 μM , y se detectó a 100 mn frente a punta Arenas (21°40'S), mientras que a 25 m de profundidad la mayor concentración se registró a 70 mn frente a punta Hornos



(23°00'S). En el estrato siguiente (50 m) el patrón de distribución fue similar, detectándose el máximo de fosfato (6,05 μM) a 10 mn en punta Lobos (21°00'S) (**Figura 51**).

Entre los 75 y 200 m de profundidad valores superiores a 1,50 μM dominaron la zona de estudio. A 75 m la zona de altas concentraciones se extendió hasta Caldera, con un máximo de 6,05 μM registrado en punta Lobos a 10 mn de la costa. En el sector oceánico, entre Arica y Punta Copaca, concentraciones mayores a 4,00 μM fueron observadas, junto a un foco de 5,19 μM localizado a 100 mn frente a Cta. Maitencillo de Coquimbo. A 100 m de profundidad altos valores se registraron hasta caleta Inglesa (29°00'S), registrándose el máximo de fosfato (6,35 μM) a 100 mn frente a punta Madrid. En el estrato de los 200 m, las mayores concentraciones se encontraron replegadas a la franja 1-40 mn de la costa, particularmente entre Arica y bahía Moreno (23°40'S). Al sur de Chañaral (26°20'S) las magnitudes de fosfato descendieron, exhibiendo un promedio de 1,6 μM (**Figura 52**).

La distribución vertical de fosfato reveló en el sector norte del área de estudio, entre Arica y Punta Lobos y desde la costa a la región oceánica, la presencia de altas concentraciones (>1,00 μM) en toda la columna de agua. Hacia el sur, éstas fueron disminuyendo al mismo tiempo que se restringieron a la zona costera, con excepción del núcleo (5,19 μM) registrado a 75 m en Cta. Maitencillo de Coquimbo (T2) (**Figura 53**).

e. Silicato

Las concentraciones de silicato se encontraron en un rango de 0,00 a 29,78 μM . La distribución de este nutriente reveló, además de un incremento con la profundidad, la presencia de un gradiente norte-sur caracterizado por la disminución de las concentraciones.



En los estratos superficie y 10 m de profundidad, la distribución horizontal reveló la presencia de núcleos con concentraciones superiores a 5,00 entre Arica (18°25'S) y rada Raposo (25°00'S), los cuales, frente a Arica se extendieron hacia la región oceánica, detectándose un máximo de 26,01 μM a 100 mn en superficie, y de 22,01 μM a 70 mn a 10 m de profundidad. Entre 25 y 50 m de profundidad, las concentraciones de silicato se incrementaron, registrándose la presencia de varios focos superiores a 20 μM , tanto en la costa como en la región oceánica. A 50 m en punta Lobos (21°00'S) se detectó un máximo de 29,77 μM , a 40 mn de la costa. En estas profundidades, el aumento de silicato hacia el sur fue más evidente, con un foco de 19,80 μM frente a Cta. Maitencillo de Coquimbo (31°15'S) a 10 mn de la costa (**Figura 54**).

En los estratos más profundos predominaron concentraciones superiores a 10,00 μM , con los mayores valores al norte del área de estudio y entre la costa y la región oceánica. A 75 m se mantuvo el máximo de 29,77 μM frente a punta Lobos (21°00'S), pero localizado a 100 mn de la costa. Entre 100 y 200 m los focos situados al sur de rada Raposo (25°00'S) incrementaron en magnitud extendiéndose hacia el sector oceánico, donde se detectaron concentraciones de 27,61 μM a 70 mn frente a Norte Coquimbo (29°40'S). El máximo de silicato (29,78 μM) fue registrado a 200 m a 5 mn frente a punta Arenas (21°40'S) (**Figura 55**).

Las secciones verticales muestran el aumento de las concentraciones de silicato con la profundidad. Entre Arica y Punta Hornos se observan altos valores distribuidos entre la costa y el sector más oceánico, mientras que hacia el sur, estas altas concentraciones se encontraron replegadas a la franja entre 1 y 4 0mn de la costa (**Figura 56**).



1.25 Monitoreo satelital

1.25.1 Temperatura superficial del mar satelital (TSM)

Las imágenes de promedio semanal de **TSM** satelital para el mes de octubre de 2009 se muestran en la **Figura 57**. Durante las dos primeras semanas de octubre en la zona norte se registraron temperaturas del orden de 18° y 19°C en la zona costera entre Mejillones y Arica, con el desarrollo de un filamento al sur de Iquique (<18°C) y al norte de Mejillones. Al sur Antofagasta no se evidencia el desarrollo de una banda costera, sino una extensa área asociada a aguas de surgencia cuyos focos (<13°C) se desarrollaron claramente durante la segunda semana de octubre a lo largo de la costa entre los 32°S y 29°S. La influencia de este enfriamiento superficial determinó que las temperaturas superficiales en esta área no superaran los 15°C. Durante la tercera semana de octubre, la nubosidad en el sector oceánico al norte de Antofagasta impidió las observaciones, pero al sur de este punto se registró una disminución de la intensidad de la surgencia alrededor de Coquimbo, donde la isoterma de 13° C se retrajo hacia la costa y la isoterma de 14°C disminuyó levemente el área de cobertura de la semana anterior. En la cuarta semana la cobertura de nubes en el área norte disminuyó y en la imagen se observa un foco de aguas >19°C que abarca desde Arica hasta Tocopilla. Se destaca en esta área que el sector costero tiene una muy estrecha banda de agua fría, con excepción de un pequeño foco de mayor área en punta Lobos. Al sur de Tocopilla comienza a aumentar el ancho de la franja de agua de surgencia con valores cercanos a 15°C, sin embargo, tanto en el sector oceánico como costero hasta Caldera se aprecia en general mayores **TSM** respecto de la semana anterior. Al sur de Caldera, las condiciones generales son similares a las de la tercera semana.



1.25.2 Clorofila satelital (Cloa)

La información satelital de clorofila superficial en octubre se muestra como promedios semanales en la **Figura 58**. En ella se evidencia el desarrollo de una banda costera de mayores concentraciones y limitadas por la isolínea de 1 $\mu\text{g/L}$. Esta banda costera es consistente con la banda costera de menores temperaturas señalada anteriormente, es decir muy angosta entre Arica y Antofagasta pero con focos de altas concentraciones de Cloa ($> 5 \mu\text{g/L}$) en la zona de Pisagua, Iquique y punta Blanca. Dentro de este contexto, cabe destacar la amplia banda, lenguas y filamentos de altas concentraciones ($> 5 \mu\text{g/L}$) observados alrededor de la zona de Coquimbo en las 4 semanas pero con un máximo en las dos primeras. Es especialmente interesante el desarrollo de un filamento anticiclónico ($> 200 \text{ km}$ de diámetro) observado claramente la segunda de semana de octubre en esa área. En la misma área anterior, la asociación de una amplia banda costera de agua fría y altas concentraciones de clorofila sugieren un proceso intenso de surgencia costera. Durante la tercera semana, en paralelo a la contracción de las aguas frías alrededor de Coquimbo, se produjo una contracción hacia la costa de la banda costera de mayores concentraciones de cloa donde se percibe debilitado el filamento anticiclónico. Durante la cuarta semana, las concentraciones de cloa disminuyen en el área costera entre Caldera y Coquimbo, pero al sur de esta localidad se mantienen similares respecto de la semana anterior. La menor cobertura de nubes en el área norte permite observar concentraciones de cloa ($> 5 \mu\text{g/L}$) en la franja costera.

1.25.3 Anomalías de nivel del mar y Circulación geostrófica

Anomalía del nivel del mar obtenida con satélite y circulación geostrófica superficial para la zona de estudio se presentan en imágenes diarias representativa de cada semana de octubre de 2009 (**Figura 59**). Durante la



primera semana la zona de estudio estuvo en general dominada por anomalías negativas de nivel del mar, aunque siempre asociada a circulación ciclónica. En la franja ubicada al este de los 72°W, es posible visualizar anomalías positivas del nivel del mar y con ello actividad anticiclónica. El día 11 de octubre (segunda semana) el sector de anomalías más negativas pasó a transformarse en 5 giros ciclónicos intensos centrados en el eje de los 73° W, mientras que hacia la costa de la longitud 73°W se debilitó la actividad anticiclónica. El proceso del día 11 se ve intensificado hacia 21 de octubre, pues el predominio de anomalías negativas es mayor, observándose 4 giros anticiclónicos desde Mejillones al sur. En la cuarta semana (día 31) se ha revertido rápidamente la condición encontrada la semana anterior pues en la zona predominan las anomalías > -1 cm. Los giros anticiclónicos al sur de Mejillones descritos para la semana anterior intensificaron su anomalía positiva de altura del nivel del mar e incrementaron también la velocidad, así también dos giros más que se encuentran más al norte.

1.25.4 Viento satelital

Cartas de promedios semanales de viento sobre la superficie del mar se muestran en la **Figura 60**. La distribución superficial del viento tuvo una leve disminución en intensidad entre la primera y segunda semana de octubre en el área más costera y hasta los 27°S, mientras que al oeste de los 72°W y al sur de los 27°S el viento se hizo más intenso, superando los 8 m/s. La mayor disminución de la intensidad del viento es especialmente notoria en el “codo” de Arica y la zona de Iquique en las cual decayó desde 5 m/s a < 2 m/s, aproximadamente. Durante la tercera semana de octubre la intensidad del viento se mantuvo débil en la costa del sector más norte, pero en el área oceánica de toda la zona hubo una notoria disminución del viento a valores de 5 m/s, similares a los vistos durante la primera semana del mes. El área norte de la bahía de Coquimbo fue la única en la zona que mantiene intensidades >8 m/s. En la cuarta semana hubo una disminución de la velocidad



del viento la costa y en el sector oceánico entre Arica y los 23°S, pero toda el área al sur de los 25°S de latitud muestra un incremento, con una intensidad promedio > 8 m/s. Durante las cuatro semanas hubo un amplio predominio de viento hacia el Ecuador, siendo el área entre los 18° y 20°S la que presentó en forma casi permanente una dirección promedio hacia el NNW.

B. Objetivo específico N° 2.2

Determinar la abundancia estacional, distribución espacial y composición del plancton, incluyendo el macrozooplancton e ictioplancton, incluyendo huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa de la zona de estudio y su relación con las condiciones oceanográficas indicadas en 2.1.

2. Distribución y abundancia de huevos y larvas de peces

El procesamiento y análisis de las 209 muestras zooplanctónicas recolectadas durante el crucero de octubre de 2009, entre Arica y Pichidanguí, permitió determinar la presencia de 454.727 huevos y 142.137 larvas, de los cuales 413.836 huevos (91,00%) y 120.399 larvas (84,71%) fueron identificados a nivel específico.

Cabe señalar que en esta oportunidad, no se registraron estaciones positivas a huevos y larvas de jurel y caballa y larvas de sardina. El detalle del número de huevos y larvas por especie, correspondientes a las muestras analizadas se entrega en la **Tabla 3**.



2.1 Anchoveta, *Engraulis ringens*

Para esta especie se identificaron 43 estaciones positivas para huevos y 89 para larvas, lo que representó una frecuencia de 20,57% y 42,58% y una dominancia numérica igual a 65,7% y 51,2% para cada estadio de desarrollo, respectivamente (**Tabla 3**).

El análisis de las muestras recolectadas en las 209 estaciones zooplanctónicas permitió verificar la presencia de 298.596 huevos y 72.000 larvas, señalando una situación característica de una importante actividad reproductiva a lo largo de la extensión latitudinal comprendida entre Arica y bahía Moreno (23°40'S). Entre rada Paposo (25°00'S) y Pichidanguí (32°08'S), no se registró presencia de huevos de esta especie, a excepción de la estación de 1 mn realizada frente a caleta Cruz Grande (29°40'S), mientras que los estadios larvales, latitudinalmente se distribuyeron entre Arica y punta Farellones (30°20'S), no detectándose su presencia al oeste de punta Molle (28°20'S), frente a caleta Maitencillo de Coquimbo (31°15'S) y Pichidanguí.

La fase de huevos exhibió abundancias que fluctuaron entre 39 y 90.491 huevos/10m². La media de huevos por estación positiva alcanzó a 6.944 (DS= 16985,98) (**Tabla 3**).

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 punta Tres Picos (24°20'S) y longitudinalmente se extendió hasta las 145 mn frente al puerto de Arica. Desde punta Tres Picos (24°20'S) hasta Pichidanguí y a excepción del registro positivo observado frente a caleta Cruz Grande, no hubo registros positivos a huevos de esta especie (**Figura 61 a**).



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 99,2% de ellos en las primeras 55 mn, presentando los niveles de abundancia una clara tendencia a incrementarse hacia la parte norte de la zona prospectada (**Figura 61a**).

Las áreas de mayor abundancia (> 22.000 huevos/10m²) se localizaron frente a Arica, punta Lobos (21°00'S) y punta Arenas (21°40'S), encontrándose configuradas por 4 registros positivos de un total de 43 (9,3%), los que en conjunto albergan al 70,9% del total de huevos de anchoveta cuantificados. El resto de las estaciones positivas, no incluidas las áreas de desove anteriormente mencionadas, presentan también niveles de abundancia cuantitativamente importantes, comprendidos dentro del rango 39 a 13.548 huevos/10m². En este contexto, la estación positiva más relevante en términos de su abundancia para la zona de estudio, se localizó a 1 mn frente a punta Lobos con 90.491 huevos/10m² (30,3%).

De acuerdo al número de huevos y para la zona Arica - Antofagasta, la presente prospección presentó con respecto al crucero precedente, un porcentaje de cambio negativo igual a 49,8%, constituyéndose en el cuarto registro más importante en cuanto al número de huevos cuantificados de los últimos 27 años.

Las fases larvianas se presentaron en 89 registros positivos de un total de 209, con una densidad igual a 72.000 larvas/10m². Respecto a las concentraciones larvianas, éstas fluctuaron entre 25 y 9.106 larvas/10m², con una densidad promedio igual a 344 larvas por estaciones totales. La media de larvas por estación positiva fue igual a 809 (DS= 1528,41).

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



punta Farellones ($30^{\circ}20'S$) y longitudinalmente se extendió hasta una distancia máxima de 200 mn de la costa frente al puerto de Arica (**Figura 61b**).

Comparado con la fase de huevo, y como habitualmente acontece, las larvas de anchoveta exhiben una mayor cobertura espacial y menor abundancia relativa, la cual se manifiesta por una diferencia porcentual de 107% en la frecuencia de estaciones positivas y de -75,9% y -88,3% 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 mas desarrolladas (**Tabla 3**).

Las áreas de desove más significativas (> 4.000 larvas) se localizaron frente a caleta Cruz Grande ($29^{\circ}40'S$), Chañaral ($26^{\circ}20'S$), bahía Moreno ($23^{\circ}40'S$), punta Gruesa ($22^{\circ}20'S$) y Arica, encontrándose configuradas por 6 registros positivos de un total de 89 (6,7%), los que en conjunto albergan al 45% del total de larvas de anchoveta cuantificadas. El resto de las estaciones positivas, no incluidas las áreas de desove anteriormente mencionadas, presentan también niveles de abundancia significativos comprendidos dentro del rango 25 a 3.005 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 199, situada a 160 mn frente a la localidad de Arica, con 9.106 larvas/10m² (12,6%).

En relación al número de larvas y para la zona Arica - Antofagasta, octubre de 2009 exhibe respecto al crucero precedente una significativa disminución en sus niveles de abundancia, lo que se traduce en un porcentaje de cambio igual a -67,4%, constituyéndose en el quinto registro más importante en cuanto al número de larvas cuantificadas de los últimos 27 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 octubre de 2009, se presentan en las **Figuras 62 y 63**. Durante la primavera de 2009 y para la fase de huevos, se estima el coeficiente de variación más bajo de los últimos 27 años (CV=50%). Con respecto al estadio de larvas, el presente año conjuntamente con las primaveras de los años 1984, 1990 y 2007 exhiben los coeficientes de variación más bajos de la serie.

2.1.1 Distribución de huevos y larvas de anchoveta asociados a las corrientes geostróficas

La **Figura 64** muestra la distribución horizontal de huevos y larvas de anchoveta durante octubre de 2009, apreciándose además, la coherencia espacial con las corrientes geostróficas. En el codo de Arica se genera una acumulación de huevos y larvas asociadas a bajas intensidades de corriente. Entre Arica e Iquique, corrientes anticiclónicas asociadas a un giro anticiclónico de mesoescala presente en la zona, producen una dispersión de huevos y larvas desde la zona costera hacia la zona oceánica. Específicamente frente a Iquique, se observó la mayor cantidad de huevos y larvas fuera de la costa, asociadas al centro de un giro ciclónico. Al sur de Iquique, ambas fases de desarrollo, son advectadas fuera de la costa, por una corriente divergente asociada a un giro ciclónico frente a Iquique y uno anticiclónico (~ 21°S). Las corrientes de este último, concentran a los huevos y larvas hacia la costa cerca de los 21°05'S. La zona de bahía de Mejillones y bahía Moreno, parecen comportarse como zonas de retención, ya que al menos la última está vinculada espacialmente a una corriente convergente hacia la costa, producida por un giro anticiclónico. Una situación similar ocurrió al norte de bahía Coquimbo y en la zona de Chañaral.



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

El análisis comparativo de las características asociadas a la abundancia del ictioplancton de las especies objetivo, 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 primaverales realizadas en los años 1984 y 1987, 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 elevados para huevos y larvas de anchoveta, los cuales no habían sido registrados 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 de 1985 señala que nuevamente estábamos frente a un proceso de cambio, con una categórica predominancia en la abundancia de anchoveta respecto de sardina, jurel y caballa, con densidades sin precedentes y que han sido registradas para ambos estadios de desarrollo durante las



primaveras de los años 1996, 1998, 1999, 2000, 2005, 2006 y 2008. 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 y 1991-1992. Las estimaciones de la abundancia promedio de huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa realizadas en el transcurso de los años 1981-2008, para la estación de primavera, indican que desde el año 1992 persiste el predominio de anchoveta respecto de las otras especies objetivo, situación que se ha mantenido hasta hoy sin alteraciones (**Figuras 65 y 66**).

La abundancia promedio de huevos y larvas de anchoveta obtenida en octubre de 2009, respecto a las reportadas en cruceros precedentes para la serie 1983/2009, muestra que los niveles de abundancia de esta especie analizada en términos de la densidad promedio por estaciones totales, presenta la misma situación para las distintas fases de desarrollo. Es así, como los estadios de huevos y larvas, exhiben con respecto al año 2008 una significativa disminución en sus densidades lo que se traduce en porcentajes de cambio iguales a -64,9% y -77,2%, respectivamente.

Las densidades promedio por estaciones positivas, utilizadas como un índice de la intensidad y/o concentración del desove, muestran con respecto a la primavera de 2008 porcentajes de cambio iguales a -60,1% y -75,4%.

Con respecto al patrón estacional de distribución de huevos de anchoveta, la serie 1983-2009, nos señala que el desove de primavera presenta un carácter más costero, con presencia ocasional de huevos a 100 mn al oeste de punta Copaca y de otras localidades, en los años 1984, 1990, 2002, 2005 y 2007. Durante las primaveras de los años 1985, 1986, 2005, 2007, 2008 y 2009 y debido fundamentalmente a la grilla de muestreo utilizada, se obtuvieron las mayores



frecuencias de registros positivos a esta fase de desarrollo (> 24), destacando como áreas de desove estables y persistentes en el tiempo la zona de Arica, punta Lobos, bahía Moreno y desde el año 1997 en adelante aparece como área de desove importante la zona comprendida entre punta Lobos y punta Copaca (**Figura 67**).

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 las primaveras de los años 1985, 1988, 1990, 2002, 2007, 2008 y 2009, se obtuvieron las mayores frecuencias de registros positivos a esta fase de desarrollo (>40), siendo también importantes los registros de los años 1986, 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 (**Figura 68**). Cabe señalar y para ambos estadios de desarrollo, que las más bajas frecuencias de estaciones positivas se registraron en primavera de los años 1987, 1991/1992, y 1997, asociadas a la presencia de “El Niño” en la zona de estudio, la cual se caracterizó por exhibir una modalidad eminentemente costera en la postura.

Con respecto al índice de abundancia larval para anchoveta, las estimaciones más altas han sido obtenidas en las primaveras de 1996, 1999, 2005 y 2008 y las más bajas han estado asociadas a la presencia de eventos “El Niño”, registrados durante los años 1987 y 1991. Durante los últimos cinco años el índice ha fluctuado entre 1 y 5. En octubre de 2009, se estimó un índice muy similar a los estimados durante el período 2000/2003 y 2006 y 2007, siendo el del presente estudio 71,3% menor con respecto al año 2008 (**Figura 69, Tablas 4 y 5**). 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 – primavera de 2009, los huevos de anchoveta han presentado una tendencia general ascendente, con once picks de abundancias significativamente importantes (> 18.000 huevos/ 10m^2), 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 primaveras de 2006 y 2008. 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; verano de 2001 y primavera de 2007. Con relación a las fases larvianas, estas muestras una tendencia similar a la exhibida por el estadio de huevos, con abundancias superiores a 4100 larvas/ 10m^2 , las que han sido reportadas en verano de 1999, 2000 y 2001, otoño de 2002 y verano e invierno de 2003 (**Figura 70**).

2.2 Sardina, *Sardinops sagax*

En octubre de 2009, no se detectaron estaciones positivas a larvas de sardina y solo un registro positivo a huevos, con densidades muy bajas (23 huevos/ 10m^2).

2.3 Jurel, *Trachurus murphyi*

Durante octubre de 2009, no se registró la presencia de estaciones positivas para huevos y larvas de esta especie.

2.4 Caballa, *Scomber japonicus*

Durante octubre de 2009, no se registró la presencia de estaciones positivas para huevos y larvas de esta especie.



2.5 Photichthyidae, *Vinciguerria*

Durante la exploración, se reconocieron 128 estaciones positivas a huevos de *Vinciguerria* y 69 positivas a larvas, obteniéndose un total de 111.781 huevos y 5.348 larvas, lo que represento una constancia igual a 61,2% y 33,0% y una dominancia numérica igual a 24,58 y 3,76% para las respectivas fases de desarrollo (**Tabla 3**).

La distribución geográfica de los huevos de *Vinciguerria* en el área de estudio, señala que estos se localizaron en todo el rango latitudinal de la zona de estudio, a excepción de la transecta realizada frente a caleta Maitencillo de Coquimbo y longitudinalmente estuvieron presentes hasta las 100 mn en el área comprendida entre punta Madrid (19°00´S) y punta Farellones (30°20´S). Frente al puerto de Arica, los huevos de *Vinciguerria* exhibieron una cobertura longitudinal máxima, es decir, hasta las 200mn (**Figura 71a**). Las areas de mayor abundancia (> 8.000 huevos/10m²) se localizaron a 20 mn frente a punta Molle (28°20´S), 55mn al oeste de punta Junín (19°40´S) a 40 mn frente a punta Madrid y a 55 mn frente al puerto de Arica, encontrándose configuradas por 4 registros positivos de un total de 128 (3,1%), los que en conjunto albergan al 30,8% del total de huevos de *Vinciguerria* cuantificados. El resto de las estaciones positivas, no incluidas las áreas de desove anteriormente mencionadas, presentan tambien niveles de abundancia significativos comprendidos dentro del rango 26 a 5.171 huevos/10m². En este contexto, la estacion positiva mas relevante en terminos de su abundancia para la zona de estudio se localizó a 40 mn frente a punta Madrid, con 9.393 huevos/10m².

Las fases larvarias se presentaron en 69 registros positivos de un total de 209, con una abundancia igual a 5.348 larvas/10m². Este estadio se presenta en el área de



estudio con abundancias que fluctuaron entre 25 y 492 larvas/10m², con una densidad promedio igual a 26 larvas por estaciones totales. La media de larvas por estaci3n positiva fue igual a 78 (DS= 73,37) (**Tabla 3**).

El patr3n de distribuci3n espacial de las larvas fue m3s oce3nico con respecto al exhibido por los huevos, observ3ndose 3stas entre Arica y caleta Maitencillo de Coquimbo y longitudinalmente estuvieron presentes desde 1 hasta las 100 mn, registr3ndose un incremento en la frecuencia de estaciones positivas entre la franja de estaciones comprendida desde las 40 a 100 mn. La mayor abundancia (> 490 larvas/10m²) se observo a 55 mn frente a punta Ballenita (25°40´S) (**Figura 71b**).

2.6 Merluza, *Merluccius gayi*

Los huevos y larvas de merluza se presentaron en 5 estaciones positivas, con abundancias relativas para cada estadio de 1.024 y 1.423, respectivamente (**Tabla 3**).

La distribuci3n espacial de los huevos de esta especie comprometió la extensi3n latitudinal comprendida entre punta Molle (28°20´S) y caleta Maitencillo de Coquimbo (31°15´S), exhibiendo en general una modalidad nerítica en su postura, ya que el 96,7% de los huevos se distribuyeron entre la milla y la lınea de estaciones ubicada a 10 mn de la costa (**Figura 72a**). Con respecto al estadio de larvas, latitudinalmente se distribuyeron entre punta Farellones (30°20´S) y caleta Cruz Grande (29°40´S) y longitudinalmente estuvieron presentes hasta 30mn frente a esta 3ltima localidad, concentr3ndose el 83,13% de ellas a 1 mn de la costa (**Figura 72b**).



2.7 Agujilla, *Scomberesox saurus*

Para esta especie se reconocieron 48 estaciones positivas a huevos y 1 a larvas, el total de huevos fue igual a 2.298, los que se distribuyeron desde Pichidangui hasta Arica, con densidades que fluctuaron entre 19 y 104 huevos/10m² (**Figura 73 a,b**).

2.8 Machuelo

Los huevos y larvas de machuelo se presentaron en 1 y 2 estaciones positivas, con abundancias relativas iguales a 115 huevos y 385 larvas, respectivamente (**Tabla 3**).

2.9 Mictófididos

El procesamiento y análisis de las 209 muestras de zooplancton recolectadas durante el transcurso del crucero, permitió verificar la presencia 145 registros positivos a larvas de este grupo, con una abundancia de 41.200, lo que representó una frecuencia de 69,4% y una dominancia numérica de 28,9% para esta fase de desarrollo (**Tabla 3**). La media de larvas por estaciones positivas fue igual a 284 (DS=311,01).

La distribución espacial de larvas de mictófididos comprometió toda la extensión latitudinal y longitudinal de la zona de estudio. Los focos de desove de mayor relevancia cuantitativa (> 1000 larvas/10m²), se localizaron a 10, 40 y 70 mn al oeste de caleta Maitencillo de Coquimbo (31°15'S), a 55 mn al frente de caleta Cruz Grande y a 100 mn de bahía Salada (27°40'S), los cuales se encuentran configurados por 5 registros positivos de un total de 144 consignados, aportando



el 16,6% al total de larvas de este grupo. El resto de los registros positivos, exhibió densidades que fluctuaron entre 23 y 977 larvas/10m². La mayor abundancia de larvas de mictófidios se registró en la estación localizada a 100 mn al oeste de bahía Salada (27°40'S) con 1.694 larvas/10m² (**Figura 74 a,b**).

2.10 Distribución horizontal de huevos y larvas de peces CUFES

Del análisis practicado a las 180 muestras provenientes del sistema CUFES se cuantificó un total de 1.090 huevos de anchoveta, provenientes de 61 estaciones positivas, cuya densidad fluctuó entre 1 y 208 huevos, respectivamente. Los huevos de esta especie fueron detectados a lo largo de toda la extensión latitudinal, con una extensión longitudinal que alcanzó hasta las 40 mn frente a punta Madrid (19°S) y punta Hornos (23°S), sin embargo, la mayor frecuencia de estaciones positivas y el mayor número de huevos se registró desde punta Lobos hacia el norte, sector donde se hicieron más frecuentes hacia mar afuera, abarcando casi toda la transecta de punta Madrid, con ausencia solo en las primeras millas de la costa. El mayor número de huevos de anchoveta se detectó en la primera milla náutica de Antofagasta.

También se verificó la presencia de larvas de la especie, lográndose contabilizar un total de 70, con presencia en 25 estaciones positivas, las que se distribuyeron entre 1 y 10 larvas, en 4 sectores definidos: entre Arica y punta Madrid; punta Gruesa, Tocopilla y entre Mejillones y Antofagasta, correspondiendo el segundo y cuarto sector a los de mayor recurrencia espacial de larvas, las que a excepción de punta Gruesa, exhibieron un patrón más bien costero (**Figura 75**).



2.11 Exploración de las relaciones entre la distribución de huevos y larvas de anchoveta en relación con la temperatura

La distribución geográfica de huevos y la temperatura superficial (**TSM**) se presenta en la **Figura 76**, para las temporadas de primavera comprendidas en el período 1997-2009. De la misma manera, en la **Figura 77** se observan las reparticiones espaciales de las larvas de igual período.

En 1997, la zona estuvo bajo la influencia del evento “El Niño” (**ENOS**) lo que se reflejó en las altas **TSM** que se registraron ese año, las que oscilaron entre 20,2-24,1°C. La repartición espacial de los huevos registró regulares concentraciones con un total de 143.900 (h/10m²), con dos focos principales localizados frente de Arica y a la cuadra de Antofagasta en las primeras 10 mn de la costa, relacionados con aguas entre 21° y 23°C (**Figura 78**) y en sectores de gradientes térmicos menores. En cuanto a las larvas, éstas se presentaron en aguas cuyas temperaturas fluctuaron entre 20° y- 23°C (**Figura 79**) con un foco principal en las primeras 5 millas frente a Pisagua (6.000 l/10m²), en aguas de 22°C y diferenciales térmicos moderados.

Entre 1998-2002, las **TSM** registran valores más bajos y se ubicaron en el rango 15,4° y 22,5°C con una franja de aguas frías que recorre toda la costa en las primeras 10 millas lo que se corresponde con la climatología local. Por su parte la distribución espacial de los huevos indicó que la cobertura territorial aumentó significativamente (especialmente en 1998), sin embargo los mayores focos continúan detectándose en las primeras millas de la costa, entre Arica y Pisagua aunque se agregaron nuevas áreas con altas concentraciones especialmente punta Lobos (21°S) que se convierte en un foco relevante (**Figura 76**). Por su parte, en este período las larvas también experimentaron un incremento en su cobertura geográfica las que incluso alcanzaron las 100 mn de la costa frente al



puerto de Arica y Pisagua, lo que está relacionado con mayores abundancias señalándose la aparición de punta Lobos y las proximidades de Antofagasta (en las primeras 10 millas de la costa) como focos importantes. Cabe destacar que las mayores concentraciones de larvas se registraron en el borde interno de aguas de 18°C y en gradientes horizontales moderados (**Figura 77**).

En el año 2003, la zona de estudio estuvo bajo el dominio de altas **TSM**, las que sobrepasaron los 23°C a unas 70 mn a la cuadra de Pisagua, en este año se presentaron grandes diferenciales térmicos en las primeras 15 mn de la costa debido a la intrusión de aguas de altas temperaturas y a la banda costera de aguas frías que recorre la zona de estudio. Respecto a los huevos, éstos registraron un descenso en sus concentraciones y se localizaron exclusivamente en las primeras 10 mn, en el borde interno de aguas de 17°y 18°C (**Figura 78**) y en sectores de diferenciales laterales importantes que se corresponde con la franja de aguas frías que recorre la costa. En este año, las concentraciones de larvas también disminuyeron fuertemente respecto de los años anteriores alcanzando un total de 10.800 (l/10m²), lo que se reflejó en una disminución en su cobertura espacial centrándose mayoritariamente en las primeras 20 mn de la costa en el canto interno de las aguas de 18°C (**Figura 77**).

Entre los años 2005-2006, las **TSM** descienden y se ubicaron en el rango 15,1°-22,6°C con núcleos de aguas surgentes en los alrededores de punta Lobos y Mejillones que originaron fuertes gradientes horizontales en las 15 primeras millas de la costa. En estos años los huevos aumentaron su cobertura territorial y se situaron a lo largo de toda la costa en tres focos relevantes; frente de Arica, proximidades de punta Lobos (que se convierte en el principal sector de desove) y a la cuadra de Antofagasta en una zona muy costera que no sobrepasa las 5 mn de la costa (**Figura 76**), en general los huevos se situaron en la franja de aguas frías menores a 18°C (**Figura 78**). Por su parte las larvas también experimentaron



un crecimiento en extensión espacial y alcanzan las 100 millas en el extremo norte de la zona de estudio, sobresaliendo el año 2005 debido a las grandes concentraciones de larvas registradas y que alcanzaron 64.500 (l/10m²), con dos núcleos relevantes en Arica y Pisagua (**Figura 77**).

En el período 2007-2009, las **TSM** presentaron valores que fluctuaron entre 12,9° y 20,5°C, siendo los valores más bajos de los años analizados, con focos de aguas muy frías en el extremo sur de la zona de estudio, cabe destacar que en estos años se presentó un claro diferencial norte-sur y un predominio de aguas de **TSM** menores a 18°C, además la distribución horizontal mostró gradientes térmicos relevantes en las primeras millas de la costa. Respecto a la cobertura territorial de los huevos, ésta aumentó significativamente (especialmente el 2008) siendo las mayores de la serie analizada, a su vez se detectaron núcleos de grandes densidades preferentemente en el sector costero desde Arica hasta punta Lobos y en algunos sectores oceánicos que incluso superan las 40 mn de la costa, de manera general los huevos se ubicaron en aguas de 16°-18°C (**Figura 78**). En cuanto a las larvas, éstas también incrementaron fuertemente su repartición geográfica (especialmente el 2007) siendo las mayores coberturas de la serie analizada, a su vez también se detectaron los mayores núcleos de concentraciones de la serie analizada y que abarcaron desde la costa hasta las 100 millas náuticas, en este período las larvas mayoritariamente se presentaron en aguas de 16°-19°C y en sectores de gradientes térmicos moderados (**Figuras 77 y 79**).

2.12 Análisis de los Centros de Gravedad (CG)

El estudio de los **CG** exhibió que éstos no mostraron un comportamiento territorial muy definido. Sin embargo se lograron visualizar ciertas tendencias en algunos años. En el caso de los huevos, entre los años 1997 y 2000 los **CG** se presentaron muy desplazados hacia el extremo norte a consecuencia de las grandes abundancias



detectadas entre Arica y Pisagua, así en 1998 y 2000 los **CG** se localizaron al norte de Pisagua debido a que los focos de mayor abundancia se ubicaron en zonas costeras entre Arica y Pisagua aunque (**Figuras 76 y 80a**). Durante los años 2001-2005, los **CG** registraron una migración en sentido sur debido a la aparición de focos de grandes concentraciones que se situaron en las proximidades de punta Lobos (que se convierte en el principal sector de desove) y a la cuadra de Antofagasta en una zonas ribereñas que no sobrepasan las 5-10 mn de la costa, cabe destacar que las mayores agregaciones se ubicaron en la franja costera de aguas frías menores a 18°C. Posteriormente, desde el 2006 hasta el 2009 los **CG** exhibieron las ubicaciones más oceánicas del período debido a las altas concentraciones que se registraron por sobre las 20 mn de la costa, asimismo se consolida punta Lobos como zona de desove principal. Por otra parte, emergió el sector Mejillones - Antofagasta con altas concentraciones que se reflejó en los **CG** de los años 2006 y 2008 que se situaron en el SW de Tocopilla.

En el período 1997-1999 los **CG** de las larvas se emplazaron en la parte norte de la zona de estudio (al norte de Iquique) y en lugares ribereños por los altos valores registrados frente de Arica que es el núcleo principal en esos años. Luego, entre el 2000 y el 2003, los **CG** exhibieron un fuerte corrimiento hacia el sur, posicionándose en los alrededores de punta Lobos, lo anterior se debió a que la repartición geográfica de las larvas estuvo centrada mayoritariamente al sur de Iquique no detectándose núcleos relevantes al norte de esta latitud; además se produce la aparición de punta Lobos y las proximidades de Antofagasta como focos principales. En los años posteriores, los **CG** de las larvas vuelven a presentar un fuerte desplazamiento, aunque esta vez hacia sectores oceánicos (a excepción del año 2006) debido a las grandes abundancias detectadas sobre las 40 mn en el extremo norte del área de estudio, específicamente se observaron grandes concentraciones al NW de Iquique a una distancia de 40-50 mn de la costa (**Figuras 77 y 80b**).



2.13 Modelamiento estadístico de la densidad de huevos y larvas de anchoveta asociado a variables ambientales físicas

En el caso de la variable densidad de huevos o larvas, para la modelación se supuso una distribución de probabilidad log-normal, la cual fue contrastada mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov (Zar, 1974). Para ambas densidades, la hipótesis distribucional de la respuesta no fue rechazada ($p > 0,1$, (**Tabla 6**), 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 con cuasi-verosimilitud tanto para huevos como para larvas.

2.13.1 Análisis exploratorio de datos

El período analizado corresponde a cruceros realizados en algunos de los meses entre octubre y diciembre para el período que comprende los años 1997 al 2008, exceptuando el año 2004, desde donde se han monitoreado un total de 651 estaciones, en la 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 36 % de éstas registró la presencia de huevos y el 60 % de larvas, en el primer caso similar a lo observado históricamente para el período de invierno de un 40%; en tanto que las estaciones con presencia de larvas el porcentaje fue menor a lo observado para el período de invierno histórico (Braun *et al.*, 2007). La densidad media por estación positiva fue del orden de los 4500 huevos y 750 larvas/10 m² (**Tabla 7**), esta última muy por



debajo del promedio histórico registrado para el período de invierno de 2000 larvas/10 m² (Braun *et al.*, op cit).

En la **Tabla 7** 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 1998, 2002, 2005 y 2007 al 2009 presentaron la mayor proporción de estaciones positivas con valores entre un 40% y un 50%; mientras que el menor número de estaciones con presencia de huevos correspondió a los años 1997, 2001 y 2003, con porcentajes entre un 17% y 24% (**Figura 81a**). Respecto a la densidad de huevos, los mayores índices se han registrado los años 1997, 2000, 2006 y 2008 con una densidad media entre los 19 mil y 33 mil huevos/10 m², estos períodos presentan una proporción de estaciones positivas por debajo de la media histórica, a excepción del año 2008. Para el último año, se observó una densidad entorno a los 7 mil huevos/10 m², por debajo del promedio histórico (**Figura 81a**).

Para las estaciones positivas a larvas los últimos cinco años presentan proporciones por encima del promedio histórico, con presencia superior al 60% y cercana la 90% para el año 2007, los años anteriores a excepción de 1999, presentan estaciones con menor presencia de larvas (**Figura 81b**). La densidad media para todo el período analizado, fluctuó entre las 500 y 3500 larvas/10 m², registrándose los mayores índices los años 1999, 2005 y 2008. Para el último año y de manera similar a lo observado en huevos, la densidad de larvas estuvo entorno a las 1000 larvas/10 m², por debajo del promedio histórico, no obstante representan altos índices de presencia de estaciones positivas (con larvas) (**Figura 81b**).



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 8**. Para el análisis histórico, se cubrió un área muy similar, que abarca latitudinalmente cerca de los 18°25' hasta los 23°40' S. Longitudinalmente el área cubierta estuvo en torno a los 70° 10' y los 72°14' W. La temperatura superficial del mar promedio histórica se concentro entorno a los 19°C, con valores por debajo de este promedio para los últimos tres años, registrándose para el año 1997 una valor por sobre el promedio histórico de 22°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 0,44 y 0,84 psu.

2.13.2 Modelamiento estadístico

Los resultados del ajuste de los modelos aditivos generalizados para cada set de datos se resumen en las **Tablas 9 y 10**. Los modelos de efectos principales de cuatro covariables (latitud, longitud, temperatura y salinidad) y un factor correspondiente al año, fueron significativos, con pseudo-R² de 38 % y 30 % para los modelos de presencia de huevos y larvas y de 22% y 19% para la densidad de huevos y larvas de las estaciones positivas, respectivamente.

2.13.3 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 a través de cuasi-verosimilitud.

Los predictores incorporados en el modelo tanto de huevos como de larvas en su mayoría fueron significativos, confirmado a través de la prueba F (**Tabla 9**). Se



exceptúa la salinidad superficial del mar para el caso de huevos, y la temperatura superficial del mar para larvas. La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines en las **Figuras 82 y 83**.

En el caso de la presencia de huevos, se puede observar que latitudes (Lat) al norte de los 19° , entre los $20^\circ 30'$ y los $22^\circ S$ y al sur de los $23^\circ S$, tienen un efecto positivo sobre la probabilidad de éxito de estaciones con huevos, para las otras latitudes la influencia es negativa. Por su parte, la longitud (Lon) tiene un efecto positivo para valores inferiores a $70^\circ 50' W$ y negativo a longitudes mayores, es decir, el proceso de desove se ha vinculado a la zona costera. En relación con la variable temperatura superficial (TemSup), se observa una ventana ambiental con efecto positivo sobre la probabilidad de éxito de estaciones con huevos para valores entre los $15^\circ C$ y los $19,5^\circ C$, 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, sin mostrar un efecto claro y ratificado por la falta de significancia en el modelo (**Figura 82**).

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 $20^\circ 30' S$, 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 reflejada en amplias bandas de confianza, lo que conlleva a no mostrar relación



con la densidad de larvas para las estaciones positivas. Por su parte el predictor salinidad, muestra un efecto positivo a niveles menores a los 34,8 psu, mientras que para salinidades superiores el efecto es negativo, cabe señalar que salinidades superiores a los 35,2 psu poseen una alta incertidumbre en la estimación del suavizador reflejada en amplias bandas de confianza (**Figura 83**).

Finalmente, a partir de los modelos ajustados se puede observar una señal interanual de la respuesta (**Figura 86**). 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 1998, 2002, 2005 y los últimos tres años; en tanto para larvas, los años 1997 y los últimos cuatro años corresponden a los períodos con mayores probabilidades de éxito de encontrar estaciones con larvas, destacándose el año 2007, como un año con mejores condiciones para la sobrevivencia de huevos a estados larvales.

2.13.4 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 del método de quasi-verisimilitud.

Los predictores incorporados en el modelamiento de la densidad de huevos que fueron significativos corresponden a la ubicación geográfica (latitud y longitud). Por otro lado la salinidad y la temperatura no fueron significativas así como tampoco las diferencias entre las densidades por año (valor $p > 0.1$; **Tabla 10**). Para el análisis de la densidad de larvas a excepción de la longitud y el predictor lineal año, las demás variables no presentaron influencia significativa en el modelo (valor



$p > 0.1$; **Tabla 10**). La influencia de cada predictor en la respuesta es presentada gráficamente a través de los suavizadores splines cúbicos en las **Figuras 84 y 85**.

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°S (zona norte) y entre los 20°30'S y los 21°40' S. 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 70°30' W. En relación a la temperatura, se puede observar que las estaciones con huevos se localizaron principalmente entre los 15°C y 19°C y que temperaturas superiores a los 20°C tienen un efecto negativo sobre la densidad de huevos, mientras que bajo estas temperaturas no se observa efecto, cabe destacar que temperaturas fuera del intervalo de los 16°C y los 20°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 35,4 psu, sin mostrar un efecto claro dado la alta incertidumbre en la estimación reflejada por las amplias bandas de confianza (**Figura 84**).

En cuanto a la variable densidad de larvas, en la **Figura 85** se presentan los suavizadores splines 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, no presentando un efecto sobre la densidad de éstas. 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 relaci3n a la temperatura y la salinidad superficial no se observo efecto de las densidades de larvas dada la alta incertidumbre en la estimaci3n y reflejado por la amplitud de las bandas de confianza (**Figura 85**).

La contribuci3n parcial del factor a3o indica que para la densidad de huevos las diferencias no son significativas (**Tabla 10**), manteni3ndose un patr3n de efecto nulo (entorno al cero; **Figura 86**) en los distintos a3os. Mientras que para la densidad de larvas se observa un patr3n similar en los primeros siete a3os, tendiendo con aumento progresivo hasta el a3o 2008 y una ca3da en el 3ltimo a3o (**Figura 86**).

2.14 Macrozooplancton

2.14.1 Composici3n, abundancia y distribuci3n espacial

Se identificaron 25 grupos taxon3micos (**Tabla 11**), constituyentes tanto del holoplancton como del meroplancton, siendo los cop3podos los m3s abundantes (74,4 %), clasific3ndose como grupo dominante, seguido de apendicularias, larvas de euf3sidos y quetognatos (4,03, 4,0 y 3,4 %, respectivamente), los que caen en la categor3a de accesorios (**Tabla 12**). Los restantes grupos zooplanct3nicos exhibieron porcentajes de dominancia inferiores al 2,7%, siendo las larvas de equinodermos, heter3podos, estomat3podos y clad3ceros, los de menor aporte num3rico y de menor frecuencia en las estaciones, lo que les otorga la clasificaci3n de grupos accidentales, constituy3ndose su presencia en menos de 20 estaciones de un total de 208.



Los diferentes grupos zooplanctónicos estuvieron presentes tanto en las estaciones costeras y oceánicas, aunque se observó un claro predominio en la abundancia promedio hacia la zona más oceánica de los grupos más importantes numéricamente, tales como larvas de eufáusidos, quetognatos y apendicularias, entre otros, mientras que los copépodos y eufáusidos no mostraron ninguna tendencia (**Figura 87**), exhibiendo valores sin mayores fluctuaciones a lo largo de ambas zonas, característica que se produjo en la mayoría de los grupos taxonómicos, donde no se detectaron diferencias significativas de abundancia entre las estaciones costeras y oceánicas (Kruskal Wallis, $p = <0,05$) (**Tabla 13**), no ocurriendo lo mismo con los quetognatos, pterópodos, larvas de Cypris, heterópodos, apendicularias, foraminíferos, larvas de decápodos, anfípodos y sifonóforos.

En otro sentido, el patrón general de distribución latitudinal mostró una mayor abundancia de sur a norte, detectándose que el 65% de los grupos taxonómicos se presentaron distribuidos preferentemente en la zona norte del área de estudio, vale decir, y en general, entre los 18°25'S (Arica) y los 25°40'S (punta Ballenita) y entre esta zona, la mayor frecuencia de grupos, exhibió sus máximas abundancias medias entre los 20°20'S (punta Gruesa) y 22°20'S (punta Copaca) (**Figura 88**). En el extremo sur en tanto, los únicos grupos zooplanctónicos presentes con mayor recurrencia y/o con sus mayores abundancias fueron precisamente aquellos que exhibieron las máximas dominancias numéricas, como lo fueron los copépodos, apendicularias, larvas de eufáusidos y quetognatos, además de los radiolarios, ctenóforos y nauplis (**Figura 88**). Estos taxos se distribuyeron preferentemente entre las latitudes 26°20'S y 32°08'S, siendo las latitudes 29°00'S y 29°40'S las más recurrentes en la distribución de las más altas abundancias medias de copépodos, apendicularias, quetognatos y larvas de eufáusidos (**Figura 89**).



De manera particular, los copépodos presentaron una distribución espacial con agregaciones de altas concentraciones prácticamente en toda la zona de estudio, haciéndose más evidente y más recurrente sus mayores agrupaciones hacia el extremo sur, principalmente desde bahía Salada (27°40'S), encontrándose sus máximas agregaciones (sobre 544.362 ind/1.000 m³) frente a las transectas de caleta Inglesa (29°00's) y caleta Cruz Grande (29°40'S), donde particularmente a 30 y 70 mn de cada una de ellas respectivamente, se detectaron dos de las máximas densidades para este grupo; contrariamente la zona de menor acumulación de individuos se registró entre Antofagasta y Chañaral (26°20'S) (**Figura 90**).

A parte de los copépodos, cinco grupos colonizaron más del 93% de las estaciones, quetognatos, poliquetos, ostrácodos, apendicularias y larvas de eufáusidos, apreciándose espacialmente de manera categórica, las mayores abundancias hacia el extremo sur de los grupos numéricamente más importantes. Se denota un cambio evidente en la distribución de las mayores agregaciones hacia la zona norte de larvas de decápodos, salpas, pterópodos, eufáusidos, doliólidos, anfípodos, isópodos y heterópodos, siendo estos cuatro últimos, los únicos restringidos parcial o totalmente hacia esta zona, mientras que los nauplis y radiolarios casi por completo a la zona sur (**Figura 90**). Pareciera existir una zona de transición entre las latitudes 25°40'S y 27°00'S, ya que es la zona donde se producen los límites hacia el norte o hacia el sur en la distribución de las mayores abundancias y en la distribución de las mayores frecuencias de ocurrencia de la mayoría de los grupos taxonómicos.

2.14.2 Composición, abundancia y distribución vertical

La diversidad de los diferentes grupos zooplanctónicos fue variable dependiendo del estrato de profundidad, encontrándose el mayor número de ellos en los dos



niveles más superficiales, 21 entre 0-10 m y 22 entre los 10- 25 m, mientras que solo 15 grupos taxonómicos en el intervalo 25-50 m.

Entre los dos primeros niveles de profundidad, los grupos que se presentaron en los primeros lugares de dominancia numérica fueron los mismos, siendo los copépodos, larvas de decápodos, larvas de eufáusidos, doliólidos y quetognatos, los más abundantes y frecuentes, siguiéndoles también otros grupos como apendicularias, poliquetos, sifonóforos y salpas.

En general, de los taxas que se presentaron en los tres estratos de profundidad, la mayoría de ellos demostró mayor recurrencia espacial en el estrato 0-10 m, clasificándose como grupos dominantes a los copépodos, larvas de decápodos, quetognatos, larvas de eufáusidos, apendicularias, poliquetos y sifonóforos; en tanto entre los 25 - 50 m hubo 4 grupos que exhibieron abundancias superiores a las evidenciadas por ellos mismos, pero en los otros dos niveles de profundidad, los poliquetos, ostrácodos, eufáusidos y larvas de equinodermos, encasillándose los dos primeros como dominantes y los dos últimos como accesorio y accidental, respectivamente.

Los únicos taxas que estuvieron presentes entre los 0-10 y 10-25 m, pero que se ausentaron completamente en el nivel más profundo fueron las larvas de decápodos, medusas, quetognatos, apendicularias y larvas de cifonautas.

En términos de la abundancia numérica, sólo los copépodos se clasificaron como grupos dominantes en cada uno de los intervalos de profundidad al exhibir porcentajes de dominancia iguales a 93,4 %; 89,8 % y 80,4 %, disminuyendo su abundancia promedio desde el estrato más superficial al más profundo, respectivamente (**Figura 91**). Geográficamente las mayores abundancias de este grupo en los tres estratos, se detectaron en dos sectores principales, entre punta



Copaca (22°20'S) y punta Arenas (21°40'S) y entre punta Madrid (19°00'S) y punta Junín (19°40'S), con las máximas dentro de las 10 primeras millas de este último sector (**Figura 92**).

Junto a los copépodos, las larvas de eufáusidos presentaron abundancias altas en los dos niveles superficiales, aunque la mayor abundancia promedio se registró en el nivel intermedio (4.424 larvas/10 m²) y la menor en el más profundo (684 larvas/10 m²). Especialmente, el registro mas alto (63.491 larvas/10 m²) se detectó entre los 10-25 m, a 10 mn de bahía Moreno (23°40'S). La mayor recurrencia de estaciones positivas se observó más bien en las zonas latitudinales más altas (**Figura 91 y 92**).

Los quetognatos reflejan su máxima abundancia media (3.556 quetognatos/1.000 m³) entre los 0 – 10 m, aunque los valores exhibidos entre los 10-25 m son igualmente altos en comparación con otros grupos. Especialmente hubo dos sectores con altas concentraciones de estos individuos, situados frente a bahía Moreno y entre punta Copaca (22°20'S) y punta Arenas (21°40'S), consignándose de manera particular en el estrato 0-10 m en las estaciones de 1 y 5 mn de estas dos últimas localidades, las mayores agregaciones de quetognatos (29.717 y 35.015 ind/1.000 m³) (**Figuras 91 y 92**).

Las apendicularias a pesar de distribirse espacialmente de manera más escasa en las estaciones, manifestaron una alta agregación a nivel más superficial, la que se tradujo en una abundancia media de 3.535 apendicularias/1.000 m³, disminuyendo en más de un 240% hacia el estrato intermedio. Los dos registros más importantes fueron detectados entre los 0-10 m, a 1 y 5 mn de punta Copaca y punta Arenas, con 55.938 y 56.748 ind/1.000 m³, respectivamente (**Figuras 91 y 92**).



Los doliólidos a diferencia de los grupos antes citados, mostraron una presencia espacial limitada mayoritariamente entre bahía Moreno (23°40'S) y punta Arenas (21°40'S), encontrándose sus máximas concentraciones en el estrato 0-10 m, nivel donde la fluctuación de estos estuvo entre 200 - 67.591 ind/1.000 m³. En términos de su abundancia promedio, estos disminuyeron paulatinamente en número con el incremento de la profundidad, desde 5.111 a 309 ind/1.000 m³ en 0-10 a 25-50 m, respectivamente (**Figuras 91 y 92**).

Los eufáusidos en contraste a lo observado en los demás grupos, revelaron su mayor abundancia en el estrato más profundo (25-50 m), donde reunieron una abundancia media igual a 14.564 ind/1.000 m³, con mínimos de 390 y 341 en los dos niveles mas superficiales. Espacialmente mostraron una escasa presencia, la que se manifestó de manera más recurrente en todos los estratos en un solo sector, entre 1 y 20 mn de la transecta de punta Copaca (22°20'S) (**Figuras 91 y 92**).

2.14.3 Biomasa zooplanctónica

La biomasa zooplanctónica en primavera de 2009 fluctuó entre 3 y 1.696 ml de zooplancton/1.000 m³, registrándose ambos valores a 5 y 1 mn frente a Arica (18°25'S) y punta Farellones (30°20'S), respectivamente, con un promedio general para la zona igual a 448 ml/1.000 m³. La composición específica de las muestras recolectadas estuvo compuesta principalmente por copépodos, (75,8%), quetognatos (36,5%), doliólidos (19,9%) y eufáusidos (17,1%).

La zona estuvo dominada por biomazas comprendidas dentro de la categoría de densidades 301 - 900 ml/1.000 m³, observándose en el 47% de la zona prospectada, mayoritariamente entre punta Arenas (21°40'S) y caleta Maitencillo de Coquimbo (31°15'S), zona donde esta categoría se extendió a lo largo y ancho, siendo interrumpida con mayor frecuencia hacia el extremo norte y sur. En el



sector norte, entre Arica y caleta Chipana, prevalece con mayor recurrencia la categoría 101 - 300, haciéndose menos frecuente hacia el extremo sur, donde se registran focos de máximas biomásas, destacando las estaciones localizadas entre la primera milla de punta Farellones y las estaciones de la transecta de caleta Cruz Grande, prolongándose hasta las 80 mn con biomásas altas, destacando el máximo a 10 mn de esta transecta (1.696 ml de zooplancton/1.000 m³), mientras que las biomásas más bajas (1-33 ml/1.000 m³), con presencia en el 2% de las estaciones, se detectaron entre Arica y Pisagua.

La biomasa zooplanctónica estimada durante la primavera de 2009 fue muy similar respecto al valor promedio observado durante el período primaveral 2008, exhibiendo un porcentaje de cambio negativo igual a 4 % (**Figura 93**).

La información histórica de la biomasa zooplanctónica registrada durante los períodos primaverales entre Arica y Antofagasta, revela en términos generales, una dominancia de las categorías de densidad comprendidas entre 33 - 100 y 301 - 900 ml de zooplancton/1.000 m³, dominando esta última en la mayor parte de la zona de estudio durante los años 1996, 1997, 1999, 1998, 2002 y 2009. En forma particular y en la mayoría de los casos, las biomásas más altas han sido detectadas bordeando la costa, con excepción de aquellas observadas frente a Arica, donde han alcanzado hasta las 100 mn, esto dado por el régimen de surgencia costera que favorece una mayor proliferación de zooplancton en las aguas del norte de Chile, con una estructura de dominio principal de copépodos y de quetognatos en períodos normales, pero en períodos donde se observan aumentos en la temperatura, estos grupos son reemplazados por organismos gelatinosos, como las salpas, lo que en muchos casos provoca un aumento inusual en los valores de biomasa, como lo observado durante los años 1991, 1996, 1997, 1999, 2001 y 2008 (**Figura 94; Tabla 14**).



2.14.4 Estructura comunitaria

Los índices comunitarios se aplicaron en base a la información cualitativa y cuantitativa de los diferentes grupos zooplanctónicos.

Los valores del índice de riqueza específica de Margalef fluctuaron entre 0,233 – 1,280, registrándose en general los valores más altos entre Caldera y punta Patache (**Figura 95A**), sector donde además se observó una distribución más homogénea en sentido longitudinal. En este contexto, la estación que presentó el mayor número de grupos zooplanctónicos se localizó a 20 mn de punta Hornos (23°00'S).

La distribución espacial de los valores del índice de Shannon & Weaver (que fluctuó entre 0,130-1,931 nit/ind) fue similar a la descrita para el índice de riqueza específica de Margalef, dado que los valores más altos fueron mas frecuentes y homogéneos en sentido longitudinal, principalmente desde Caldera hacia el norte del área de estudio, con una clara tendencia a presentar sus máximos valores sobre las 50 mn (**Figura 95B**). La estación que presentó la mayor diversidad taxonómica se ubicó a 70 mn de punta Gruesa (20°20'S).

Por otro lado, mediante el índice de diversidad (N1) de la serie de números de Hill (cuyos valores fluctuaron entre 1,139 y 6,856), se observó una distribución mas acotada en sentido latitudinal de los mayores valores, principalmente entre Chañaral y Taltal, como efecto de su menor sensibilidad a la presencia de especies “raras”.



Los valores mas altos del índice de uniformidad de Pielou (cuyos registros fluctuaron entre 0,094 y 0,762) se reconocieron principalmente entre bahía Salada y Antofagasta, principalmente dentro de las primeras 50 mn de la costa (**Figura 95C**). Adicionalmente, también se observaron algunos focos de alta homogeneidad sobre las 50 mn, desde Antofagasta hacia el norte del área de estudio, donde un número comparativamente más alto de grupos zooplanctónicos se encontraron en proporciones similares. El índice de homogeneidad de Sheldon (menos sensible a los grupos menos comunes) exhibió sus valores más altos también dentro de las primeras 50 mn, entre Chañaral y Antofagasta. Cabe destacar de que a pesar de encontrarse en este sector altos valores de diversidad, su ocurrencia mas bien es debida al efecto de una distribución más equitativa en el número de individuos que aporta cada taxa y no a la presencia de un mayor número de especies/grupos, predominando por sobre este índice una alta homogeneidad y relativamente baja riqueza.

El análisis de similitud de Winer, que permite determinar el grado de similitud o co-ocurrencia entre pares de especies o grupos, mostró el mayor porcentaje de coexistencia entre copépodos y larvas de eufáusidos, existiendo entre ellos una asociación de un 75% (**Figura 96**). En general, fueron pocos los pares de taxas que se formaron y, los que se asociaron lo hicieron en porcentajes mucho menores, siendo el más bajo aquel compuesto entre eufáusidos y anfípodos, con un 50% de coexistencia, el resto se asoció con valores inferiores, involucrando más de dos grupos taxonómicos.

2.15 Comparación de estructuras zooplanctónicas por zonas y período del día

Se realizó una clasificación considerando el período del día en que se efectuaron las estaciones bio-oceanográficas (día y noche) y la latitud estratificada en



estaciones al norte y sur de Antofagasta (norte, sur). En la **Tabla 15** se presentan el número de estaciones monitoreadas, de especies y de ejemplares por especie zooplactónica.

En el crucero analizado se realizaron 208 estaciones, con un 46 % de estaciones monitoreadas de día y un 54 % de estaciones realizadas de noche para el área total, mientras que los tamaños de muestra para la categorización latitudinal (norte y sur de Antofagasta) las estaciones monitoreadas fueron 86 en la zona norte y 122 para la zona sur, correspondientes a un 41 % y un 59 % respectivamente. El número de estaciones monitoreadas para cada combinación de estrato espacial por período del día fluctuó entre las 36 y las 62 estaciones (**Figura 97A**).

Respecto del número total de taxas, consistentemente se observó un menor número de ejemplares durante el día para ambas zonas, con porcentajes que fluctúan entorno al 45 % de individuos durante el día y al 55 % para la noche. La zonificación latitudinal presenta un mayor número de individuos en la zona sur, con un 62 % (**Tabla 15**). El número de ejemplares para cada combinación de estrato espacial por período del día fluctuó entre los 22 millones y los 45 millones, con un promedio entorno a los 32 millones de ejemplares (**Figura 97B**).

Se presenta consistentemente un aumento en el número de ejemplares a medida que transcurre el día y avanzamos hacia la zona sur de Antofagasta. No se observa ningún patrón entre el número de individuos y la cantidad de estaciones monitoreadas (**Figura 98**).

En la **Tabla 16** se detalla para cada estrato de análisis (espacial y temporal) el porcentaje asociado a cada especie, los copépodos consistentemente representan el porcentaje más alto de ejemplares por zona con valores que fluctúan entre un 73 % y un 76 %, seguido por las apendicularias, larvas de eufáusidos,



quetognatos, doliólidos y salpas, los cuales representan para el área total entre un 2 % y un 4 % del total de ejemplares. Cabe destacar que sólo las especies antes mencionadas representan el 91 % del total de ejemplares observados para los 25 taxas encontrados.

2.15.1 Comparación de estructuras para las escalas espacial y temporal

Debido a que el número de especies observadas por zona difiere y existen especies con una baja representatividad, que pudiese influenciar los resultados de la prueba, se optó por considerar solo aquellos taxas que presentarán un porcentaje superior al 1 % en alguno de los niveles para los estratos definidos, con lo cual se seleccionaron 12 grupo/especies que representan el 98 % del total de individuos observados en el área (**Tabla 16**).

Los resultados indican diferencias significativas entre las composiciones zooplactónicas para los distintos niveles de los estratos zona y períodos del día (*p-value* < 0,01 **Tabla 17 y Figura 99**).

Para el período del día en que se realizó el muestreo se observan diferencias en la composición zooplanctónica debido a los doliólidos, eufáusidos, quetognatos, salpas y sifonóforos (**Figura 99**). Estas diferencias también se observan para el factor zona y se acentúan a más especies como los copépodos, larvas de decápodos y larvas de eufáusidos (**Figura 99**).



C. Objetivo específico N° 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.

3. Distribución espacial de los recursos

3.1 Distribución espacial de los recursos

Los resultados de la calibración de los equipos acústicos, respecto a los valores históricos se entrega en la **Tabla 18**, de ella se deduce que los equipos utilizados se mantienen dentro de márgenes aceptables.

3.1.1 Todas las especies

Las principales especies que se detectaron en la prospección acústica fueron la anchoveta (*Engraulis ringens*), jurel (*Trachurus murphyi*), pez linterna (*Vinciguerria sp*) y jibia (*Dosidicus gigas*). La especie más abundante en toda la zona de estudio fue el pez linterna con un 60,3% de la densidad acústica total; la anchoveta con un 32,1%; el jurel con un 6,4%; y la jibia con un 0,3%. Al norte de Antofagasta (24°00'S) se concentró el 91,3% de las densidades acústicas totales. En dicha zona, las mayores densidades acústicas correspondieron al pez linterna con el 61,3%; seguido por la anchoveta con el 35,2% y jurel con 2,5%.



Entre Antofagasta y Pichidangui ($32^{\circ}07'S$), el pez linterna fue nuevamente la especie más abundante con un 49,3% de las densidades acústicas totales, seguido por el jurel con un 47,1% y la jibia con un 2,8% del total en esta zona.

3.1.2 Anchoqueta

La anchoqueta se registró principalmente entre Arica y Antofagasta donde presentó una cobertura espacial asociada a las primeras 20 mn de costa. Solamente frente a Arica se observaron algunos registros de anchoqueta mas oceánicos, que llegaron hasta las 60 mn de costa (**Figura 100**).

El foco que concentró las mayores densidades de esta especie se ubicó en las primeras 10 mn entre punta Arenas ($21^{\circ}39'S$) y Mejillones ($23^{\circ}06'S$). Otros focos que se destacan por su abundancia se localizaron en las primeras 5 mn frente a Arica e Iquique. Al sur de Antofagasta no se registró presencia de anchoqueta.

3.1.3 Jurel

El jurel se registró en bajas densidades a lo largo de toda la zona de estudio hasta las 100 mn de la costa. Destacan algunos pequeños focos en las primeras 5 millas de costa frente a punta Arenas ($21^{\circ}39'S$); en la zona costera al sur de la bahía de Copiapó ($27^{\circ}30'S$) y a 5 mn de caleta Totoral ($30^{\circ}21'S$) (**Figura 101**).

3.1.4 Pez Linterna

Se registró principalmente entre Arica ($18^{\circ}29'S$) y punta San Pedro ($25^{\circ}30'S$). Los valores más altos de energía acústica del pez linterna fueron registrados a 150 mn frente a Arica. Se observaron dos focos secundarios a 90 mn frente entre Iquique ($20^{\circ}13'S$) y Tocopilla ($22^{\circ}05'S$), distribución que sugiere una proyección de esta



especie hacia el oeste del límite occidental de la prospección. Además se detectaron otros pequeños focos a 50 mn frente a punta Argolla ($18^{\circ}51'S$) y en las primeras millas frente a Pisagua ($19^{\circ}36'S$) (**Figura 102**).

3.2 Distribución vertical de los recursos respecto a las variables hidrográficas

3.2.1 Anchoqueta

En el sentido batimétrico, la anchoqueta se distribuyó entre los 7,5 y 41,5 m con un valor promedio de 12,3 m. Entre Arica y punta Lobos ($18^{\circ}24'-21^{\circ}S$) el recurso alcanzó mayores profundidades con un máximo de 41,5 m, además de una alta variabilidad en el rango de distribución de la variable, mientras que al sur de Tocopilla ($22-23^{\circ}S$) se ubica en un estrato mas superficial con un promedio de 10,1 m (**Figura 103, Tabla 19**).

En general las isotermas que limitaron la distribución vertical de anchoqueta fluctuaron entre los $13,1^{\circ}$ y los $19,2^{\circ}C$, con un promedio general de $15,8^{\circ}C$. Sin embargo, en el sentido latitudinal, la distribución vertical de la anchoqueta respecto a la temperatura no fue homogénea, mostrando al igual que el 2008 tres sectores térmicos. El primero se ubicó entre Arica e Iquique ($18^{\circ}24'- 20^{\circ}S$) caracterizado por presentar la mayor variabilidad ($14,3$ a $19,2^{\circ}C$) y los máximos valores medios para la zona ($16,4^{\circ}C$), con medianas que variaron entre 16° y $17^{\circ}C$; el segundo sector, significativamente diferente al anterior, se situó entre punta Lobos y Tocopilla ($21^{\circ} - 22^{\circ}S$) con una baja variabilidad en las temperaturas ($13,1^{\circ}$ a $13,9^{\circ}C$) y mínimos valores medios ($13,5^{\circ}C$) y el tercer sector ubicado al sur de Tocopilla, también significativamente diferente a la anterior, pero similar al del norte, con extremos entre 13° y $17^{\circ}C$ y promedio cercano a los $15,5^{\circ}C$ (**Figura 103**).



La salinidad que limitó la distribución vertical de esta especie fluctuó entre 34,67-35,11 psu con un promedio de 34,83 psu,. Al igual que la temperatura, las salinidades en que se localizaron las anchovetas no fueron homogéneas en toda la zona de distribución, dividiéndose el área de estudio en dos sectores, el primero se ubicó al norte de los 20°S, donde se observan amplios rangos de distribución y en consecuencia una alta variabilidad (34,77 a 35,11 psu) y valores medios relativamente altos para la variable (34,86 psu) y el segundo localizado al sur de los 20°S con una reducción de la variabilidad y de los promedios (34,78 psu) (**Figura 103**).

Es interesante destacar que en octubre de 2008, también se registraron diferencias latitudinales en las salinidades que limitaron a la anchoveta, al norte de los 21°S (34,75 psu) y entre 21° y 26°S (34,65 psu).

En general, el oxígeno tuvo una amplia distribución, variando entre poco más del 0 hasta 6 ml/l (**Figura 103**). Sin embargo, las anchovetas registradas al norte de los 20°S presentaron la mayor variabilidad con medias cercanas a los 4 ml/l, coincidente con la alta variabilidad y mayores promedios en salinidad y temperatura, mientras que los menores valores de oxígeno se situaron entre los 21 y 22°S, con valores medios entre 1 y 1,5 ml/l y finalmente hacia el sur de Tocopilla, se vuelve a detectar un aumento en el oxígeno disuelto, con valores medios cercanos a 4 ml/l. La zona de menor oxígeno y temperatura y alta salinidad ubicada entre los 21 y 22°S corresponde a las densidades acústicas relativamente más altas, sugiriendo una alta asociación con el sector de mayor surgencia.

Las gradientes térmicas verticales asociadas a la anchoveta variaron entre 0 y 0,81°C/m con promedios de 0,16°C*m⁻¹, valores que fueron mayores a los



registrados en el mismo período de 2008 y que fluctuaron entre 0,1 y 0,15 (°C/m). Los gradientes de salinidad fueron cercanos a cero con un promedio de 4,5E-04 $\text{psu}\cdot\text{m}^{-1}$, situación similar a octubre de 2008 (**Figura 103**).

En la **Figura 104** se presenta la distribución vertical de la anchoveta respecto a los límites de la termoclina, para cada transecta. De este modo, es posible apreciar que los valores de gradiente térmico relativamente altos, registrados en la presente oportunidad, se explican por la ubicación costera de la anchoveta asociado al borde más somero de la termoclina.

3.2.2 Jurel

Las profundidades en que se localizó el jurel variaron entre los 7,5 y 129 m, con un promedio general de 25,4 m. Entre Arica y Caldera se observa una distribución batimétrica mas somera, con medianas menores a 20 m, en tanto al sur de Caldera se aprecia una leve profundización, llegando hasta medianas de 39 m, y ampliándose su variabilidad, alcanzándose los máximos de la profundidad (**Figura 103**).

La temperatura asociada a esta distribución vertical varió entre los 10,8 y 18,7°C, con un promedio de 14,5°C, destacándose un descenso sostenido en los valores de la temperatura con el aumento de la latitud y que al norte de los 23°S el jurel estuvo localizado en temperaturas promedio de 16,6°C, mientras que al sur, el promedio fue de 12,9°C (**Figura 103, Tabla 19**).

Por su parte, la salinidad presenta una fluctuación entre los 34,08 y 35,14 psu, con un promedio de 34,57 psu, Para la salinidad se describe una situación similar a la observada en temperatura, donde los valores medios tienden a disminuir con el aumento de la latitud, donde al norte de los 23°S, el promedio fue 34,83 psu y al sur 34,96 psu (**Tabla 19**) destacándose además el sector entre caleta Inglesa y



Pichidangui (29°- 32°S), donde la distribución del recurso presenta una alta variabilidad con la salinidad, la amplitud del rango alcanza valores entre 34,08 y 34,70 psu (**Figura 103**).

El gradiente de temperatura vertical promedio fue de $0,06^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$, mientras que el gradiente de la salinidad promedio fue $0,029\text{ psu}\cdot\text{m}^{-1}$. (**Tabla 19**)

En la **Figura 105** se presenta la distribución vertical de jurel respecto a los límites de la termoclina para cada transecta. De este modo, es posible distinguir que el jurel al norte de los 24°S se ubicó en la capa de mezcla y en la termoclina, mientras que al sur de los 24°S el jurel tendió a ubicarse por debajo de la termoclina.

3.2.3 Pez Linterna

El pez linterna tuvo una amplia distribución vertical variando desde los 8,5 m hasta los 307 m, con un promedio de 128 m. Entre los 19° y 21°S esta especie, se localizó en un promedio de 63 m de profundidad, mientras que en los 18° y al sur de los 22°S, su distribución fue más profunda, con un promedio de 156,6 m, no obstante se detecta un número escaso de registros que alcanzan profundidades mayores a los 150 m (**Figura 103, Tabla 19**).

La temperatura de distribución de pez linterna vario entre 9,3 y 18,8°C con un promedio de 15,1°C. Entre Arica y punta Lobos (18°24'-21°S) los promedios de temperatura tienden a aumentar sostenidamente con la latitud variando entre 15,7 y 16,5°C. En cambio al sur de los 22°S, la temperatura promedio y la variabilidad se redujo, fluctuando entre 12,4 y 13,9°C (**Figura 103**). La salinidad asociada a al pez linterna, osciló entre 34,45 y 35,10 psu con un promedio de 34,83 psu. En general, para la zona de distribución de este recurso, se detecta una fluctuación



en los valores promedios de salinidad, siendo más altos al norte de punta Lobos, 21°S, variando entre 34,62 y 35,10 psu, mientras que al sur las salinidades fueron menores con valores entre 34,45 y 34,82 psu (**Figura 103**).

Las agregaciones de pez linterna estuvieron asociados a gradientes de temperatura promedio de $0,017^{\circ}\text{Cm}^{-1}$ y a gradientes salinos promedio de $5,5\text{E-}04$ psu m^{-1} .

3.2.4 Jibia

En el sentido vertical, la distribución de esta especie fluctuó entre los 7,5 y 28,5 m con un promedio de 13,6 metros (**Figura 103, Tabla 19**) se destaca que en las cercanías a caleta Maitencillo (31°S) el recurso alcanza profundidades levemente mayores con un máximo de 28,5 m.

La presencia de jibia estuvo asociada a temperaturas que fluctuaron entre 11,5 y 13,7°C con un promedio de 13° y gradientes térmicos promedio de $0,042^{\circ}\text{Cm}^{-1}$. El área de distribución del recurso presenta una condición opuesta para la temperatura entre los 30° y 31°S. De esta forma, el sector de punta Farellones, (30°S), presenta temperaturas que varían entre 13,30 y 13,7°C, disminuyendo considerablemente hacia el sur de este paralelo donde los valores varían entre los 11,5 y 13,0°C (**Figura 103**). Por su parte, la salinidad vinculada con los registros de jibia varía entre 34,15 y 34,51 psu con un promedio de 34,30 y gradientes promedios salinos de $1,5\text{E-}03$ psu* m^{-1} . En las cercanías de los 30°S muestra salinidades entre 34,15 y 34,22 psu y promedio de 34,18 psu, con un incremento de la salinidad hacia el sur de 31°S, donde varía entre 34,43 y 34,51 psu y un promedio de 34,47 psu (**Figura 103**).



3.3 Asociaciones ambientales de la densidad de anchoveta

La densidad acústica de anchoveta a través de un modelamiento gaussiano fue explicada por un total de 6 variables tanto espaciales como oceanográficas. Las variables obtenidas en el procedimiento estadístico fueron latitud, oxígeno disuelto, distancia a la costa, gradiente térmico, gradiente de oxígeno y salinidad.

La **Tabla 20** muestra las covariables incorporadas al modelo gaussiano aportando significativamente a la variabilidad total, observándose al mismo tiempo una reduccion significativa en la devianza de los residuales, la que tiende a disminuir continuamente en la medida que el número de covariables aumenta reduciendo un total de 805,06 por la incorporación de estas al modelo nulo. El predictor latitud reduce mayormente la magnitud de la devianza de los residuales, en segundo orden lo hace la variable oxígeno disuelto.

El Criterio de Akaike (**AIC**) utilizado complementariamente en la selección de las covariables, muestra una disminuci3n de su índice por la incorporaci3n de factores hasta alcanzar su mínimo con la variable salinidad (**Tabla 20**). De la misma forma que lo descrito para los residuales, la variable latitud reduce sustancialmente el índice **AIC**, así también lo hacen en menor magnitud el oxígeno disuelto (**Tabla 20**).

El nivel de importancia de las covariables en el ajuste esta dado por el grado de explicaci3n de las variables modeladas medido a través del pseudo coeficiente de determinaci3n. La latitud principalmente es la variable que mayormente explica la variabilidad en la densidad de anchoveta con un 8,4%. En segundo orden lo hacen las restantes variables compuestas principalmente por condiciones oceanográficas, las que contribuyen marginalmente a la explicaci3n de la



respuesta evaluada con un aporte máximo del 4,0% (**Tabla 20**). En general, el pseudo coeficiente de determinación obtenido es de 0,21, lo que indica que el modelo explica un 21% aproximadamente de la variabilidad total de anchoveta.

El modelamiento GAM se ajustó a dos tipos de variables que fueron agrupadas como espaciales (latitud y distancia a la costa) y oceanográficas (oxígeno disuelto, salinidad y gradientes de temperatura y oxígeno). EL efecto de los predictores puede ser mejor entendido analizando la contribución de cada término modelado. En la **Figura 106** se presenta gráficamente la influencia relativa de cada covariable sobre la densidad de anchoveta con la función de suavización loess y sus intervalos de confianza al 95% en líneas segmentadas.

El efecto de la variable latitud, muestra una relación no lineal con la densidad de anchoveta, además se observa una distribución restringida hacia el norte del área de estudio entre los 18-24°S, sector donde se presentan dos picos de altas densidades acústicas, el primero al norte de los 19°S y el segundo, de menor intensidad se observa alrededor de los 22°S, hacia mayores latitudes las densidades tienden a disminuir. El efecto relativo de la latitud sobre la variable respuesta tiene un rango loess de $\approx 1,6$ (**Figura 106**).

El oxígeno presenta una distribución para el logaritmo de la densidad de anchoveta entre valores de $>0,0-6,0$ ml/l, no obstante la relación muestra un efecto positivo hasta los 3 ml/l, donde el incremento de la concentración de oxígeno tiende a aumentar las densidades de anchoveta, concentraciones superiores de oxígeno se asocian a una disminución en los S_A de anchoveta. La magnitud del efecto del oxígeno tiene un rango loess de $\approx 1,4$ (**Figura 106**).



Por su parte la distancia a la costa muestra que la presencia de anchoveta se concentra principalmente dentro de las 20 mn. La funci3n muestra una tendencia positiva sobre las densidades de anchoveta con la disminuci3n de la distancia de la costa. A distancias mayores a las 20 mn se observan amplios l3mites de confianza a causa de un bajo n3mero de observaciones sobre este sector. La magnitud del efecto de la variable tiene un rango loess de $\approx 0,5$ aproximadamente (**Figura 106**).

Los gradientes de temperatura muestran que la distribuci3n de anchoveta estuvo focalizada para gradientes $>0^{\circ}\text{C}/\text{m} - 0,6^{\circ}\text{C}/\text{m}$, destac3ndose una ventana ambiental entre los $0,05-0,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$, con un pick de m3xima intensidad alrededor de los $0,2^{\circ}\text{C}/\text{m}$. Los gradientes que superan el l3mite de los $0,3^{\circ}\text{C}/\text{m}$ presentan amplias bandas de confianza, generando incertidumbre en la estimaci3n. El efecto relativo de la variable sobre la densidad de anchoveta tiene un rango loess de $\approx 0,45$ (**Figura 106**).

Los gradientes de ox3geno muestran que la principal distribuci3n de anchoveta estuvo asociada a valores entre 0 y $0,5 \text{ ml}/\text{l}^*\text{m}$ en una relaci3n tipo domo que sugiere una ventana ambiental con un pick de altas densidades alrededor de los $0,1 \text{ ml}/\text{l}^*\text{m}$. Gradientes mayores a $0,5 \text{ ml}/\text{l}^*\text{m}$ presentan una alta incertidumbre en la estimaci3n, reflejada por la amplitud de las bandas de confianza que tienden a divergir consecuencia del escaso n3mero de observaciones. El efecto relativo de los gradientes de ox3geno sobre la respuesta tiene un rango loess de $\approx 0,4$ (**Figura 106**).

Respecto de la salinidad, el logaritmo de la densidad de anchoveta tiende a aumentar con el aumento de la salinidad, situaci3n que se observa en dos fases, la primera para valores entre $34,7-34,95 \text{ psu}$ donde se presenta un crecimiento



moderado de la función, mientras que a mayores salinidades el crecimiento es aparentemente instantáneo, rango que se encuentra asociado a altas densidades de anchoveta. La magnitud relativa del efecto de la variable salinidad tiene un rango loess de $\approx 0,4$ (**Figura 106**).

3.4 Índice de Cobertura y Densidad

En la **Tabla 21** se presentan los resultados por zona de los índices de Cobertura (**IC**) y de Densidad (**ID**) de anchoveta, jurel, pez linterna y jibia. A fin que estos índices fueran comparables a la serie histórica disponible, fueron calculados considerando las transectas separadas por 80 mn. En la zona Arica - Antofagasta la anchoveta presentó la mayor cobertura espacial, con 12,9%, el pez linterna registró un **IC** de 3,8% y el jurel un 1,45%. Entre Antofagasta y Pichidangui, el jurel registró la mayor cobertura con 5,2%, seguido por el pez linterna con un **IC** de 1,1%; en este sector se detectó la presencia de jibia en el 0,9% del área.

El mayor **ID** en la zona Arica - Antofagasta lo presentó el pez linterna con un valor de $691,88 \text{ t mn}^{-2}$, seguido por anchoveta con $333,3 \text{ t mn}^{-2}$ y jurel con $172,6 \text{ t mn}^{-2}$. Entre Antofagasta y Pichidangui el mayor **ID** lo presentó el pez linterna con $193,2 \text{ t mn}^{-2}$ seguido por el jurel con $81,3 \text{ t mn}^{-2}$, en este sector no se detectó la presencia de anchoveta (**Tabla 21**).



D. Objetivo específico N° 2.4

Determinar las variaciones mensuales en la zona costera de las variables señaladas en 2.1 y 2.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, dentro de la zona de estudio.

4. Estaciones costeras de vigilancia de Arica, Iquique y Mejillones

4.1 Temperatura, salinidad, concentración de oxígeno disuelto y clorofila-a en las estaciones costeras de monitoreo.

Arica (18°22'S - 70°30'W)

En temperatura, Arica (**Figura 107a, Tabla 22**) muestra en octubre de 2009 una notoria tendencia hacia una condición cálida, evidenciada por una capa superficial con mayores temperaturas respecto del mismo mes en la serie desde 1998, como también por una profundización anormal de la isoterma de 15°C desde un nivel de 10 en septiembre hasta uno de 28 m durante octubre, Tal condición cálida se consolidó a partir de diciembre, evidenciándose lo indicado por una rápida y abrupta profundización de la isoterma de 15°C hasta más allá del nivel de 50 m en enero y febrero de 2010. El calentamiento de la columna de agua registrado durante el verano de 2010, no tiene precedentes en la serie desde el año 1998, aunque notoriamente con una menor intensidad que aquel registrado en 1997 y parte de 1998. En abril y mayo, la ubicación de la isoterma de 15°C fue más somera que en febrero y marzo pasado, sin embargo, la distribución de **TSM** de mayo continuó indicando una condición cálida anormal, principalmente bajo los 20 m de profundidad. Aunque durante este mes, hay un calentamiento de menor intensidad que el del verano anterior, sigue siendo importante en la serie tanto en los valores de temperatura como en la cobertura temporal del proceso. En junio la



isoterma de 15°C se ubicó prácticamente en el mismo nivel de profundidad, manteniendo por quinto mes consecutivo una profundidad mayor a lo observado habitualmente para el mes y lo que significa que se mantiene la condición cálida pero con menor intensidad en esta localidad.

En salinidad (**Figura 107b, Tabla 22**), desde mediados del año 2009 se observa en la serie una tendencia a una condición más salina en la vertical, principalmente en la capa de los primeros 30 m, condición que llega a un máximo en superficie pues se supera valores de 34,9 psu en varios de los muestreos del período octubre 2009 a mayo 2010. En particular, el mes de enero presentó el máximo salino pues toda la columna de agua estuvo con valores por sobre los 34,9. Si bien esta variable disminuyó de febrero en adelante, hasta el mes de abril y mayo se medían valores más altos en la columna de agua en comparación a igual mes de los años anteriores, excepto en los años 2004, 2005 y 2009 en que son similares y en 1998 en que la salinidad fue extremadamente alta. En el mes de junio, en una comparación con igual mes de años anteriores, la distribución de salinidad se ve similar a las de los últimos años en la capa de los primeros 20 m y levemente menor en la capa inferior.

La distribución de oxígeno disuelto (mL/L) (**OD**) (**Figura 107c, Tabla 22**), desde octubre hasta febrero de 2010, presentó casi en forma constante la típica capa superficial bien oxigenada de concentraciones entre 5 y 7 mL/L, con espesores entre 5 y 10 m. Esta capa se ve interrumpida en el mes de diciembre por un acenso de las isolíneas en toda la columna, registrándose dentro de los primeros 5 m una concentración de 4,2 mL/L. En marzo se registraron las menores concentraciones superficiales del período, < 3 mL/L, aumentando posteriormente a < 5 mL/L en abril, mayo y junio. En la vertical, el límite superior de la capa de mínimo **OD** (LSCMOD, concentración de 1 mL/L) se ubicó, en general, bajo los 25 m, aumentando a > 50 m en los meses de enero y marzo. Se destaca que en los últimos



cuatro meses de la serie se registraron relativamente bajos valores superficiales de **OD** y que el LSCMOD presentara niveles > 30 m, situación sólo registrada en el mismo período entre 1998 y 1999. Además, prácticamente no se midieron valores < 0,25 mL/L, lo que indica que en general, el actual período octubre-junio tuvo concentraciones de **OD** mayores en los niveles más profundos en relación al período 1999-2009.

En la serie de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) (cloa) (**Figura 107d, Tabla 22**) se distinguen dos períodos. El primero va desde 1998 hasta comienzos de 2003, y en él se observa un máximo estacional entre mayo y agosto hasta el 2000 y en diciembre-marzo en 2002 y 2003. El segundo período comprende desde 2004 a 2008, y en él los bloom fitoplanctónicos están en forma periódica sin una diferenciación estacional clara, registrándose máximos históricos de 20 $\mu\text{g/L}$ y 30 $\mu\text{g/L}$ en 2004 y 2005, respectivamente. En particular, el año 2009 tiene una disminución en la cloa en relación al periodo anterior. En general, el rango de concentraciones máximas (>1 $\mu\text{g/L}$), exceptuando los años 2004, 2005 y 1997 ha estado entre 3 y 12 $\mu\text{g/L}$. Entre octubre de 2009 y junio de 2010, se presentaron bajas concentraciones de cloa, con sólo dos núcleos subsuperficiales de alto valor >7 $\mu\text{g/L}$, en la capa de agua entre los 5 y 10 m, a principios de octubre y en enero, más un núcleo > 5 $\mu\text{g/L}$ a finales de mayo. Los dos núcleos de mayor concentración son además los que presentaron los mayores espesores, ya que las concentraciones > 1 $\mu\text{g/L}$ se extendieron desde la superficie hasta los 30 y 20 m, respectivamente. En el resto de los meses, los núcleos tanto superficiales como subsuperficiales presentaron concentraciones máximas >1 $\mu\text{g/L}$, con espesores cercanos a 5 m. En este período las concentraciones más bajas se registraron en el mes de abril con < 0,2 $\mu\text{g/L}$. Según lo anterior, el período octubre 2009 a junio 2010, se asemeja tanto en distribución como en los rangos de concentración a los realizados con anterioridad al año 2004 y al año 2009.



Iquique (20°18'S - 70°15'W)

Iquique (**Figura 108a**), a diferencia de la estación de Arica, señala una condición normal durante octubre y noviembre de 2009. Desde diciembre en adelante comienza una profundización de la isoterma de 15°C que muestra el comienzo del calentamiento estacional pero junto con ello, la profundización abrupta de las isotermas que alcanza un máximo en abril, acusa de una condición cálida anormal. En la serie de tiempo de esta localidad no se observa un evento similar a excepción de lo ocurrido en 1997-98, ocasión en que se registró un máximo calentamiento del sistema. En el mes de mayo, la condición cálida se mantuvo, pues aunque las **TSM** son similares a las del mismo mes en la serie, bajo los 10 m las temperaturas son notoriamente mayores, reflejándose esto en la profundidad de la isoterma de 15°C que estuvo ese mes 26 m más profunda que lo habitual. En junio, la **TSM** tuvo un valor similar al mes anterior, sin embargo la isoterma de 15°C se ubicó 17 m más somera. Lo anterior señala que la temperatura en la vertical ha disminuido principalmente en la capa subsuperficial. Sin embargo, aunque la ubicación de la isoterma de 15°C en la columna de agua es este mes normal, en los niveles más profundos son ligeramente más cálidos pues no registran temperaturas menores a 14°C, como es habitual en la serie para el mes de junio. Los valores de temperatura en superficie y en la capa de los primeros 20 m pueden indicarse como ligeramente más cálidos también pues, en general, son mayores a los observados anteriormente en igual mes, a excepción de junio de 2009 en que son similares.

La salinidad (**Figura 108b**) registra en el segundo semestre de 2009 valores de salinidad similares a lo que se midieron en el mismo periodo en el resto de la serie desde el año 2002, por lo que se podría indicar que éste registró una condición normal o cercana a ella, sin embargo en el mes de febrero de 2010 se produce un



marcado aumento de la salinidad ($>34,9$ psu) y con ello una condición anormal que es similar a la observada en Arica el mes de enero. Los valores de salinidad en la vertical tienden a disminuir en los meses siguientes, sin embargo se mantiene notoriamente una situación de mayor salinidad en la vertical que dura hasta al menos el mes de mayo. En junio, en general, en la columna de agua los registros de salinidad son mayores a lo medido en el mes de junio desde el año 2002, con excepción de 2004 en que fueron mayores al muestreo actual. Valores sobre 34,9 psu en superficie indicarían presencia de agua Subtropical, agua Subantártica en el nivel intermedio dado las bajas salinidades y bajo los 20 m una mezcla de agua Ecuatorial Subsuperficial y Subantártica. La presencia de agua Subtropical en superficie mostraría un proceso de relajamiento de la surgencia como evento local que justifica tal distribución.

La distribución de **OD (Figura 108c, Tabla 22)** presentó una capa bien oxigenada superficial sólo en los meses de diciembre 2009 a febrero y abril de 2010, con espesores de poco más de 5 m y concentraciones entre 5 y 6 mL/L. En los restantes meses, octubre y noviembre de 2009, marzo, mayo y junio de 2010, menores concentraciones de **OD** llegaron a la superficie, $\leq 4,8$ mL/L. En la vertical, el LSCMOD se encontró a poca profundidad en octubre y noviembre de 2009, a 8 y 18 m, respectivamente, lo que coincide con la disminución de **OD** en superficie. Lo anterior indica que hay una mayor participación en la surgencia de AESS. Los restantes meses, la profundidad del LSCMOD aumentó a > 40 m, superaron los 50 m en febrero, abril y mayo de 2010, volviendo al nivel de 28 m en junio. En la serie, tal como en el periodo de observación actual, ha sido habitual el registro de concentraciones < 5 mL/L en superficie intercaladas con capas bien oxigenadas. Sin embargo, en la vertical el LSCMOD ha presentado fluctuaciones en la vertical con profundizaciones habituales bajo los 50 m entre los meses de abril y junio, similar también a lo observado en el presente periodo, pero en los meses previos, diciembre-marzo 2010, se registró una mayor profundidad relativa de este límite, el



que es causado por una mayor concentraci3n de **OD** bajo los 10 m de profundidad en esos meses.

La distribuci3n de cloa (**Figura 108d, Tabla 22**), present3 n3cleos de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ en todos los muestreos mensuales entre octubre de 2009 y abril 2010, los cuales tuvieron un espesor que vari3 entre 25 m a comienzos de octubre y diciembre, y < 5 m en el n3cleo subsuperficial de abril 2010. Dentro de este n3cleo, las concentraciones $> 6 \mu\text{g/L}$ se registraron a comienzos de octubre y en marzo, mientras que el resto de los muestreos presentaron concentraciones entre 1 y $2 \mu\text{g/L}$. A comienzos de mayo 2010, la cloa present3 una concentraci3n $< 0,5 \mu\text{g/L}$, las m3s bajas del periodo en estudio, aumentando luego a finales de mayo a $> 5 \mu\text{g/L}$, en tanto que en junio un n3cleo $> 1 \mu\text{g/L}$ se registr3 en los 20 m, situaci3n poco habitual. Considerando s3lo los periodos octubre-junio dentro de la serie, en el correspondiente al 2001-2002, 2003-2004 hasta el 2008-2009, se registraron n3cleos productivos $> 1 \mu\text{g/L}$ en forma ininterrumpida en todos los muestreos, con concentraciones m3ximas que variaron en total entre 9,1 y $42,3 \mu\text{g/L}$, aunque la mayor3a de 3stas fueron $> 10 \mu\text{g/L}$. En los periodos restantes, donde los n3cleos productivos no fueron una constante en el tiempo, el rango de concentraciones fue de 6,5 a $37 \mu\text{g/L}$, excluyendo el a3o 1997 que tuvo una concentraci3n m3xima de $3,8 \mu\text{g/L}$. En t3rminos generales, el per3odo en estudio tuvo una mayor semejanza con el per3odo octubre 2002 – junio 2003, pues ambos tienen las concentraciones m3s bajas de la serie, junto con 1997 que fue a3o Ni3o.

Mejillones (22°58'S - 70°25'W)

Esta estaci3n registra en temperatura (**Figura 109a**) una condici3n particular, pues el per3odo de octubre 2009 a marzo 2010 las condiciones en la vertical fueron



normales en el aspecto térmico, siendo sólo los meses de marzo y abril los dos únicos que presentan una anomalía cálida asociada a lo ocurrido en las otras dos secciones más al norte. En este aspecto, abril es el mes en que se observa el máximo calentamiento en toda la columna de agua, lo que es señalado gráficamente por la profundización anormal hasta los 44 m de la isoterma de 15°C. La ubicación anormal de la isoterma señalada marca también éste periodo como el máximo evento ocurrido en la serie de Mejillones desde el segundo semestre de 1998. El proceso cálido no es similar tanto en intensidad como en duración a lo ocurrido en Arica e Iquique, pues ya en el mes de mayo se observa una fuerte tendencia a la normalización (en temperatura) de la columna de agua. Tanto para junio como para el mes anterior se destaca el rápido enfriamiento de la columna respecto a abril, lo que se refleja en el abrupto ascenso de la isoterma de 15°C y también de la isoterma de 14°C. En el mes de junio a lo largo de la serie, esta estación registra distintas distribuciones de temperatura, sin embargo, se puede indicar que la del mes de junio es similar a la encontrada en la mayoría de los años anteriores, a excepción de 1997, 2005, 2006 y 2009. Por lo anterior, se puede señalar que Mejillones tiene una distribución de temperatura habitual para el mes de junio.

Desde el segundo semestre de 2009, en salinidad Mejillones (**Figura 109b**) registra una tendencia hacia una condición más salina, lo que se observa por la presencia casi permanente de valores mayores a 34,8 psu, lo que es al menos 0,1 psu mayor a lo habitual para el periodo de primavera a otoño. Si bien en el muestreo de diciembre de 2009 se observa una leve disminución de la salinidad en los niveles intermedios, ésta aumenta nuevamente en enero de 2010. En este sentido, se destaca el mes de marzo pues si bien se produce una disminución de los valores en toda la columna a un rango 34,7 a 34,8 psu, que es también el mínimo salino en el periodo agosto 2009 – mayo 2010, las salinidades se mantienen notoriamente mayores a las que corresponden en igual mes de los



años anteriores en la serie. El mes de abril muestra un incremento de la salinidad vertical y en mayo, aunque vuelve a disminuir esta variable, se mantiene la condición salina en Mejillones. En junio la salinidad disminuyó respecto al mes anterior en toda la columna de agua, sin embargo los mayores diferencias se observan solo entre los niveles de 10 y 30 m con valores entre 0,1 y 0,14 psu. En comparación con los meses de junio en la serie, la salinidad del actual muestreo presenta, en general, una distribución y valores habituales.

La distribución de **OD** en Mejillones (**Figura 109c, Tabla 22**), a diferencia de las otras dos localidades más al norte, presentó una capa bien oxigenada en forma continua entre octubre 2009 y marzo 2010, con concentraciones entre 5,1 y 7,3 mL/L y espesores de ésta capa entre 2 y 12 m, mientras que en los últimos tres meses, abril a junio de 2010, la concentración de OD descendió a 4,7, 4,3 y 4 mL/L, respectivamente. La distribución de OD señalada anteriormente es similar a la observada en igual período de 1999-2000 y 2008-2009. En la vertical, el gradiente óxico desde febrero a junio de 2010 fue el menos definido de las tres estaciones. Por otra parte el LSCMOD se ubicó en general bajo los 18 m, sobrepasando los 50 m en los muestreos de febrero, marzo y abril, superando en el nivel de muestreo máximo (50 m) con concentraciones de 2 mL/L en marzo y abril, volviendo a niveles de 25 m en mayo y junio. Lo anterior señala que hubo en general mayores concentraciones de OD en este periodo de estudio en relación a igual periodo en el resto de la serie anterior. Por otra parte, ha sido habitual en la serie la profundización del LSCMOD hasta o más allá de los 50 m, aunque la mayoría de éstas, al menos entre los años 2003 y 2009, se han presentado entre los meses de junio-agosto. Profundizaciones de la LSCMOD en los meses de verano-otoño, como en el presente período, se registraron en los años 2000 (enero, marzo, mayo), 2001 (mayo) y 2003 (enero), por lo que el período más similar al actual es el de octubre-mayo de 1999-2000.



Dentro del período de estudio, la distribución de cloa de Mejillones (**Figura 109d, Tabla 22**) presentó núcleos principalmente superficiales, y algunos subsuperficiales, de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ con espesores variables entre > 30 m, como en octubre, noviembre y junio de 2010, y apenas unos metros como el núcleo subsuperficial de abril. Dentro del periodo en análisis se registraron tres núcleos de concentraciones $> 5 \mu\text{g/L}$ a mediados de octubre, enero y marzo, donde el máximo $> 7 \mu\text{g/L}$ estuvo en el muestreo de enero. En mayo, la cloa descendió a concentraciones $< 0,5 \mu\text{g/L}$, las más bajas del periodo, mientras que en a finales de mayo se desarrolló un gran núcleo $> 10 \mu\text{g/L}$. En junio el núcleo $> 1 \mu\text{g/L}$ tuvo un espesor cercano a los 40 m, situación poco habitual, y un máximo $> 5 \mu\text{g/L}$, recuperándose por completo el sistema. Al comparar todos los periodos octubre-junio en la serie de Mejillones, se puede ver que ha sido habitual el registro casi permanente de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$, con la excepción de 1 a 2 meses de concentraciones inferiores, situación similar a lo observado también en el presente periodo 2009-2010. Cabe destacar que en la serie se registra durante los años 2004 a 2008 un aumento de las concentraciones máximas a un rango entre 7,9 y $20 \mu\text{g/L}$, en tanto que en el periodo anterior, 1997 a 2003, éstas fluctuaron entre 3,9 y $11,9 \mu\text{g/L}$. Los periodos más similares al actual en la distribución de cloa para esta localidad, son los correspondientes a: 2001-2002, 2002-2003 y 2008-2009.

4.2 Huevos y larvas de peces en estaciones costeras de vigilancia

Desde octubre de 2009 a junio de 2010, se contabilizó e identificó una única especie de interés comercial en las estaciones de monitoreo mensual, anchoveta, quien ha sido en los últimos tiempos la especie dominante de la zona norte, con presencia de sus fases de huevos y larvas. Las muestras zooplanctónicas fueron



recolectadas mensualmente dentro de los primeros 10 días, mediante arrastres verticales con red WP-2.

4.2.1 Anchoqueta

Esta especie exhibió su máxima abundancia promedio tanto de huevos como de larvas en la estación de Arica, contemplando todo el período analizado desde octubre a la fecha, siendo esta igual a 9.372 huevos y 1.601 larvas/10 m²

Esta localidad fue la única donde esta especie mostró constancia temporal, presentándose a lo largo de todo el período analizado, aunque en las otras dos estaciones, en el caso de los huevos, solamente estuvieron ausentes durante el mes de mayo. Las mayores abundancias de huevos fueron registradas siempre en la estación de Arica, con su máximo en octubre de 2009 (44.445 huevos/10 m²), con la salvedad del mes de febrero, donde se concentraron con el valor más bajo (4.338 huevos/10 m²) respecto de Iquique y Mejillones, exhibiendo sus máximos en estas dos localidades, 10.048 y 13.327 huevos/10 m², en cada una de ellas, respectivamente, correspondiendo estas abundancias a las más altas registradas dentro del período analizado para estas localidades

En la estación de Iquique se congrega de manera frecuente la menor abundancia de huevos de anchoqueta, respecto de Arica y Mejillones, siendo su promedio de 2.787 huevos/10 m².

Las larvas de anchoqueta por su parte, al igual que la fase de huevos, presentan en Arica el mismo patrón, las mayores abundancias las exhibe en la localidad de Arica, donde se presenta de manera continua a través del tiempo, verificándose una abundancia promedio igual a 1.601 larvas/10 m², con un máximo en junio (4.798



larvas/10 m²), y donde en el resto de los meses mostró abundancias poco variables, las que fluctuaron entre 29 – 747. En Iquique también las larvas muestran sus menores abundancias, las que no superaron las 355 larvas/10 m² en los meses de marzo y abril, sin embargo, fueron menos frecuentes en Mejillones, localidad donde en los períodos mensuales de diciembre de 2009 y mayo de 2010 exhibe las máximas abundancias de las tres estaciones fijas, con 5.482 y 1.509 larvas/10 m² en cada uno de ellos, respectivamente, superando en esos meses las abundancias exhibidas por los huevos, los que por lo general son más numerosos.

4.2.2 Ictioplancton por estrato de profundidad

La presencia de huevos de anchoveta en los distintos estratos de profundidad fue constante desde octubre de 2009 a junio de 2010 entre los 0-10 m de las estaciones de Arica y Mejillones, también se presentaron con la misma frecuencia en el nivel intermedio de Arica, sin embargo, fue en el primer estrato donde se presentaron las mayores abundancias en cada una de las estaciones de muestreo, donde se exhibieron abundancias promedio iguales a 4.694, 2.922 y 1.152 huevos/10 m² en Arica, Iquique y Mejillones, respectivamente, aunque en esta última localidad, la mayor abundancia promedio se detectó en el estrato más profundo, influenciado esto por la alta densidad de huevos desovados durante el mes de abril (7.761 huevos/10 m²) (**Figura 110**), valor que sobrepasó las abundancias reflejadas en las otras dos localidades durante ese mes.

En Arica y Mejillones se observó a partir de febrero de 2010 un incremento en las abundancias de huevos, además de una mayor frecuencia de ocurrencia temporal, sobretodo en Mejillones. En general, las menores abundancias y las mayores ausencias se detectaron en el estrato más profundo de todas las estaciones. Iquique es la estación con la más baja abundancia y la menor recurrencia de huevos temporalmente, manteniéndose estos ausentes durante los dos últimos períodos



mensuales, el estrato 25-50 m de esta estación es el que ha presentado la mayor ausencia para esta fase (**Tabla 23**).

Las larvas siguen el mismo patrón de los huevos, fueron mas habituales en Arica en todos los estratos, aunque con la misma frecuencia se presentaron en Mejillones en el nivel intermedio (**Figura 110**). Las máximas abundancias se registraron en Arica entre los 0-10 m, con un tope en el mes de junio de 2010 (5.128 larvas/10 m²), siendo también alta la abundancia registrada en el nivel de mayor profundidad (3.484 larvas/10 m²). Las más altas ausencias de esta fase se produjeron en esta estación entre octubre y enero, además de las menores abundancias.

En Iquique fue notoriamente escasa la presencia de larvas de anchoveta, las que se presentaron de manera mas recurrente y en la mayor parte de los estratos, en los meses de marzo y abril, sin embargo, las abundancias fueron siempre bajas en esta estación, no superando las 464 larvas/10 m² en el estrato 10-25, nivel donde se presentaron los máximos valores de todo el período. En Mejillones se reconoció la mayor recurrencia entre los 10-25 m, pero la mayor abundancia promedio se detectó en el estrato más profundo, ello dado por las dos abundancias más altas reconocidas en los últimos dos meses (**Tabla 23**).

4.2.3 Variabilidad mensual de la biomasa zooplanctónica en las estaciones fijas de monitoreo

Las biomásas estimadas durante el período octubre 2009 a junio 2010 fueron por lo general bajas en las tres estaciones de monitoreo, presentando un promedio comprendido entre 126 – 297 ml de zooplancton/1.000 m³, ambos valores correspondientes a las estaciones de Iquique y Mejillones, respectivamente. Los mayores valores de esta variable fueron encontrados en Mejillones, se observó un



incremento paulatino a partir del mes de enero, donde posteriormente en marzo se produce una leve caída, hasta volver a incrementarse nuevamente y cada vez más, período dentro del cual esta estación mostró mayores biomasa respecto de Arica e Iquique (**Figura 111**).

De acuerdo a la distribución vertical de la biomasa zooplanctónica, esta se presentó en Arica con sus valores más altos en el estrato más superficial, alcanzando a un máximo durante el mes de octubre de 2009, donde se estimó una biomasa de 681 ml/1.000 m³ (**Figura 112**), valores similares se registraron en febrero y abril de 2010 (545 y 661 ml zooplancton/1.000 m³, respectivamente), manteniéndose relativamente estable hacia los meses posteriores. En Iquique y Mejillones en cambio, la mayor parte de la serie analizada presentó altas biomazas en el estrato intermedio (10-25 m), con máximos en Iquique, también en octubre de 2009 (888 ml/1.000 m³). En Mejillones fue donde se verificaron las dos mayores biomazas, asociadas a los dos primeros estratos de profundidad durante el mes de octubre, con 4.459 y 3591 ml/1.000 m³ entre los 0-10 y 10-25 m, respectivamente.



E. Objetivo específico N° 2.5

Determinar la variabilidad superficial de las variables temperatura del mar, clorofila-a y anomalía del nivel del mar por medio de percepción remota y su asociación y explicación de éstas con las variaciones espacio-temporales de la actividad pesquera. La frecuencia mínima de análisis debe ser al menos mensual.

5. Variabilidad superficial

5.1 Serie de temperatura superficial del mar satelital (TSM)

En la serie de **TSM** latitud/tiempo (**Figura 113**) se observa un claro incremento estacional de la temperatura en verano a todo lo largo de la costa. Las mayores variaciones de **TSM** entre verano e invierno ocurren desde el límite norte de la serie hasta los 23°S de latitud. El calentamiento estacional comienza en noviembre con un máximo en enero y febrero. En marzo parte la disminución de la **TSM** hasta alcanzar un mínimo a mediados de año. Al sur de los 27°S se presenta una disminución brusca de a TSM respecto a lo que ocurre en las latitudes menores, dominando las **TSM** < 16°C prácticamente durante todo el año y con una máxima en enero cercana a los 17°C. El invierno más frío registrado en la serie corresponde al de 2007, mientras que el más cálido, hasta los 27°S, es el verano de 2010.

A este respecto, entre los 16 y 25°S el mes de diciembre de 2009 tuvo mayores **TSM** que en igual mes de los otros dos años. Entre enero y mayo de 2010, se observa un claro incremento de la temperatura en toda el área pero fue más intensa entre el borde norte y los 23°S. Los meses de enero a marzo de 2010 muestran el calentamiento estacional de verano el que, no obstante, se observa con valores mayores a lo registrado en el periodo estival de 2008 y 2009. En este sentido se destaca la aparición de un foco de 21°C entre los 17° y 19°S que no es observado en ninguno de los dos años anteriores. Marzo de 2010 muestra una



tendencia a una disminuci3n de la **TSM**, sin embargo el calentamiento superficial de 1° a 2°C continua y se extiende hasta abril. Mayo registra una disminuci3n de la **TSM** respecto al mes anterior pero se mantienen las condiciones calidas.

Al sur de la latitud 23°S, la **TSM** en el mes de abril registra valores similares e incluso levemente menores a lo observado en el mismo mes del a±o 2009 (por ejemplo en los 26°S), sin embargo las **TSM** tanto abril de 2009 como abril el 2010 son notoriamente mayores en 1° a 2°C respecto de igual mes del 2008.

5.2 Serie de Clorofila-a satelital

La distribuci3n espacio temporal de clorofila (**Figura 114**) muestra en el plano general que los periodos verano-oto±o son los que tienen las mayores concentraciones en el ciclo anual. El m±nimo de cloa se presenta en invierno y se mantienen hasta el mes de noviembre e incluso diciembre en algunos a±os. En diciembre se presenta un aumento r±pido de la cloas con las concentraciones m±ximas entre enero y abril. En un aspecto espacial se ven claramente cuatro sectores característicos: 16° a 24°S con las mayores concentraciones relativas (>1 µ/L) para toda la zona. Entre los 24° y 30°S, hay notoriamente menores valores que en el ±rea norte anterior y se observan las m±s bajas en el periodo de invierno. Se destaca para esta ±rea que las concentraciones son relativamente altas entre el mes de octubre y diciembre de cada a±o. Desde los 30°S a 31°S, las concentraciones de cloa son las m±s bajas de toda la zona (< 1 >1 µ/L) pr±cticamente durante todo el a±o. Finalmente, al sur de los 32°S vuelve a haber una estacionalidad m±s marcada y concentraciones que son similares a las descritas para el ±rea de m±s al norte.

Dentro del periodo de estudio de este informe, octubre 2009 a mayo 2010, el trimestre octubre - diciembre 2009 registr3 concentraciones que se pueden indicar



como habituales y dentro de la variabilidad observada en la serie para dicho trimestre en toda la zona. En enero de 2010 hay una notoria baja de las cloas entre los 16° y 21°S, y desde marzo en adelante las concentraciones disminuyen nuevamente para llegar a ser las menores en comparación con los años precedentes en la serie. Al sur de los 24°S de latitud, a partir de septiembre de 2009 ocurre lo contrario en comparación a los años anteriores. En este sentido, octubre muestra mayores concentraciones, noviembre a diciembre de 2009 la cloa es menor, y desde enero 2010 en adelante las concentraciones son mayores nuevamente, particularmente al sur de la latitud 27°S.

5.3 Anomalía del nivel del mar satelital

La serie de NMM a lo largo de la costa (**Figura 115**) en un sentido temporal registra alternancias de anomalías positivas y negativas de largo periodo. En la gráfica del promedio por tiempo se observa que el año 2005 registró en el primer semestre un valor cercano a cero pero el segundo semestre hubo una brusca disminución del NMM hasta un valor de -4 cm en septiembre. El año 2006 comenzó con un valor positivo cercano a neutro y se mantuvo en esta fase hasta junio de 2007, con un máximo de 4 cm en junio y diciembre de 2006. En septiembre de 2007 hubo un máximo negativo de 3 cm pero un aumenta a un valor de 4,5 cm en mayo de 2008. A partir de este último mes la oscilación es de menor amplitud que las vistas anteriormente en la serie y se mantienen en la banda de los 2 cm hasta junio de 2009, cuando comienza una disminución del NMM que llega a hasta -3 cm en octubre de 2009. El año 2010 registró anomalías positivas hasta el mes de abril con un máximo de +2 cm. Los promedios latitudinales en el tiempo son positivos y señalan que en los 22° y 30°S se registran los mayores valores con 1,8 cm, mientras que las anomalías menores se dan entre los 16° y 18°S y también en los 31°S, con valores que no superan los 0,3 cms.



5.4 Serie de Transporte Ekman

El transporte Ekman (TE) (**Figura 116**) presenta, espacialmente, los máximos valores entre los 17° y 28°S, mientras que en julio-agosto de 2005 se dio el máximo de la serie con un TE > 800 m³/s entre los 23° y 25°S. En un sentido temporal, el promedio latitudinal registra dos máximos anuales en otoño y primavera en el año 2005, 2006 y 2008. El año 2007 registra un solo máximo en el mes de agosto, mientras que el 2009 se presenta en el mes de octubre. Se destaca que desde noviembre de 2007 a abril de 2009 se produce una notable disminución del TE a lo largo de toda la costa, sin embargo aun se mantiene, comparativamente, el área recién señalada como de máximos registros de TE.

5.5 Relación ambiente – recurso

La correlación entre las series temporales derivadas del análisis hecho sobre las series de las imágenes satelitales semanales de TSM y Cloa con una resolución espacial de 4 km y las imágenes satelitales semanales del Transporte Latitudinal de Ekman y las de Anomalía del Nivel del Mar con una resolución espacial de ~30 km y la serie temporal de las capturas de anchoveta para el año 2009 no presenta un valor alto de correlación, dado por la longitud de las series consideradas y por la poca cobertura latitudinal que presenta la serie de capturas de anchoveta, en la cual en algunas posiciones latitudinales no se observan valores o tienen valor cercano a cero al sur de los 24°S (**Figura 117**). Al norte de los 24°S, se observa una relación inversa entre las capturas de anchoveta y el Transporte Latitudinal de Ekman y el Nivel del Mar, las capturas aumentan en dirección hacia el norte, y por el contrario los valores de Transporte Latitudinal de Ekman disminuye al igual que lo hacen los valores de Anomalía del Nivel del Mar (**Figura 117a**). Por el contrario, mientras la tendencia de las capturas aumenta hacia el norte de los 24°S, de la



misma manera se observa una tendencia al aumento de la TSM en la misma dirección. No así la Cloa, la que presenta niveles altos de concentración en torno a los $\sim 18^{\circ}\text{S}$, 20.4°S y los 22.8°S (**Figura 117b**). Según Böhm *et al.* (2010), las capturas registradas al sur de los 24°S corresponde solo al $\sim 7\%$ de las capturas totales registradas en la macro zona que va desde los $18^{\circ}21'$ hasta los 32°S . Este nivel de capturas al sur de los 24°S corresponden principalmente a una flota artesanal que opera principalmente muy cerca de la costa, contrariamente a lo que sucede al norte de los 24°S donde opera una flota industrial con una amplia distribución espacial.

Las series temporales para las variables ambientales presentan una clara señal anual, con valores máximos en verano y mínimos en invierno para la TSM (**Figura 118**). Lo mismo sucede para la Cloa, donde sus mínimos valores coinciden con bajos valores de TSM y sus máximos con altos valores de TSM, con la presencia de algunos desfases temporales entre las series. A contar del 2008 se comienzan a observar un aumento en los niveles de Cloa, alcanzando su máximo temporal en el verano del 2009. Junto a este aumento de los niveles de Cloa, se observa una disminución de los valores de Transporte Latitudinal del Ekman, con una fuerte tendencia a la disminución en los últimos años del periodo analizado. Por el contrario, los valores de Anomalía del Nivel del Mar se observan fluctuaciones temporales constantes durante el periodo analizado, salvo durante el 2008, 2009 y comienzos del 2010 donde se registran valores positivos del nivel del mar.



VIII. DISCUSIÓN

La información regional indicó que el año 2009 comenzó con condiciones superficiales frías en el Pacífico Ecuatorial (**Figura 119**) como consecuencia de una reactivación del evento “La Niña” 2007/2008, el cual parecía haber entrado en declinación hacia mediados de 2008, lo que es mostrado por la disminución de las anomalías negativas y del **MEI (Figuras 119 y 120)** (NOAA, 2009). Anomalías negativas de **TSM** se presentaron en todos los sectores Niño desde el mes de noviembre de 2008 y se mantuvieron hasta marzo de 2009, si embargo en febrero se había dado inicio a una notable tendencia hacia una normalización del sistema, donde sólo el sector Niño 1+ 2 tuvo una alternancia en el tipo de anomalía en los tres primeros meses del año (**Figura 119**). A partir del mes de abril de 2009 ya todos los sectores Niño presentaron anomalías de **TSM** positivas, lo que marcó el fin del evento frío entrando desde ahí en una condición normal (valores de anomalías menores a 0,5°C), como así también el **MEI** cambio a un valor positivo a partir de ese mes (**Figura 120**) (NOAA, 2009).

A partir de abril, el Océano Pacífico Ecuatorial entró claramente en una condición neutra, donde la mayor parte de los indicadores volvieron a valores normales. Solamente la costa sudamericana (costa peruana) presentó condiciones propias de un evento frío. El **MEI** ese mes marcó valores positivos por primera vez desde mediados de 2008 (**Figura 120**) (NOAA, 2009).

Aun cuando en los meses siguientes se dieron condiciones neutras en la mayor parte del Océano Pacífico, las condiciones oceanográficas y meteorológicas tuvieron un rápido tránsito hacia una condición más cálida como respuesta a un debilitamiento de los vientos alisios en la región. La evolución presentada por los parámetros utilizados para caracterizar “El Niño” marcó condiciones típicas de la etapa previa al inicio de un nuevo evento cálido, registrándose en junio una



tendencia firme hacia el evento cálido, con desviaciones térmicas de hasta $+1^{\circ}\text{C}$ en las tres regiones Niño (**Figura 119**). Valores positivos se mantuvieron en el **MEI** desde abril y éstos se prolongaron hasta el fin de la serie (mayo 2010), con un máximo en el mes de febrero de 2010 (**Figura 120**) (NOAA, 2010).

En julio de 2009, las condiciones oceanográficas y meteorológicas indicaron el inicio de “El Niño” de intensidad débil en el Océano Pacífico ecuatorial, sin embargo, en agosto las condiciones fueron más frías que lo normal en la parte occidental. En este sentido, de oeste a este en el sector ecuatorial, los valores del índice semanal de anomalías de **TSM** fluctuaron desde $-0,4^{\circ}\text{C}$ en la región del Niño 4, $-0,8^{\circ}\text{C}$ en el Niño 3+4, hasta $+0,7^{\circ}\text{C}$ en la región del Niño 1+2 (**Figura 119**) (NOAA, 2009).

Hacia octubre de 2009, período del crucero en la zona norte de Chile, las anomalías de la **TSM** en el Pacífico ecuatorial central (Niño 3, 4 y 3.4) superaron $+1^{\circ}\text{C}$, sin embargo frente a la costa de Perú se registraban anomalías negativas (**Figura 121**), las que han persistido en los últimos tres años. Hacia noviembre de 2009, las anomalías positivas en el sector Niño 1+2 alcanzaron los $+1,5^{\circ}\text{C}$ (NOAA, 2009). Un caso aparte ha sido el sector Niño 1+2, que presentó una condición variable desde septiembre de 2009, registrando anomalías en general positivas pero con eventos de fase negativa a principios de octubre, a mediados de diciembre, principios de febrero y en marzo, para mantenerse en esa fase desde mediados de mayo. Sólo el sector Niño 4, mantuvo anomalías positivas hasta fines de mayo 2010, pero en los sectores Niño 3 y 3.4 fueron negativas desde mediados de mayo (**Figura 119**) (NOAA, 2010).

Durante agosto las **TSM** mantuvieron un continuo enfriamiento, alcanzando 1°C por debajo del promedio histórico. Este período frío se hizo evidente en gran parte de la franja del Pacífico Ecuatorial y es consecuencia de la interacción entre la



corriente fría de Humboldt y el fortalecimiento de los vientos alisios. De acuerdo a los pronósticos derivados de diversas entidades especializadas, los indicadores como el Índice de Oscilación del Sur (**IOS**) e Índice Ecuatorial Multivariado (**MEI**), vaticinan que continuarán las condiciones frías, propias de un evento “La Niña”, aunque aún no se establece cual podría ser su intensidad cuando se alcance la condición máxima en los próximos meses. Los modelos pronostican que éstas características frías se prolongarían por el resto del año. A partir del mes de julio se han registrado anomalías de **TSM** de -2°C en la costa Pacífico Ecuatorial (zona Niño 1+2). En los tres últimos meses en que el **MEI** ha marcado valores promedio negativos, indicando la fase fría, se ha llegado a un valor de $-1,8$ en agosto, lo que es un valor extremo, no observado en la serie desde 1997, considerando además que el valor negativo más extremo de la serie de **MEI** desde 1950 es de -3 (NOAA, 2010b).

Durante el crucero, la distribución superficial de temperatura y salinidad mostró un descenso típico hacia el sur. Se presentó además el desarrollo de una banda costera de aguas de menor temperatura ($<18^{\circ}\text{C}$) y menor salinidad ($<34,9$ psu) relativamente bien definida entre Arica y punta Lobos. Entre esta última localidad y Mejillones, la temperatura mostró la formación de una banda costera con temperaturas menores a 15°C . La banda costera señalada es producto del ascenso de aguas subsuperficiales, característico de la surgencia costera, la cual en este caso sería de intensidad moderada a débil. Hacia el sur y hasta punta Ballenita, el gradiente en esta banda costera fue menor pero la dirección norte-sur de la isoterma de 16°C marca una diferencia entre el sector costero y oceánico. Al sur de punta Ballenita, las isotermas se proyectaron en general en dirección al oeste, donde sólo se aprecia un foco de bajas temperaturas ($<13^{\circ}\text{C}$) alrededor de punta Farellones y caleta Inglesa.



La distribuci3n de **TSM** satelital es consistente con los datos de **TSM** obtenidos en el crucero, y ambas variables, adem1s, evidencian un intenso afloramiento de aguas fr1as, y que fueron tambi3n m1s salinas, alrededor de bah1a de Coquimbo. Las anomal1as de temperatura y salinidad (Arica a 25°S) muestran en la zona valores cercanos a la normalidad (Rojas & Silva 1996, Blanco *et al.* 2001), lo cual descarta la influencia de un evento regional c1lido o fr1o en la zona norte al momento el crucero. Esta situaci3n de normalidad, ocurri3 aun cuando en el Pac1fico Ecuatorial, se presentaba desde junio una condici3n c1lida. La intensa surgencia presente al sur de Huasco, registrada en la **TSM** y en las salinidades, es forzada por los intensos vientos hacia el Ecuador, los cuales son mostrados por la informaci3n recolectada en el crucero (viento horario) y tambi3n en la informaci3n satelital, implicando valores de transporte de Ekman mayores a 500 m³/s.

Los valores de anomal1a de temperatura y salinidad superficial utilizados para el 1rea Arica a 25°S, son 1tiles para detectar con mayor definici3n si hay en ella efectos de procesos f1sicos tanto locales como remotos. La construcci3n de una climatolog1a similar para el 1rea restante (25°S a 32°S) es necesaria ya que los promedios actuales y que corresponden a la del Atlas Oceanogr1fico del SHOA (Rojas y Silva, 1996) fueron calculados con la informaci3n superficial hist3rica dentro de un grado de latitud por un grado de longitud, por lo que estos no presentan una buena diferenciaci3n costa oc3ano. Es muy necesario contar con informaci3n de promedios hist3ricos actualizados y contruidos a partir de una grilla m1s fina que la disponible actualmente, lo que ayudaría a poder determinar de mejor forma la condici3n oceanogr1fica en esta 1rea de la zona de estudio.

La realizaci3n de una climatolog1a para la zona completa, como un proyecto aparte, contempla la evaluaci3n de factibilidad de 3ste, que esta compuesta por el estudio de la disponibilidad, calidad, cobertura espacial y temporal de los datos.



Así también sería muy útil contar con una serie de tiempo de estaciones costeras como las disponibles en Arica, Iquique y Antofagasta, que ya cuenta con casi 15 años de datos mensuales. En este sentido, cabe mencionar que durante este mismo proyecto del año 2008, se incorporaron estaciones fijas en Caldera y Coquimbo, las cuales no fueron solicitadas en los TTR del año 2009.

La distribución superficial de densidad confirma el ascenso de aguas de valores mayores de este parámetro ($> 26 \text{ kg/m}^3$) alrededor de bahía Coquimbo y a lo largo de la costa hacia el norte hasta punta Lobos. Este ascenso de aguas está vinculado a la aparición de focos de bajas concentraciones relativas de oxígeno al sur de punta punta Farellones ($<4 \text{ mL/L}$), caleta Inglesa ($<5 \text{ mL/L}$) y entre punta Lobos ($<5 \text{ mL/L}$) y Mejillones ($<3 \text{ mL/L}$). La ausencia de estas características al norte de punta Lobos, pero la presencia de menores temperaturas en la costa y el ascenso de la capa de mínima concentración de oxígeno hasta una profundidad de 20 m, señalan que durante el periodo de estudio se presentó en esta área una surgencia de intensidad débil. La profundidad de la isoterma de 15°C y su anomalía, confirman que, a pesar de ser una zona con bajos valores de viento, se produce de igual manera un ascenso de agua de menor temperatura proveniente de profundidades menores a 20 m. La surgencia débil de esta área permitió que al norte de punta Arenas ($21^\circ40'S$) se produjera una entrada de agua de tipo Subtropical (**AST**) cerca de la plataforma continental.

El ascenso de las isolíneas de temperatura, salinidad y densidad entre las transectas 16 (punta Arenas) y 21 (Arica) confirman el ascenso débil sobre la plataforma continental. Pero además confirma el intenso ascenso de aguas subsuperficiales al sur de Caldera (T8), lo que permitió la formación de un frente de surgencia alrededor de punta Farellones.



La información de todas las variables medidas en las estaciones fijas para el mes de octubre reafirman las observaciones de la entrada de **AST** a la altura de Arica y la surgencia presente, aunque débil en Iquique y Mejillones, a la cual está asociada también una disminución de la concentración de oxígeno en la columna de agua en estas dos últimas localidades. La aparición de agua Subtropical en la costa de Arica, puede señalar una condición local, aunque con ello comienza a observarse una tendencia hacia una condición más cálida en esta localidad.

El espesor de la capa de mezcla y el espesor de la termoclina observada durante octubre de 2009, fueron similares a las observadas en octubre de 2008 (Reyes *et al.* 2009). Una situación similar ocurre con la temperatura base de la termoclina, que aunque tiene una distribución espacial diferente, los valores son similares a los de octubre de 2008. Valores similares a los de la primavera de 2008 también se encontraron en la profundidad base de la termoclina, en el gradiente promedio y máximo de la termoclina, como también en la profundidad en la que están presentes estos gradientes.

A pesar que hay valores similares en las diferentes variables y parámetros entre octubre del año 2008 y 2009, la distribución superficial estuvo, en este último período, afectada directamente por la circulación en ese nivel. En la altimetría entregada en este informe, se muestra el predominio de una circulación del tipo ciclónica que incluye giros ciclónicos asociadas a intensas anomalías negativas del nivel del mar (<-6 cm). Este tipo de circulación favoreció las corrientes hacia el sur en el eje de los 72°O. Entre los giros ciclónicos se destacaron los ubicados en 25°S, 27°S y 30°S que parecen tener directa influencia en el ascenso (~ 40 m y 20 m) del límite de la capa de mínimo oxígeno (1 mL/L) en esas áreas. Este tipo de circulación podría ser responsable de que durante el período del crucero (octubre de 2009) la profundidad del límite de la capa de mínima concentración de oxígeno



esté, en general, a menor profundidad, como también del ascenso en esos puntos del gradiente máximo de la termoclina (Bakun 2006). Cabe recordar que una condición cálida en la zona norte de Chile se caracteriza por la mayor profundidad de la capa de mínima **OD** (Blanco *et al*, 2002) y la profundización de la isoterma de 15°C debido al paso de ondas atrapadas a la costa y la mayor presencia de agua Subtropical en superficie que tiene alto contenido de **OD** y calor. Por lo tanto, la información anterior sugiere entonces que no hay condiciones cálidas en la zona.

La influencia de estos giros en la distribución vertical de densidad no es evidente, pues generan perturbaciones asociadas al levantamiento de las isolíneas (temperatura y densidad) en las transectas 4, 8, 10, 11 y 17, pero también el desprendimiento desde el talud de núcleos de máximos relativos de salinidad asociados a la corriente subsuperficial hacia el polo y al agua Ecuatorial Subsuperficial (Silva 1983, Strub *et al*. 1998). Cabe mencionar que los mínimos de salinidad superficial oceánicos observados en las transectas de Pichidangui (1) y caleta Maitencillo de Coquimbo (2) se contrastan con los máximos relativos costeros de esas localidades.

La concentración de clorofila medida durante el crucero y en forma satelital confirman el activo proceso de surgencia observado al sur de Chañaral, favoreciendo los núcleos de altas concentraciones ($\sim 10 > 5$ a $10 \mu\text{g/L}$), en particular las que se observaron dentro de la bahía de Coquimbo, y que fueron proyectados hacia fuera de la costa por lenguas y filamentos, lo que se evidencia en la progresión de las imágenes de satélite. Al norte de Antofagasta, aunque la surgencia fue débil, se desarrolló una banda costera de concentraciones de cloa altas ($> 5 \mu\text{g/L}$), las cuales decaen rápidamente hacia fuera de la costa.



En la vertical los núcleos de clorofila de concentraciones $> 1 \mu\text{g/L}$ no superaron los 30 m, situación que es similar a lo reportado para igual período de años anteriores. Especialmente importantes fueron las concentraciones entre Mejillones a Tocopilla que mostraron rangos por sobre los $5 \mu\text{g/L}$, coincidiendo con las menores concentraciones de **OD**. La separación de los sectores productivos entre rada Paposo y punta Ballenita, situación observada tanto en la superficie como en la vertical, está asociado a la surgencia de agua subantártica pobre en nutrientes que ocurrió en esa área.

Los feopigmentos presentaron una distribución superficial similar al de cloa tanto al norte como al sur de Antofagasta pero con concentraciones mucho menores lo que significa el buen estado de las células fitoplanctónicas. En un sentido temporal, avanzado el mes de octubre se produjo un descenso en las concentraciones de cloa observadas en la zona, lo que se asocia a un debilitamiento de la surgencia a nivel general y que se representa en el aumento de la **TSM** satelital en la franja costera.

En las estaciones fijas se evidenció una tendencia hacia un calentamiento a partir de octubre de 2009 sólo en la estación de Arica, lo que sería producto de un proceso local, ya que no se observa lo mismo hacia el sur y toda la costa de la zona presenta anomalías negativas del nivel del mar. Lo último señalado, evidencia la ausencia de ondas atrapadas a la costa. En Iquique, condiciones cálidas en la vertical comienzan en el mes de diciembre, mientras que Mejillones, en cambio, acusó un período anormal cálido sólo desde el mes de marzo de 2010.

En las tres estaciones el máximo de anomalía en todas las variables se registró en el verano de 2010, pero en distintos meses, así también en la intensidad comparativa de ella: Arica en enero-febrero con un máximo de intensidad, Iquique



en febrero-marzo con intensidad media y en Mejillones en marzo-abril con la más débil de las tres. Esta comparación de intensidad recién indicada es relativa a las tres estaciones, sin embargo en la serie de cada una, las tres localidades registraron una condición anormal intensa sin precedentes después de “El Niño” 1998, esto tanto en intensidad como en duración.

El retorno a una condición normal ha sido también variado, manteniéndose hasta junio en Arica todavía una situación levente más cálida mientras que en Mejillones se retornó a ella en el mes de mayo. El calentamiento de la columna de agua de diciembre en adelante fue coincidente con la aparición de anomalías positivas del nivel del mar, las que presentaron un máximo en enero y marzo y se prolongaron hasta el fin de la serie en abril. Se destaca, sin embargo, que estas anomalías del **NMM** no fueron ni tan intensas ni prolongadas como lo que se observa en la serie latitud/tiempo de esta variable en el periodo diciembre 2005 a junio 2007, que si bien se asoció a un periodo cálido los efectos en la columna de agua en las tres localidades fue menor al ocurrido desde octubre de 2009. Así también se destaca que el **MEI**, como indicador regional de “El Niño”, tuvo un valor máximo también en enero y febrero de 2010. El desfase temporal de los efectos de “EL Niño” a lo largo de la zona en sentido norte-sur, se asocia al paso de las ondas atrapadas a la costa que se desplazan en el mismo sentido.

Por otro lado, la serie de tiempo de cloa analizada mostró para el período de octubre de 2009 y entre el sur de Perú y norte de Chile, desde los 17°a a 19° S, un leve descenso en las concentraciones en comparación con los meses anteriores. Así también hay un incremento de cloa, respecto de octubre de 2008, asociado a un núcleo ubicado en la zona de Coquimbo (~30°S), sin embargo en el resto de la serie se observa también en la misma área y época. En la serie latitud/tiempo de cloa, los resultados señalan que en el trimestre enero-marzo de 2010 se registraron menores concentraciones de clorofila entre los 18° y 24°S, lo que sería



consecuencia de la condici3n c3lida registrada. Sin embargo, los niveles de concentraci3n de cloa al sur de los 24°S, se presentan como los habituales, en general, pero levemente mayores entre los 27°y 30°S en el mes de febrero.

Las concentraciones registradas durante la primavera de 2009, se mantuvieron dentro de los rangos detectados en el crucero 2008, aunque los valores m3ximos de amonio, nitrito y silicato exhibieron un aumento, a diferencia del nitrato que descendió.

En la componente vertical, la estructura qu3mica del 3rea de estudio, mostr3 el t3pico gradiente caracterizado por el aumento de los valores con la profundidad, lo cual es producto del efecto de la actividad fotoautotr3fica, que conduce casi al agotamiento de estos elementos dentro de los primeros 25 m, y de los procesos de oxidaci3n de la materia org3nica junto a la presencia del agua fuente de la surgencia que incrementan la concentraci3n de las sales inorg3nicas en aguas m3s profundas (Silva *et al.*, 1997; Libes, 1992; Barber y Smith, 1981).

En la distribuci3n horizontal, sin embargo, los nutrientes exhibieron diferencias que definieron dos zonas dentro del 3rea de estudio. Una zona norte, entre Arica y rada Raposo, y una zona sur que comprendió desde punta Ballenita hasta Pichidangui. La zona entre Arica y rada Raposo present3, entre las formas nitrogenadas altos valores de nitrito y amonio, asociadas a bajas concentraciones de nitrato. Esta tendencia a la desnitrificaci3n se encuentra relacionada a la presencia de la zona de m3nima concentraci3n de oxigeno (ZMO) (Farías *et al.*, 2007; Thiel *et al.*, 2007), característica del borde del Pacifico Sur Oriental (Silva *et al.*, 2009).

Las condiciones an3xicas en esta zona conducen a la presencia de la denominada m3xima secundaria de nitrito y del m3nimo relativo de nitrato (Silva, 1987; Sharp,



1983). Además, se han evidenciado procesos de regeneración y oxidación que favorecen la acumulación de amonio en la oxiclina, que puede ser rápidamente consumido por microorganismos tanto autótrofos como heterótrofos (Sharp, 1983; Canfield, 2006, Ward *et al.*, 2009), mientras que en capas las capas óxicas y subóxicas organismos eucariotas contribuyen a la regeneración de este nutriente (Molina *et al.*, 2005).

A diferencia de lo anterior, la zona entre punta Ballenita y Pichidangui exhibió altas concentraciones de nitrato, incluso a nivel superficial. En el área adyacente a los 30°S, altas concentraciones superficiales de nitrato han sido registradas, las cuales han sido atribuidas a reducidos procesos de mezcla y circulación (Thiel *et al.*, 2007). Además, de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de la componente planctónica realizada en la primavera de 2008, en este sector predominan formas picoplanctónicas y nanoplanctónicas, cuyas fracciones autotróficas generan niveles más bajos de producción primaria y tienen menores requerimientos de nutrientes que las formas microplanctónicas (Hutchings *et al.*, 1995). De igual manera, la presencia de estos microorganismos, en sus fracciones heterotróficas, pudo haber sido responsable del foco de amonio detectado entre 50 y 75 m de profundidad.

Respecto del fosfato y del silicato, ambos nutrientes exhibieron una mayor concentración en la zona norte (Arica - rada Raposo), las cuales, considerando la distribución vertical de las formas nitrogenadas más reducidas y las características de la zona en cuanto a la ocurrencia de eventos de surgencia, podrían ser atribuidos al afloramiento de aguas subsuperficiales ricas en estos elementos inorgánicos (Silva *et al.*, 1997). La presencia de menores concentraciones de estos nutrientes en la zona sur, es difícil de explicar. Conforme con lo registrado, la comunidad autotrófica que pudiese hacer un uso activo de estos nutrientes, particularmente de silicato (*i.e.* diatomeas), es escasa en ese sector y se



encuentra restringida a sitios muy localizados (bahías). Para la región de Coquimbo las bajas concentraciones de sílice se han asociado a alta actividad biológica (Olivares, 1989), de tal manera que sería conveniente analizar en forma conjunta la biomasa fitoplanctónica presente en la zona durante la realización del crucero.

En el análisis integrado de la información, se debe considerar que el comportamiento estacional en los procesos de desove podría estar causado por la agregación de la especie para estos fines. En este sentido Yañez *et al.*, (2001) indican que los recursos pelágicos presentan variaciones espaciales intra e interanuales, que se relacionan con procesos biológicos y fluctuaciones ambientales. Este coincide 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.*, (2007); Silva *et al.*, (2003); Oliva *et al.*, (2002), entre otros), los cuales han llegado a conclusiones similares. Se destaca que en este trabajo tanto huevos como larvas exhibieron altas densidades en las 10 primeras millas frente a punta Lobos en los bordes internos de las aguas de 18°C, aunque las larvas también presentaron altas abundancias a la cuadra de Antofagasta (en aguas de 15°C) y frente de Arica (150 mn de la costa en aguas de 19-20°C). Por otro lado, en verano Silva *et al.*, (2003), señalan que la **TSM** promedio del ictioplancton presenta un rango predilecto de 18-20°C, lo que es bastante concordante con lo registrado en el período de primavera.

Al examinar el patrón de distribución de los huevos y larvas se observa que en general, el estadio de huevos, exhibe una cobertura geográfica más estrecha que las larvas, no obstante son más abundantes. A su vez, Oliva *et al.*, (2002) indican que los focos más importantes de huevos de la especie tienden a ubicarse en las primeras millas de la costa en los bordes internos de gradientes térmicos y salinos moderados, lo que coincide con el presente trabajo ya que los gradientes



registrados en las zonas mas abundantes no superan los $0,2^{\circ}\text{C}/\text{mn}$. Por otra parte, las larvas aprovechan la cantidad y calidad de alimentos derivados de los primeros efectos de las surgencias, las cuales se extienden hasta las 30-40 millas de la costa a principios de año (enero-abril) (Barbieri *et al.*, 1995) y hasta las 20-25 millas en invierno.

De manera general, en la zona de estudio se aprecian tres sectores donde se observan registros de huevos y larvas de manera recurrente, el primero esta localizado en las inmediaciones del puerto de Arica; el segundo núcleo se ubica en las proximidades de punta Lobos y es el foco principal en términos espaciales y temporales y que además presenta las mayores densidades de huevos y larvas; y un tercer sector se emplaza frente al puerto de Antofagasta y se caracteriza por su extensión costera. En este sentido, es importante señalar que los tres principales focos de abundancia de huevos y larvas coinciden con las áreas de surgencias más relevantes del norte del país, lo que se debería a que es improbable que en zonas de surgencias se encuentren bajas concentraciones de alimento para no poder satisfacer las necesidades metabólicas de las larvas (Pizarro *et al.*, 1998).

De manera general, se observó que los huevos de la especie mostraron un comportamiento espacial costero en que las mayores agregaciones se centraron en las 20 primeras millas de la costa. Por su parte, las larvas exhibieron una distribución geográfica más extensa especialmente desde el año 2005 en adelante, período en el cual incrementaron fuertemente su repartición geográfica detectándose focos de alta concentraciones que abarcaron desde la costa hasta las 100 millas náuticas, no obstante lo anterior, algunos autores indican que el ictioplancton tienen una mayor cobertura territorial en los meses de otoño e invierno (Braun *et al.*, 2006; Oliva *et al.*, 2002).



Respecto a la temperatura, en general los huevos se ubicaron en las primeras millas, en el borde interno de aguas de 17 y 18°C y en sectores de diferenciales laterales importantes. En este sentido Silva *et al.*, (2003) también relacionan la distribución espacio-temporal de los adultos de la especie con altos valores de gradientes térmicos. En cuanto a las larvas, éstas poseen una repartición geográfica más amplia que abarcó desde la costa hasta las 100 millas náuticas y en sectores de gradientes térmicos moderados. Asimismo, se señala que la distribución espacial del ictioplancton mostró tres sectores principales, el primero está localizado en los alrededores del puerto de Arica y tiene una baja extensión espacial, un segundo núcleo se ubicó en las proximidades de punta Lobos (foco principal) y el tercer núcleo se observó en las cercanías de Antofagasta (sector ribereño). Cabe destacar que Pizarro *et al.*, (1998) plantean que la desembocadura del río Loa en las cercanías de punta Lobos, es un sector de alta producción biológica y mencionan que frente a la desembocadura del río Loa en el norte de Chile, entre los 20°30'S-21°45'S, se han encontrado históricamente concentraciones importantes de huevos y larvas de *Engraulis ringens*.

Por su parte, el patrón de distribución de los centros de gravedad indicó que dichos CG no presentaron un comportamiento territorial muy definido, sin embargo en el caso de los CG de huevos, éstos se posicionaron mayoritariamente en las primeras millas de la costa, no obstante lo anterior, desde el 2006 hasta el 2009 los CG exhibieron ubicaciones más oceánicas a consecuencia de las altas concentraciones que se registraron por sobre las 20 mn de la costa, consolidándose punta Lobos como zona de desove principal. Por otra parte, las larvas presentan CG más oceánicos y exhibieron una distribución geográfica más extensa especialmente desde el año 2005 en adelante, período en el cual incrementaron fuertemente su repartición geográfica detectándose focos de alta concentraciones que abarcaron desde la costa hasta las 100 millas náuticas y que



también se relacionarían con las bajas **TSM** registradas en ese período, cabe señalar que Yañez *et al.*, (1993) al analizar la distribución de anchoveta y sardina en la zona norte también mencionan desplazamientos de las especies cuando la zona de estudio se ve influenciada por eventos ambientales fríos o cálidos.

Al emplear modelos aditivos generalizados quedó en evidencia la relación no lineal entre algunos de los factores de localización y oceanográficos y la presencia y densidad de huevos y larvas de anchoveta en la zona norte del país. Los modelos propuestos son capaces de explicar una fracción de la variabilidad en los datos, vale decir existe una ganancia substancial de los modelos que incorporan las covariables latitud, longitud, salinidad y temperatura superficial del mar frente a uno sin incorporar dichas variables explicatorias.

El efecto de las funciones suavizadas indican que si bien el desove se produce en todo el rango latitudinal analizado, el área norte y centro presentarían condiciones más favorable para la presencia en mayores densidades de huevos y larvas. Lo que si se confirma claramente es que éste es un proceso costero, en efecto longitudes localizadas al este de los 71° W tienen un impacto positivo gradual sobre la presencia y la densidad de huevos y larvas. En cuanto a las condiciones oceanográficas, éstas resultaron ser significativas sólo en el modelamiento de la presencia de huevos o larvas. Temperaturas entre los 16° y 20° C favorecieron la presencia de huevos de anchoveta; en tanto en larvas, los resultados indican que salinidades inferiores a los 34,8 psu ejercen un efecto positivo sobre la presencia de larvas. Asimismo, el análisis integrado de los años, indica que las mayores probabilidades de éxito de encontrar huevos y larvas de anchoveta correspondieron a los últimos tres años, con diferencias no significativas en las densidades de huevos y con una disminución en el último año en las densidades de larva.



El zooplancton presente en la zona norte de Chile se caracteriza por la presencia dominante del grupo Copépoda, quienes constituyen el mayor porcentaje de la dominancia numérica y además son los que siempre se presentan en la totalidad de las estaciones de muestreo, quienes le siguen en términos numéricos han sido también, como ha ocurrido en estudios precedentes en la misma zona de estudio y en similar época del año, los quetognatos, apendicularias, eufáusidos u/o larvas de eufáusidos (Valenzuela, 2007, 2008, 2009), estos grupos por lo general son los que mayoritariamente han aparecido en las muestras planctónicas a lo largo del tiempo. Temporalmente y en términos generales, los grupos más abundantes, como los copépodos además de quetognatos, apendicularias y larvas de eufáusidos, se han presentado con sus mayores concentraciones asociadas al borde costero, particularmente hacia los sectores más ligados al extremo norte, siendo sus agregaciones más recurrentes en las zonas comprendidas entre Arica a caleta Camarones, punta Lobos a caleta Chipana y Mejillones, aunque si bien durante el presente crucero las mayores concentraciones se registraron hacia la zona sur, principalmente entre las latitudes 27° a 30°S, lo que se relacionaría con un alto proceso de afloramiento desde Antofagasta hacia el sur, es precisamente el sector donde el índice de turbulencia es el más alto, predominan fuertes vientos, características que al parecer, no afectan mayormente la distribución de las mayores abundancias de estos grupos en dicha zona, que a diferencia de los demás, presentarían condiciones para adaptarse a estos ambientes menos estables.

De acuerdo a la distribución vertical exhibida por los diferentes grupos zooplanctónicos, la mayoría de ellos registró sus mayores niveles de abundancia entre los dos primeros estratos de profundidad, los eufáusidos a diferencia del resto, exhibieron su mayor densidad en el estrato más profundo (25-50 m). Esto es acorde a lo señalado por Fernández *et al.*, 2002, donde se hace especial



mención a este grupo, que por su tamaño, además de permitir una mayor predación sobre el fitoplancton, tiene una mayor capacidad y ventaja de realizar migraciones verticales y horizontales en pos de evitar ser advectados hacia aguas oceánicas donde el alimento no es tan abundante, subir a superficie en los períodos nocturnos para alimentarse, para migrar hacia aguas mucho más profundas que no presentan cambios ambientales tan drásticos como los que ocurren en aguas más superficiales, en períodos de ocurrencia de eventos “El Niño”, entre otras ventajas.

En general, se observó una menor diversidad de grupos taxonómicos desde puerto Huasco hacia el sur del área de estudio, sector donde un menor número de grupos taxonómicos dominaron por sobre el resto, probablemente, promovidos por efecto de las variables ambientales.

La mayor diversidad y homogeneidad de especies tuvo lugar entre Chañaral y Antofagasta, dentro de las primeras 50 mn, como efecto de una distribución más equitativa de los grupos presentes y no por la presencia de un mayor número de especies (riqueza específica)

La transecta ubicada frente a punta Ballena presentó características especiales, ya que a lo largo de ésta, la estructura de la comunidad presentó características de una comunidad mas cercana a su clímax (valores comparativamente altos de riqueza, diversidad y homogeneidad).

La estructura comunitaria de acuerdo al índice de riqueza de especies de Margalef, indican una similitud con los resultados de estudios similares de años anteriores en similar zona y período del año, con valores afines y coincidentes a las áreas con el menor y mayor número de grupos zooplanctónicos, siendo estas,



respectivamente entre Arica y caleta Camarones y en los alrededores de las latitudes 23°00'S y 23°25'S.

Respecto a la diversidad, temporalmente los valores no difieren mayormente, aunque sí la ubicación de las estaciones de mayor y menor diversidad, aún cuando se registra una paridad entre los años 2009 y 2007, en el sentido de verificarse el menor índice de esta variable a 1 mn frente a Arica.

La comparación de la uniformidad detectada durante los años 2007, 2008 y 2009 es acorde, al ser analizada a través del índice de Sheldon, con similares rangos de valores y donde el mayor porcentaje de las estaciones estuvo bajo 0,5, implicando que en el mayor porcentaje de ellas, al menos un grupo es el que domina.

Los porcentajes de asociación entre pares de especies ha sido bajo en los años 2009 y 2007, verificándose que el valor más alto de asociación se encontró en un 50%, mientras que durante el año 2008 los porcentajes fueron más altos y hubo un alto número de pares de grupos coexistiendo. No se encontraron a través de estos períodos anuales, similitud entre los pares de especies coexistentes.

Existe una zona de transición que se hace más evidente entre las latitudes 25°40'S y 27°40'S, ya que es la zona donde se producen los límites hacia el norte o hacia el sur en la distribución de las mayores abundancias y en la distribución de las mayores frecuencias de ocurrencia de la mayoría de los grupos taxonómicos. Esta situación es acorde a la ocurrencia de varios factores que favorecen y permiten dar mayor estabilidad (o viceversa) al ambiente, para la subsistencia y proliferación de abundancias mayores de organismos zooplanctónicos. En la zona norte, y, hasta Caldera, aún se observa algún grado de participación de agua subtropical (**AST**), la que aporta con mayor salinidad y calidez al área norte, disminuyendo paulatinamente hacia el sur, detectándose en



muy bajo porcentaje hacia la parte austral de Caldera ($27^{\circ}00'S$). Por otro lado, en el área norte, el viento es más débil aunque siempre favorable a la surgencia, haciendo que el ambiente sea más estable, lo que favorece la producción fitoplanctónica, siendo esta mayor que al sur de los $27^{\circ}S$, que es la zona donde se registran mayores vientos y mayor turbulencia. Este fuerte viento mantiene surgencias mucho más amplias y constantes, a pesar de ello hay menor productividad por la inestabilidad del sistema, lo que conlleva a una menor concentración y ocurrencia de organismos zooplanctónicos, todo ello sobrelleva a una menor pesca en esa zona.

En general y particularmente también durante el período del crucero, en primavera, los mayores valores del transporte de Ekman se producen al sur de los $27^{\circ}S$. También en esta zona, producto del viento hay mayor energía que provoca una mayor formación de giros, encontrándose los giros ciclónicos y anticiclónicos más juntos a partir de los $27^{\circ}S$, siendo más intensos que al norte de esta latitud. Tales características provocarían una mayor dispersión y transporte desde la costa hacia la zona oceánica de organismos zooplanctónicos, lo que se traduce en menores agregaciones y menor presencia de grupos menos adaptados a estas condiciones, en esta zona de transición y también hacia el sur de Caldera ($27^{\circ}S$), resultando en una menor disponibilidad de alimento para los zooplancteres herbívoros y a su vez los carnívoros.

El seguimiento satelital, al igual que la información de crucero y estaciones costeras, no evidenció un calentamiento anómalo en la zona sur de Perú o norte de Chile durante octubre de 2009. Por otro lado la serie de tiempo de cloa analizada mostró, respecto de los meses anteriores, un leve descenso en las concentraciones entre el sur de Perú y norte de Chile (17° - $19^{\circ}S$), mientras que hubo incremento de cloa asociado a un núcleo ubicado en la zona de Coquimbo ($\sim 30^{\circ}S$). No obstante lo anterior, los resultados señalan que el periodo invierno-



primavera de 2009 ha presentado mayores concentraciones de cloa respecto de lo observado durante el 2008.

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 estivales y una distribución relativamente más oceánica en el invierno y otoño.

En el presente caso, la distribución espacial de la anchoveta obedece a una condición intermedia entre primavera-verano e invierno, con agregaciones más costeras típicas del periodo estival y algunos registros más oceánicos, que en este caso alcanzaron hasta las 60 mn de la costa y que corresponden a una condición invernal.

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 y ocupando una mayor cobertura espacial en el invierno. A partir del 2005 el jurel ha aumentado su cobertura espacial y un incremento en las concentraciones costeras en primavera y verano. La tendencia señalada se confirmó en el crucero de invierno-primavera del 2008 (MOBIO 0809) con un incremento del límite sur de la distribución geográfica hacia el sur de Caldera. El resultado obtenido en el presente crucero, es insuficiente para confirmar la tendencia señalada y más bien se relaciona con una condición inestable en los patrones de distribución de la especie.

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 (**Tablas 19 y 24**). “El



Niño” 1997-98 indujo una profundización de la anchoveta, detectándose en el invierno y primavera de 1997 en valores promedio de 31,4 m ($\pm 7,96$ m) y 50,8 m ($\pm 7,91$ m), respectivamente, alcanzando el máximo promedio en el verano de 1998 con 58,3 m ($\pm 5,94$ m) y otoño con 51,5 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 profundización 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 el crucero del invierno del 2009, la profundidad promedio de la anchoveta entre Arica y Antofagasta (12,3 m) fue menor al valor promedio histórico para la estación de invierno, sin embargo se encuentra más cercana a la situación promedio de primavera (**Figura 124**), esta situación puede considerarse normal dado que la prospección en ese sector terminó más cercana a la primavera que al 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 (**Tablas 19 y 24**). Sin embargo, los límites superiores del rango son mayores en primavera (7 a 144 m) y verano (6,5 y 59,5 m), mientras que en otoño (5 a 48,5 m) e invierno (5 a 40,5 m) se verifican rangos más estrechos.

“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 el presente caso (2009), se aprecia que el promedio se encuentra dentro de los rangos históricos en los inviernos “normales” del período 1996-2007, aunque en este año, al igual que en el 2008, se verifica un aumento del límite superior de la variable (**Figura 124**), asemejándose a la situación de primavera.

Las temperaturas promedio de anchoveta, en períodos normales, presentan una leve estacionalidad, siendo menores en invierno, con un promedio de 15,2°C ($\pm 1,42^\circ\text{C}$) (**Tablas 19 y 24**) con rangos entre 13,0 y 18,2°C. Mientras que en verano, otoño y primavera los promedios fueron 16,8 ($\pm 3,02^\circ\text{C}$), 16,2 ($\pm 2,49^\circ\text{C}$) y 16,1°C ($\pm 0,27^\circ\text{C}$), 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°C en verano (17,7°C) y 0,46°C en el otoño (15,7°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°C ($\pm 2,71^\circ\text{C}$) y a partir del 2002 en que el promedio fue de 15,1°C ($\pm 1,57^\circ\text{C}$) (**Tabla 24**).

La temperatura promedio en la zona donde se distribuyó la anchoveta fue de 15,8° C concuerda con los valores históricos del período considerado “normal” previo al 2006 (**Figura 124**), siendo levemente mayor al registrado el 2007 (MOBIO 0709) (14,7°C) y comparable a los 15,1°C registrados en el 2008 (MOBIO 0810).



En el presente caso, la temperatura promedio de la distribuci3n del jurel ($14,5^{\circ}\text{C}$) es comparable a los $14,7^{\circ}\text{C}$ registrados en el 2007 (MOBIO 0709) y similares a los obtenidos en la serie hist3rica de invierno (**Figura 124**).

Las salinidades promedio t3picas en que se distribuye la anchoveta son bastante similares entre las distintas estaciones, variando dentro de la desviaci3n est3ndar, d3ndose las mayores diferencias en el invierno ($34,808 \pm 0,17$ psu) respecto a las otras estaciones, diferencia que es m3xima con el verano ($34,700 \pm 0,23$ psu) y que es solamente de $0,108$ 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 (**Tablas 19 y 24**). Los datos at3picos, 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 m3ximo de $35,2$ psu en la primavera de 1997. Los rangos son levemente m3s estrechos en el invierno, que con las excepciones ya indicadas, se ubican entre $34,3$ y $35,2$ psu, mientras que en los per3odos 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.

Al contrario de lo observado en los veranos, en que se verifica un aumento en las salinidades promedio, en los inviernos se ha registrado una tendencia negativa desde el 2005 (**Figura 124**) con cambios interanuales someros, pero sostenidos. En el presente caso (invierno 2009), la salinidad es similar al promedio hist3rico señalado para esta estaci3n (Castillo *et al.*, 1996).



Las salinidades 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. El análisis histórico de las salinidades en invierno, permiten detectar (**Figura 124**) que entre el 2003 y 2006, los promedio variaron entre 34,8 y 34,88 psu, con una notable reducción a 34,658 en 2007. El valor obtenido en el presente caso (34,57 psu) es menor a los promedios históricos registrados en los inviernos, verano y primavera, asemejándose al promedio de otoño.

En el modelamiento gaussiano fueron seleccionadas un total de 6 variables significativas en la explicación de la densidad de anchoveta, las cuales se dividen entre espaciales y oceanográficas. Los predictores latitud en conjunto al oxígeno son los predictores que mayormente explican la distribución de la densidad de anchoveta con un nivel de explicación del 8,4% y 12,4%, respectivamente.

La importancia relativa de las variables fue medida con la magnitud de la influencia del término sobre la respuesta evaluada. La latitud y el oxígeno presentan el mayor efecto sobre la densidad de anchoveta con un rango loess entre $\approx 1,4-1,6$, las restantes variables presentan efectos muy similares que fluctúan entre $\approx 0,4-0,5$. En general, la influencia revelada por las variables en el modelo se podría clasificar como un efecto relativo bajo, el cual se vincula y coincide con el nivel de aporte otorgado por cada variable a la varianza total, el que se refleja a través de pseudo coeficiente de determinación. En este sentido el aporte individual de las variables no presenta grandes diferencias entre sí, mas aun la variable latitud dobla en porcentaje de explicación al resto, no obstante se encasilla en un nivel de contribución bajo, menor al 10%, y en suma se tiene un porcentaje total para el modelo de un 21% de explicación de la variabilidad total, por lo que queda



pendiente un 89% de variabilidad que podría estar comandado por otros factores que no fueron evaluados en este proceso.

El análisis basado en la modelación de la probabilidad de ausencia-presencia de los recursos frente a determinadas características ambientales y de tipo geográfico, revela que los recursos están principalmente bien asociados a componentes espaciales mas que a características físico-químicas del medio.

La evolución histórica interestacional de los índices de cobertura (**IC**) de anchoveta en el período 1996-2004, presenta tres etapas (**Figura 122**):

- 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.

Los valores de IC de anchoveta históricamente más altos se han registrado en los períodos de primavera-verano con valores promedio de 14,9% para el verano y 13,4% para la primavera, mientras que en otoño los promedios han sido de 12% y en invierno de 10,9%. El otoño de 1998 (MOBIO9803) se presenta la excepción a lo anterior, puesto que se registró el IC más alto de la serie con un valor cercano a 49%, y en la primavera del mismo año (MOBIO9812) con el 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 producidas por 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). Destacan también por sus altos valores de IC el invierno del 2004 (MOBIO0408) y el verano del 2006 (MOBIO0602) con valores de 25,7% y 36,7% respectivamente (**Figura 123**).

El IC de anchoveta en la zona Arica- Antofagasta, registrado en el presente crucero corresponde al más alto de los inviernos desde 2006, con incrementos del 50,8%; 16,7% y 37,9% respecto a las mismas estaciones de los años 2006, 2007 y 2008, respectivamente (**Figura 122**)

Los IC de jurel en el período 1996-2008 presentan dos etapas (**Figura 122**):

- 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 II) 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%.



El IC del jurel presente en el crucero (1,45%) representa uno de los valores más bajos de la serie, con reducciones de 45,6% y 51,5% respecto a los inviernos de 2008 y 2007, siendo inferior al promedio de invierno (4,6%) (**Figuras 122 y 123**).

Los índices de densidad (ID) de anchoveta presentan cuatro períodos (**Figura 123**):

- 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 mn⁻².
- 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 mn⁻² y 662,6 t mn⁻² con un mínimo en la primavera del 2000 (MOBIO 0009) en que se registró un ID de 66,7 t mn⁻². En este periodo el ID alcanzó a 315 t mn⁻².
- Entre el invierno del 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 mn⁻² y 230 t mn⁻². El promedio del ID en este periodo alcanzó a 183,3 t mn⁻².
- 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 mn⁻² en el otoño del 2004 y con la excepción de la situación registrada en el otoño del 2003 (MOBIO 0305) se puede distinguir un período de crecimiento en el ID. El ID promedio en este periodo alcanzó a 257,3 t mn⁻². A partir del invierno del 2006 (MOBIO 0609) se verifica un crecimiento constante



y sostenido en el ID, llegando a un máximo de 478,6 t mn⁻² en el verano del 2007 y 214,7 t mn⁻² en el invierno del 2007.

El Índice de Densidad de anchoveta muestra uno de los valores mas altos de la serie histórica de los inviernos, sólo superado por el registrado en 2008 (473,1 t mn⁻²). Los ID promedio por estación indican que en invierno se presenta el valor más bajo (213 t mn⁻²), mientras que el más alto se registra en el otoño con 282,1 t mn⁻², en verano y primavera los ID promedio son similares fluctuando entre 227,6 t mn⁻² (verano) y 229,1 t mn⁻² (primavera) (**Figura 123**). El ID registrado durante el invierno del 2009 (333,29 t mn⁻²) también constituye uno de los más altos de la serie histórica, siendo solamente superado por los inviernos del 2008 y verano del 2007 (478,6 t mn⁻²).

El ID de jurel registrado desde 1996, presenta cuatro etapas (**Figura 123**):

- 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 mn⁻².
- 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 mn⁻². 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 mn⁻². El promedio en este periodo alcanzó a 111,2 t mn⁻².
- 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 mn⁻² y un promedio de 175,9 t mn⁻².



- 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 mn⁻² en el invierno del 2004 (MOBIO 0408). El promedio en este periodo alcanzó a 26,6 t mn⁻².

Finalmente a partir de la primavera del 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*mn⁻² en el verano, con un promedio de 337,8 t mn⁻², constituye el más alto de las etapas identificadas en la serie (**Figura 123**). Sin embargo a partir de aquel máximo histórico se verifica una reducción en los ID de los inviernos del 2007 (121,6 t*mn⁻²) y en 2008 (44,1 t*mn⁻²), valor que corresponde a uno de los menores de la serie, comparable a los obtenidos entre el 2004 y 2006 (**Figura 122**).

El ID del jurel (172,6 t*mn⁻²) registrado en el presente crucero representa una recuperación respecto a la misma estación del 2008 y constituye uno de los valores más altos de la serie de los inviernos desde el 2001 (**Figura 122**) y de la serie histórica para todas las estaciones (**Figura 123**), siendo superado solamente por los valores registrados en otoño del 2007 (MOBIO 0703) y otoño e invierno del 2004 (MOBIO 0403 y 0406).

Al comparar el presente ID (172,66 t*mn⁻²) con los promedios por estación, también se verifican importantes incrementos, puesto que los mayores ID promedio de jurel se presentan en primavera (123,9 t*mn⁻²) y verano (124,5 t mn⁻²), mientras que en otoño e invierno estos índices han sido de 109 t*mn⁻² y 109,8 t mn⁻², respectivamente.



El análisis conjunto de ambos indicadores señala que a partir de la primavera del 2006 (MOBIO 0612) hasta el verano de 2007, la anchoveta y el jurel presentan un incremento en su comportamiento gregario, reduciendo su espacio ocupado mientras que aumenta la densidad de sus agregaciones.

Desde la perspectiva de la modelación estadística, la inclusión de variables explicativas que están fuertemente correlacionadas, como es el caso para las variables latitud y longitud para ciertos stocks de peces que son relativamente residentes a ciertas áreas específicas donde ocurre la pesca, puede generar un problema de colinealidad, haciendo que este proceso sea numéricamente inestable o generar algunos problemas de sobre ajuste (Maunder & Punt, 2004). Para pequeños peces pelágicos residentes a ciertas áreas, podría ser razonable asumir que solo una parte del stock puede estar sujeto a la mortalidad por la pesca (Booth, 2000), dando lugar a no incorporar la componente espacial en los análisis. Otro problema recurrente en pesquerías residentes es el concepto de depleción, cuando la abundancia relativa permanece constante sobre el tiempo y la verdadera declinación de la abundancia real no es observada producto de ignorar el área que es ocupada por el stock (Bishop, 2006).

Haciendo uso de información histórica de captura y esfuerzo pesquero, biomasa hidroacústica, de huevos y larvas de anchoveta y de un conjunto amplio de variables ambientales provenientes de varias fuentes de datos, Yáñez *et al.* (2003) concluyen que la anchoveta se distribuye dentro de las primeras 20 millas náuticas, siendo esta área más amplia entre Iquique y el río Loa. Por medio del análisis de componentes principales sobre los registros históricos de captura y esfuerzo de anchoveta, ellos encontraron que el primer modo de variabilidad tomó en cuenta el 70% de la varianza, y su componente espacial reveló un área significativa entre la costa y las 60 millas náuticas frente Arica, hasta las 30 millas



náuticas en Tocopilla y disminuye hacia el sur. Además, observaron un marcado gradiente perpendicular a la costa, disminuyendo hacia el oeste, identificando tres principales áreas donde se registra la mayor cantidad de cuadrículas de pesca visitadas por la flota cerquera industrial en la zona norte de Chile. Por otra parte, Böhm *et al.* (2010) observaron la distribución espacio temporal de la flota cerquera industrial en el período 2005-2009, destacando que en el año 2009 el 80% de las capturas se realizaron en las primeras 20 millas náuticas, comportamiento similar al observado en el año 2006. En cambio, durante el año 2008, las capturas se concentraron aun más cerca de la costa, en las primeras 15 millas náuticas de la costa.

Según los antecedentes anteriormente expuestos, las variaciones espaciales de la componente longitudinal para datos de captura y esfuerzo pesquero de anchoveta en la zona norte de Chile no requerirían de análisis, no así la componente latitudinal como fue estudiado en el Proyecto FIP N° 2009-33. La gran mayoría de los estudios que se han desarrollado sobre el análisis de datos históricos financiados a través de concursos públicos como por el Fondo Investigación Pesquera y los estudios de Investigación de la Situación Pesquería Zona Norte de Chile desarrollados por el IFOP han mostrado que la distribución longitudinal de la anchoveta no llegaría mas allá de las primeras 20 millas de la costa, distribuyéndose dentro de una estrecha banda costera. Sin desmerecer, que una buena aproximación para el estudio de la distribución espacio temporal para la anchoveta sería conducir los estudios a las principales áreas definidas para la zona norte de Chile según lo planteado por Yáñez *et al.* (2003).

Finalmente, se entiende que son las variaciones espacio-tiempo de las variables ambientales las que tienen que ser asociadas de alguna manera con la actividad de la pesca y no se entiende que son las variaciones espacio-temporales de la actividad de la pesca las que deben ser relacionadas con la variabilidad del



ambiente. Bajo el esquema de interpretación propuesto por el evaluador, dicho análisis tendría la envergadura de un proyecto de investigación individual como el que fue desarrollado por Yáñez *et al.* (2003), y no dentro un objetivo de un proyecto de investigación que tiene por finalidad el monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la zona norte de Chile.



IX. CONCLUSIONES

En el sistema ecuatorial se desarrolló un evento calido “El Niño” entre junio de 2009 y mayo de 2010.

Durante octubre de 2009 la distribución superficial de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto muestra una banda costera de surgencia prácticamente en toda la zona que en general fue de intensidad moderada a débil. El proceso de surgencia fue comparativamente más activo al sur de Huasco y alrededor de bahía de Coquimbo.

Los procesos de surgencia fueron consistentes con las características del viento. A pesar de haber bajas intensidades de viento en la mitad norte de la zona hubo procesos de afloramiento que afectaron la distribución de las variables en superficie y en la vertical.

Las anomalías de temperatura y salinidad para la zona de estudio, señalan para el mes del crucero una condición de normalidad, e incluso ligeramente fría y de baja salinidad al sur de Antofagasta, lo cual descarta la influencia de un evento regional cálido en la zona.

Entre la costa y las 50 mn frente a Arica, es la única área que registró anomalías positivas significativas en temperatura y salinidad, asociadas a una entrada de agua Subtropical.

La distribución de distintas variables en superficie y en la columna de agua estuvo afectada directamente por la circulación, la cual tiene un predominio de circulación del tipo ciclónica que favoreció las corrientes hacia el sur en el eje de los 72°O.



La distribución de altas concentraciones de clorofila durante el crucero es consistente con el activo proceso de surgencia desde Antofagasta al sur. Al norte de Antofagasta, las concentraciones de cloa son también altas pero decaen rápidamente hacia fuera de la costa.

La distribución costera de cloa, en un sentido temporal, mostró entre los 17° y 19°S un leve descenso en las concentraciones respecto de los meses anteriores. Sin embargo, estos son aun valores altos de concentración, especialmente alrededor de bahía de Coquimbo.

Durante el trimestre enero-marzo de 2010 se registraron menores concentraciones de clorofila entre los 18° y 24°S como consecuencia de la condición cálida. Los niveles de concentración de cloa al sur de los 24° sur se presentan en general como normales pero levemente mayores entre los 27° y 30°S en el mes de febrero de 2010.

El área costera de Arica registró una condición cálida entre octubre de 2009 y junio de 2010, con un pico de intensidad en enero-febrero y siendo ésta la de mayor intensidad de las tres localidades fijas.

El área costera de Iquique registró una condición cálida entre diciembre de 2009 y junio, 2010 con un pico en febrero-marzo, alcanzando ésta una intensidad intermedia de las tres localidades fijas.

El área costera de Mejillones tuvo una condición cálida entre marzo y mayo de 2010 con un pico en marzo-abril, con la más baja intensidad de las tres localidades fijas.



La condición cálida observada entre Arica y los 24°S durante el verano 2010 fue la más intensa ocurrida en la zona después de “El Niño” 1997-98.

Es necesario contar con una climatología para el área 25°S a 32°S, o por lo menos con información de promedios históricos del mes en que se realizan los cruceros MOBIO para determinar la condición de normalidad de mejor forma y el efecto de los procesos físicos en ella. Así también sería de utilidad contar con una serie de tiempo de datos costeros en Caldera y Coquimbo.

Las concentraciones de los nutrientes fueron concordantes con información previamente obtenida en la zona.

La distribución vertical reveló la presencia del típico gradiente caracterizado por el aumento de los valores con la profundidad.

La distribución horizontal exhibió diferencias latitudinales que pueden asociarse a los procesos de surgencia y a la presencia de la OMZ en el norte del área de estudio, y a las características de la componente autotrófica en el sector sur.

En octubre de 2009, destacan tres sectores donde se observaron registros de huevos y larvas de manera recurrente. El primero, localizado en las inmediaciones del puerto de Arica; el segundo núcleo se ubicó en las proximidades de punta Lobos, siendo este el foco principal en términos espaciales y temporales y que además presenta las mayores densidades de huevos y larvas; y un tercer sector se emplaza frente al puerto de Antofagasta y se caracteriza por su extensión costera.

Los principales focos de abundancia de huevos y larvas coinciden con las áreas de surgencias más relevantes del norte del país.



Con respecto al número de huevos y larvas y para la zona Arica - Antofagasta, la presente prospección presentó con respecto al crucero precedente porcentajes de cambio negativos iguales a 49,8% y 67,4% para las respectivas fases de desarrollo, constituyéndose en el cuarto y quinto registro más importante en cuanto al número de huevos y larvas cuantificados de los últimos 27 años.

De manera general, los huevos se ubicaron en el margen interno de aguas de 17 y 18°C y en sectores de diferenciales térmicos importantes y que se corresponde con la franja de aguas frías que recorre la costa. Por su parte, las larvas mayoritariamente se presentaron en aguas de 16-19°C (a excepción de 1997 y 2002) y en sectores de gradientes térmicos moderados.

La distribución geográfica del ictioplancton mostró tres sectores principales, el primero localizado en los alrededores de Arica, el segundo se ubicó en las proximidades de punta Lobos (foco principal) y el tercer foco se situó en las cercanías de Antofagasta. Respecto a los huevos, éstos se ubicaron preferentemente en sectores costeros en las primeras 20 millas, que se refleja con CG localizados mayoritariamente en las primeras millas de la costa. Por su parte, las larvas presentaron una repartición espacial más extensa especialmente desde el año 2005 en adelante.

El históricamente alto valor del IC de anchoveta indica una expansión del área de distribución respecto a los inviernos desde 2006, cambiando la tendencia registrada hasta el 2008. Junto a esta mayor área ocupada, se verifica altas densidades, solo superado por el invierno del 2008.

El jurel acrecentó la tendencia a ocupar menor área, reduciéndose el IC, pero incrementando su comportamiento gregario, detectándose un aumento importante en los Índices de Densidad.



La especie más abundante en toda la zona de estudio (Arica a Pichidangui) fue el pez linterna con un 60,3% de la densidad acústica total; la anchoveta con un 32,1%; el jurel con un 6,4%; y la jibia con un 0,3%.

La anchoveta en invierno, se distribuyó principalmente entre Arica y Antofagasta donde presentó una cobertura espacial asociada a las primeras 20 mn de costa. Solamente frente a Arica se observaron algunos registros de anchoveta mas oceánicos, que llegaron hasta las 60 mn de costa. La profundidad promedio de la anchoveta fue de 12,3 m, asociado a una temperatura promedio de 15,8° C. La salinidad promedio en que se distribuyó la anchoveta fue 34,83 psu valor comparable al promedio histórico en los inviernos.

El jurel, se registró en bajas densidades a lo largo de toda la zona de estudio hasta las 100 mn de la costa, con escasos sectores de mayor densidad en las primeras 5 mn de costa. La distribución vertical promedio fue de 25,4 m, las temperaturas promedio asociadas a la distribución del recurso fue de 14,1° C. La salinidad promedio fue de 34,57 psu.

La densidad acústica de anchoveta es explicado en orden de significancia por las variables latitud, oxígeno, distancia a la costa, gradiente térmico, gradientes de oxígeno y salinidad. El modelo GAM con un total de 6 predictores, tanto espaciales como oceanográficos, explica el 21% de la variabilidad total de anchoveta. El mayor nivel de explicación al modelo ajustado es entregado por la variable latitud.



X. BASE DE DATOS

La estructura de las bases de datos, con toda la informaci3n b3sica que se obtuvo durante la ejecuci3n del crucero correspondiente al proyecto FIP 2009 – 38, “Monitoreo de condiciones bio-oceanogr3ficas entre la I y IV Regiones, a3o 2009” 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 el crucero se encuentran en el siguiente archivo: **Ocean.dbf**, cuyo formato de grabaci3n (Formulario de codificaci3n), corresponde a una modificaci3n del formato **NODC**. El formato **IFOP** est3 compuesto por un registro de identificaci3n y varios registros de informaci3n:

a) Registro de identificaci3n

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



estaci3n	33	A 3
prof.ecosonda	36	E 4
m3xima profundidad	40	E 2
n3 observaciones	42	E 2
trans. Secchi	44	E 2
direcci3n olas	46	E 2
altura olas	48	E 1
per3odo olas	49	E 1
direcci3n viento	50	E 2
velocidad viento	52	E 2
presi3n barom3trica	54	R 3.1
Temp. Aire seco(3C)	57	R 3.1
Temp. Aire h3medo (3C)	60	R 3.1
tiempo	63	E 2
tipo nubes	65	E 1
cant. Nubes	66	E 1
visibilidad	67	E 1
latitud n-s	68	A 1
longitud w-e	69	A 1
tipo de datos	76	A 1
control	80	E 1

b) Registros de datos

identificaci3n	1	35 (Repetici3n)
profundidad (m)	36	E 4
temperatura (3C)	40	R 4.2
salinidad	44	R 5.3
ox3geno (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

El campo de profundidad (sonda) se deja vacío para profundidad no determinada.

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

ALTURA DE LA OLA DOMINANTE			
CODIGO	Altura en metros		
X	X	altura no determinada	
0	0	a	0.25 m
1	0.25	a	0.75 m
2	0.75	a	1.25 m
3	1.25	a	1.75 m
4	1.75	a	2.25 m
5	2.25	a	2.75 m
6	2.75	a	3.25 m
7	3.25	a	3.75 m
8	3.75	a	4.25 m
9	> 4.25		m

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

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

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

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

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



2. Clorofila

La información de clorofila de las estaciones bio-oceanográficas obtenida durante la realización del crucero MOBIO realizado en octubre de 2009, se almacenó en el archivo cloa.dbf, cuyo formato de grabación se detalla a continuación:

Columna	Tipo de información
1	Crucero
2	Estación
3	Profundidad
4	Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)
5	Feopigmentos ($\mu\text{g/L}$)

3. Nutrientes

La información de nutrientes de las estaciones bio-oceanográficas obtenida durante la realización del crucero MOBIO realizado en octubre de 2009, se almacenó en el archivo nutrientes.dbf, cuyo formato de grabación se detalla a continuación:

Columna	Tipo de información
1	Longitud decimales
2	Latitud decimales
3	Estación
4	Distancia costa (mn)
5	Concentración de amonio (μM)
6	Concentración de nitrito (μM)
7	Concentración de nitrato (μM)
8	Concentración de fosfato (μM)
9	Concentración de silicato (μM)



4. Huevos y larvas de peces

La información de huevos y larvas de cada una de las estaciones bio-oceanográficas obtenida durante la realización del crucero MOBIO realizado en octubre de 2009, se almacenó en el archivo Huevos.dbf, cuyo formato de grabación se detalla a continuación:

Columna	Tipo de información
1	Código estación
2	Fecha
3	Hora estación
4	Distancia costa (mn)
5	Longitud decimales
6	Latitud decimales
7	Huevos de sardina
8	Huevos de anchoveta
9	Huevos de Jurel
10	Huevos de caballa
11	Huevos de otras especies
12	Total de huevos
13	Larvas de sardina
14	Larvas de anchoveta
15	Larvas de jurel
16	Larvas de caballa
17	Larvas de otras especies
18	Total de larvas
19	Biomasa zooplanctónica

5. Datos de zooplancton y biomasa zooplanctónica del crucero.

La información de zooplancton y biomasa de los muestreos integrados y estratificados, contenidos en la grilla de estaciones bio-oceanográficas del período octubre de 2009, se entrega en los siguientes archivos:



Muestreo integrado.dbf

Columna	Tipo de información
1	estación
2	distancia a la costa
3	hora
4	período de muestreo
5	latitud (decimales)
6	longitud (decimales)
7	copépodos
8	eufáusidos
9	larvas eufáusidos
10	ostrácodos
11	cladóceros
12	larvas Decápodos
13	anfípodos
14	estomatópodos
15	medusas
16	sifonóforos
17	ctenóforos
18	isópodos
19	quetognatos
20	poliquetos
21	pterópodos
22	Salpas
23	doliólidos
24	larvas Cypris
25	heterópodos
26	apendicularias
27	foraminíferos
28	radiolarios
29	larvas cifonautas
30	larvas equinodermos
31	nauplis
32	biomasa zooplanctónica
33	Índice de diversidad de Shanon y WeaverAB
34	Índice de diversidad de Hill
35	Índice de uniformidad de Pielou
36	Índice de uniformidad de Sheldon
37	Dominancia
38	Riqueza



Muestreo estratificado.dbf

Columna	Tipo de informaci3n
1	estaci3n
2	estrato
3	hora
4	cop3podos
5	euf3usidos
6	larvas eufausidos
7	ostr3codos
8	clad3ceros
9	larvas dec3podos
10	anf3podos
11	estomat3podos
12	medusas
13	sifon3foros
14	cten3foros
15	is3podos
16	quetognatos
17	poliquetos
18	pter3podos
19	salpas
20	doli3lidos
21	larvas cypris
22	heteropodos
23	apendicularias
24	foraminiferos
25	radiolarios
26	larvas cifonautas
27	larvas equinodermos
28	nauplis
29	biomasa



6. Estaciones Fijas

La informaci3n oceanogr3fica de las estaciones fijas se entrega en el archivo Fijas Ocean.dbf, cuyo formato de grabaci3n se detalla a continuaci3n:

Columna	Tipo de informaci3n
1	Estaci3n
2	A3o
3	Mesa
4	D3a
5	Profundidad
6	Temperatura
7	Salinidad
8	Huevos de anchoveta
9	Ox3geno
10	Cloa

La informaci3n oceanogr3fica de las estaciones fijas se entrega en el archivo Ictio Estratos.dbf, cuyo formato de grabaci3n se detalla a continuaci3n:

Columna	Tipo de informaci3n
1	Estaci3n
2	A3o
3	Mes
4	Huevos de anchoveta entre 10-25 metros
5	Huevos de anchoveta entre 25-50 metros
6	Huevos de anchoveta entre 0-10 metros
7	Larvas de anchoveta entre 0-10 metros
8	Larvas de anchoveta entre 10-25 metros
9	Larvas de anchoveta entre 25-50 metros



7. 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 UBM 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:

Columna	Tipo de informaci3n
1	UBM
2	Especie (ver 1)
3	Ecosonda (1=38 khz)
4	Tipo de agregaci3n (ver 2)
5	Profundidad superior (m)
6	Profundidad inferior (m)
7	Lectura acústica

(1) C3digos de especie

Sardina española	C3digo de especie	=	1
Jurel	C3digo de especie	=	2
Anchoveta	C3digo de especie	=	3
Caballa	C3digo de especie	=	4
Otras	C3digo de especie	=	5



(2) C3digos del tipo de agregaci3n

Cardumen	=	1
Agregaci3n (estrato)	=	2
Individual (aislado)	=	3

Los archivos POSIC-XX.DAT contienen la informaci3n del n3mero de la UBM, hora, latitud y longitud.

Los archivos POSIC-XX.DAT est3n estructurados seg3n:

Columna	Tipo de informaci3n
1 (primera fila)	UBM
2 (primera fila)	N3mero UBM
1 (segunda fila)	GL
2 (segunda fila)	Hora (HHMMSS)m
3	Latitud (GGMM.mm)
4	S (sur)
5	longitud (GGGMM.mm)
6	W (weste)



XI. 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.

Arcos, D. F. 1975. Copépodos Calanoídeos de la Bahía de Concepción, Chile. Conocimiento sistemático y variación estacional. *Gayana Zool.* 32:1-31.

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 modelling for the annual egg production method of stock assessment using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 2608-2621.

Bakun, A. 1973. Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America, 1946 – 1971. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 671, 103 pp.



- Bakun, A. 1975.** Daily and weekly upwelling indices, West Coast of North America, 1967 – 1973. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 693, 113 pp.
- Bakun A. and R. Parrish. 1982.** Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current System. CalCOFI. Rep., Vol XXIII, 99-112.
- Bakun, A. 1987.** Monthly variability in the ocean habitat off Perú as deduced from maritime observations, 1953 to 1984. In: The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes. D. Pauly & I. Tsukayama (Eds.) ICLARM Studies and Reviews 15: 46-74.
- Bakun, A. 2006.** Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Scientia Marina*. 70 (S2): 105-122.
- Balbontín, F. y 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. & W.O. Smith. 1981.** The role of Circulation, Sinking, and Vertical Migration in physical sorting of Phytoplankton in the Upwelling Center alt 15°S. In: Coastal Upwelling, F. Richards (ed.), Amer. Geophys. Union. Washington, 366-371.



Barber R.T. y E. P. Chavez. 1983. Biological consequences of El Niño. *Science* 22: 1203-1210.

Barbieri, M., M. Bravo, M. Farías, A. González, O. Pizarro y E. Yáñez. 1995. Fenómenos asociados a la estructura térmica superficial del mar observados a través de imágenes satelitales en la zona norte de Chile. *Invest. Mar.*, Valparaíso, 23:99-122.

Barnes, R.D. 1986. *Zoología de los Invertebrados.* Cuarta Edición Editorial Interamericana. México.

Bishop, J. 2006. Standardizing fishery-dependent catch and effort data in complex fisheries with technology change. *Rev. Fish. Biol. Fisheries*, 16: 21-38.

Booth, A.J. 2000. Incorporating the spatial component of fisheries data into stock assessment models. *ICES Journal of Marine Science*, 57: 858-865.

Bodenheimer, F. 1955. *Précis d'écologie animales.* Payot, París

Boltovskoy, 1981. *Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino.* Publicación especial del INIDEP. Mar del Plata, Argentina.

Blanco, J.L. 1996. Variabilidad térmica y salina en la zona norte de Chile, Informe Interno para IFOP.



Blanco, J. L. A. C. Thomas, M. E. Carr y P. T Strub. 2001. Seasonal climatology of hydrographics conditions in the upwelling region off northern Chile. 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.

Bohm, G. y R. Aravena. 2010. Biológico Pesquero. EN: Informe Final Programa Seguimiento del Estado de Situación de las Principales Pesquerías Nacionales. Investigación Situación Pesquerías Zona Norte, 2009. SUBPESCA. Junio 2010.

Böhm, G., R. Aravena, E. Diaz, L. Cortez, L. Ossa, H. Padilla, F. Cerna, V. Bocio, C. Machuca, L. Muñoz, H. Reyes, F. Espíndola, M. Troncoso & Z. Young . 2010. Investigación situación pesquería zona norte, 2009. Informe Final SUBPESCA, 231 pp + Anexos.

Bougis, P.1974. Ecologie du plancton marin. II. Le zooplancton. 200 p.

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., 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., V. Valenzuela, H. Reyes, J. Castillo, M. Pizarro y V. Catasti. 2006. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en la I y II Regiones, año 2004. Informe Final FIP N° 2004-01. Instituto de Fomento Pesquero.

Braun, M., H. Reyes, V. Valenzuela, J. Castillo, J. Letelier, M. Pizarro, V. Catasti, J. Saavedra y F. Espíndola. 2007. Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas entre la I y IV Regiones, año 2006. Informe Final. FIP 2006-01. Fondo de Investigación Pesquera, Valparaíso, pp. 327.

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.

Canfield, D.E. 2006. Models of oxic respiration, denitrification and sulfate reduction in zones of coastal upwelling. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 70. 5753–5765.

Cañón, J. R. 1986. Variabilidad ambiental en relación con la pesquería pelágica de la zona norte de Chile. In: “La pesca en Chile”, P. Arana (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, UCV, Valparaíso:195 – 205.



- Carpenter, J.H. 1965.** The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. And Oceanogr.*, 10:141-143.
- Castillo, J. y O. Guzmán. 1985.** Variaciones de la distribución espacial de la sardina española y jurel durante El Niño 1982-83. *Inv. Pes. (Chile)*, 32: 79-93.
- Castillo, J., M. A. Barbieri y A. González. 1995a.** Relationships between sea surface temperatura, salinity and the pelagic fish distribution off northen 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.** Evaluación 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.A. Barbieri and J. Gonzalez. 1996.** Relationship between sea surface temperature, salinity and pelagic fish distribution off northern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 53:139-146.
- Castillo, J., J. Córdova, A. Saavedra, M. Espejo, P. Gálvez, M.A. Barbieri, J. Osses, H. Reyes, G. Arriagada, P. Barría, R. Gili, E. Oliva y C. Brieba, C. 2001.** Evaluación 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, F.P., P.G. Strutton & M.J. 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., P. B. Ortner, S.R. Cummings and L.R. Settle. 1997.** A continuous underway fish egg sampler. *Fish. Oceanogr.* 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.
- Cochran, W.G. 1977.** Técnicas de Muestreo. Com. Ed. Cont. S.A. México 22, D.F. 263 pp.
- 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.
- Dobson, A. 2002.** An Introduction to generalized linear models. 2nd Edition. Chapman and Hall, London.



- Ducet, N., P.y. Le Traon and G. Reverdin. 2000.** Global high-resolution mapping of ocean circulation from TOPEX/Poseidon and ERS-1 and ERS-2. J. Geophys. Res., 105, 19477 – 19498.
- 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.
- 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.
- Farías, L., A. Paulmier and M. Gallegos. 2007.** Nitrous oxide and N-nutrient cycling in the oxygen minimum zone off northern Chile. Deep-Sea Res. I, 54: 164-180.
- Fernández, D., R. Escribano y P. Hidalgo. 2002.** Distribución de eufáusidos en el sistema de surgencia frente a la península de Mejillones (23°) asociada a condiciones previas y durante El Niño 1997-98. Inv. Mar., Valparaíso, 30(1) :25-43.
- Fischer, W.1958.** Huevos, crías y primeras prelarvas de la "anchoveta"(*Engraulis ringens*) Jenyns.Rev.Biol.8(1,2 y 3):111-124.
- 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.



- Frontier, S.1980.** Métodos de análisis rápido en muestras planctónicas. Acta Oceanog.. Pacífico, 1(1): 137 – 145.66. Zooplancton de la región de Nosy-Bé I) Programa des recortes et techniques d'etude. II) Plancton de surface aux stations 5 et 10. Cah Orstom (océanogr.), 4(3):3-37.
- Frontier, S. 1966.** Zooplancton de la región de Nosy-Bé I (Programa des recortes et techniques d'etude. II). Plancton de surface aux stations 5 et 10. Cah Orstom (océanogr.), 4(3):3-37.
- 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.
- Grasshoff, K., K. Kremling and M. Ehrhardt. 1999.** Methods of Seawater Analysis. 3rd edition. Wiley-VCH, Germany, 600 pp.
- Griffiths, F. B., G. H. Brown, D. D. Ried y R. R. Parker. 1984.** Estimation of sample zooplankton abundance from Folsom splitter sub-samples. *J.Plank. Res.*, 6(5) : 721-731.
- 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
- 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.



Hastie, T. J. and Tibshirani, R.J. 1990. Generalized Additive Models, Chapman & Hall, London.

Holmes, R.M., A. Aminot, R. K erouel, B.A. Hooker & B. Peterson. 1999. A simple and precise method for measuring ammonium in marine and freshwater ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 56:1801-1808.

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

Hormaz bal S., S. N nuez, 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.

Hutchings L., G. Pitcher, T. Probyn and G. Bailey 1995. The chemical and biological consequences of coastal upwelling. In: CP Summerhayes, KC Emers, MV Angel, RL Smith y B

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.

Jaksic, F. 2001. Ecología de comunidades. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.



- Jeffrey, S. W., R. F. C. Mantoura y S. W. Wright. 1997.** Phytoplankton pigments in oceanography: methods. Monographs on Oceanographic Methodology. SCOR and UNESCO.
- Libes, S.M. 1992.** An Introduction to Marine Biogeochemistry. Wiley & Sons Inc. 733 pp.
- 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.
- Ludwig, J. & J. Reynolds. 1988.** Stastical Ecology. A primer on methods and computing. Wiley & Sons. NY. 329 p.
- Maunder, M.N. & A.E. Punt. 2004.** Standardizing catch and effort data: A review of recent approaches. Fisheries Research, 70(2-3): 141-159.
- 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. & J. A. Nelder. 1983.** Generalized Linear Models. New York:Chapman and Hall. 261.p.



- 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.
- Millero, F. and A. Poisson 1981.** International one atmosphere equation of state of seawater. *Deep Sea Res.*, 28A, 625-629.
- Molina, V., L. Farías, Y. Eissler, L.A. Cuevas, C.E. Morales and R. Escibano. 2005.** Ammonium cycling under a strong oxygen gradient associated with the Oxygen Minimum Zone off northern Chile (~23° S). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 288: 35-43.
- Morales C. E., J. L. Blanco, M. Braun, H. Reyes and A. G. Davies. 1996.** Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: The effect of low dissolved oxygen concentrations and of a cold-warm sequence (1990-1995). *Invest. Pesq.*, Valparaíso: 24, 77-96.
- 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.
- 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.



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.

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

Newell, G. E. y R. C. Newell. 1966. Marine plankton a practical guide. Hutchinson Educational, University of London. 221 pp.

NOAA 2009. Electronic Source:

http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc_Sp.html

NOAA 2010. Electronic Source:

http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_may2010/ensodisc_Sp.pdf

NOAA 2010b. Electronic Source:

http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_disc_ago2010/ensodisc_Sp.pdf

NODC. 1991. Key to Oceanographic Record Documentation N°14. National Oceanographic Data Center.

Oliva, J., C. Montenegro, O. Rojas, H. Reyes, V. Castañi, E. Díaz, P. Barria, R. Serra, V. Baros, A. Vargas, G. Claramunt, G. Herrera, P. Pizarro, R. Escribano y M. Oliva. 2002. Evaluación del stock desovante de



anchoveta por el método de producción de huevos en la I y II Regiones, año 2001. Informe Final Proyecto FIP N° 2001-10. Instituto de Fomento Pesquero. Valparaíso.

Olivar, M. P. and J.M. Fortuño.1991. Guide to Ichthyoplankton of the southeast Atlantic (Benguela Current Region) *SCI. Mar.*, 55(1):1-383.

Olivares, J. 1989. Aspectos Hidrográficos de la bahía de Coquimbo. *Biología Pesquera*, 18: 97-108.

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.

Palma, S. y K. Kaiser. 1993. Plancton marino de aguas chilenas. Ediciones universitarias de Valparaíso. Universidad Católica de Valparaíso, Chile. 151 pp.

Parsons, T.R, Y. Maita and C.M. Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. 173 pp.

Pennington. M. 1986. Efficient estimators of abundance for fish and plankton surveys. *Biometrics* 39:281-286.

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 J., W. Palma y Claudio Flores. 1998.** Validación de la hipótesis de mortalidad por inanición en larvas de *Engraulis ringens* Jenyns, 1842 (Pisces: Engraulidae), utilizando el criterio histológico en un área de surgencia costera en el norte de Chile. En: Invest. Mar., Valparaíso, 26: 97-108.
- 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.
- Reyes, H, J. Letelier, M. Pizarro, L. Herrera y E. Santander. 2009.** Distribución espacial de variables oceanograficas fisicas y quimicas. En: Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas entre la I y IV Regiones, año 2008. FIP 2008-21. Fondo de Investigación Pesquera, Valparaíso, pp. 252.
- Reynolds, R. 1982.** A monthly averaged climatology of Sea Surface Temperature. Techival Report NNS-31, National Metereological Center, NOAA, Silver Springs, Md.



- Rojas, O., y A. Mujica. 1981.** Delimitación de las areas de desove, prereclutamiento y estimación de la abundancia relative de huevos y larvas de peces pelágicos de importancia económica. Santiago, Chile, IFOP: 82pp.
- 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, O. 1986.** Distribución y abundancia de huevos y larvas de sardina española, jurel y anchoveta en la zona Arica-Antofagasta, durante el invierno de 1985. Programa Investigaciones Pesqueras de recursos Pelágicos Zona Norte. IFOP-22pp+ Anexos.
- 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. 224 pp..
- Saavedra, J.C., H. Miranda & Z. Young. 2003.** “Métodos de Comparación de Distribuciones de Frecuencia de Tallas y Edades”. Documento Técnico. Comisión Estadística. Instituto Fomento Pesquero. 10 p.
- Saiz, F. 1980.** Experiencias en el uso de criterios de similitud en el estudio de comunidades. Arch. Biol. Med. Exp., 13: 387-402.
- 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.



- 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.
- Segnini, S. 1995.** Medición de la diversidad en una comunidad de insectos. Boletín de Entomología Venezolana, 10(1), 105-113.
- SERNAPESCA, 2008.** Anuario Estadístico
- Sharp, J. 1983.** The distributions of inorganic nitrogen and dissolved and particulate organic nitrogen in the sea. In: E. Carpenter y D. Capone (Eds). Nitrogen in the marine sea. Academic Press, Inc., New York. 1-35.
- 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, N. 1987.** Contenido de sales nutrientes de las aguas del norte de Chile (Crucero MARCHILE XII-ERFEN III). *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA*, 11: 95-117.
- Silva, N., C. Calvete y H. Sievers. 1997.** Características Oceanográficas Físicas y Químicas de Canales Australes Chilenos entre Puerto Montt y Laguna San Rafael (Crucero CIMAR-Fiordo 1). *Ciencia y Tecnología del Mar*.20: 23-106.



- Silva, C., E. Yáñez. M. A. Barbieri y K. Nieto. 2003.** Asociaciones entre la pesquería de pequeños pelágicos, la clorofila *a* y la temperatura superficial del mar en la zona norte de Chile. *In: Actividad pesquera y de acuicultura en Chile.* Valparaíso, 157-162.
- Silva, N., N. Rojas and A. Fedele. 2009.** Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. *Deep-Sea Research II*, Vol, 56, 1004–1020.
- Sinclair, M. y M.J. Tremblay. 1984.** Timing of spawning of Atlantic 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, D.B. y K. Johnson. 1996.** A guide to Marine Coastal Plankton and Marine Invertebrate Larvae. Sec. Ed. 221 p.
- 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.
- Sneath, P. y R. Sokal. 1973.** Numerical taxonomy. The principles and practice of numerical classification. W. H. Freeman, San Francisco, 573 pp. OK.



- Stéfansson, G. 1996.** Analysis of groundfish survey abundance data; combining the GLM and delta approaches ICES J. Mar. Sci. 53: 577-588
- 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, P., J. Mesías, V. Montecino, J. Rutlland & S. Salinas. 1998.** Coastal ocean circulation off western south America. Chapter 10. En. The sea: The global coastal ocean, regional studies and synthesis. vol.11 A. R. Robinson, & K. H. Brink (Eds.). John Wiley and Sons, Inc., New York. 273-313 pp.
- Thiel M, E.C. Macaya, E. Acuña, W.E. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P.A. Camus, J. Castilla, L.R. Castro, M. Cortés, C.P. Dumont, R. Escribano, M. Fernandez, J.A. Gajardo, C.F. Gaymer, I. Gómez, A.E. González, H.E. González, P.A. Haye, J.E. Illanes, J.L. Iriarte, D.A. Lancellotti, G. Luna-Jorquera, C. Luxoro, P.H. Manríquez, V. Marín, P. Muñoz, S.A. Navarrete, E. Pérez, E. Poulin, J. Sellanes, H.H. Sepúlveda, W. Stotz, F. Tala, A. Thomas, C.A. Vargas, J.A. Vásquez y J.M. Alonso. 2007.** The Humboldt Current System of Northern and Central Chile: Oceanographic Processes, Ecological Interactions and Socioeconomic Feedback. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review, 45, 195-344.
- Ulloa, O., R. Escribano, S. Hormazabal, R. Quiñonez y H. Gonzalez, R. 2001.** Evolution and biological effects of the 1997-98 El Niño in northern Chile. Geophysical Research Letters. 28: 1591-1594.



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

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

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

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.

Valenzuela, V. 2007. Plancton. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la región oceánica de la I y II regiones, año 2006. Informe Final. FIP 2006-08.

Valenzuela, V. 2008. Plancton. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II regiones, año 2007. Informe Final. FIP 2007-09.

Valenzuela, V. 2009. Plancton. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la I y II regiones, año 2008. Informe Final. FIP 2008-07.

Ward B.B., A.H. Devol, J.J. Rich, B.X. Chang, S.E. Bulow, H. Naik, A. Pratihary and A Jayakumar. 2009. Denitrification as the dominant nitrogen loss process in the Arabian Sea. Nature, Vol, 461, 78-81.



- Vidal, J. 1968.** Copépodos Calanoídeos epipelágicos de la expedición Marchile II, Gayana Zool., 15:1-98.
- Yáñez E.; C. Canales; M. A. Barbieri; A. González y V. Catasti. 1993.** Estandarización del esfuerzo de pesca y distribución espacial e interanual de la CPUE de anchoveta y sardina en la zona norte de Chile entre 1987 y 1992. En: Invest. Mar., Valparaíso, 21: 111-132.
- Yáñez 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.
- Yáñez, 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. Mendelsohn, C. Roy, A. Bakun y D. Pauly (Eds.), ORSTOM Editions, Paris, 275-291.
- Yáñez, 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.
- Yáñez, 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. Yáñez (ed.), Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 109-121.



Yáñez, 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. Hormazabal. 2005. On the annual cycle of coastal and open ocean satellite chlorophyll off Chile (18°–40°S). *Geophysical Research Letters*. 32: L23604, doi:10.1029/2005GL023946.

Zar, J. 1974. Biostatistical Análisis. Prentice-Hall. 620 p.

Zeitzchel (eds.). Upwelling in the Oceans: Modern Processes and Ancient Records. John Wiley & Sons. 65–81.

FIGURAS

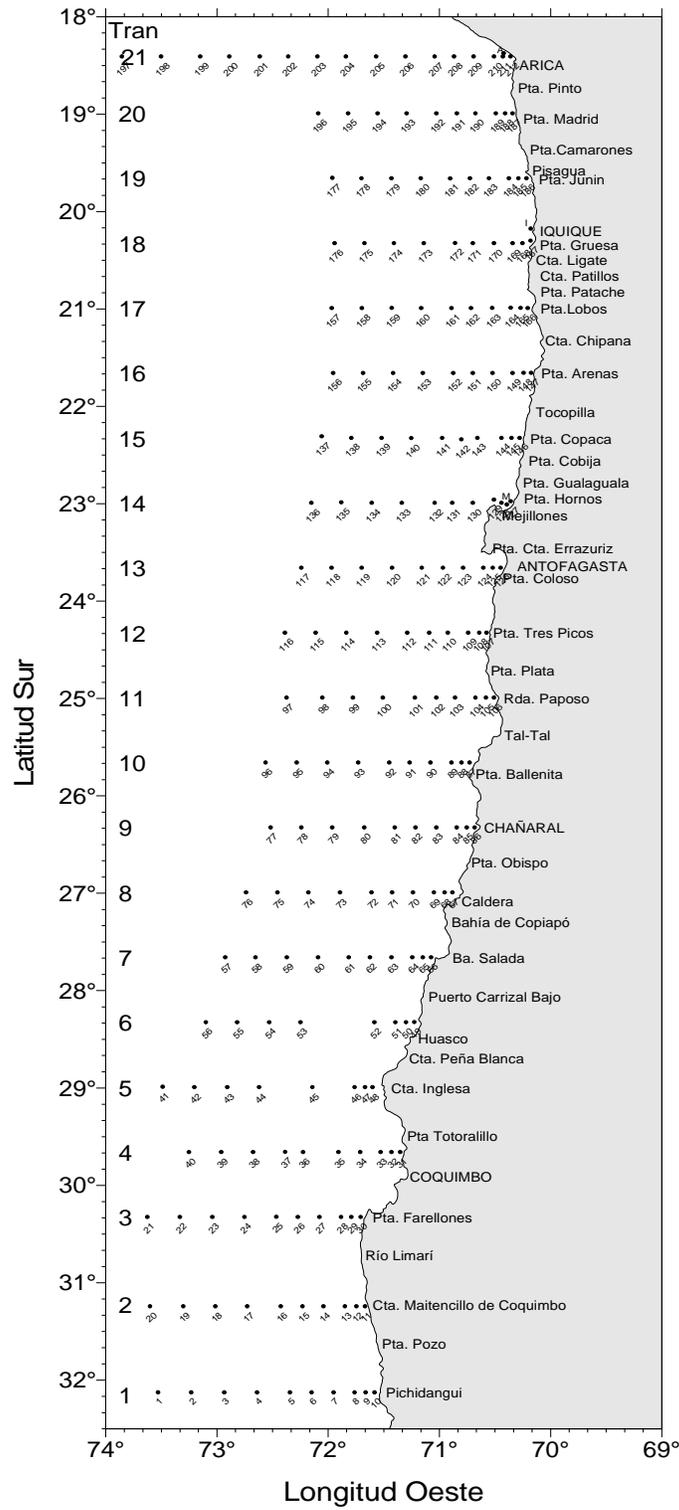


Figura 1. Ubicaci3n geogr3fica de las estaciones bio-oceanogr3ficas. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

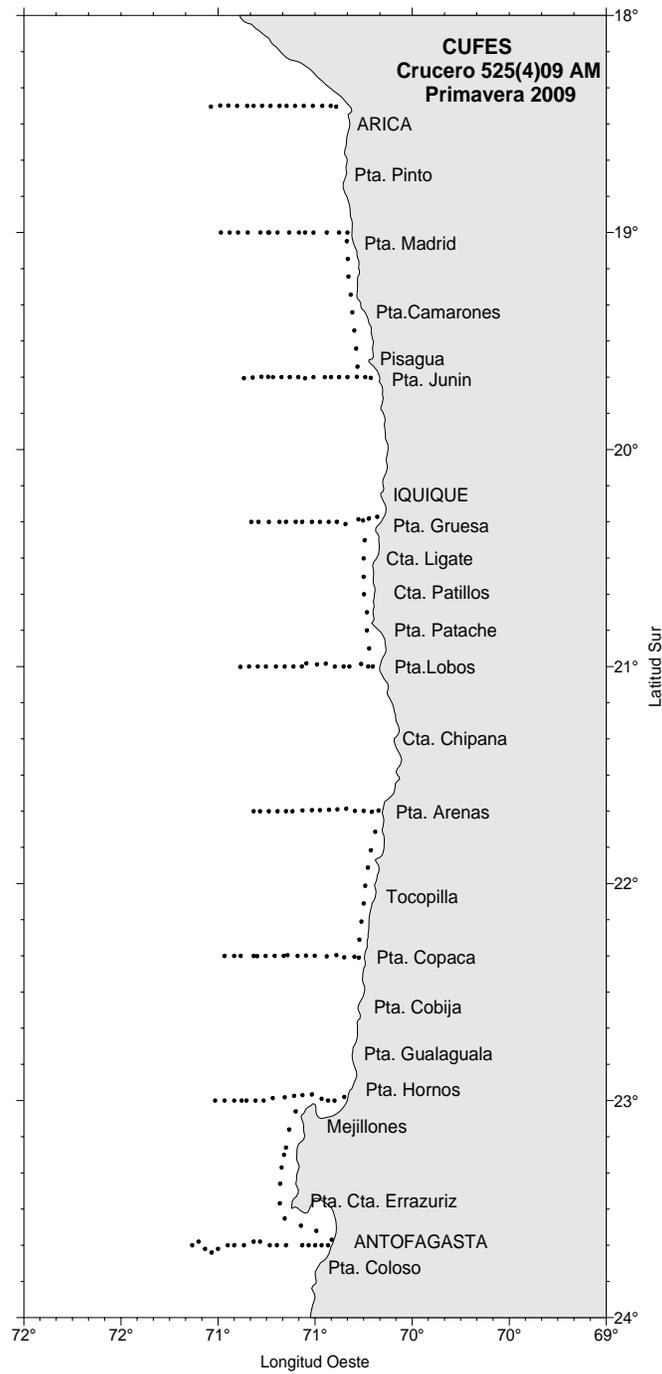


Figura 2. Posici3n geogr3fica de las estaciones Cufes. Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.

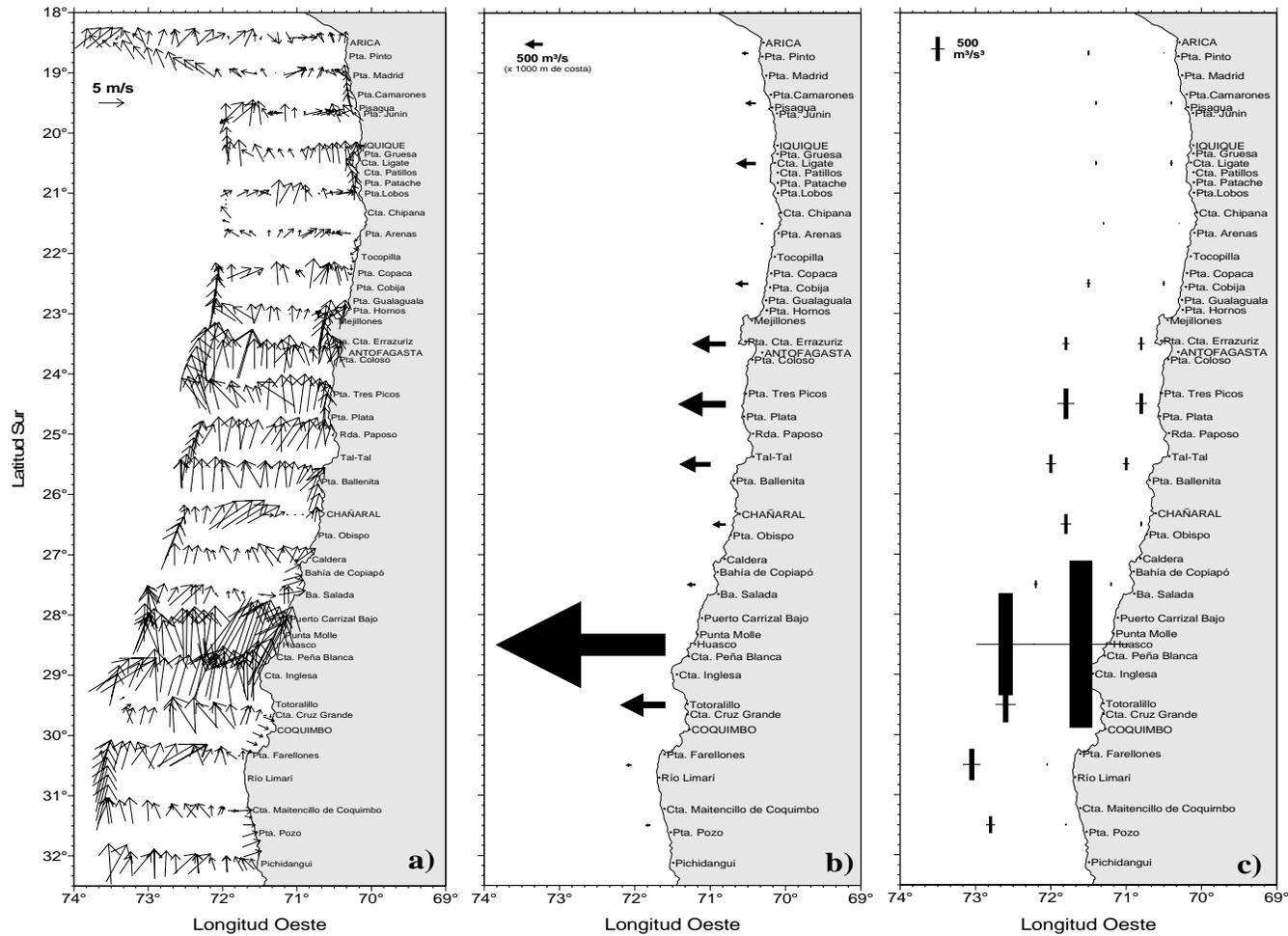


Figura 3. Direcci3n e intensidad del viento (m/s) (a), índice de surgencia promedio (b) e índice de turbulencia (c) del viento predominante medido cada una hora sobre el track de navegaci3n. Crucero MOBIO - Octubre 2009.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N INVESTIGACI3N PESQUERA

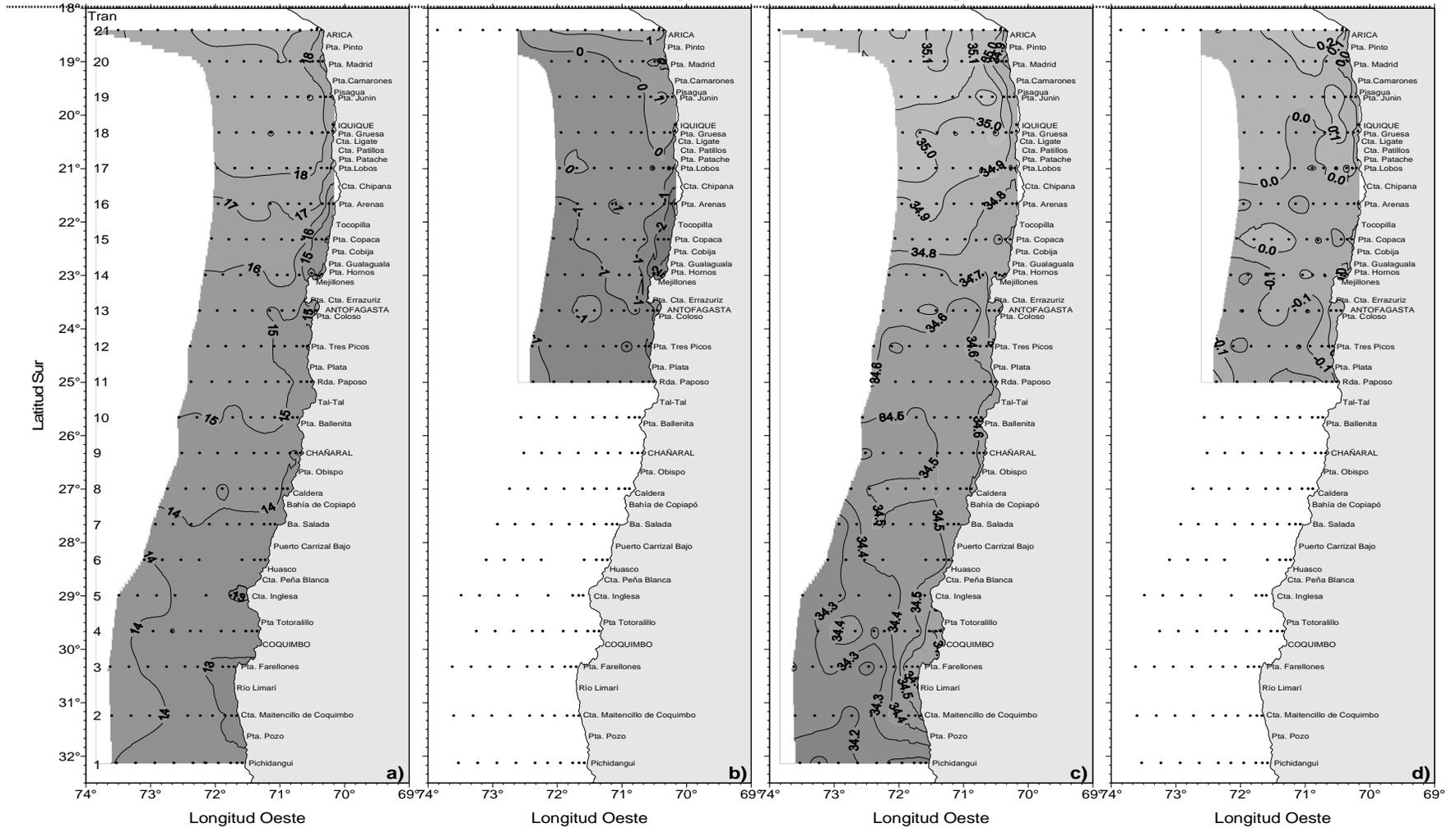


Figura 4. Distribuci3n superficial de (a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (b) anomalía de temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (c) salinidad (psu) y (d) anomalía de salinidad (psu). Crucero MOBIO - Octubre 2009.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N INVESTIGACI3N PESQUERA

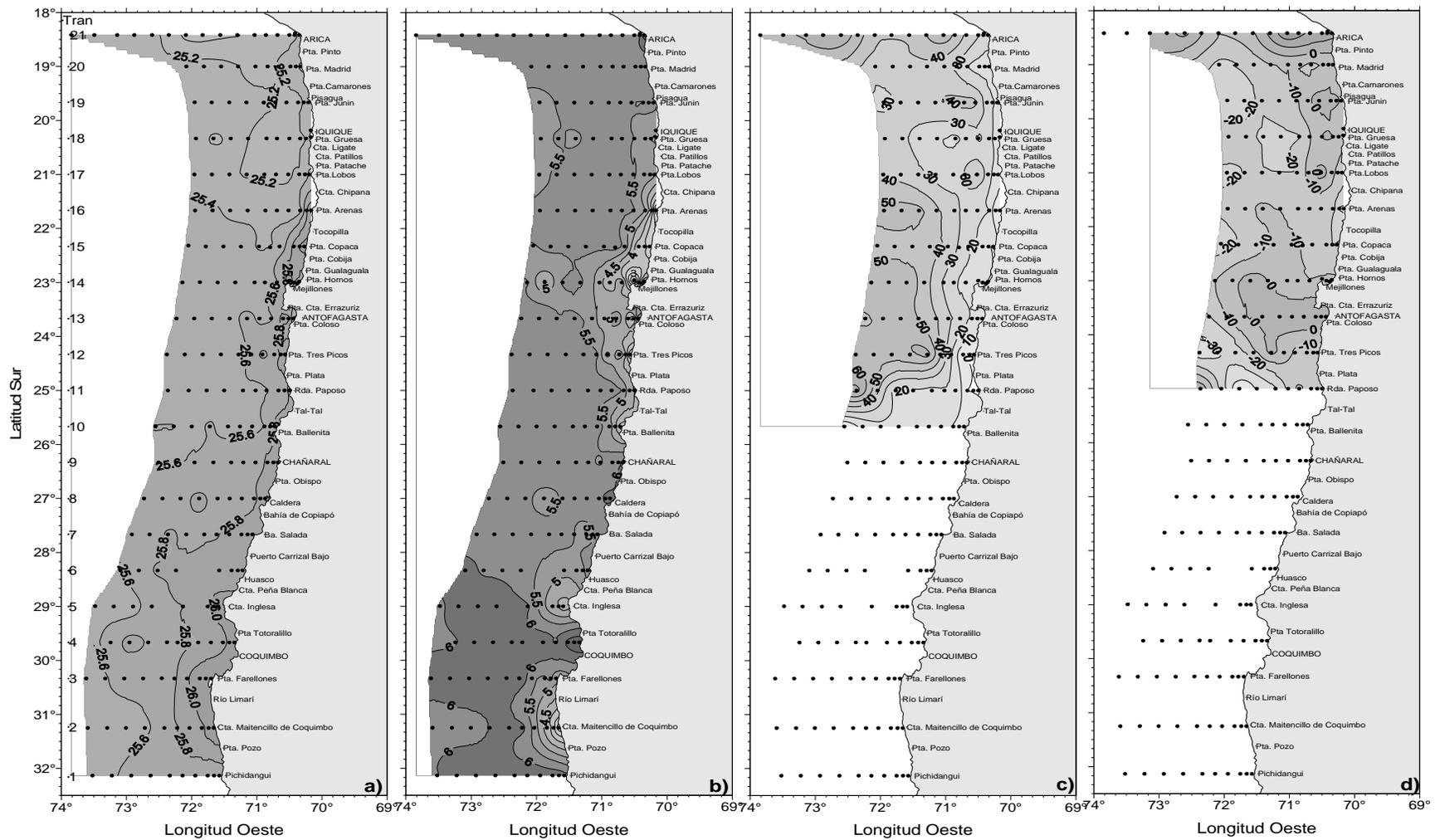


Figura 5. Distribuci3n superficial de (a) densidad (σ_t) (kg/m^3), (b) contenido de oxígeno disuelto (mL/L), (c) profundidad de la isoterma de 15°C (m) y (d) anomalía de profundidad de la isoterma 15°C (m). Crucero MOBIO - Octubre 2009.

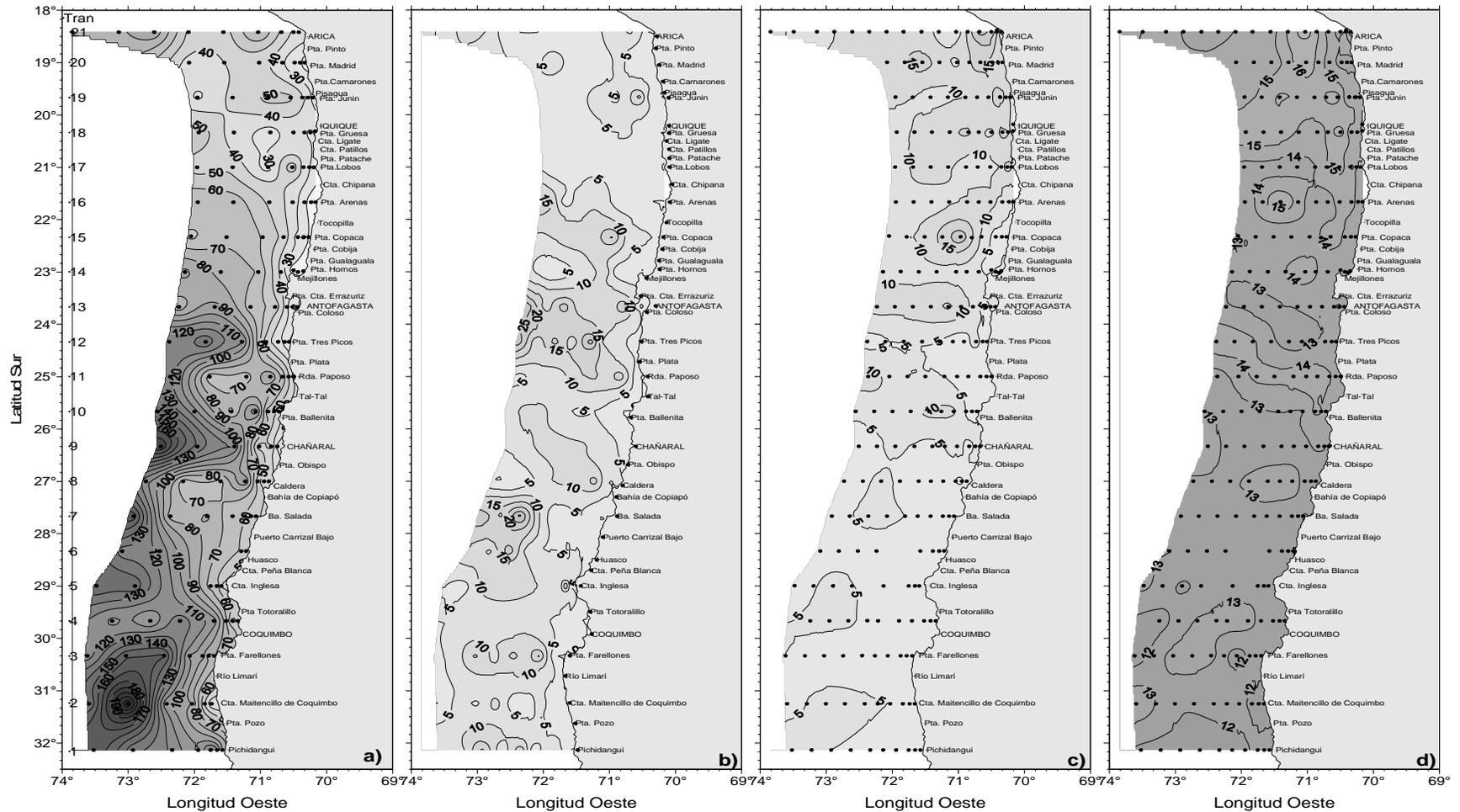


Figura 6. Distribuci3n espacial de (a) Profundidad de la isolnea de oxigeno correspondiente a la concentraci3n de 1 mL/L, como indicadora del l3mite superior de la capa de m3nimo oxigeno disuelto, b) espesor de la capa de mezcla (m), (c) espesor de la termoclina (m) y (d) temperatura base de la termoclina (°C). Crucero MOBIO - Octubre 2009.

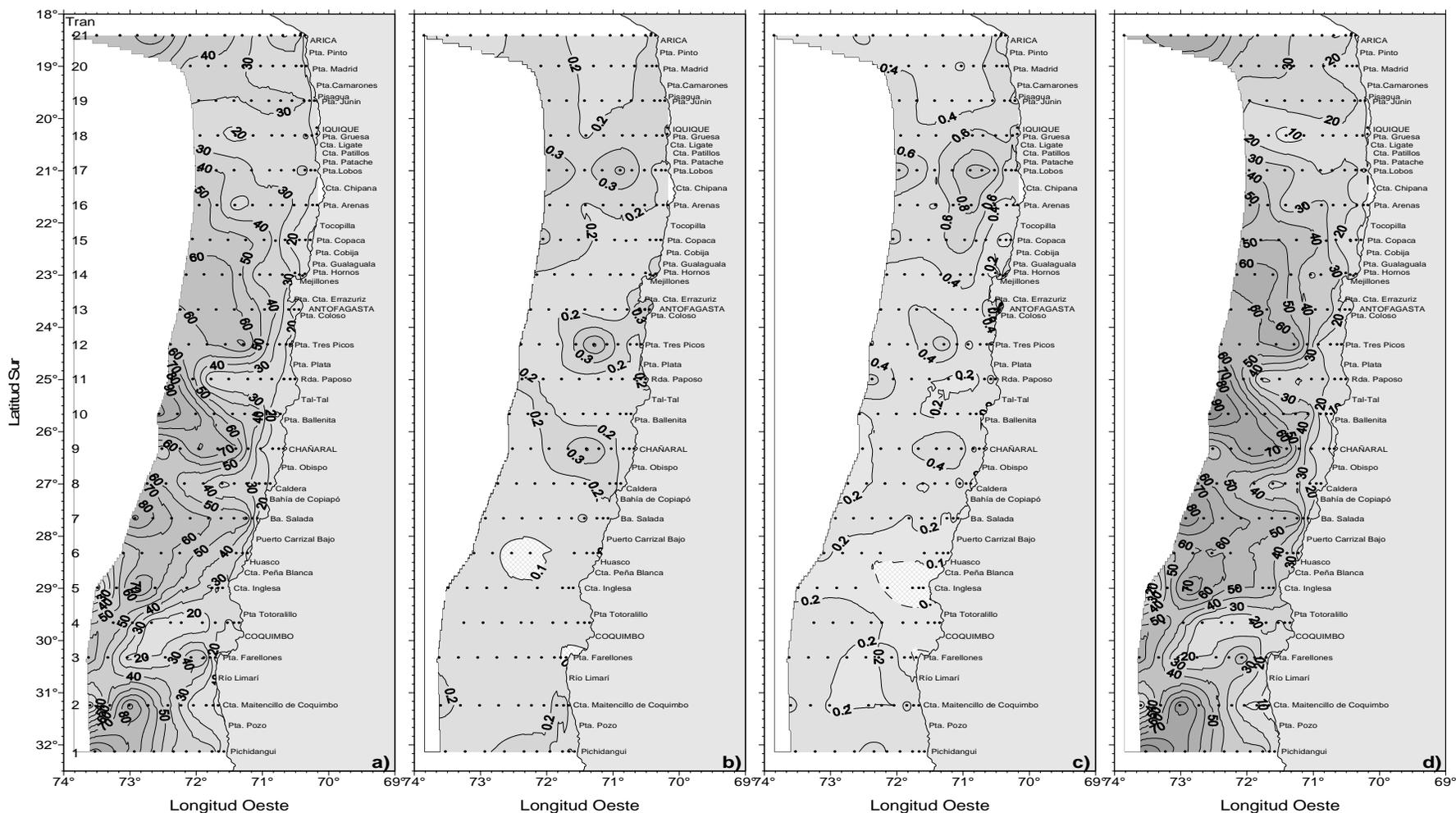


Figura 7. Profundidad de la base de la termoclina (m) (a), gradiente de temperatura promedio de la termoclina ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) (b), m3ximo gradiente de temperatura en la termoclina ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$) (c) y profundidad del m3ximo gradiente de temperatura en la termoclina (m) (d). Crucero MOBIO - Octubre 2009.

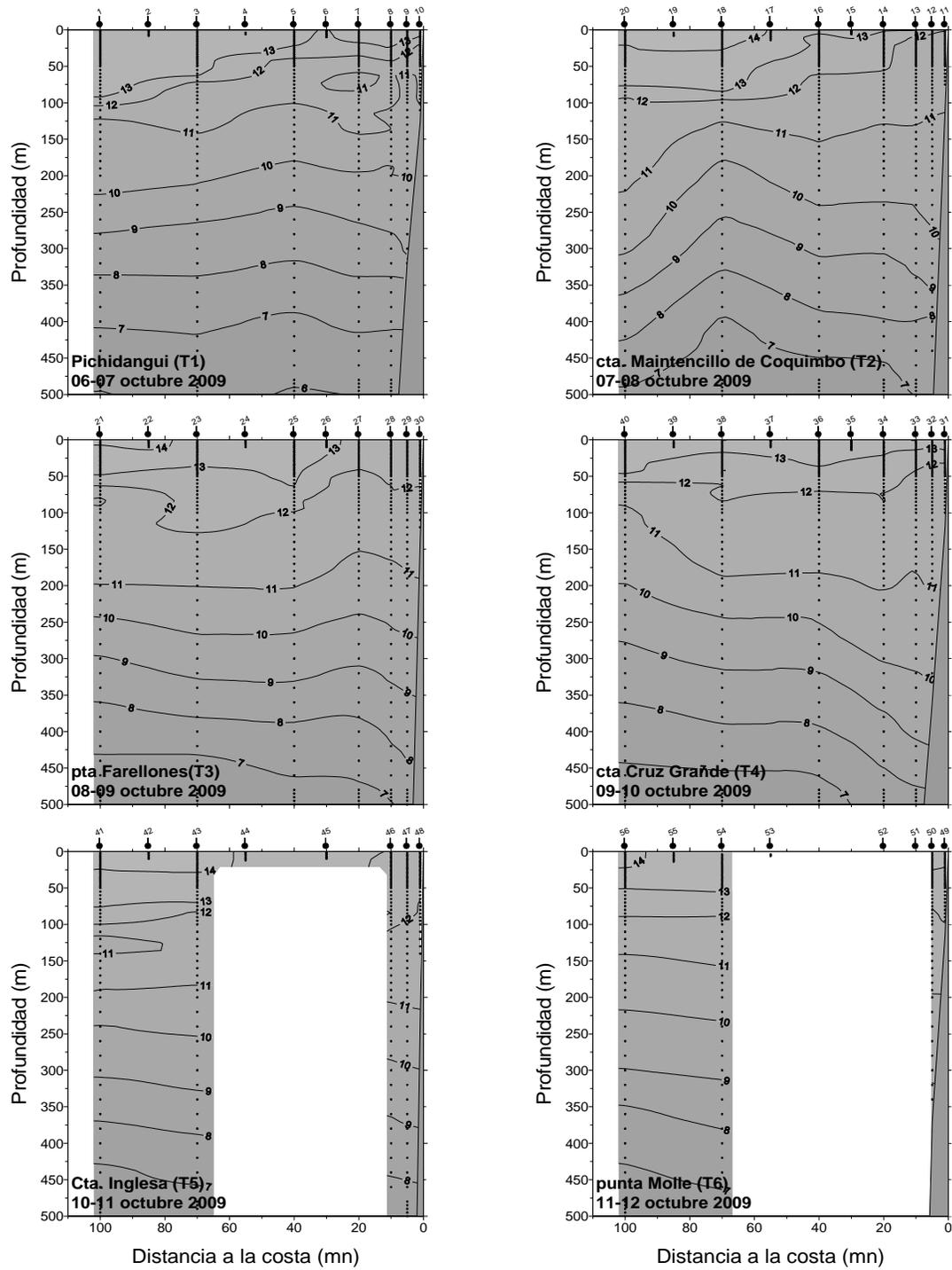


Figura 8. Distribuci3n vertical de temperatura (°C) en las transectas 1 a 6. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

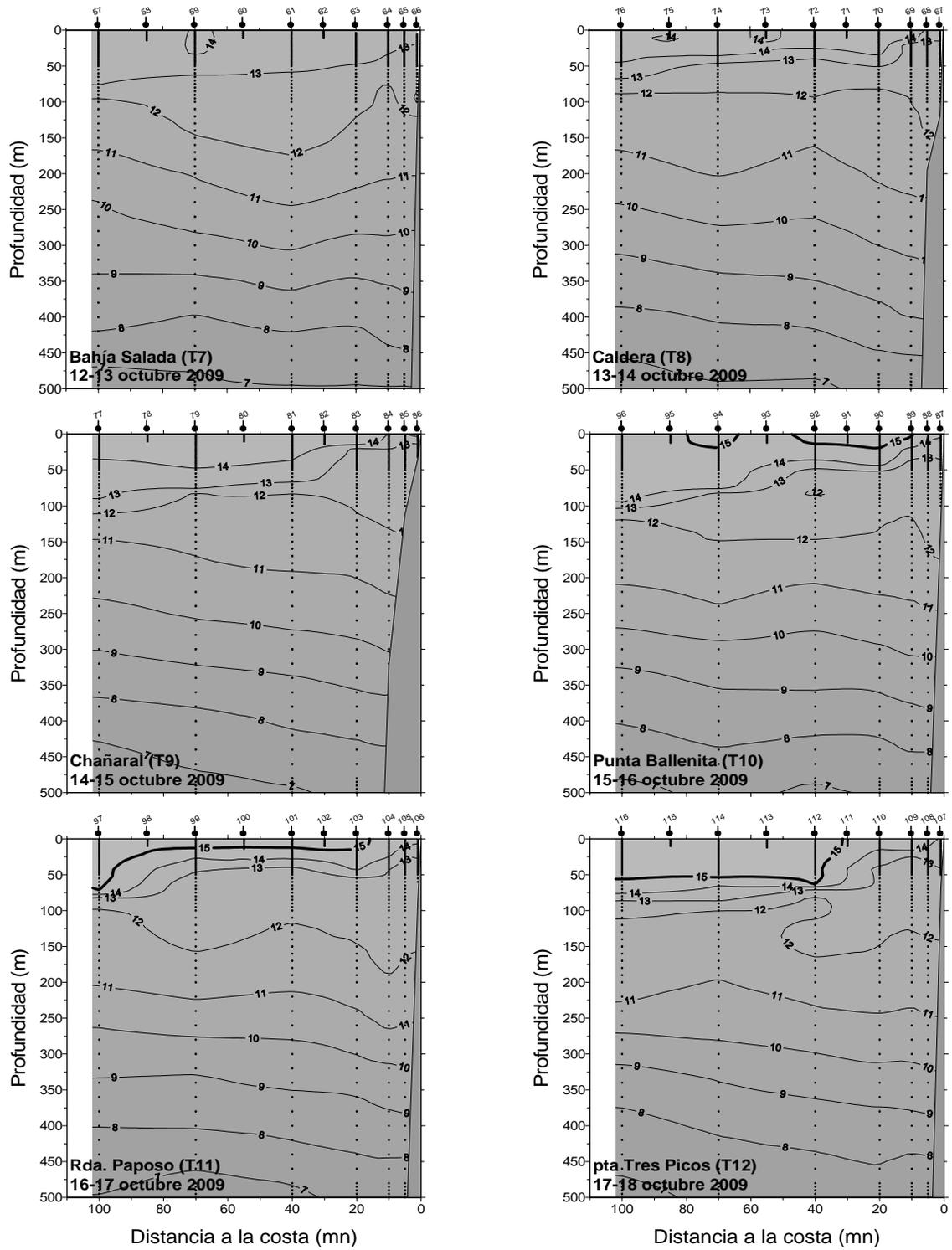


Figura 9. Distribuci3n vertical de temperatura (°C) en las transectas 7 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

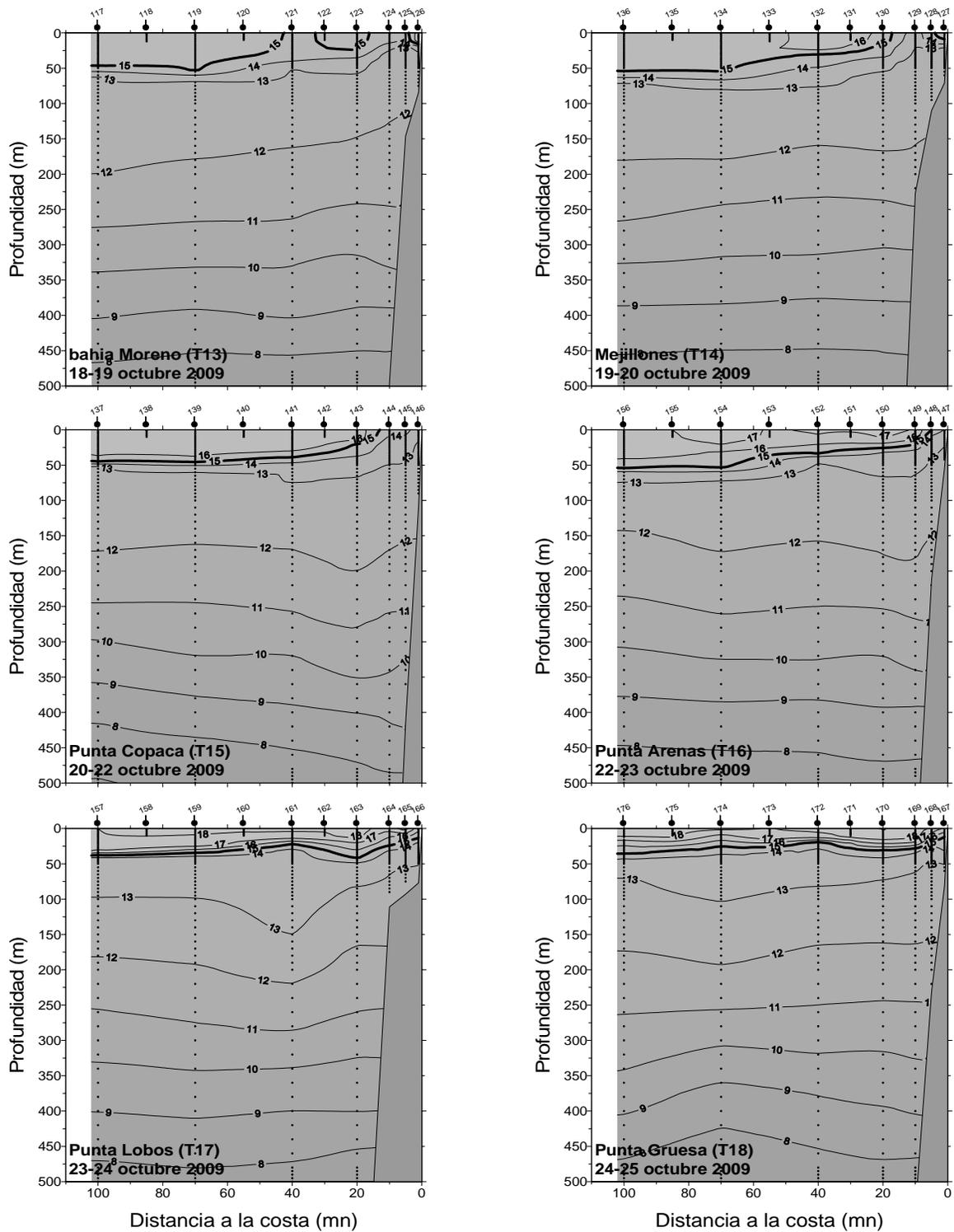


Figura 10. Distribuci3n vertical de temperatura ($^{\circ}$ C) en las transectas 13 a 18. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

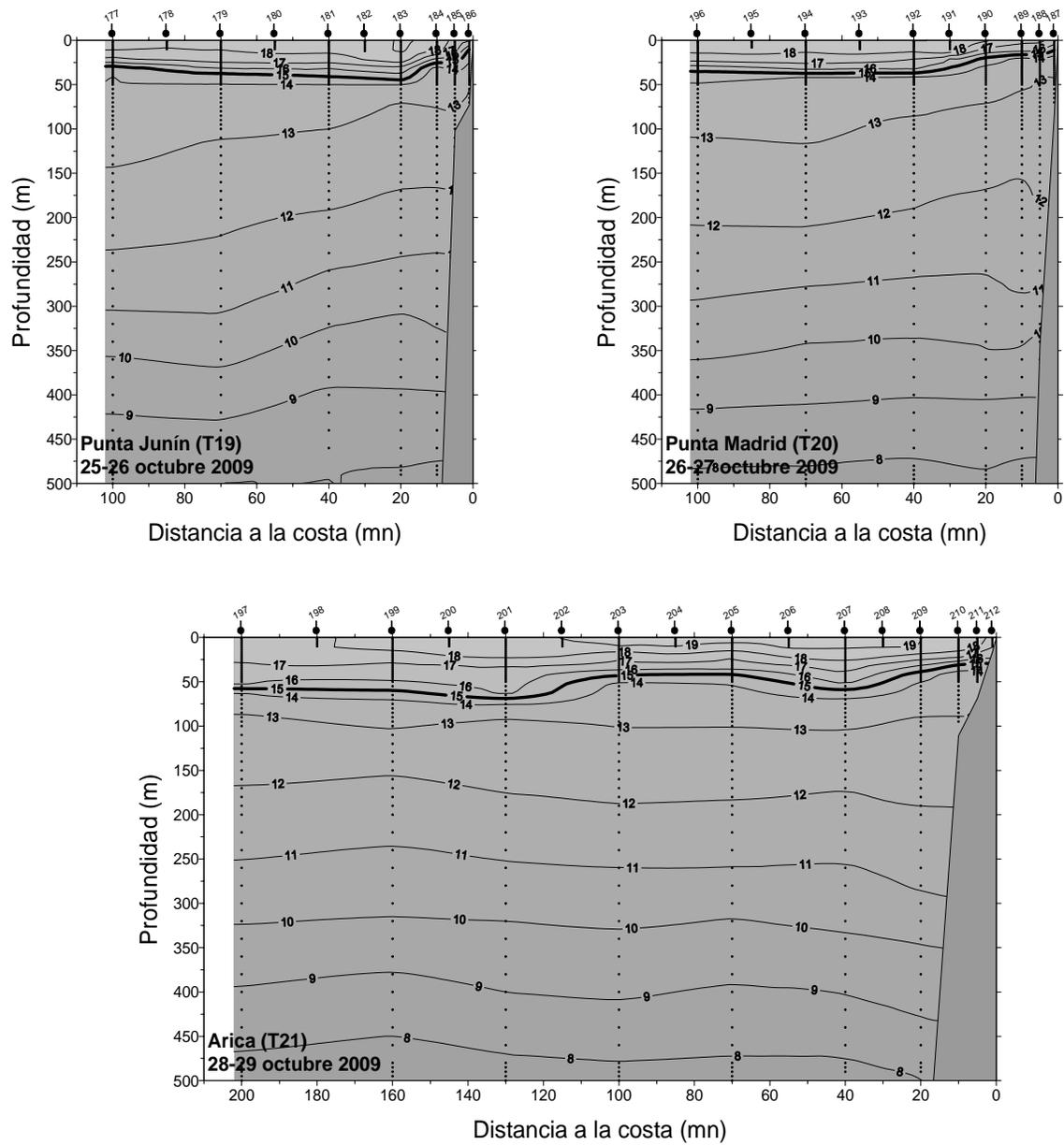


Figura 11. Distribuci3n vertical de temperatura (°C) en las transectas 19 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

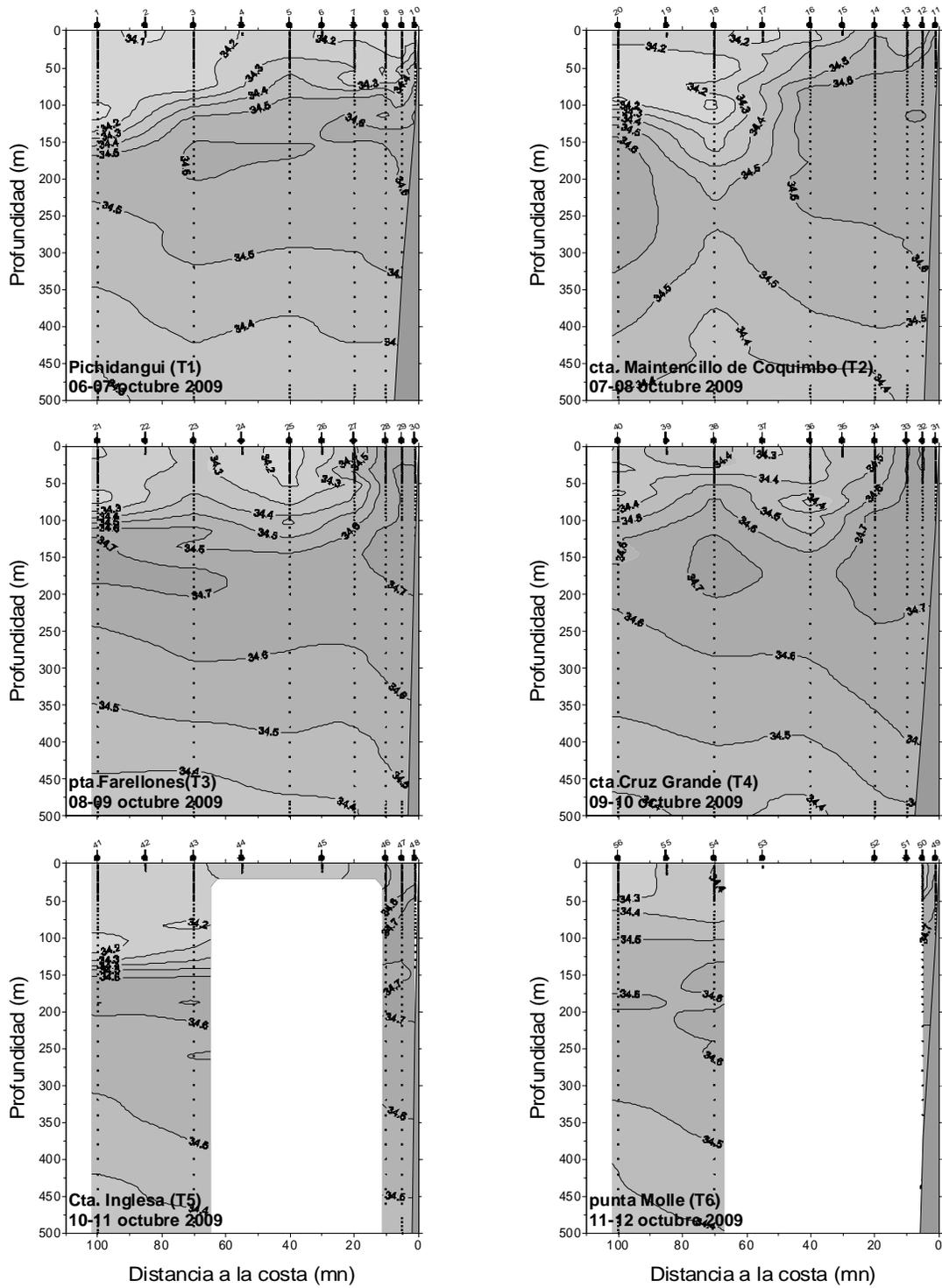


Figura 12. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas 1 a 6. Crucero MOBIO – Octubre 2009.

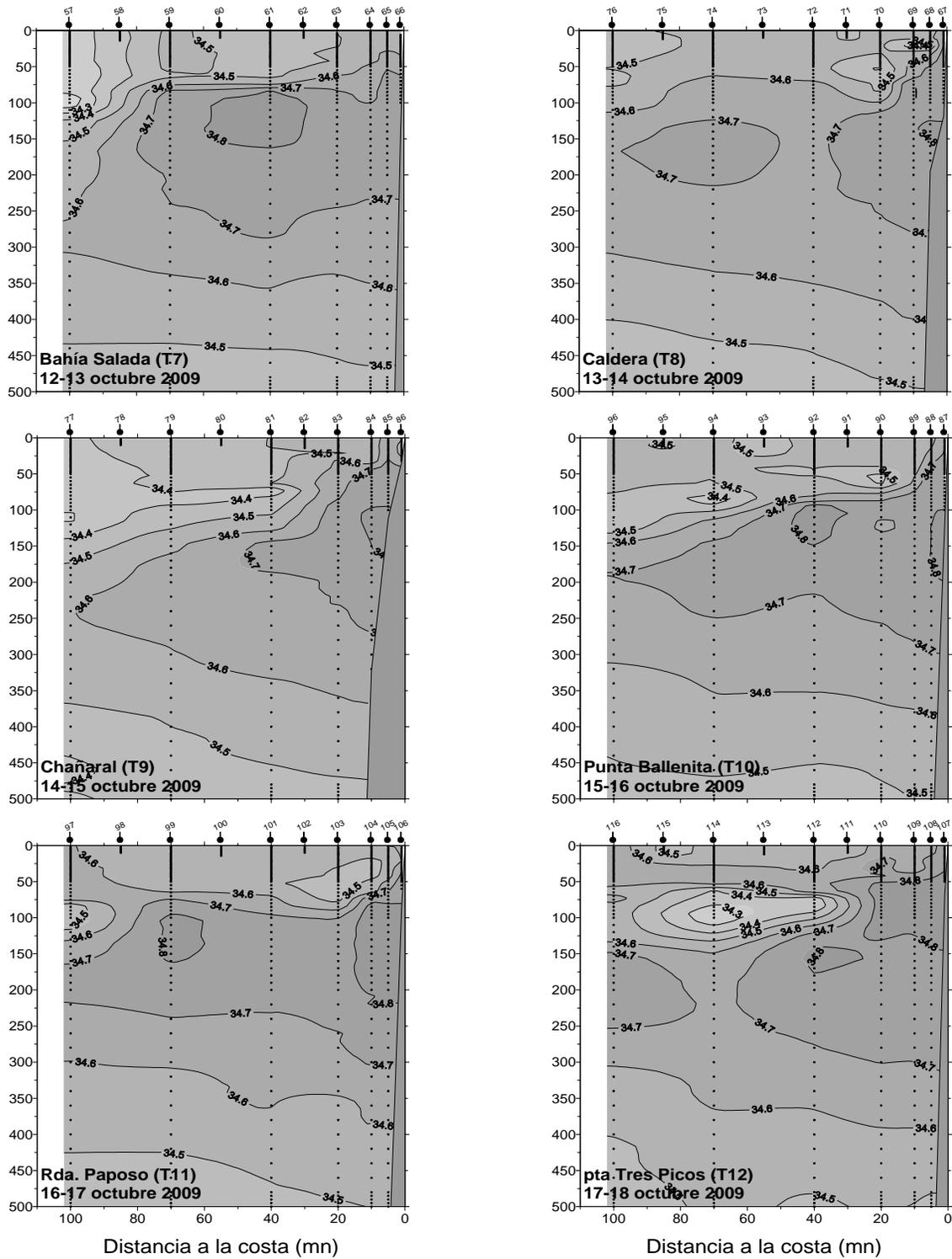


Figura 13. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas 7 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

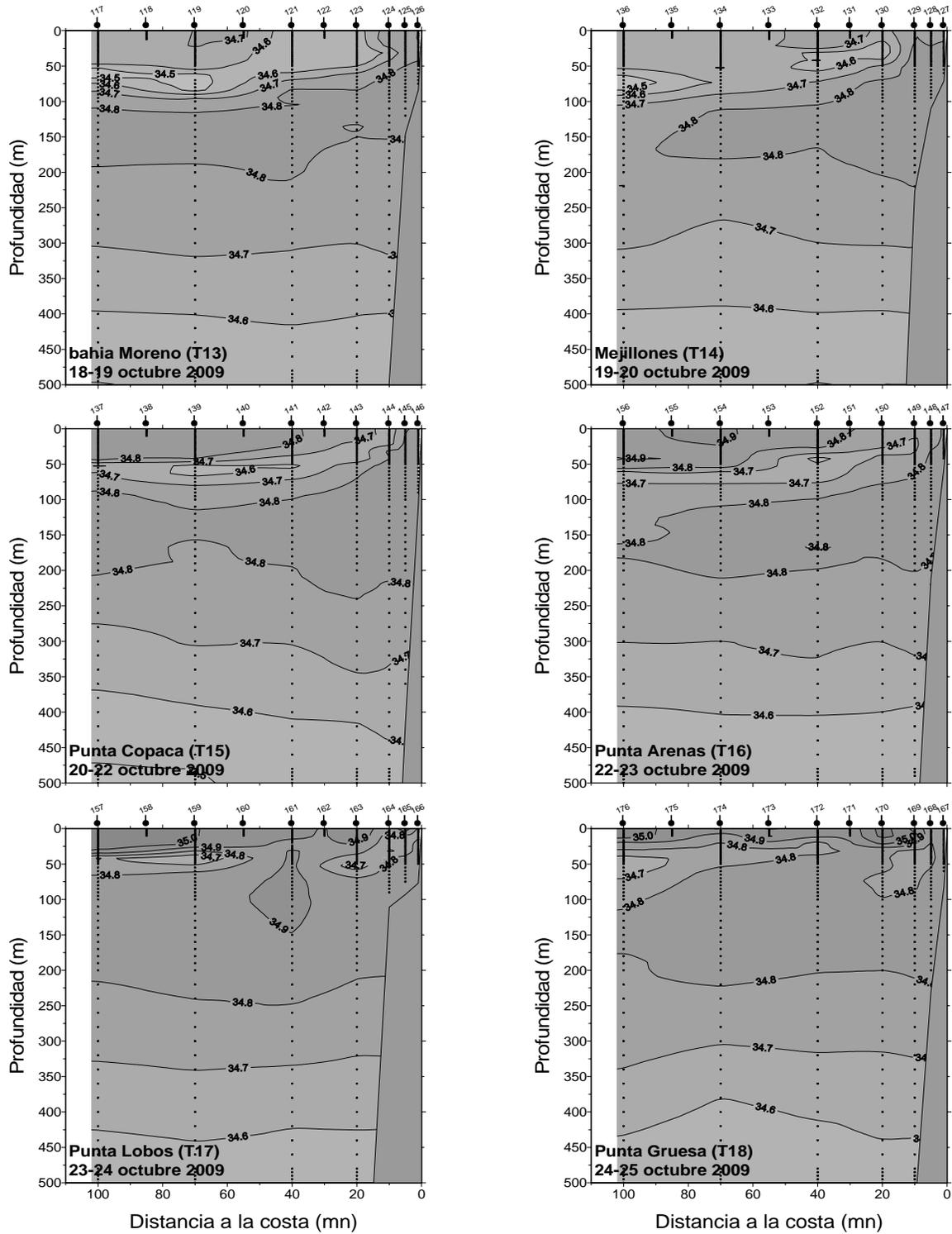


Figura 14. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas 13 a 18. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

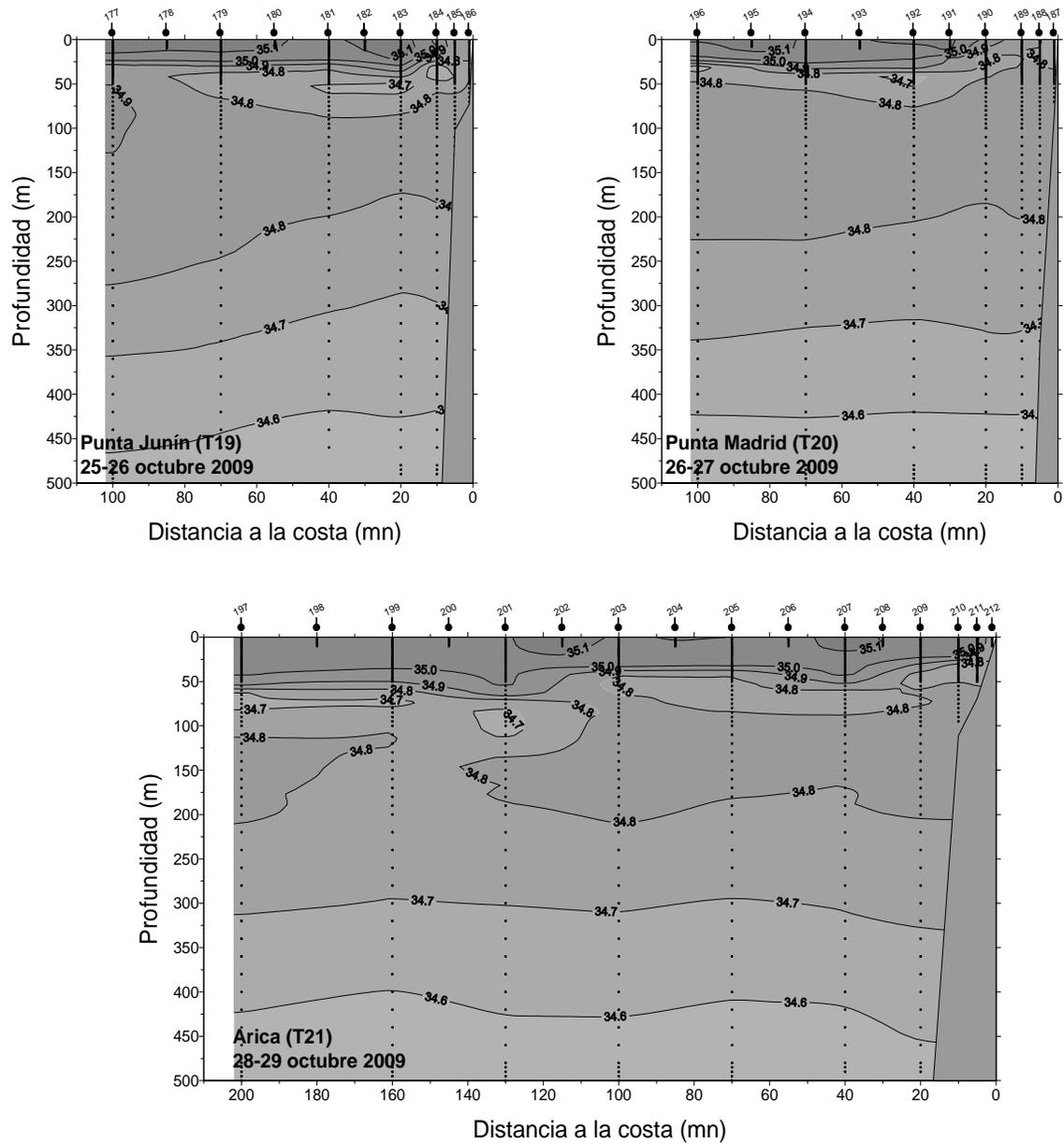


Figura 15. Distribuci3n vertical de salinidad (psu) en las transectas 19 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

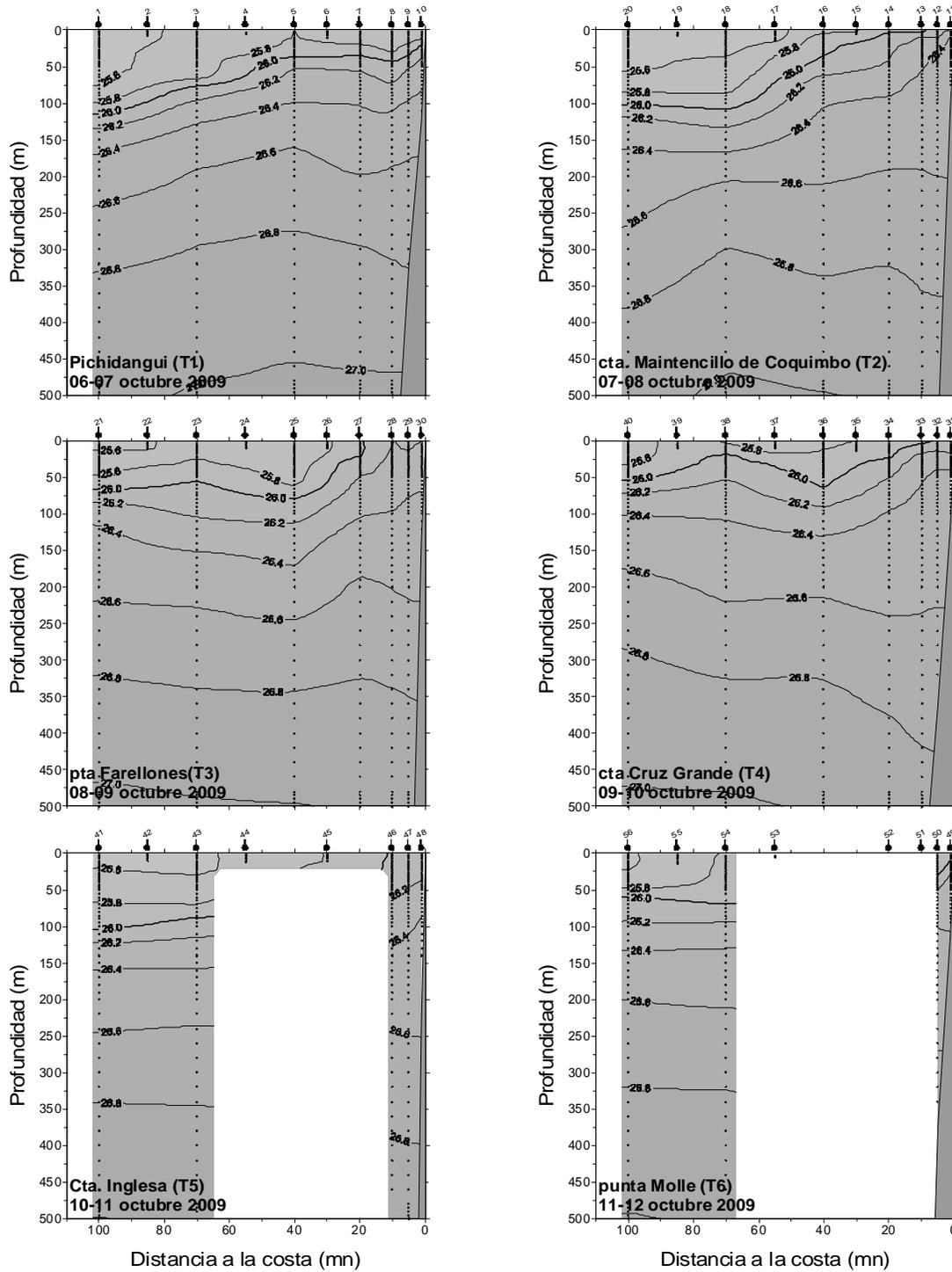


Figura 16. Distribuci3n vertical de densidad (σ_t) (kg/m^3) en las transectas 1 a 6. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

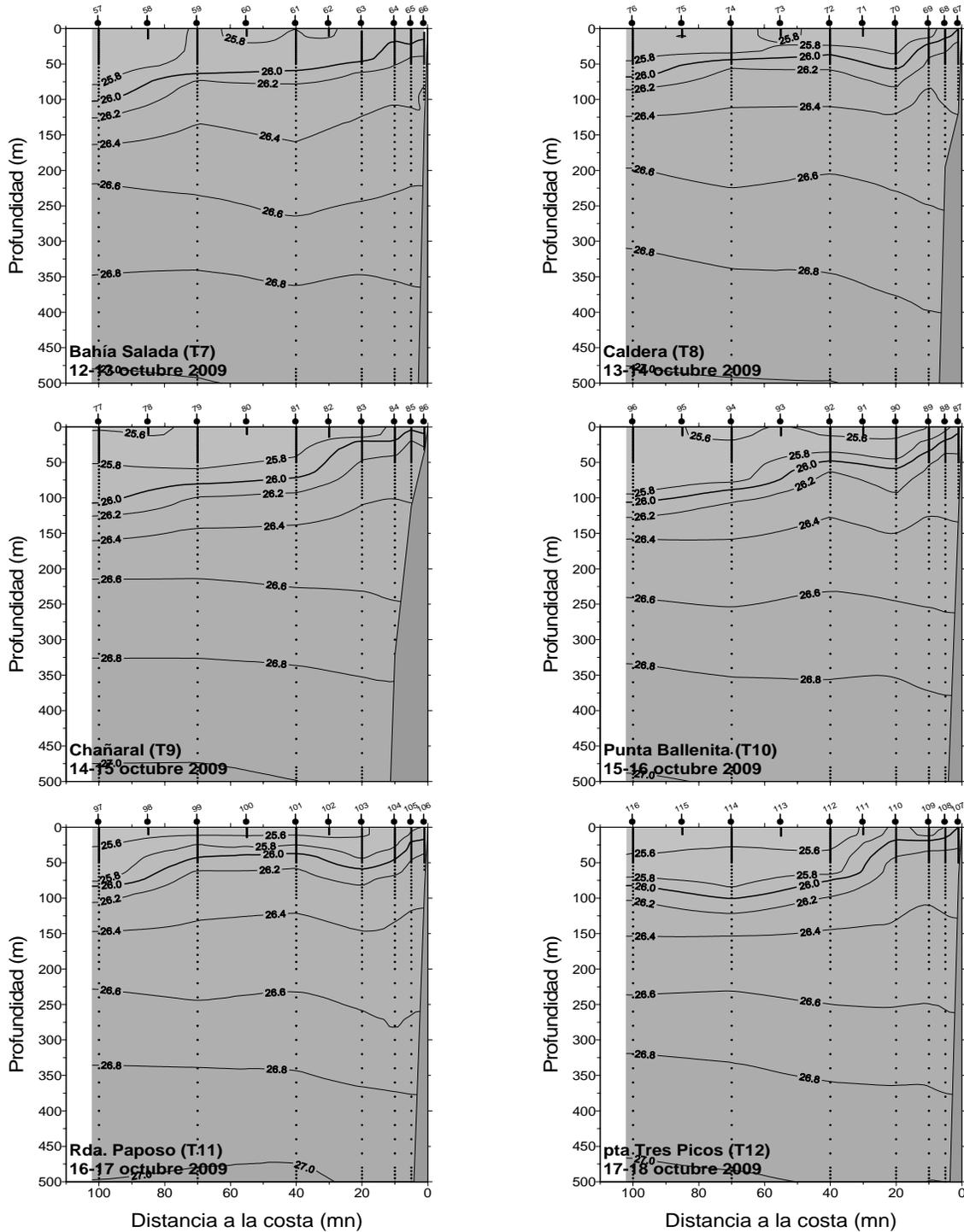


Figura 17. Distribuci3n vertical de densidad ($\sigma\text{-}t$)(kg/m^3) en las transectas 7 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

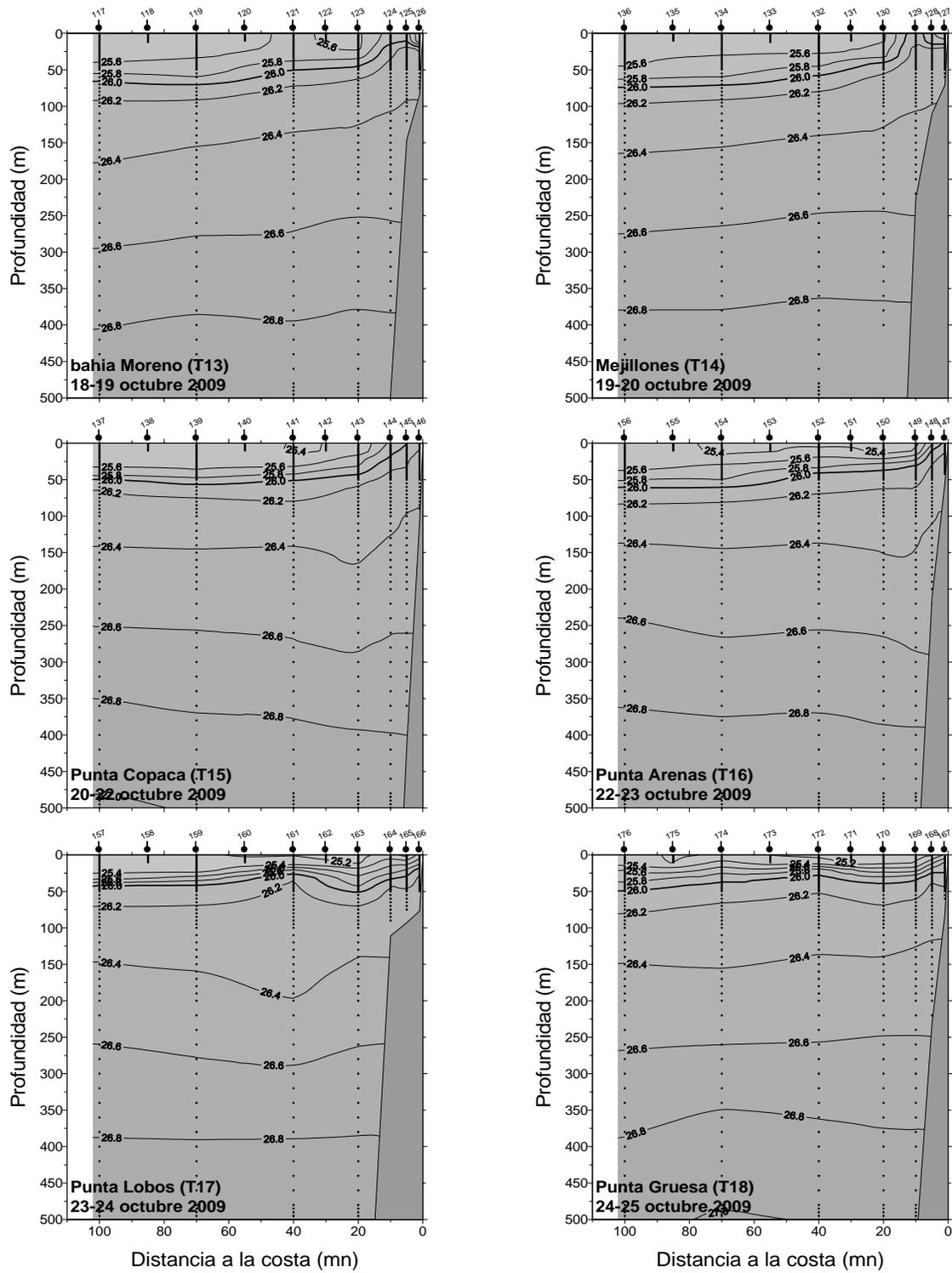


Figura 18. Distribuci3n vertical de densidad (σ_t) (kg/m^3) en las transectas 13 a 18. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

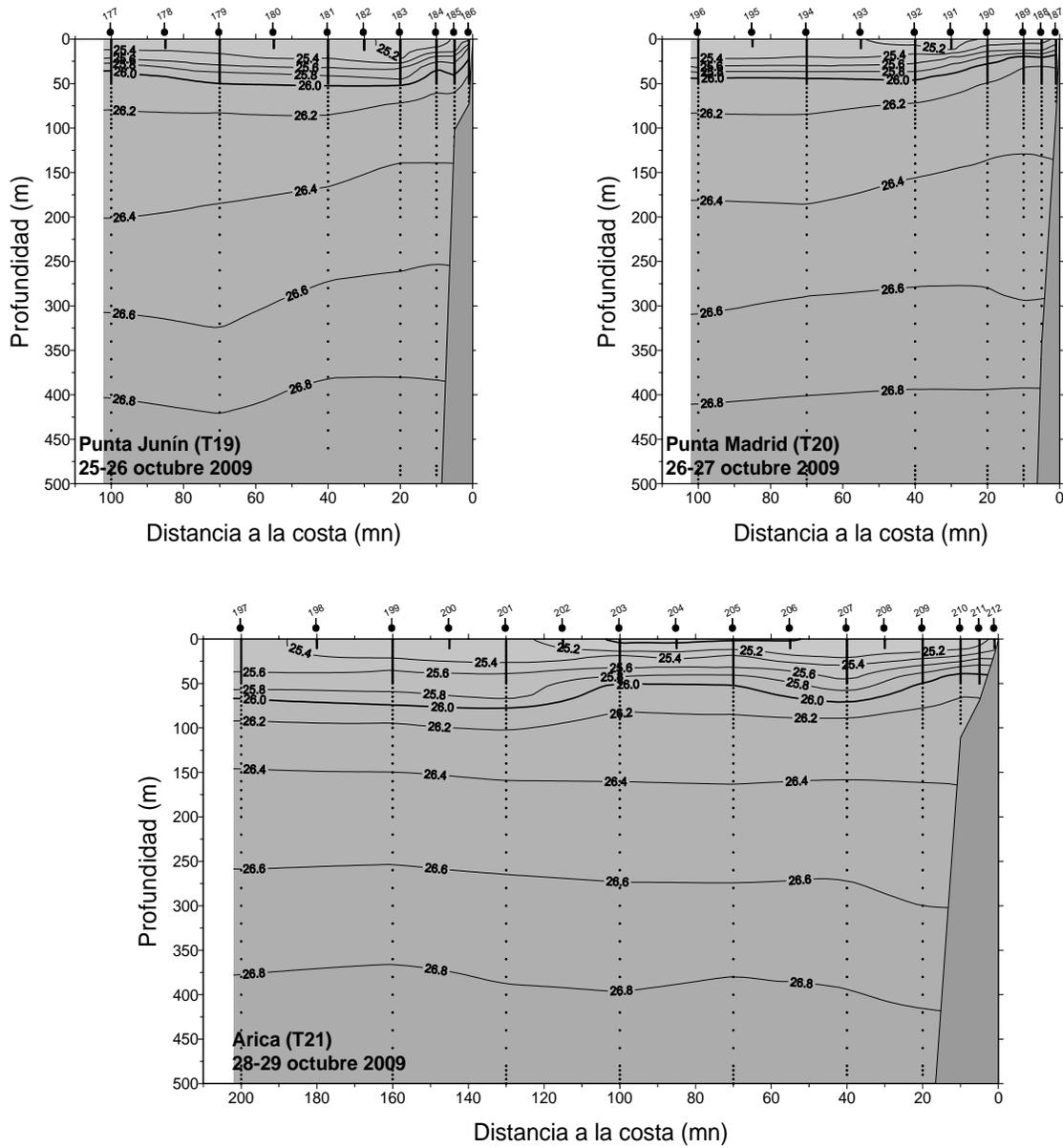


Figura 19. Distribuci3n vertical de densidad (σ_t) (kg/m^3) en las transectas 19 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

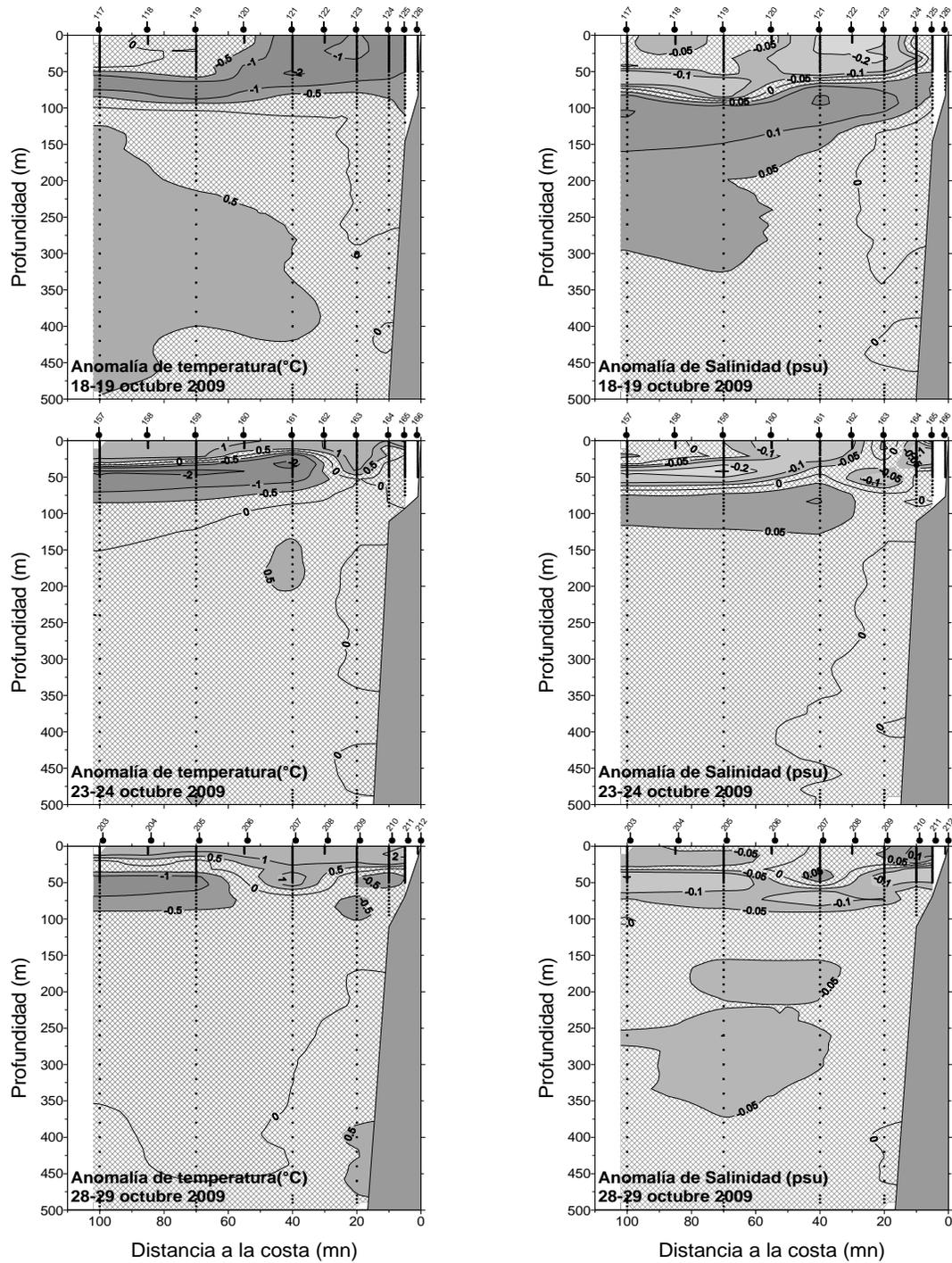


Figura 20. Anomalia vertical de temperatura (°C) y salinidad (psu) en las transectas: 13 (Bahía Moreno, 23°40'S), 17 (Pta. Lobos; 21°00' S) y 21 (Arica; 18°25'S).

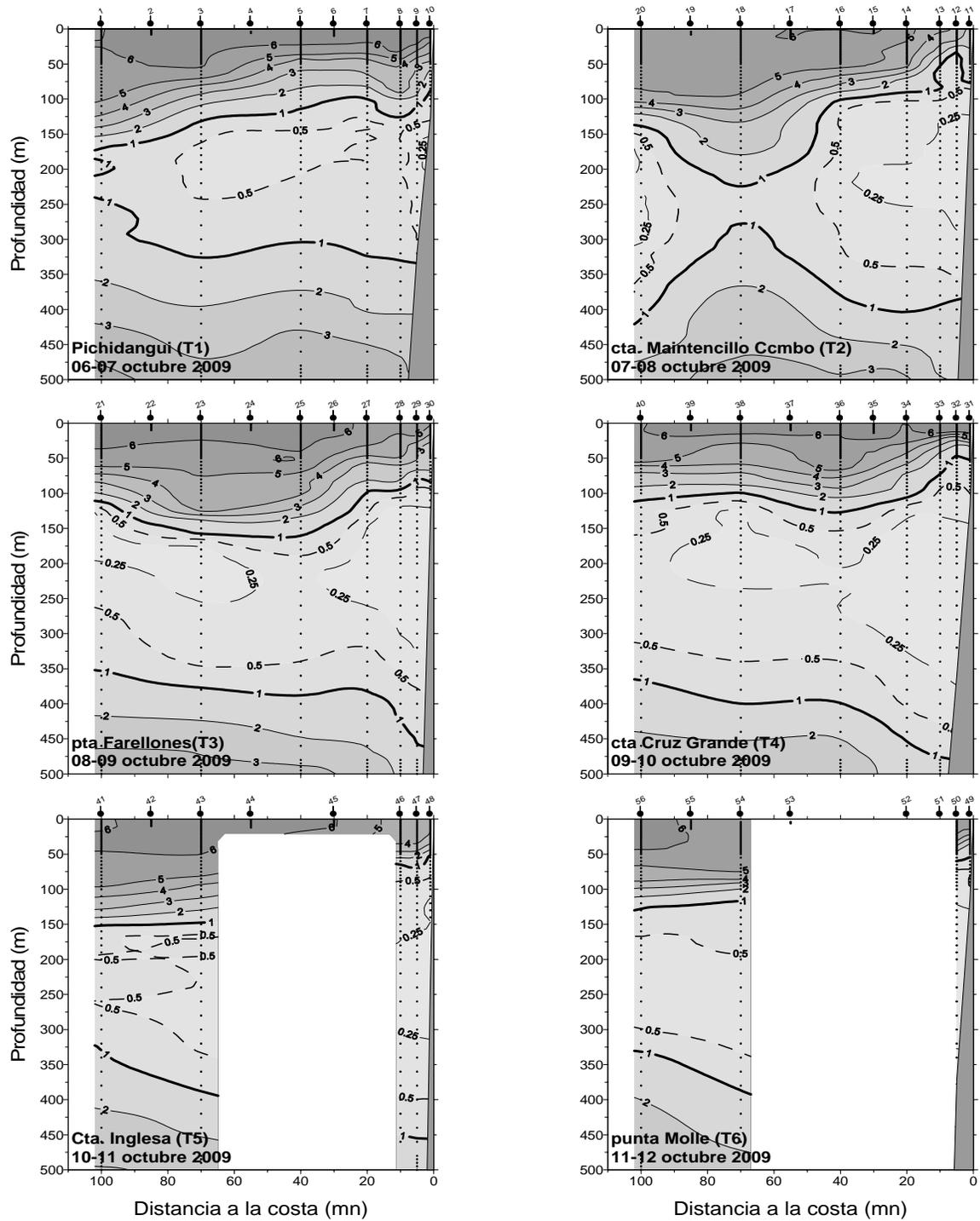


Figura 21. Distribuci3n vertical del contenido de ox3geno disuelto (mL/L) en las transectas 1 a 6. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

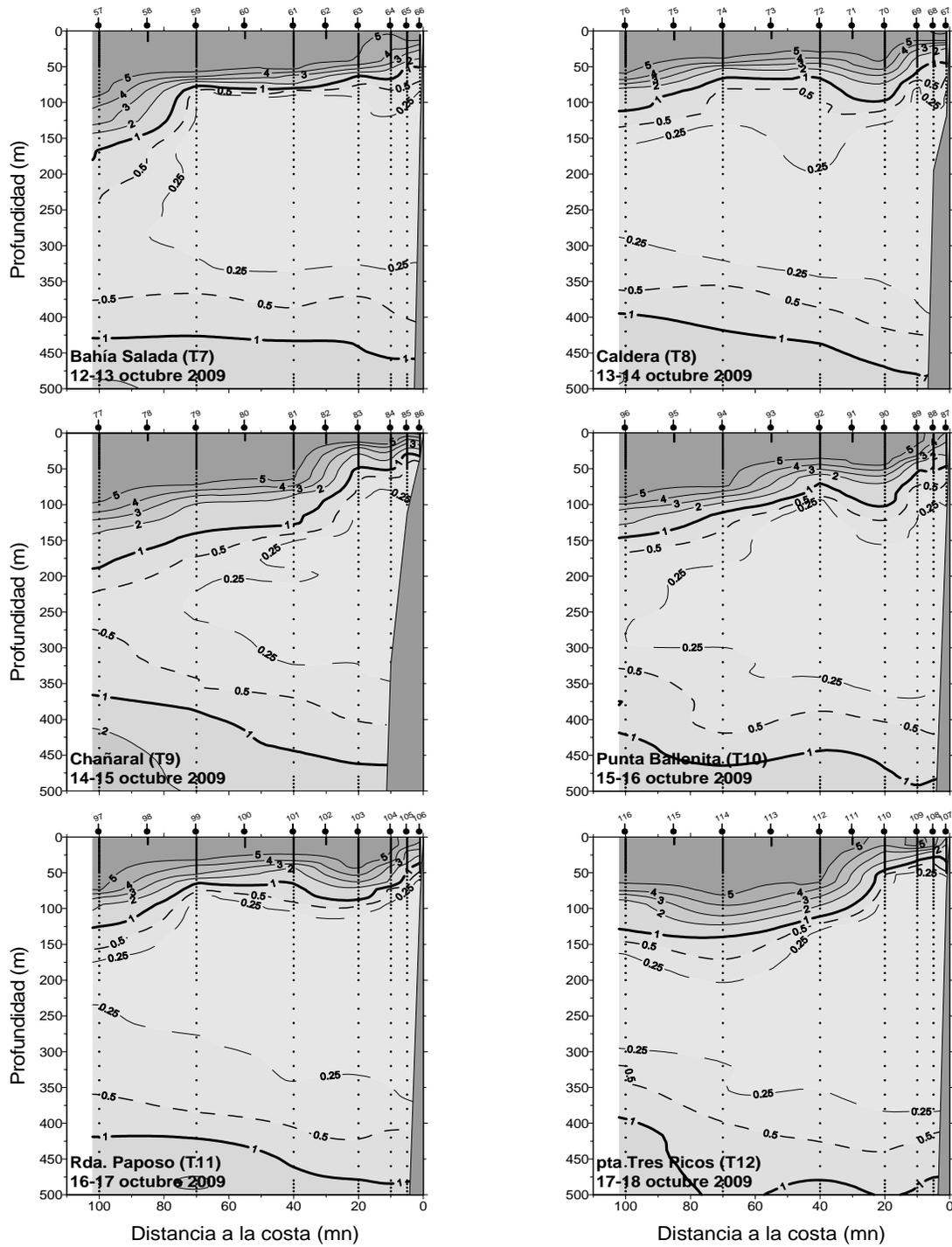


Figura 22. Distribuci3n vertical del contenido de ox3geno disuelto (mL/L) en las transectas 7 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

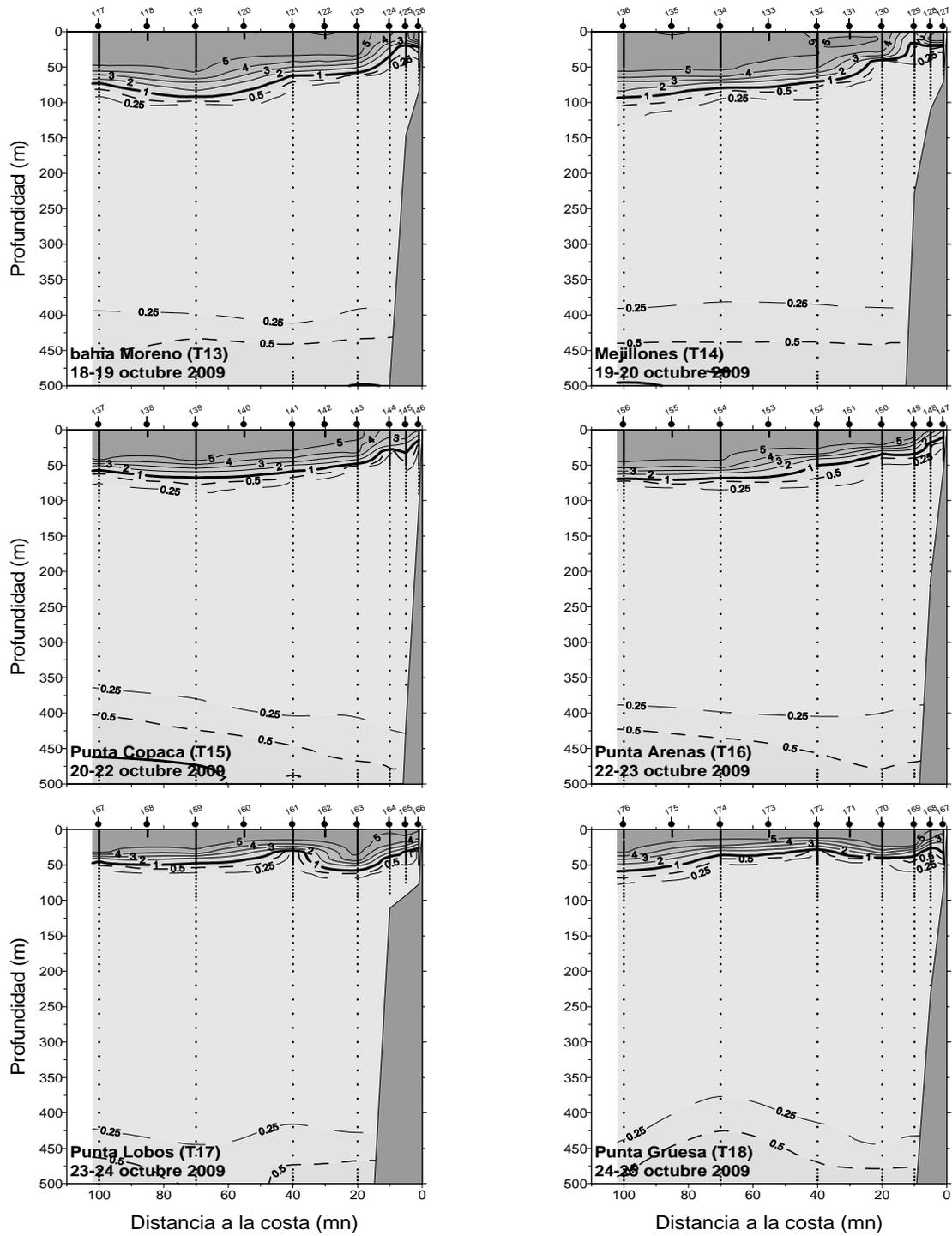


Figura 23. Distribuci3n vertical del contenido de oxígeno disuelto (mL/L) en las transectas 13 a 18. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

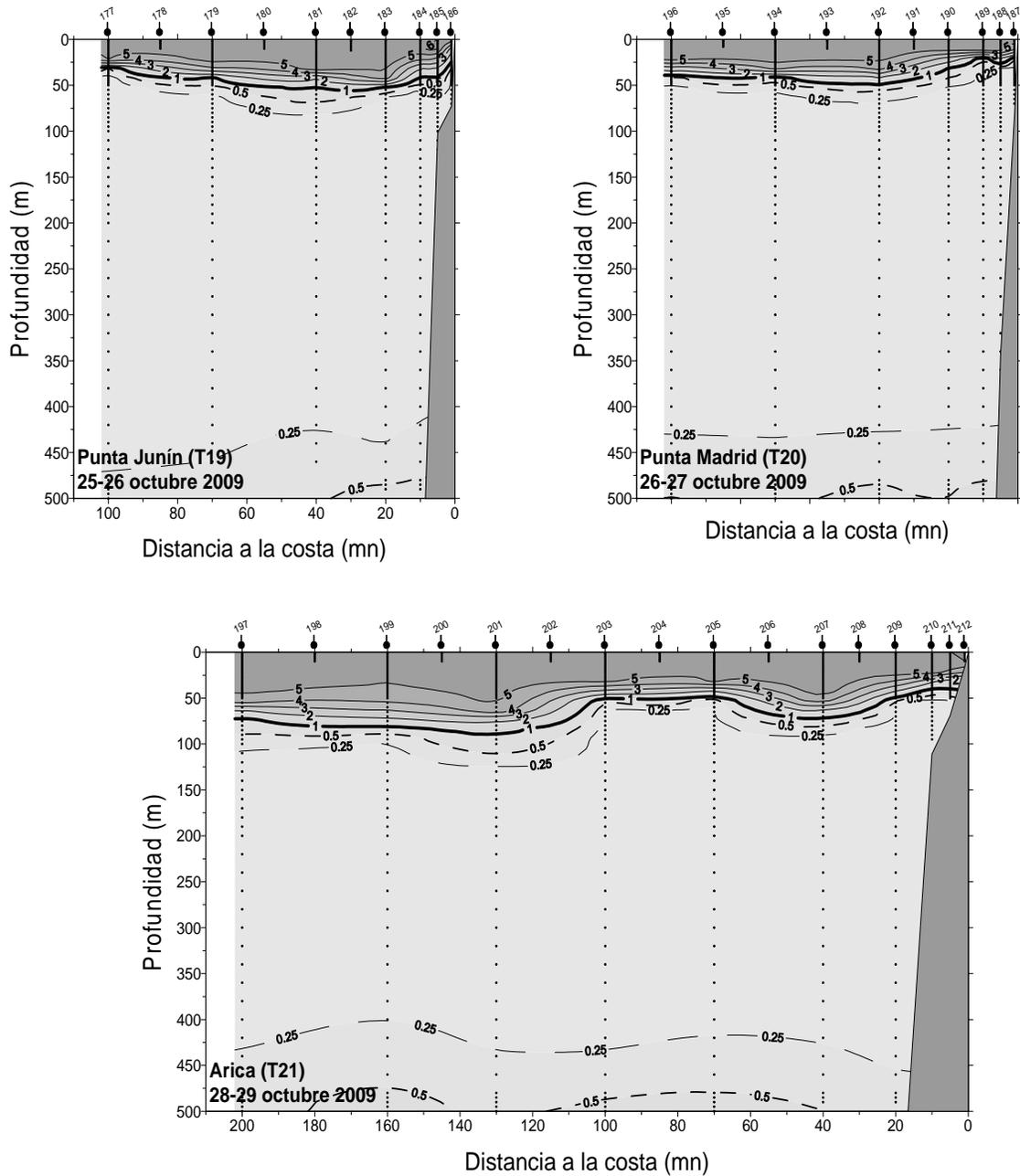


Figura 24. Distribuci3n vertical del contenido de oxigeno disuelto (mL/L) en las transectas 19 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

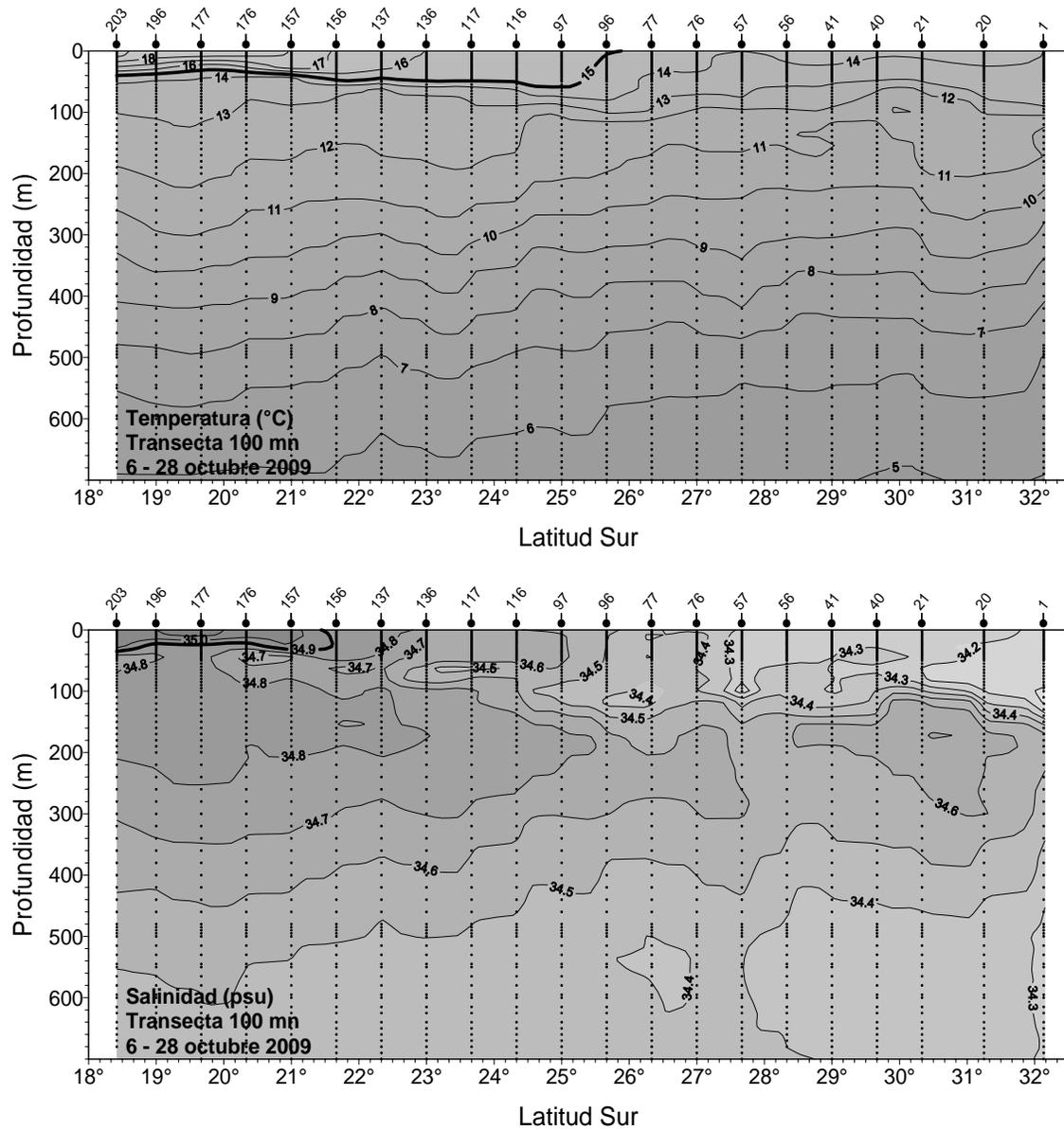


Figura 25. Distribuci3n vertical de temperatura (°C) y salinidad (psu) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

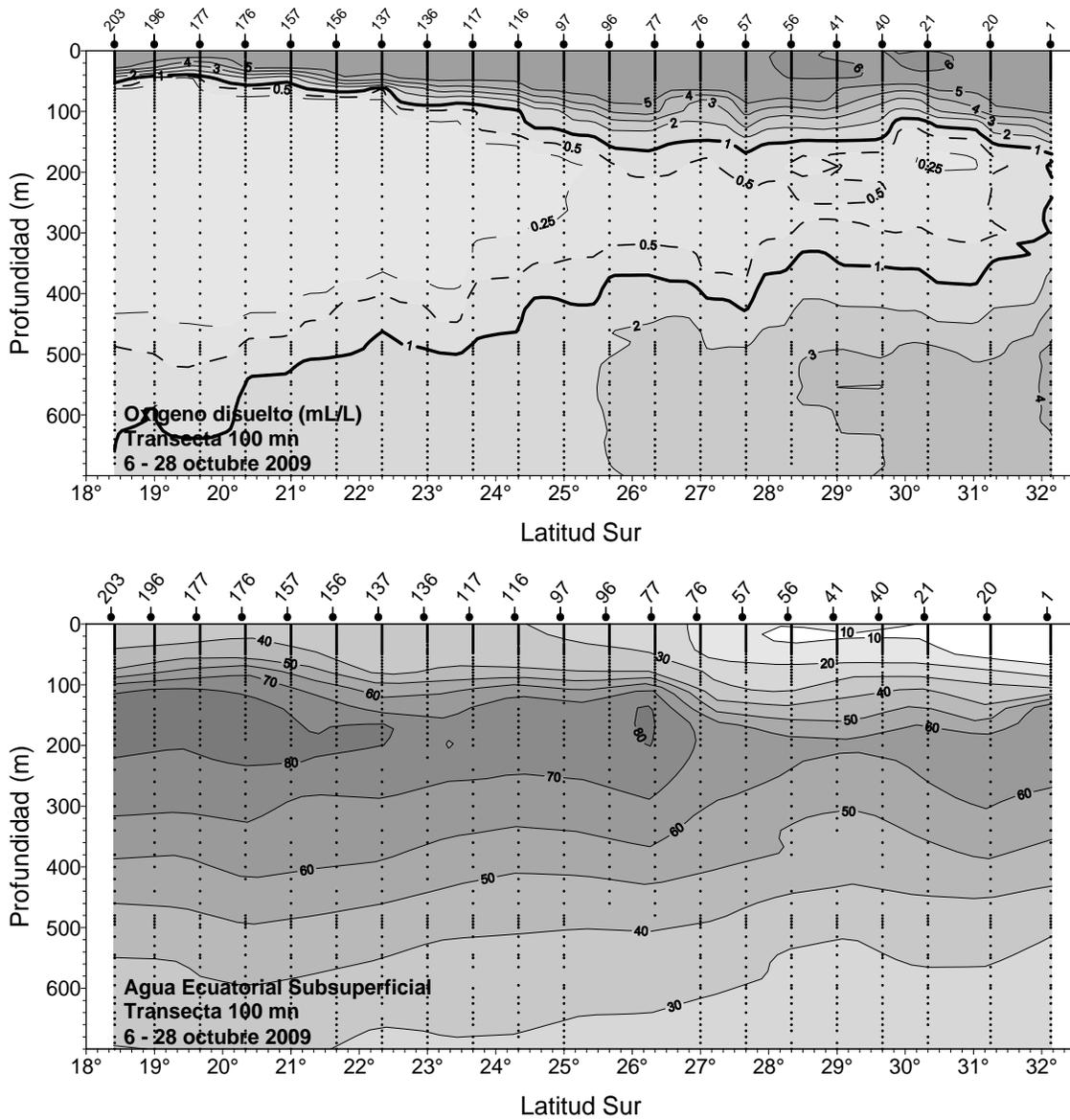


Figura 26. Distribuci3n vertical de contenido de oxígeno disuelto (mL/L) y porcentaje de participaci3n de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) a lo largo de una transecta norte-sur a 100 mn de la costa. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

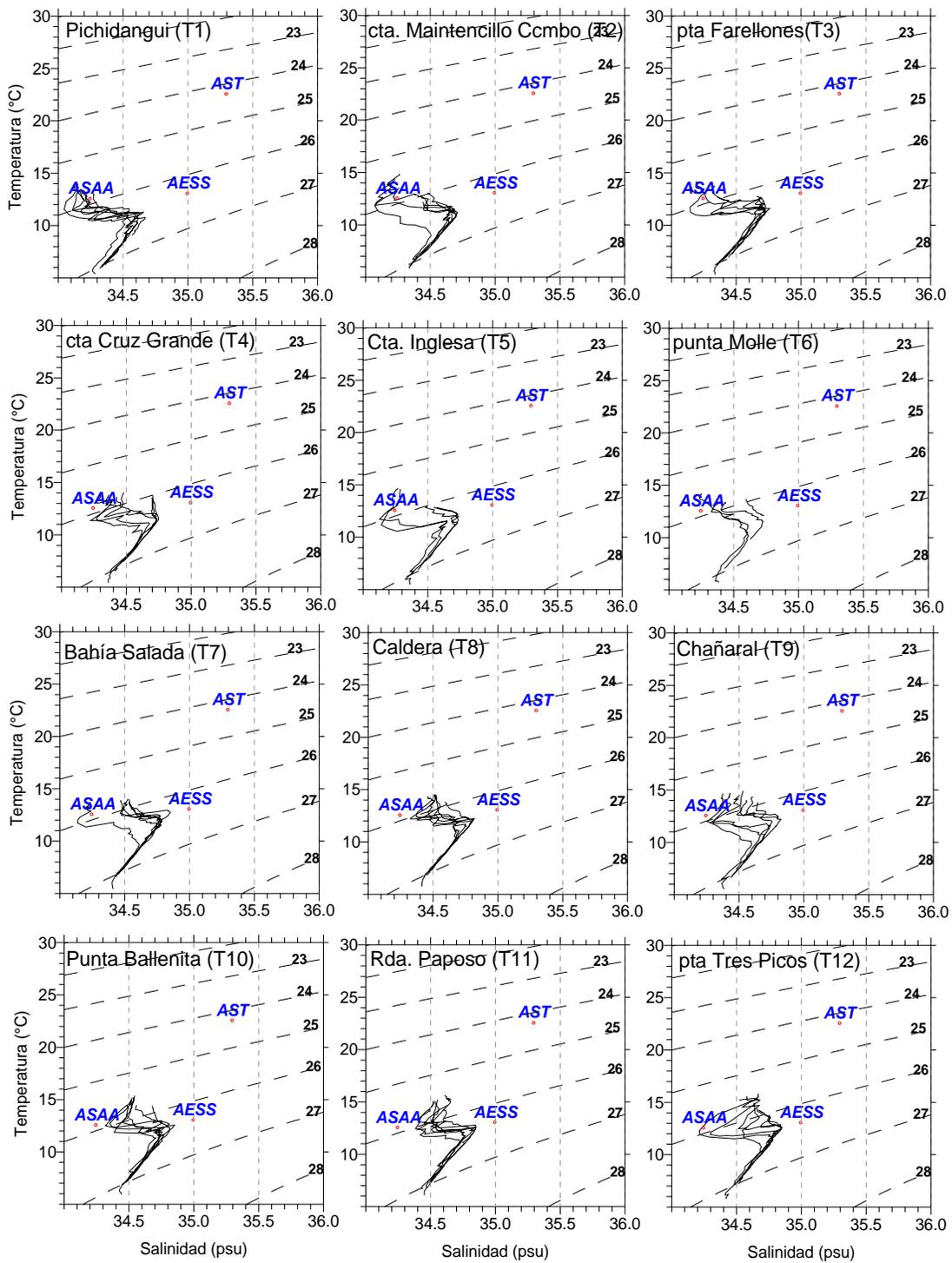


Figura 27. Diagramas T-S de las estaciones por sección perpendicular a la costa. Transectas 1 a 12. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

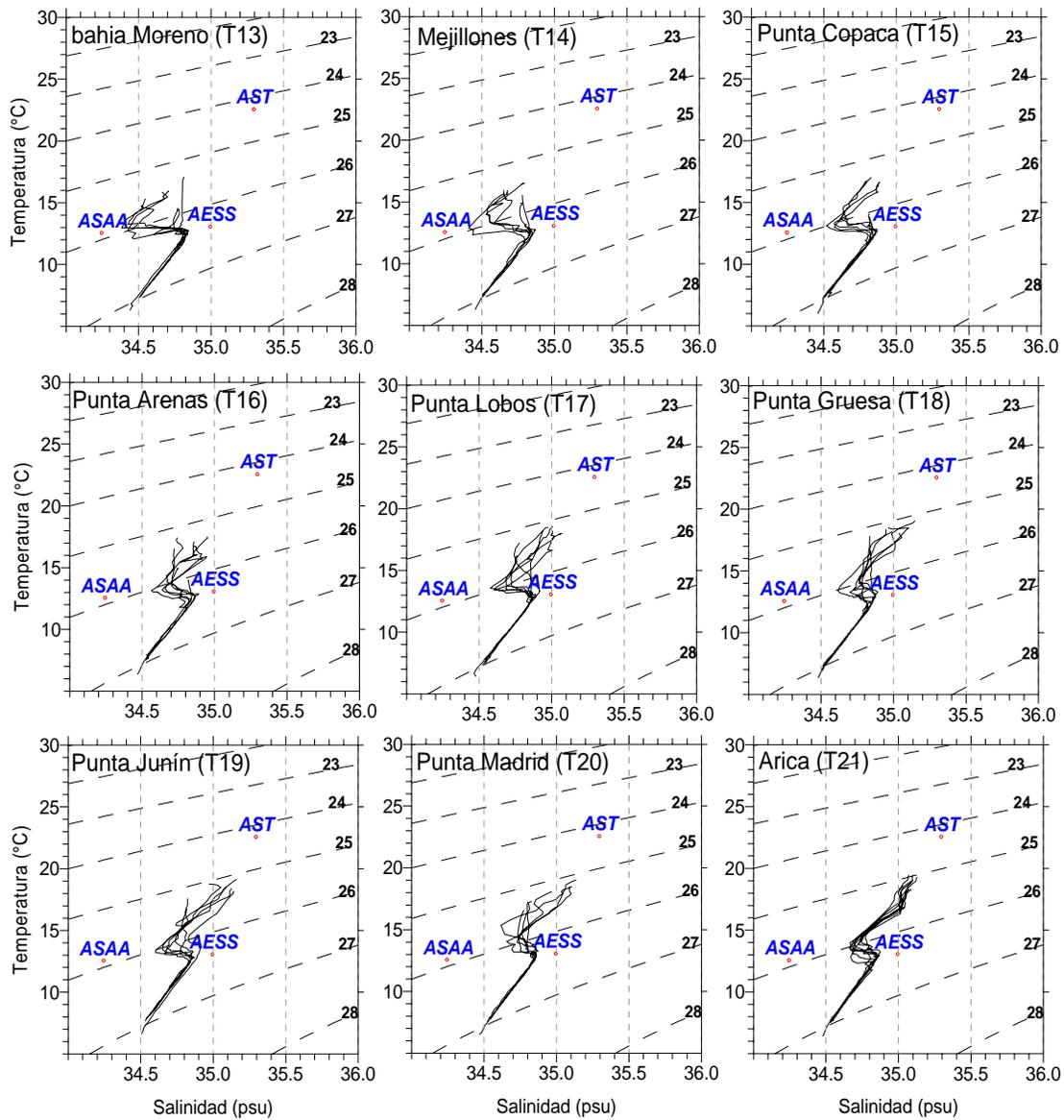


Figura 28. Diagramas T-S de las estaciones por secci3n perpendicular a la costa. Transectas 13 a 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

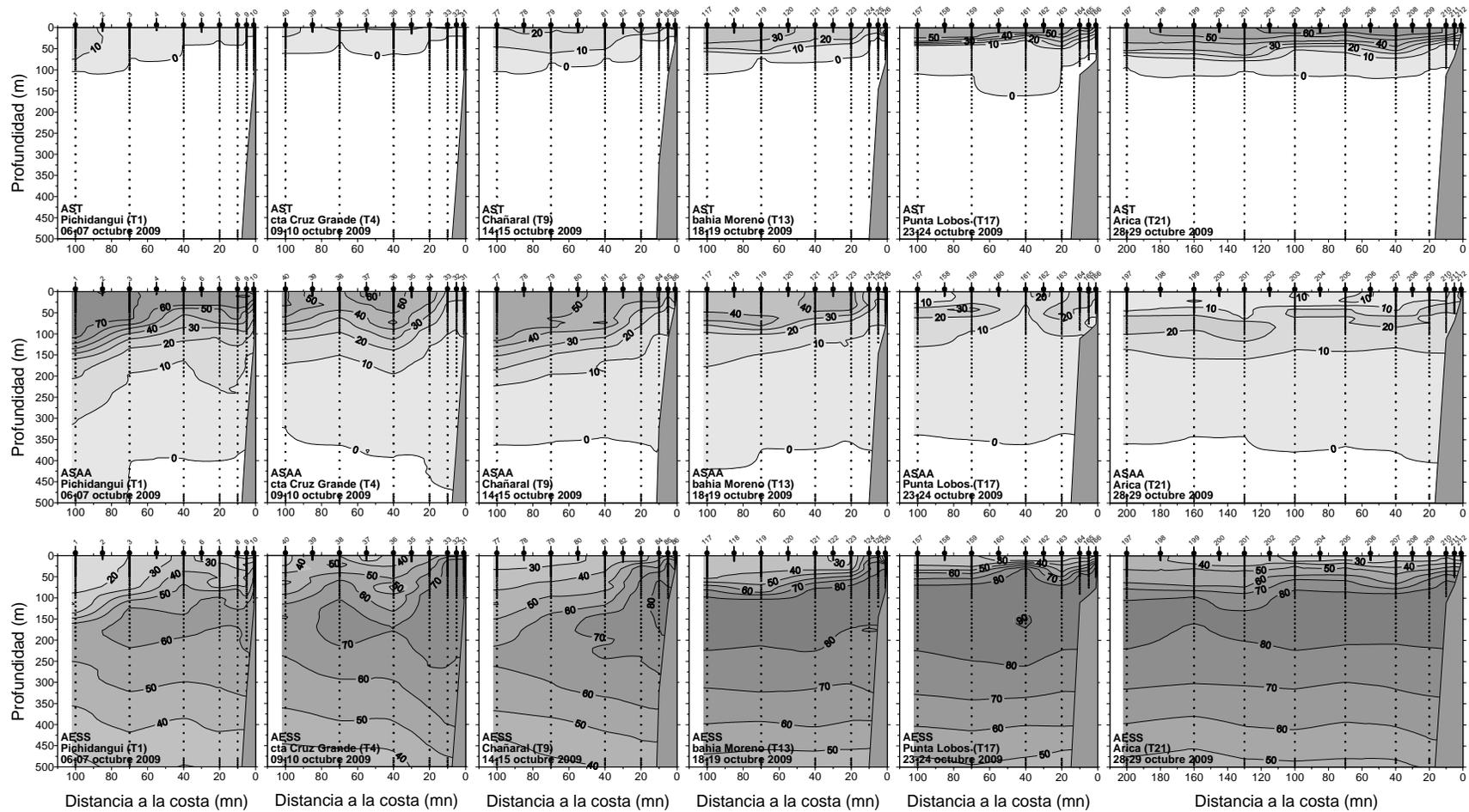


Figura 29. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de agua Subtropical (AST), agua Subantártica (ASAA) y agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en las transectas 1, 4, 9, 13, 17 y 21. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

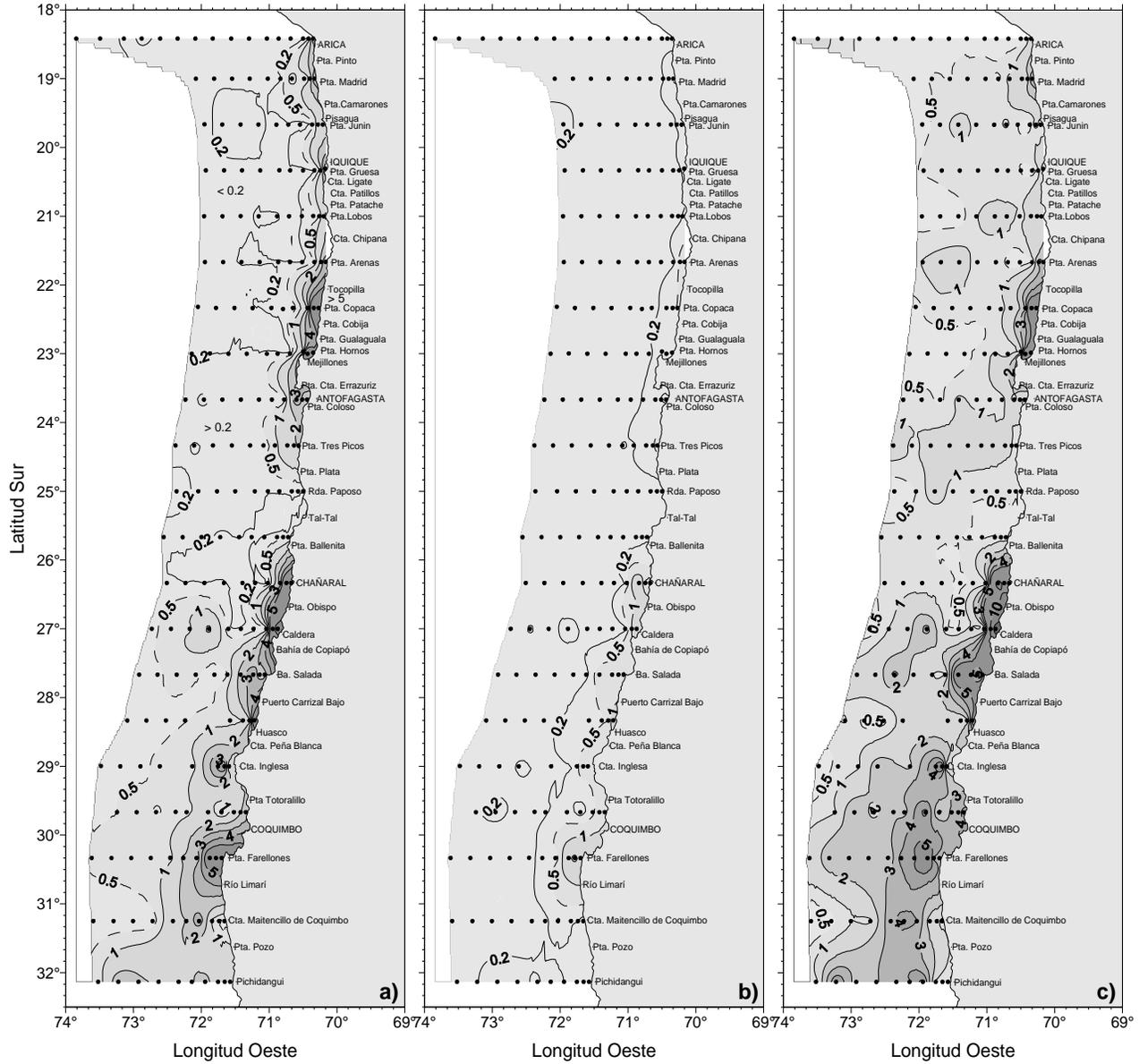


Figura 30. Distribuci3n de a) clorofila-a superficial ($\mu\text{g/L}$), b) feopigmento superficial ($\mu\text{g/L}$), c) fluorescencia *in vivo* (volt). Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

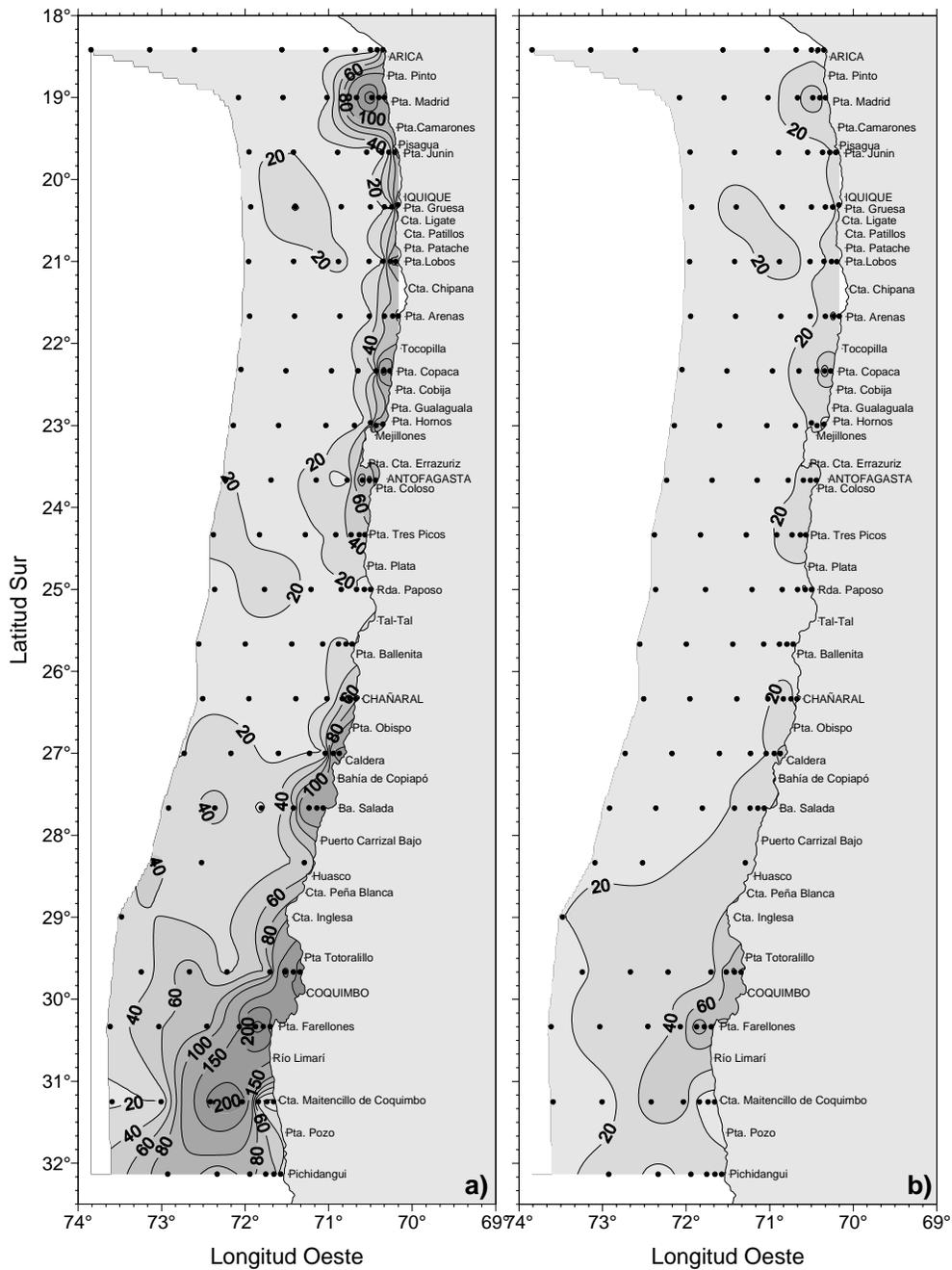


Figura 31. Distribuci3n de a) clorofila integrada (mg/m²) y b) feopigmentos integrados (mg/m²). Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

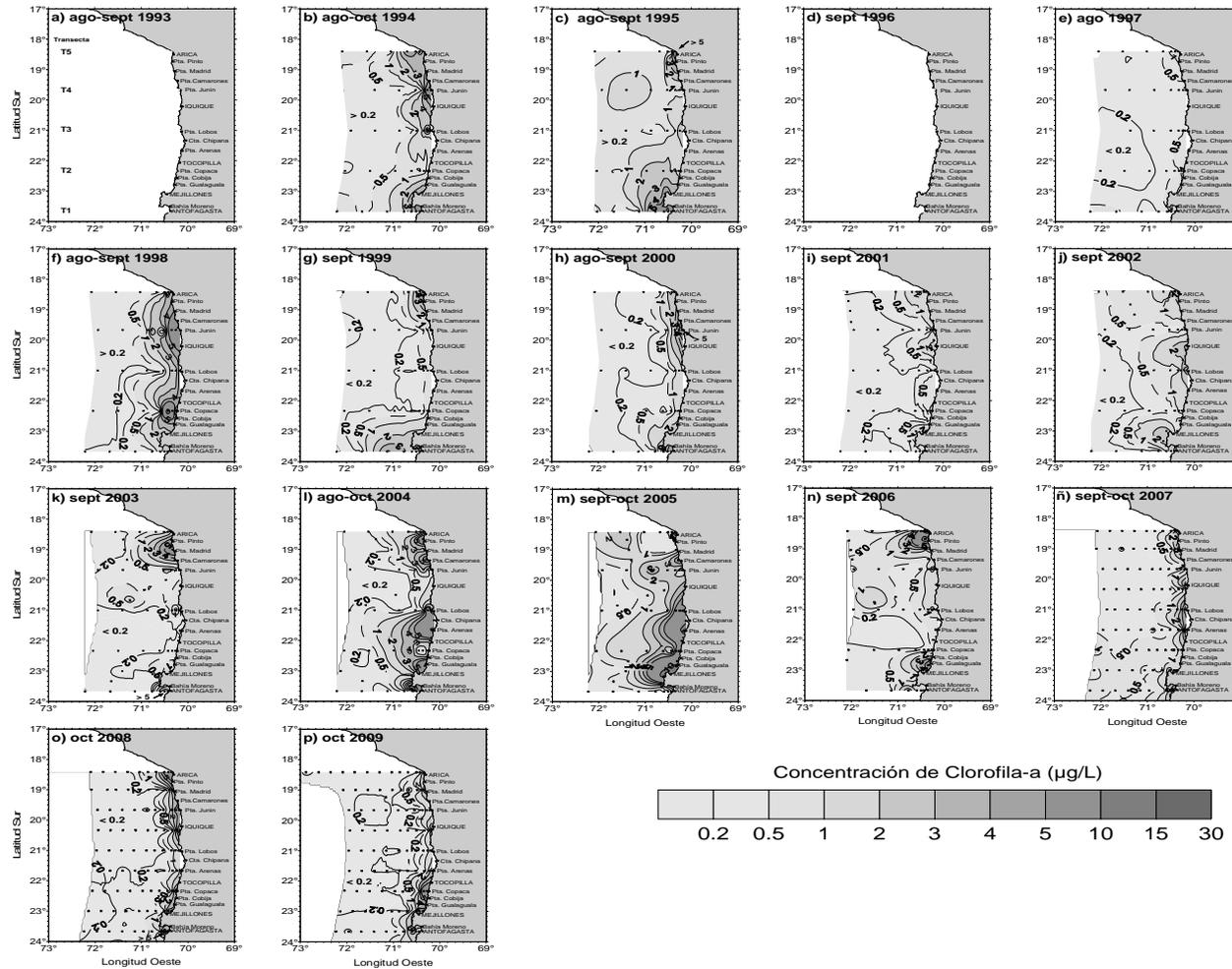


Figura 32. Distribuci3n hist3rica de clorofila a superficial ($\mu\text{g/L}$) en: bahía Moreno (T1), punta Copaca (T2), punta Lobos (T3), punta Junín (T4) y Arica (T5), para el trimestre agosto-octubre en el período 1993 - 2009. (cruceos realizados en los años 1993 y 1996 sin informaci3n de clorofila-a).

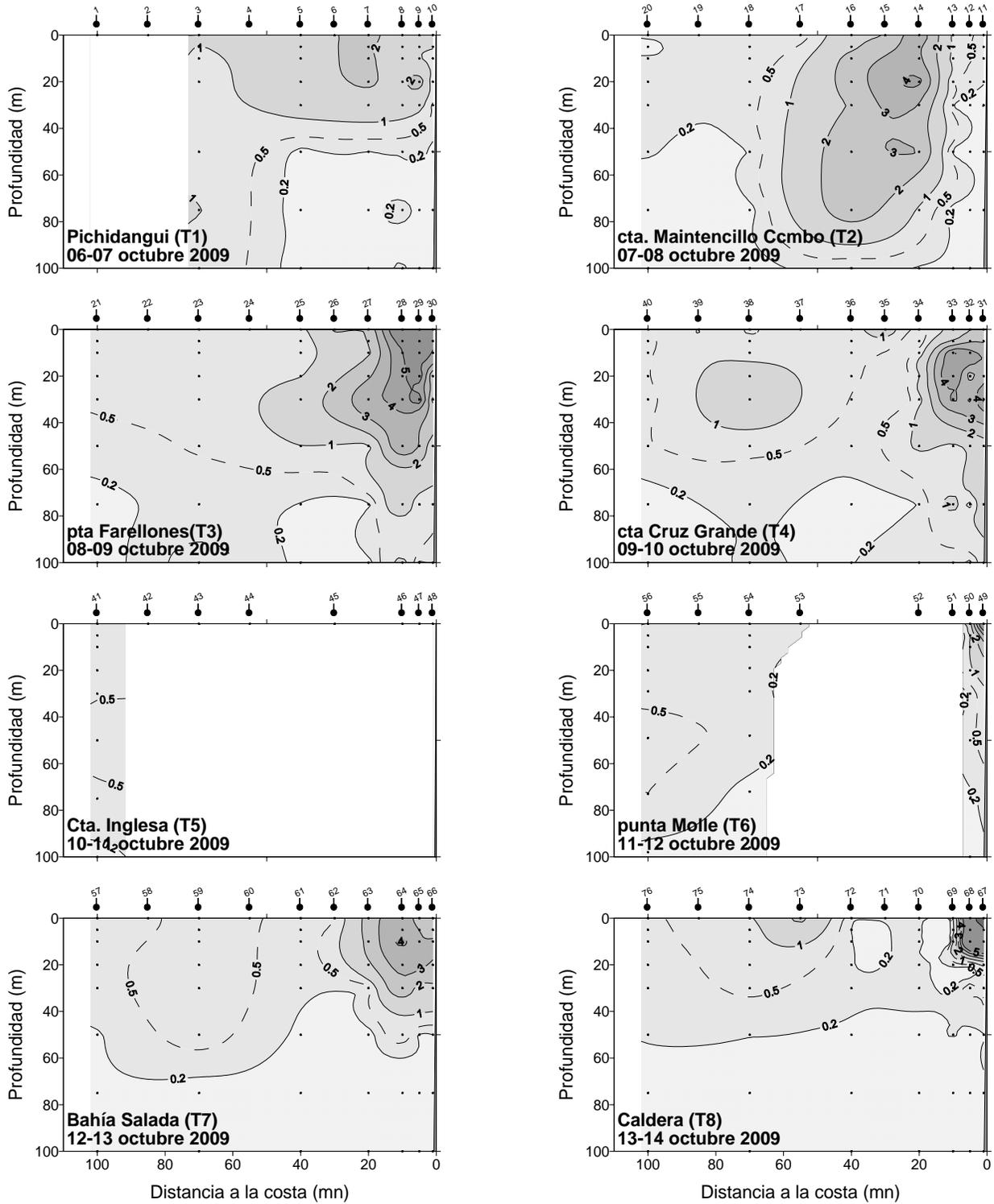


Figura 33. Distribuci3n vertical de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 1 a 8. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

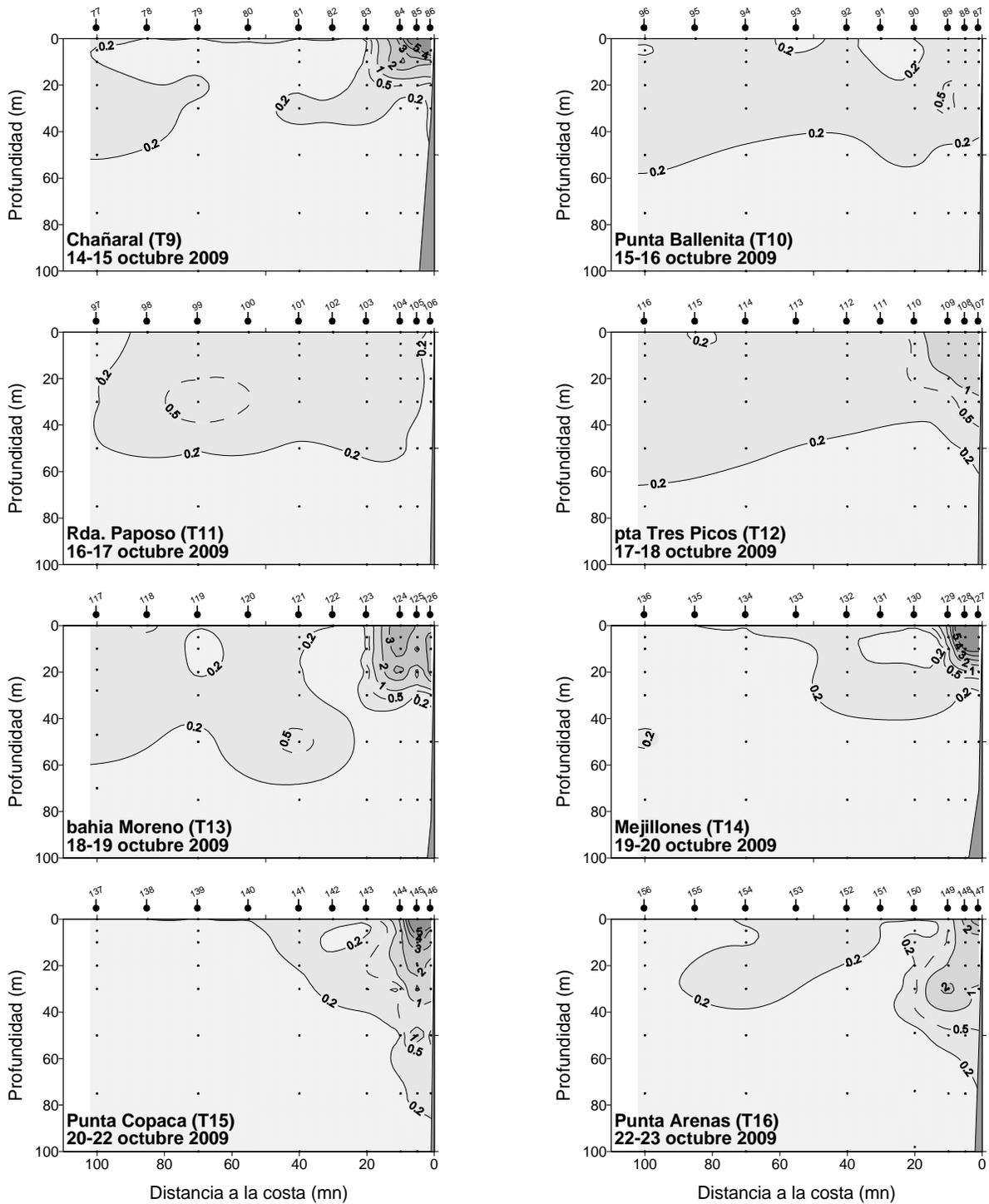


Figura 34. Distribuci3n vertical de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 9 a 16. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

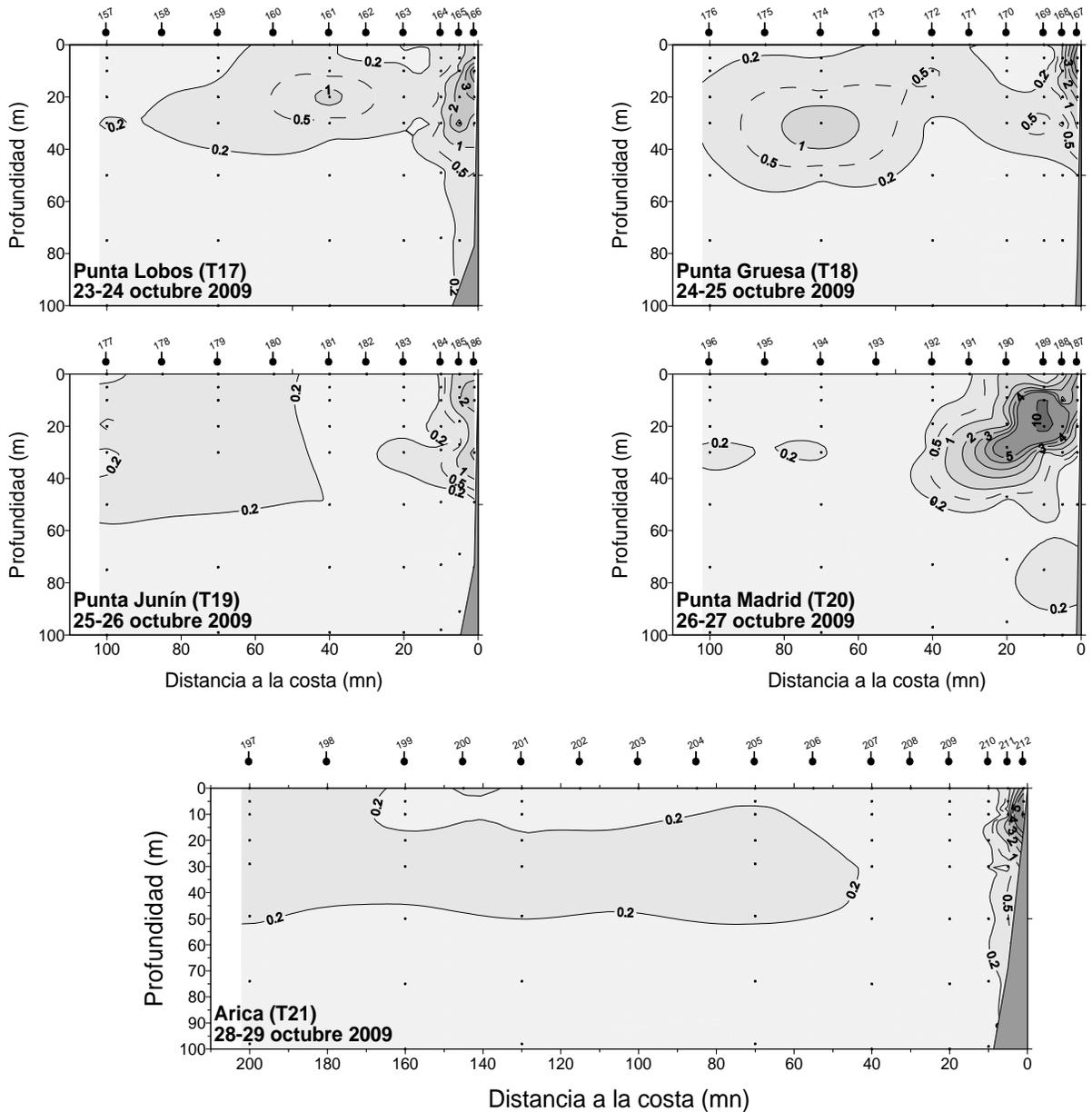


Figura 35. Distribuci3n vertical de clorofila a ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 17 a 21. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

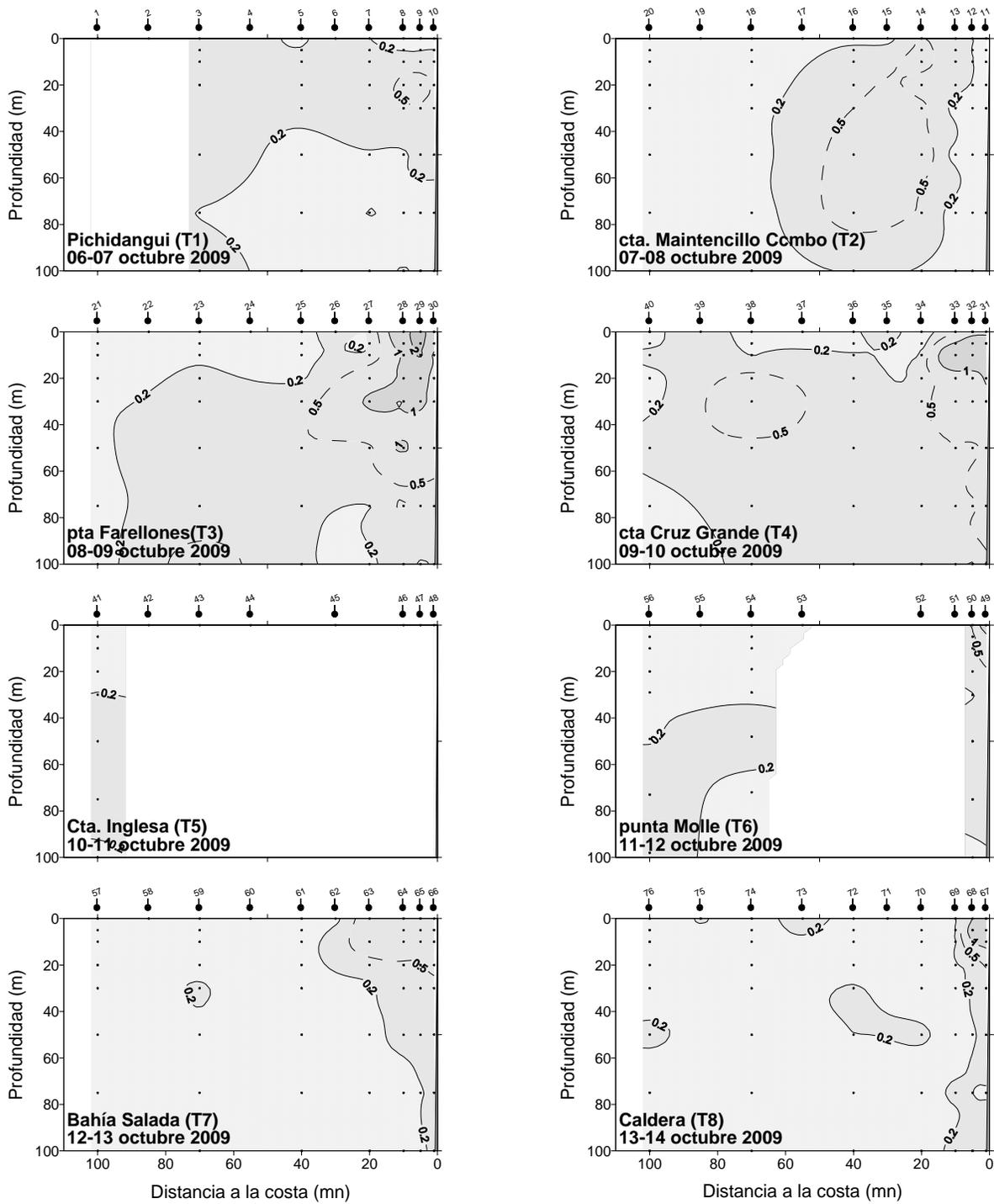


Figura 36. Distribuci3n vertical de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 1 a 8. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

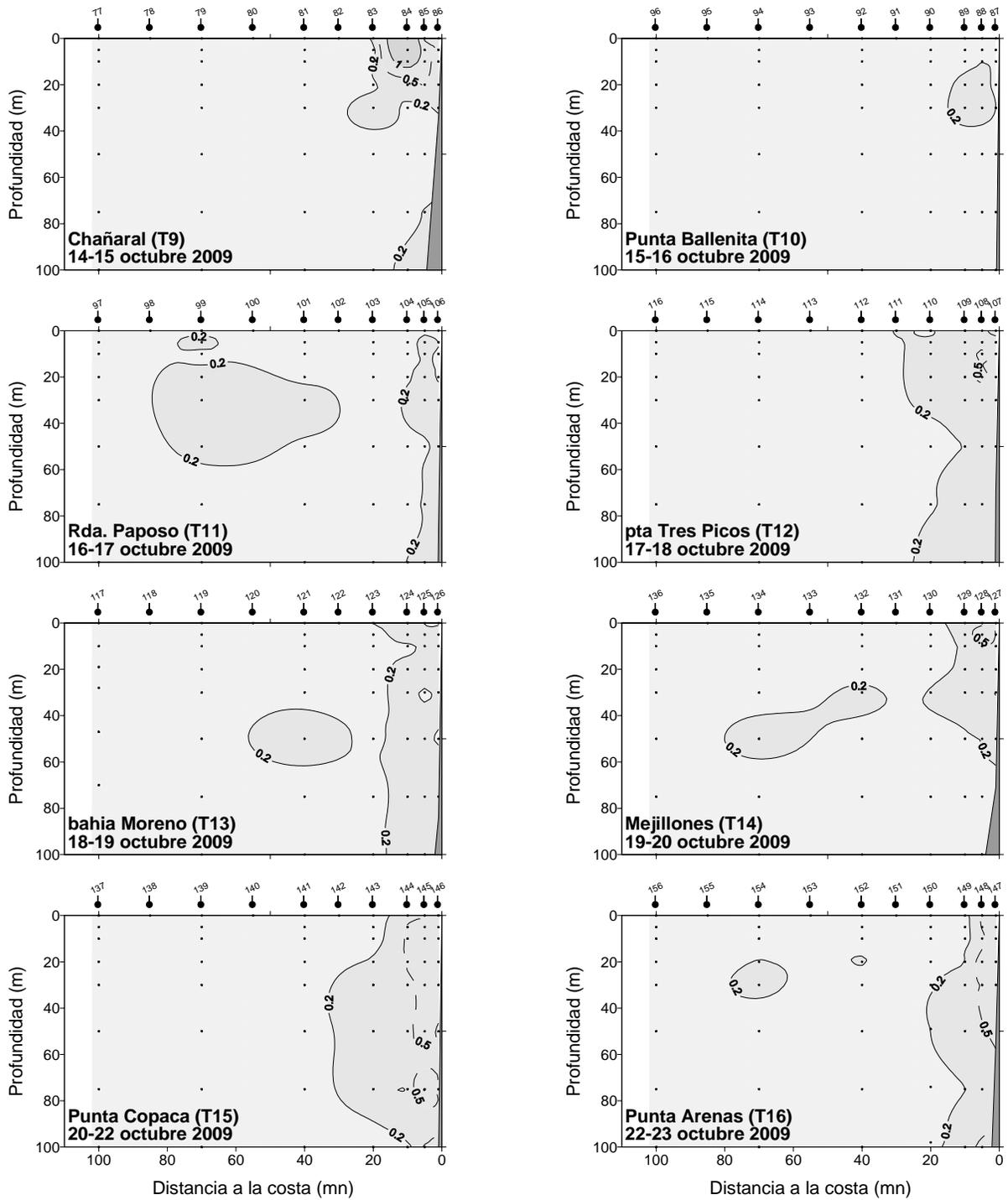


Figura 37. Distribuci3n vertical de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 9 a 16. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

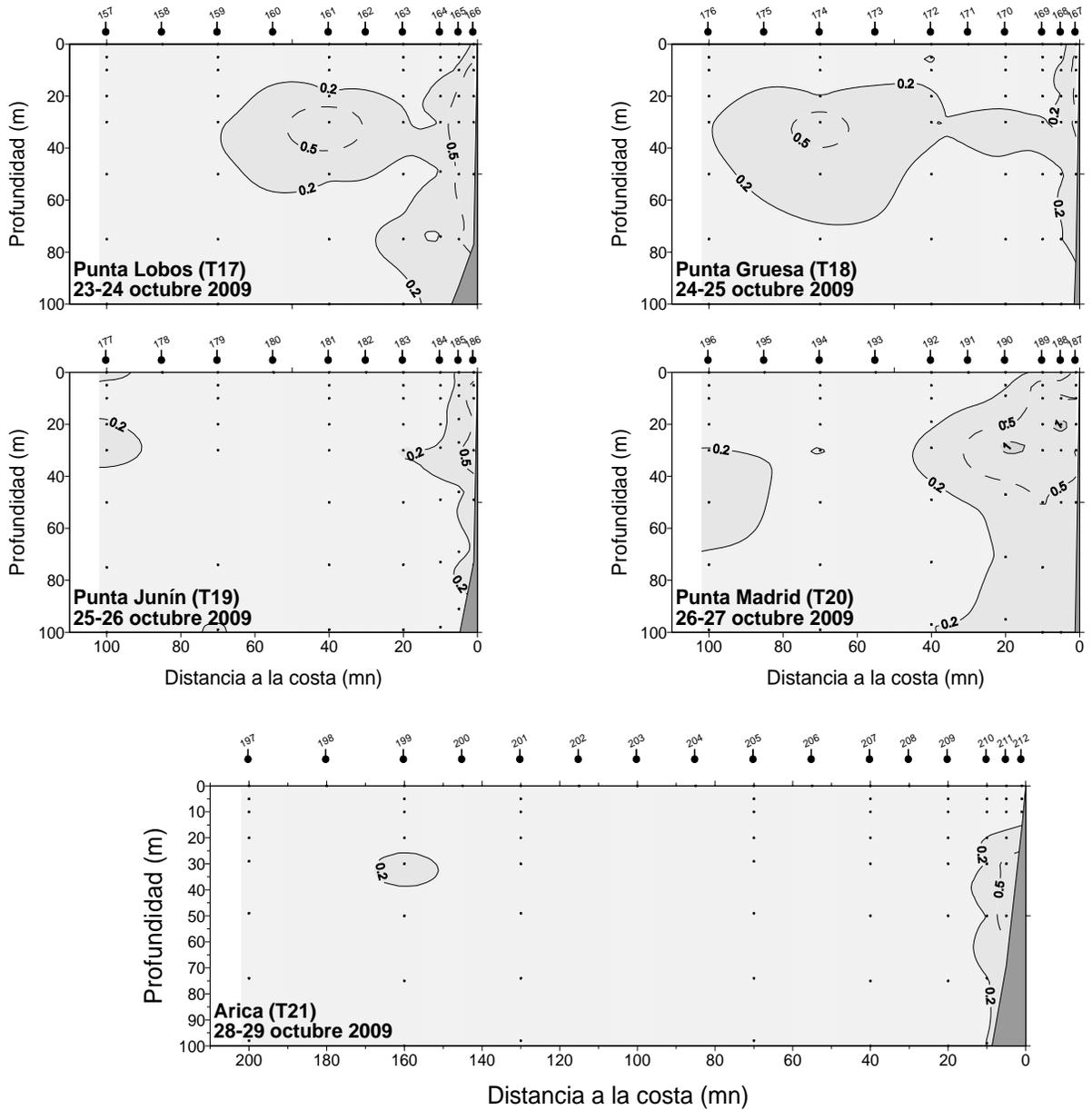


Figura 38. Distribuci3n vertical de feopigmentos ($\mu\text{g/L}$) en las transectas 17 a 21. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

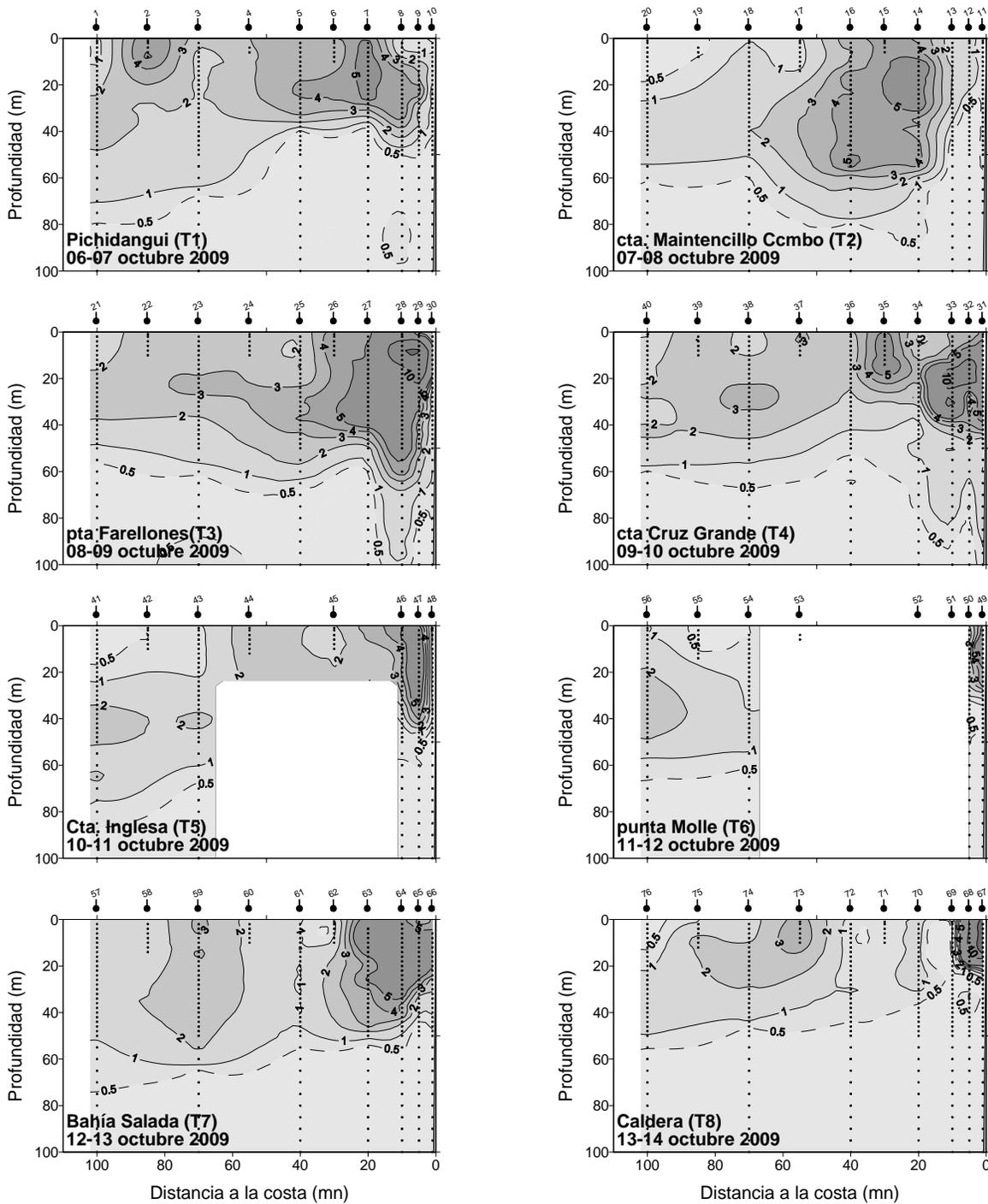


Figura 39. Distribuci3n vertical de fluorescencia *in vivo* (volt) en las transectas 1 a 8. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

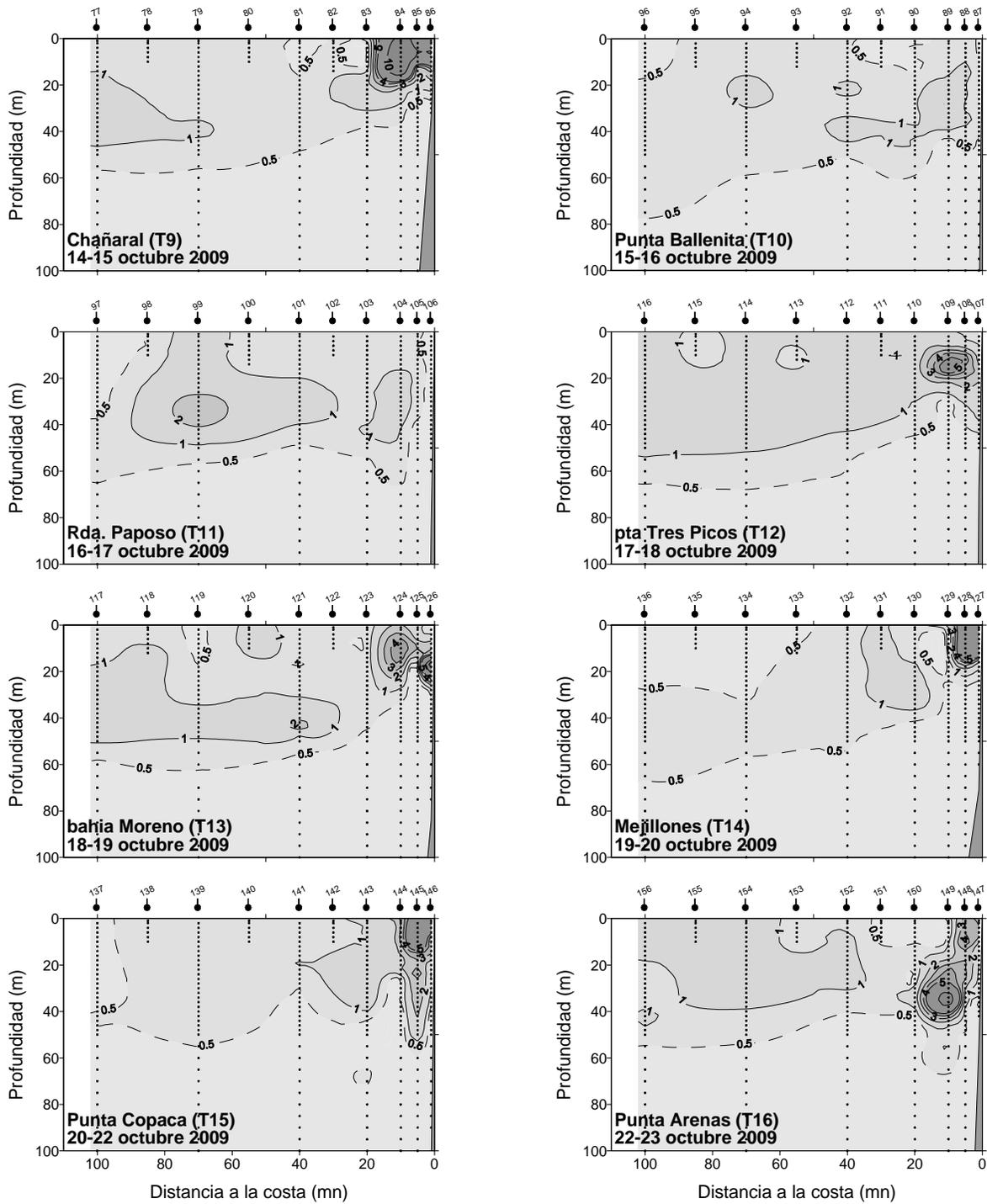


Figura 40. Distribuci3n vertical de fluorescencia *in vivo* (volt) en las transectas 9 a 16. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

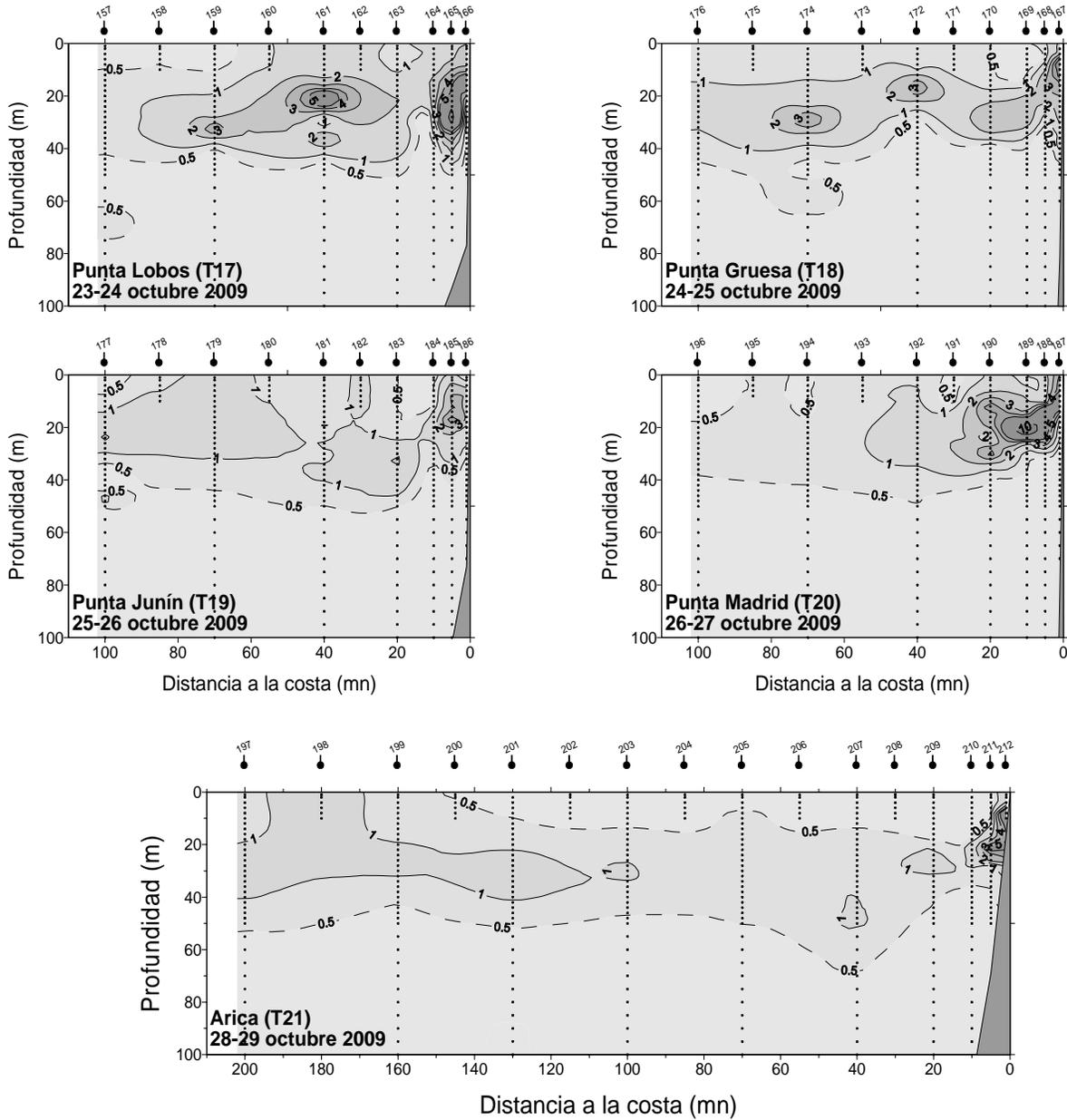


Figura 41. Distribuci3n vertical de fluorescencia *in vivo* (volt)) en las transectas 17 a 21. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

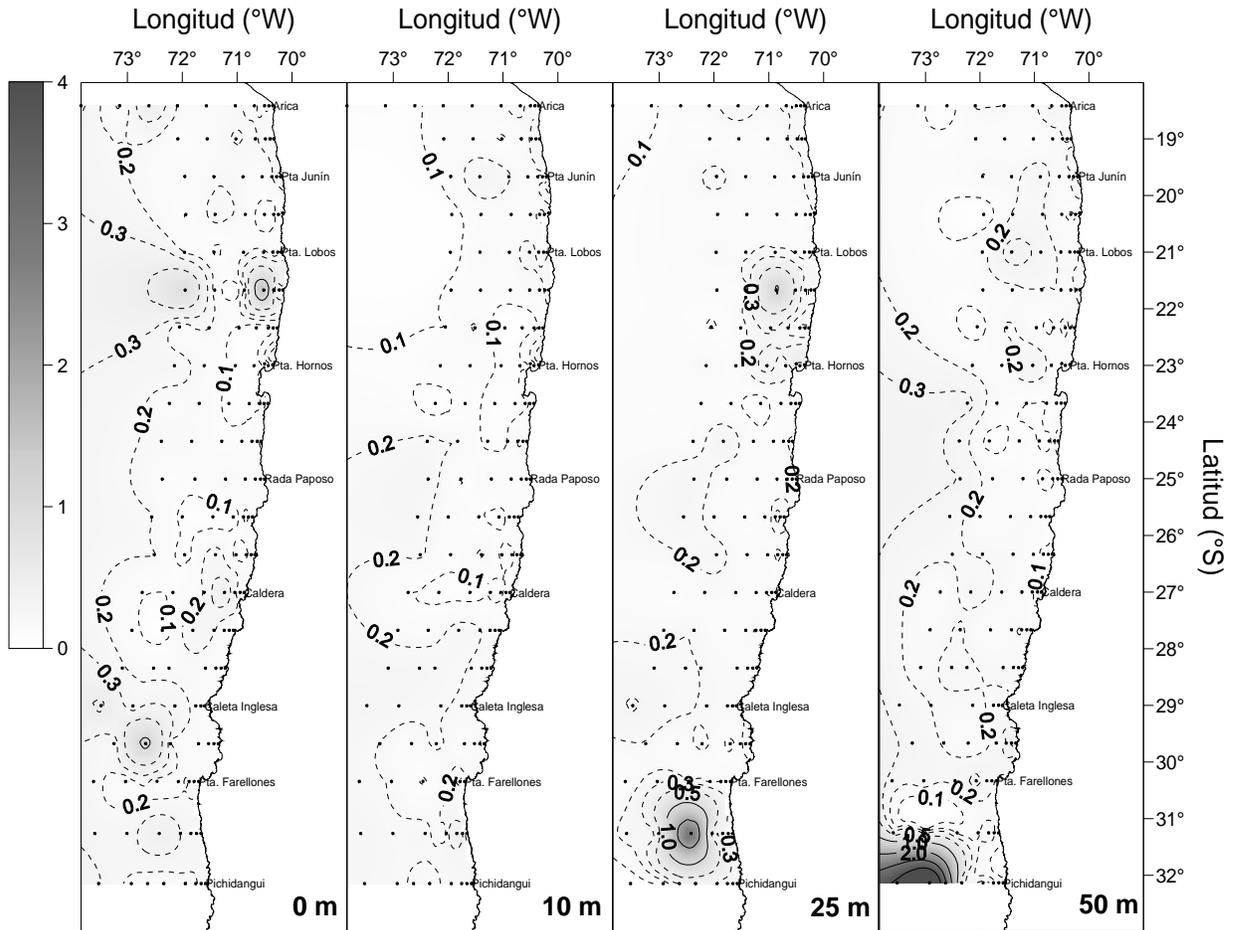


Figura 42. Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de amonio (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.

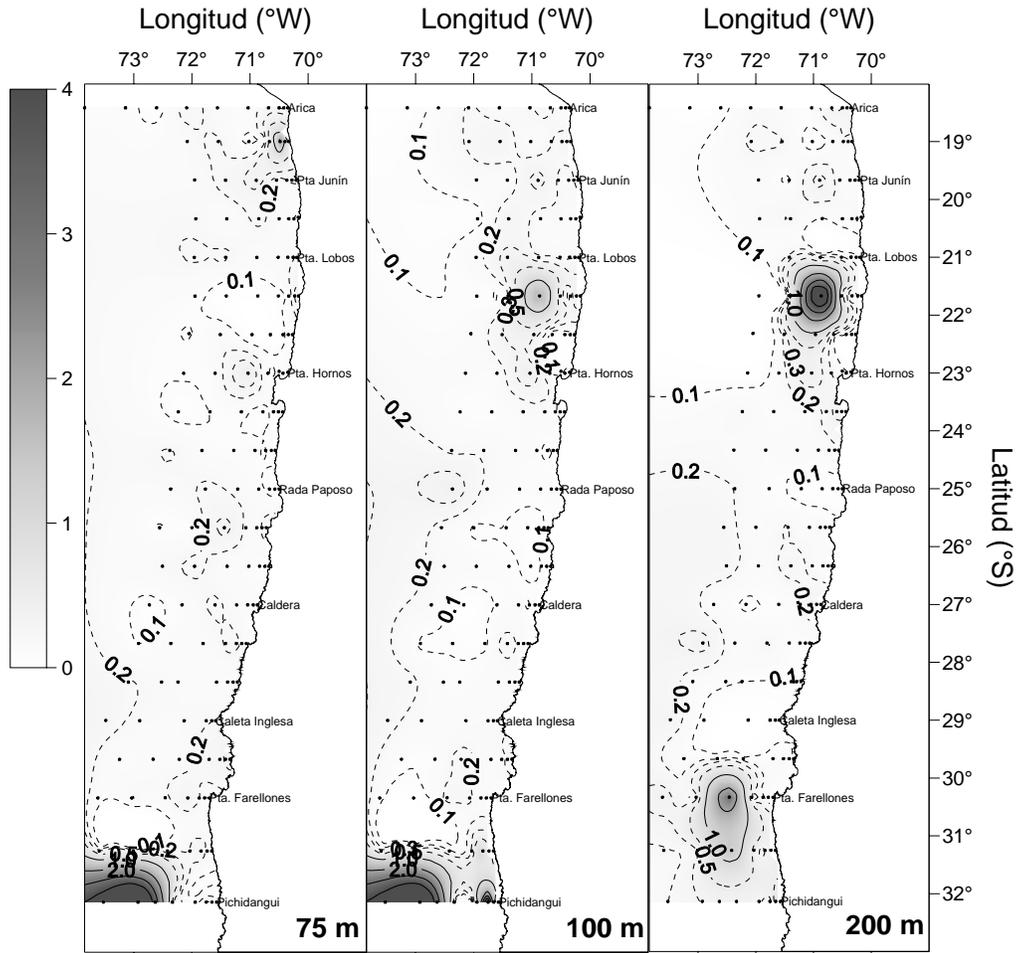


Figura 43. Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de amonio (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.

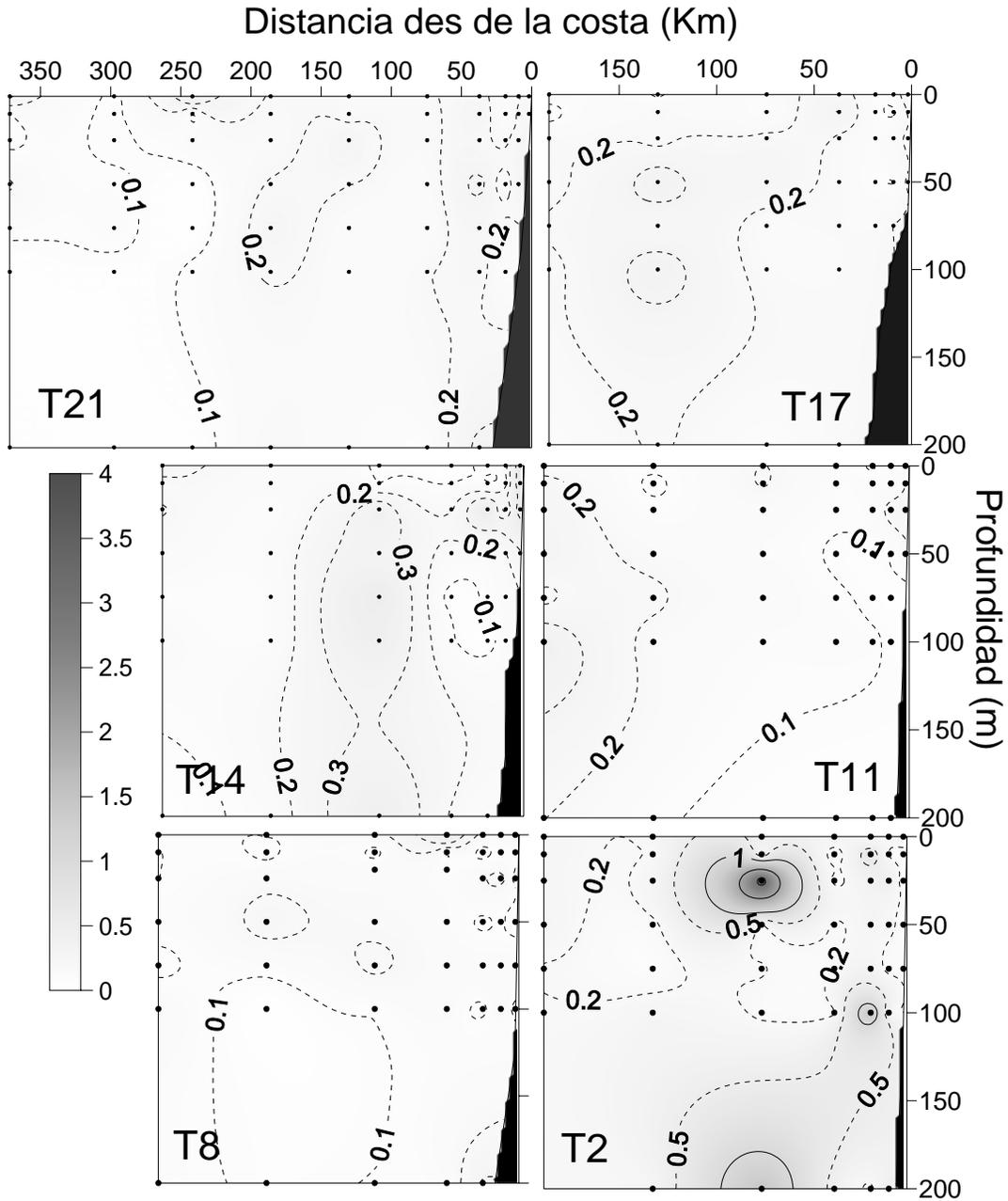


Figura 44. Distribuci3n vertical de la concentraci3n de amonio (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Papos (T11), Caldera (T8) y Cta. Maitencillo de Coquimbo (T2).

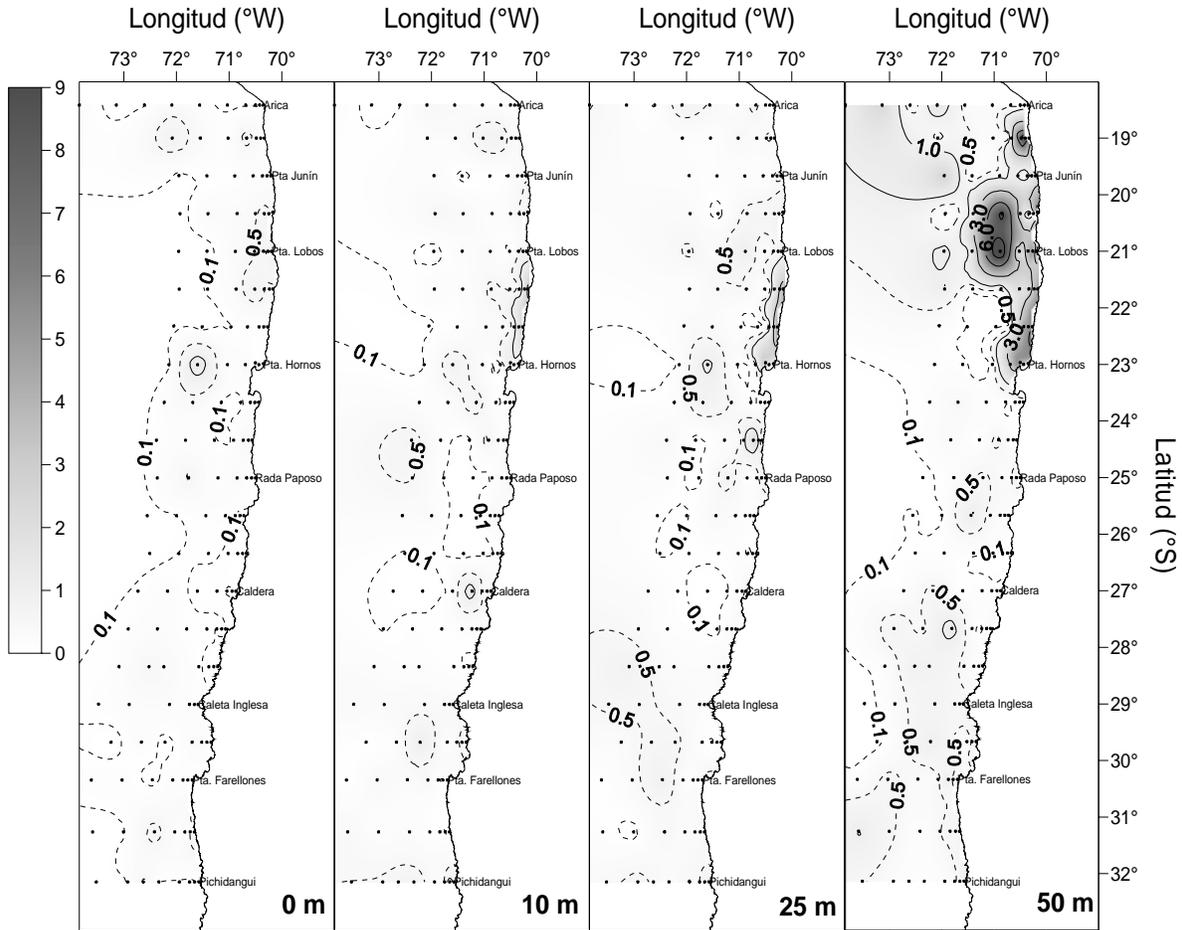


Figura 45. Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de nitrito (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.

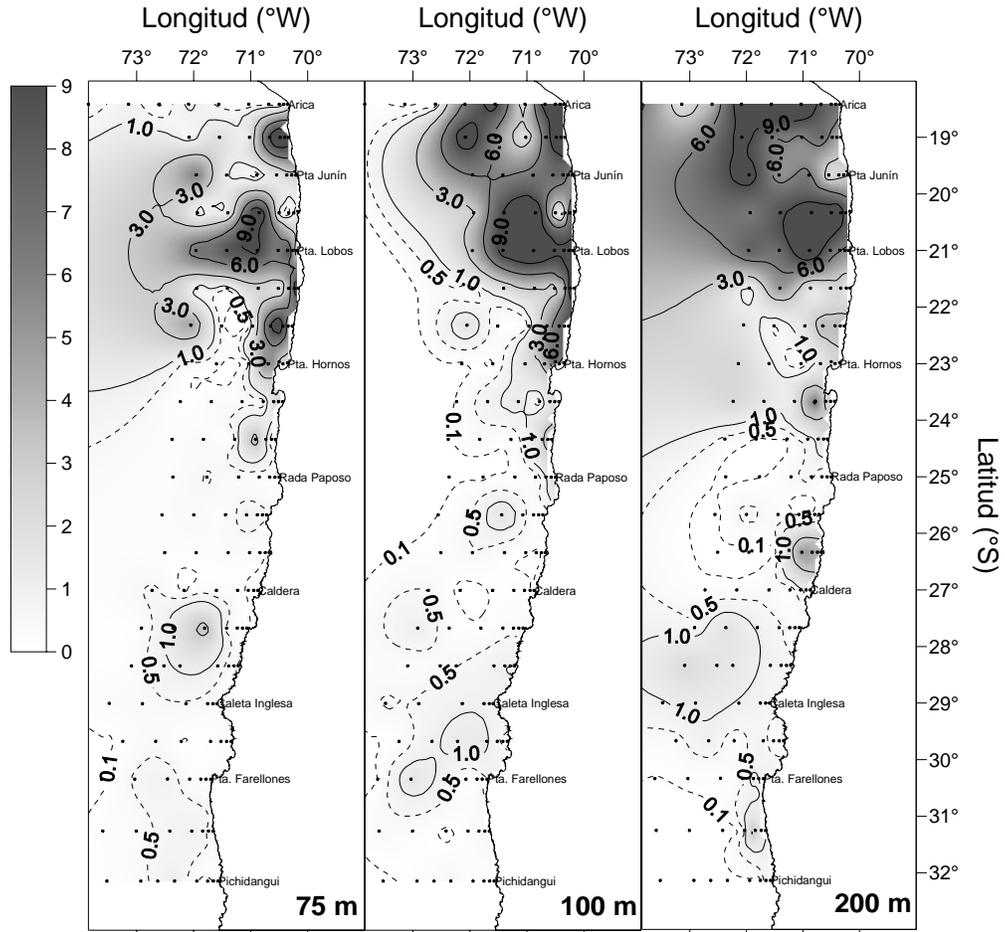


Figura 46. Distribución horizontal de la concentración de nitrito (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.

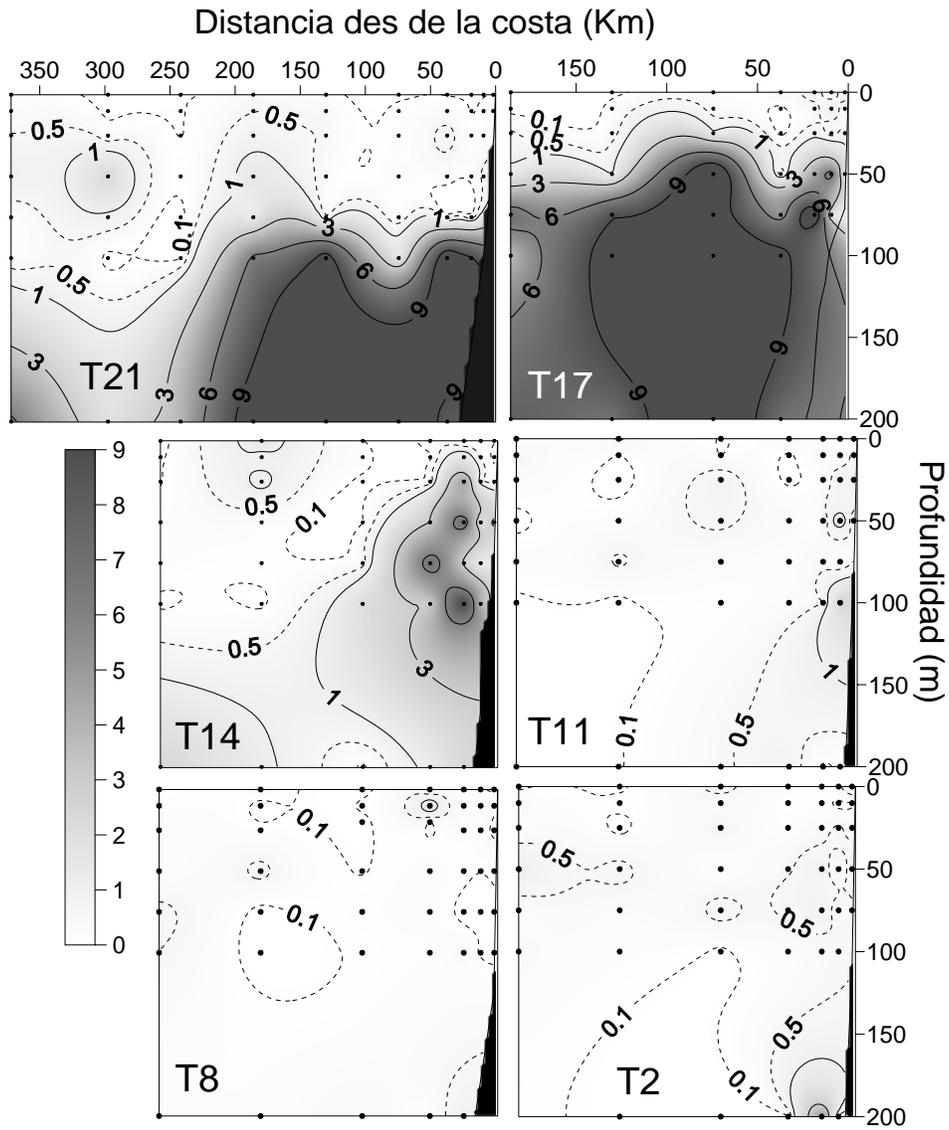


Figura 47. Distribuci3n vertical de la concentraci3n de nitrito (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Paposo (T11), Caldera (T8) y Caleta Maitencillo de Coquimbo (T2).

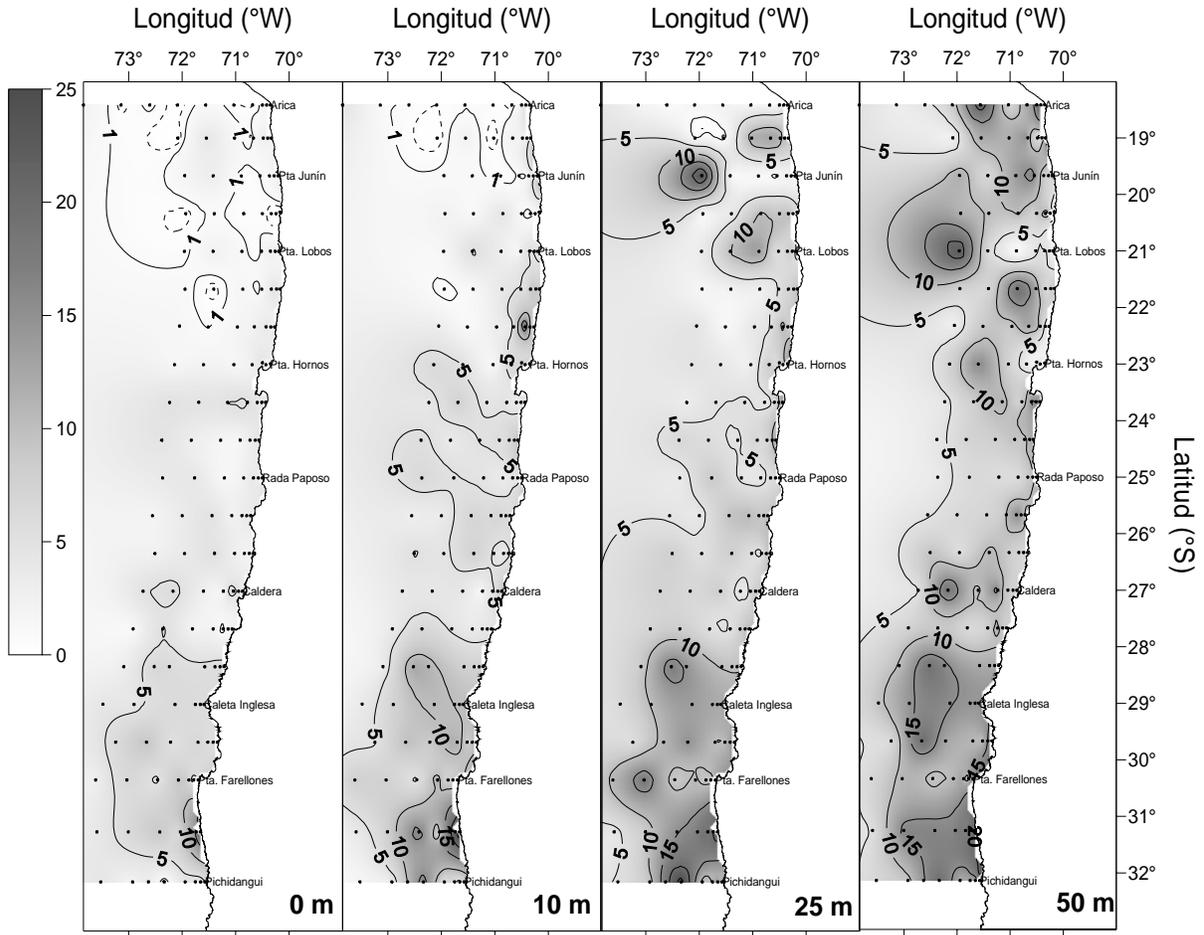


Figura 48. Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de nitrato (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.

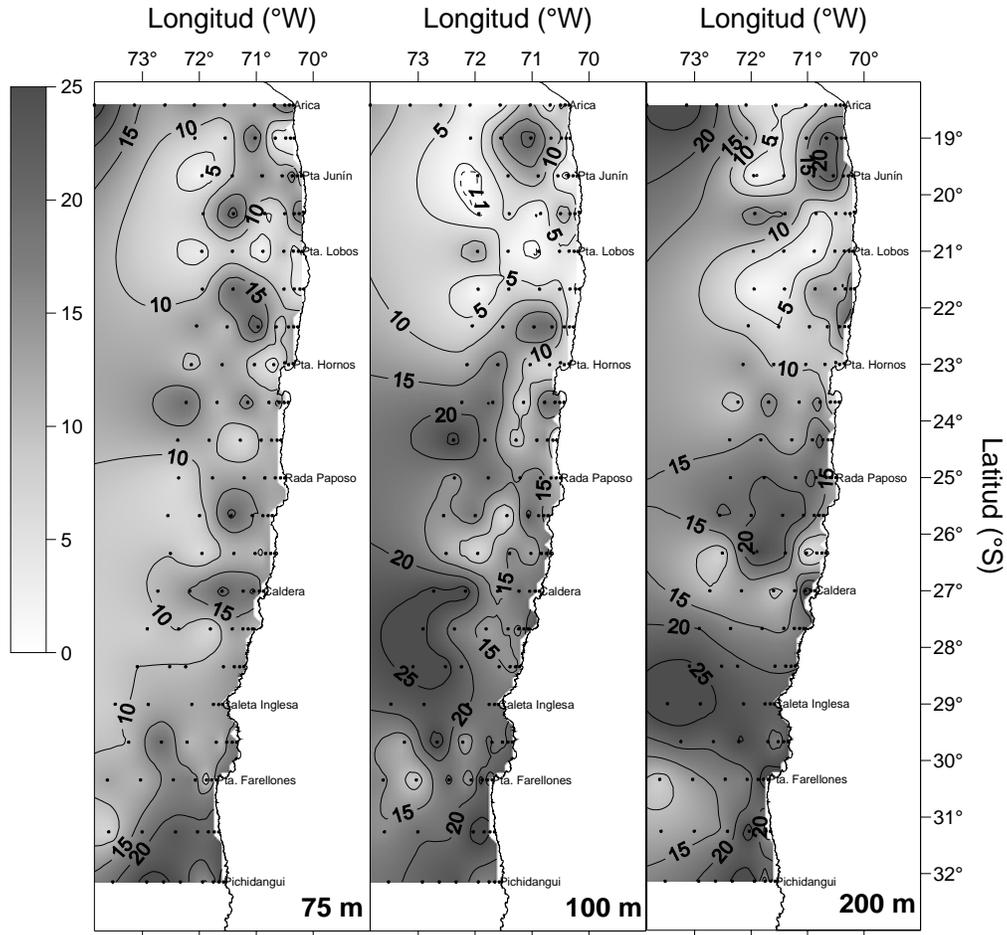


Figura 49. Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de nitrato (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.

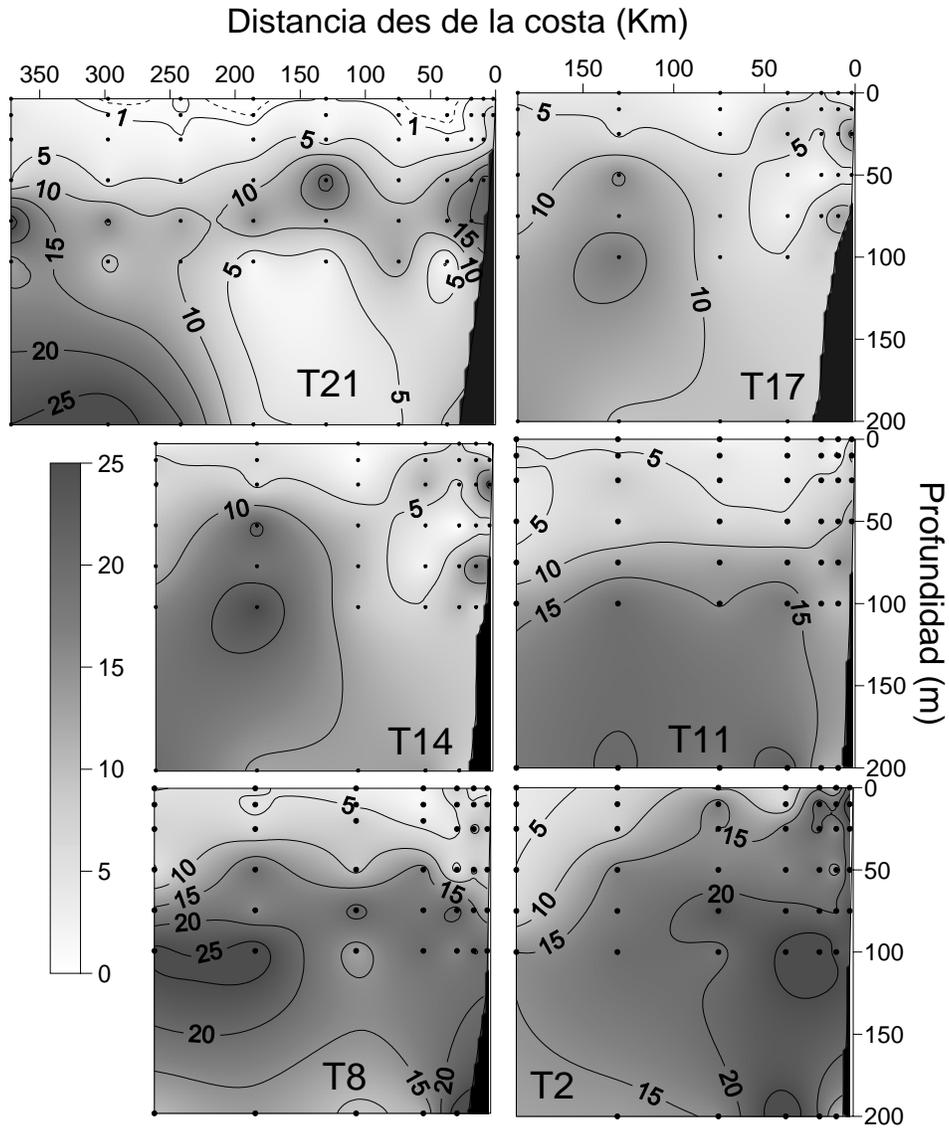


Figura 50. Distribuci3n vertical de la concentraci3n de nitrato (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Paposo (T11), Caldera (T8) y Caleta Maitencillo de Coquimbo (T2).

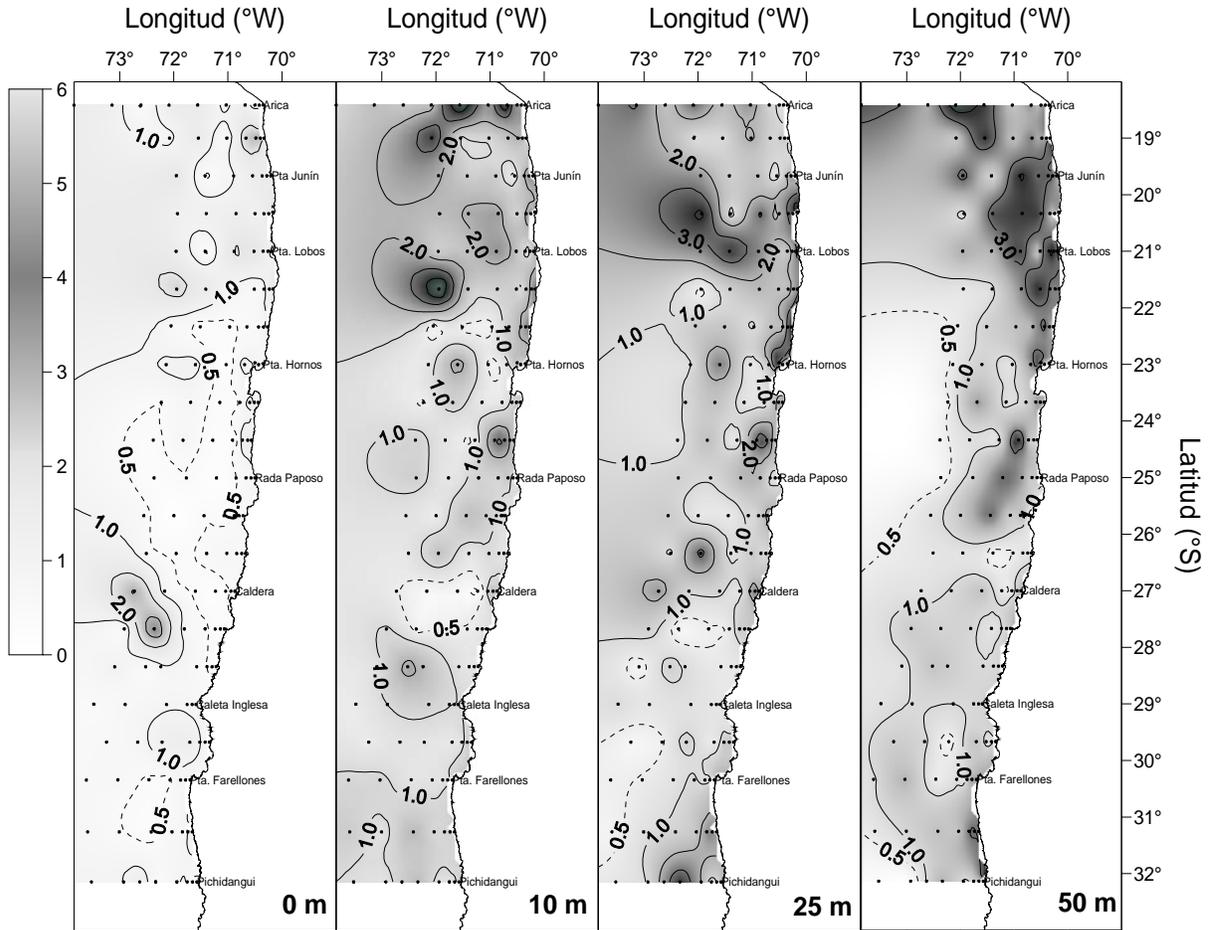


Figura 51. Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de fosfato (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.

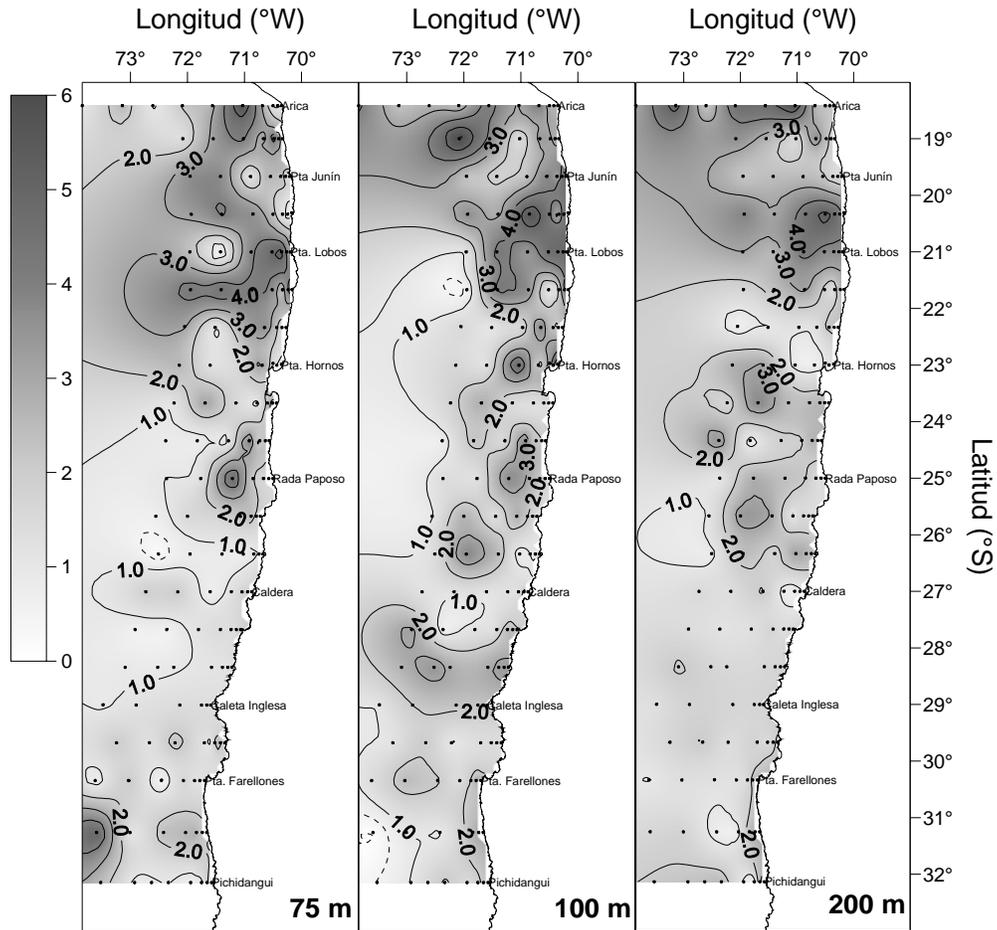


Figura 52. Distribución horizontal de la concentración de fosfato (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.

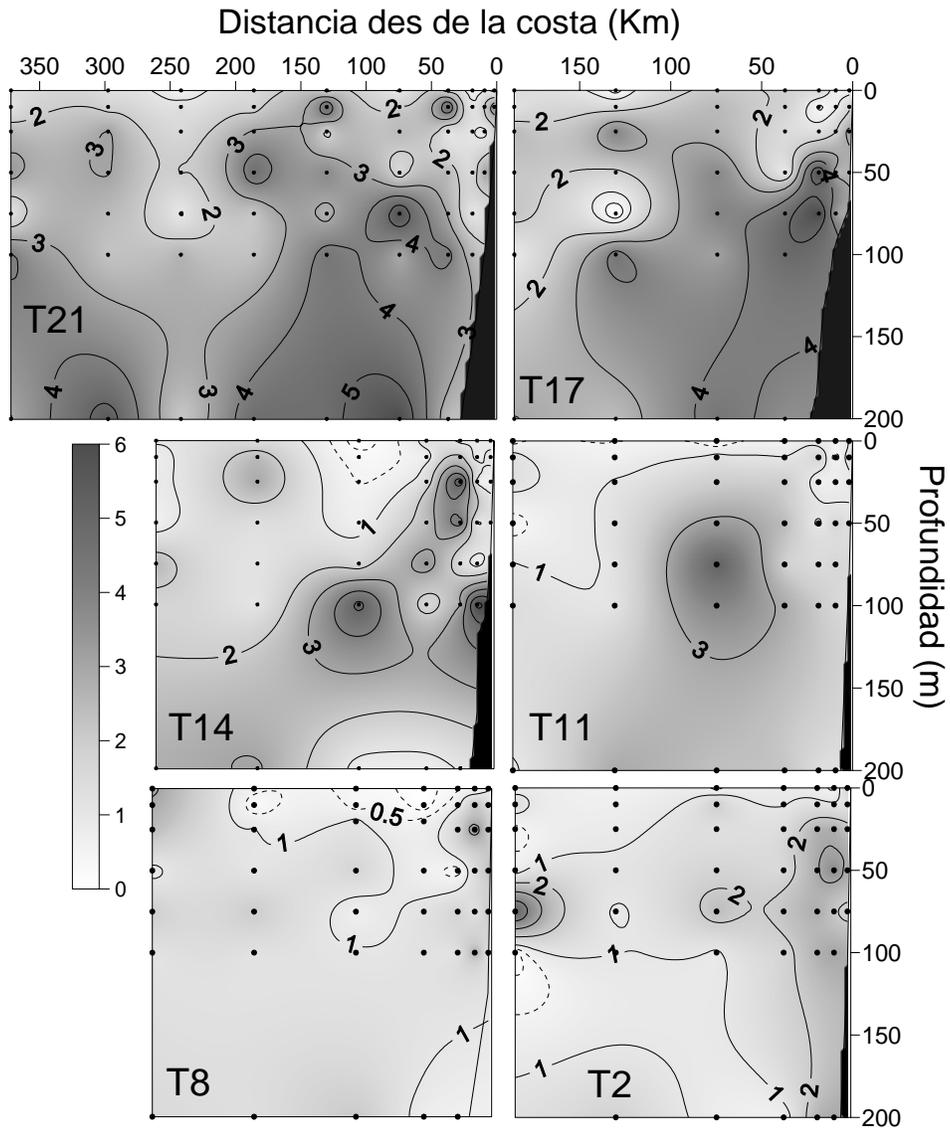


Figura 53. Distribuci3n vertical de la concentraci3n de fosfato (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Paposo (T11), Caldera (T8) y Caleta Maitencillo de Coquimbo (T2).

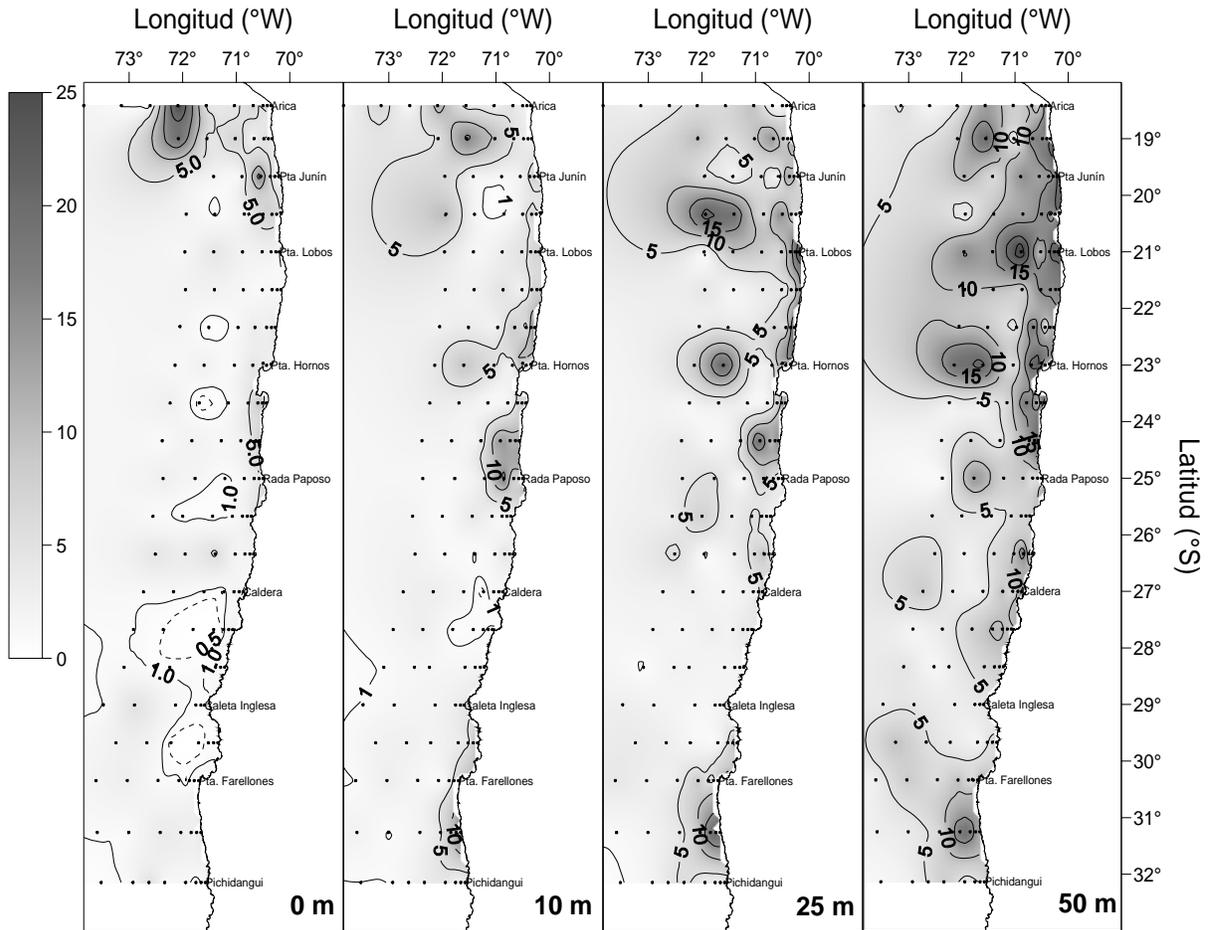


Figura 54. Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de silicato (μM) entre la superficie y 50 m de profundidad.

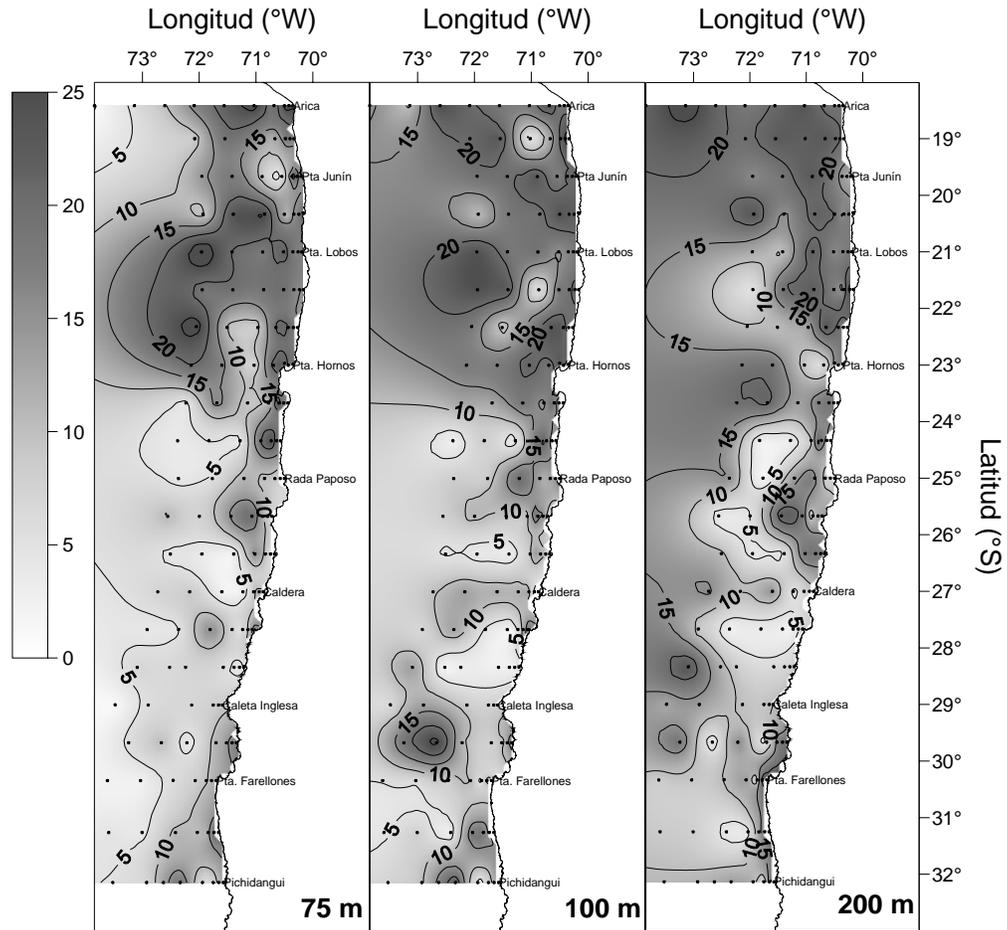


Figura 55. Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de silicato (μM) entre 75 y 200 m de profundidad.

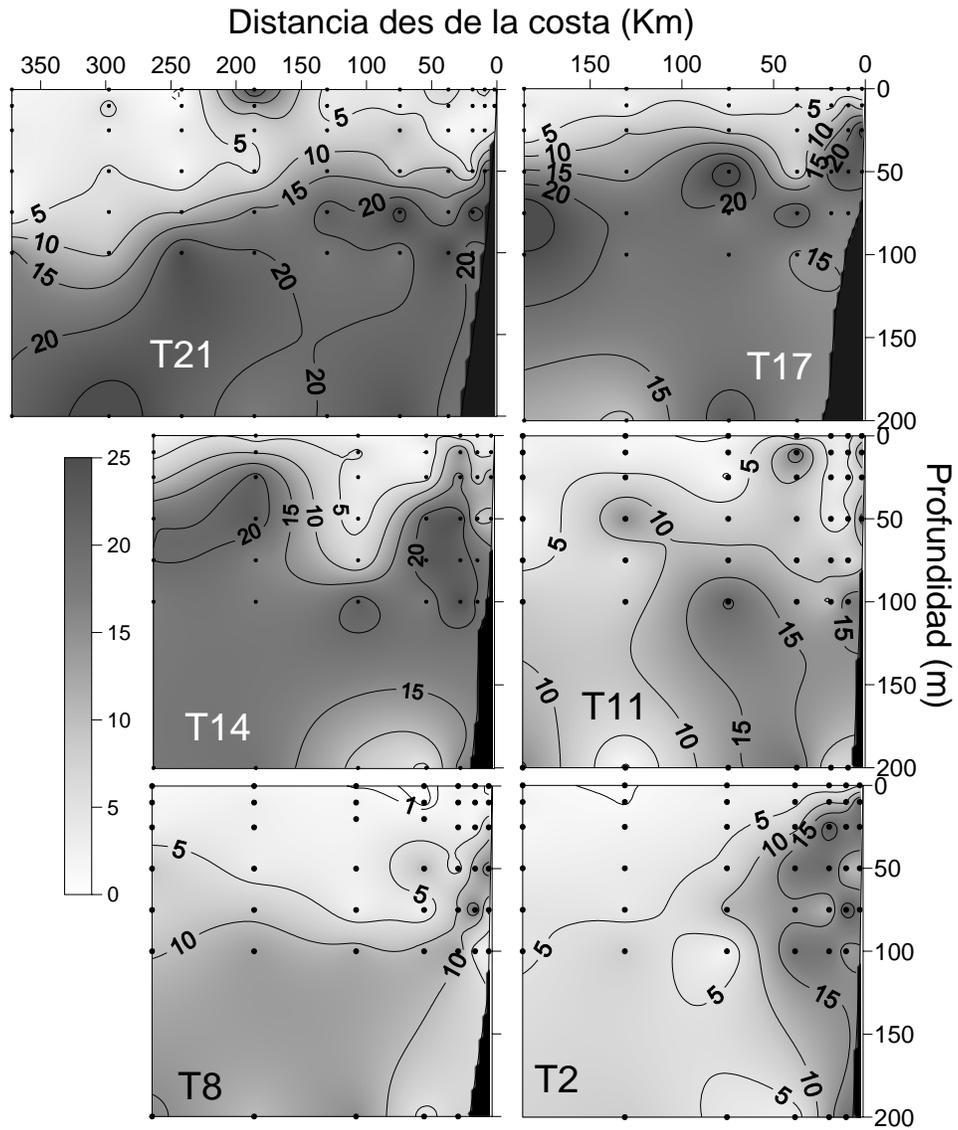


Figura 56. Distribuci3n vertical de la concentraci3n de silicato (μM) en Arica (T21), Punta Lobos (T17), Punta Hornos (T14), Rada Paposo (T11), Caldera (T8) y Caleta Maitencillo de Coquimbo (T2).

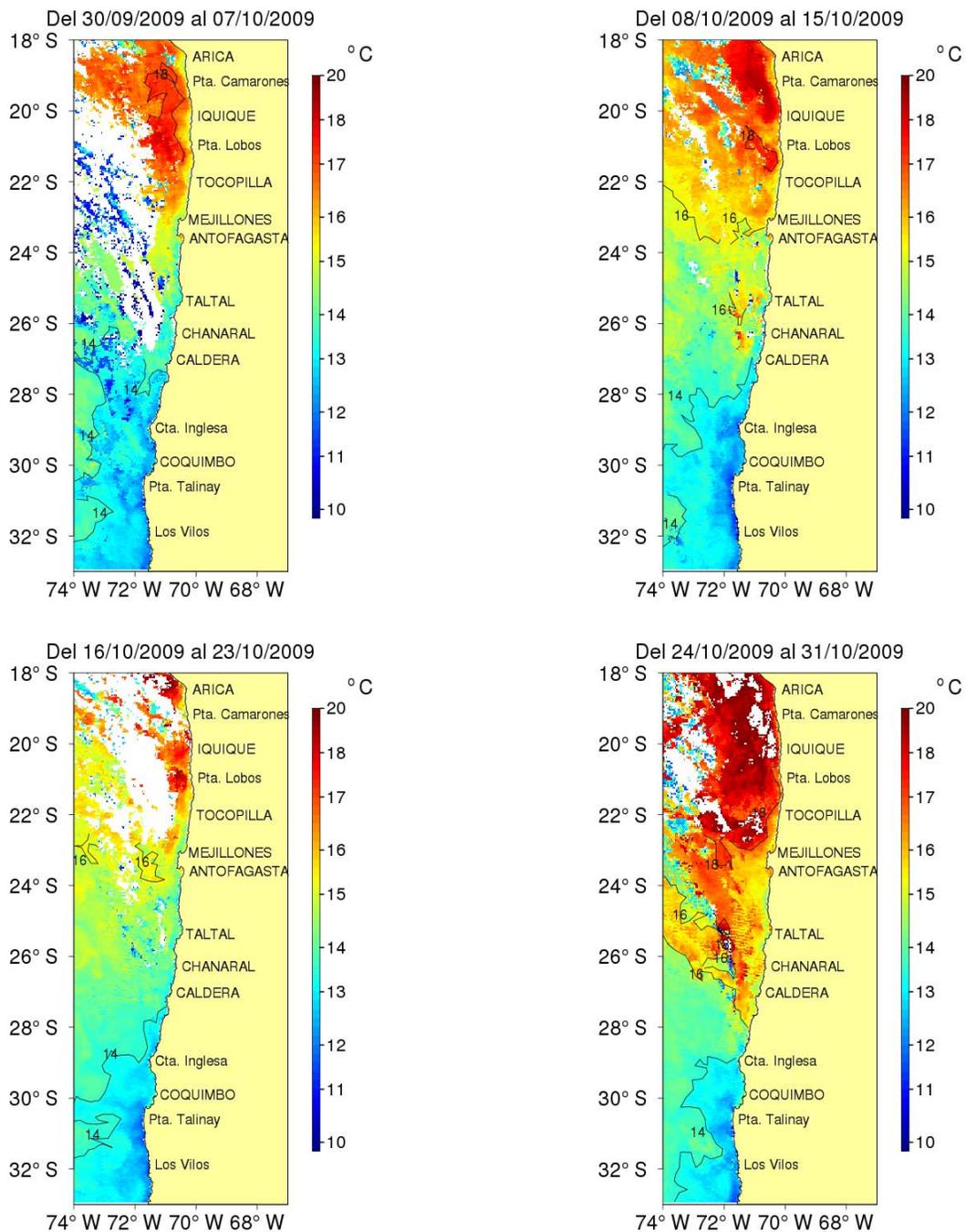


Figura 57. Temperatura superficial del mar (°C) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente al promedio semanal entre el 30 de septiembre y 7 de octubre, 8 y 15 de octubre, 16 y 23 de octubre y 24 y 31 de octubre de 2009.

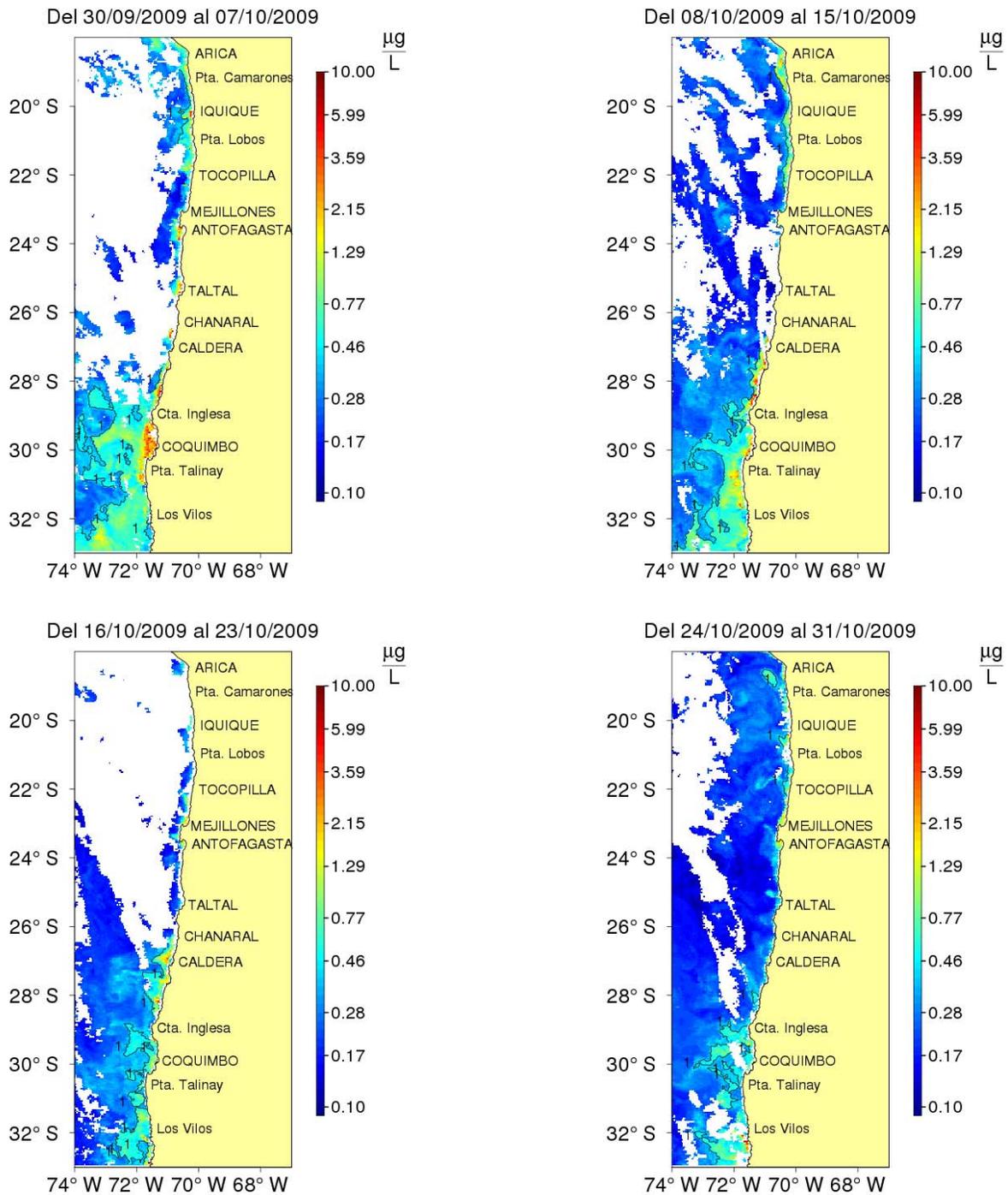


Figura 58. Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente al promedios semanales entre el 30 de septiembre y 7 de octubre, 8 y 15 de octubre, 16 y 23 de octubre y 24 y 31 de octubre de 2009. La línea negra marca la isolinea de $1 \mu\text{g/L}$.

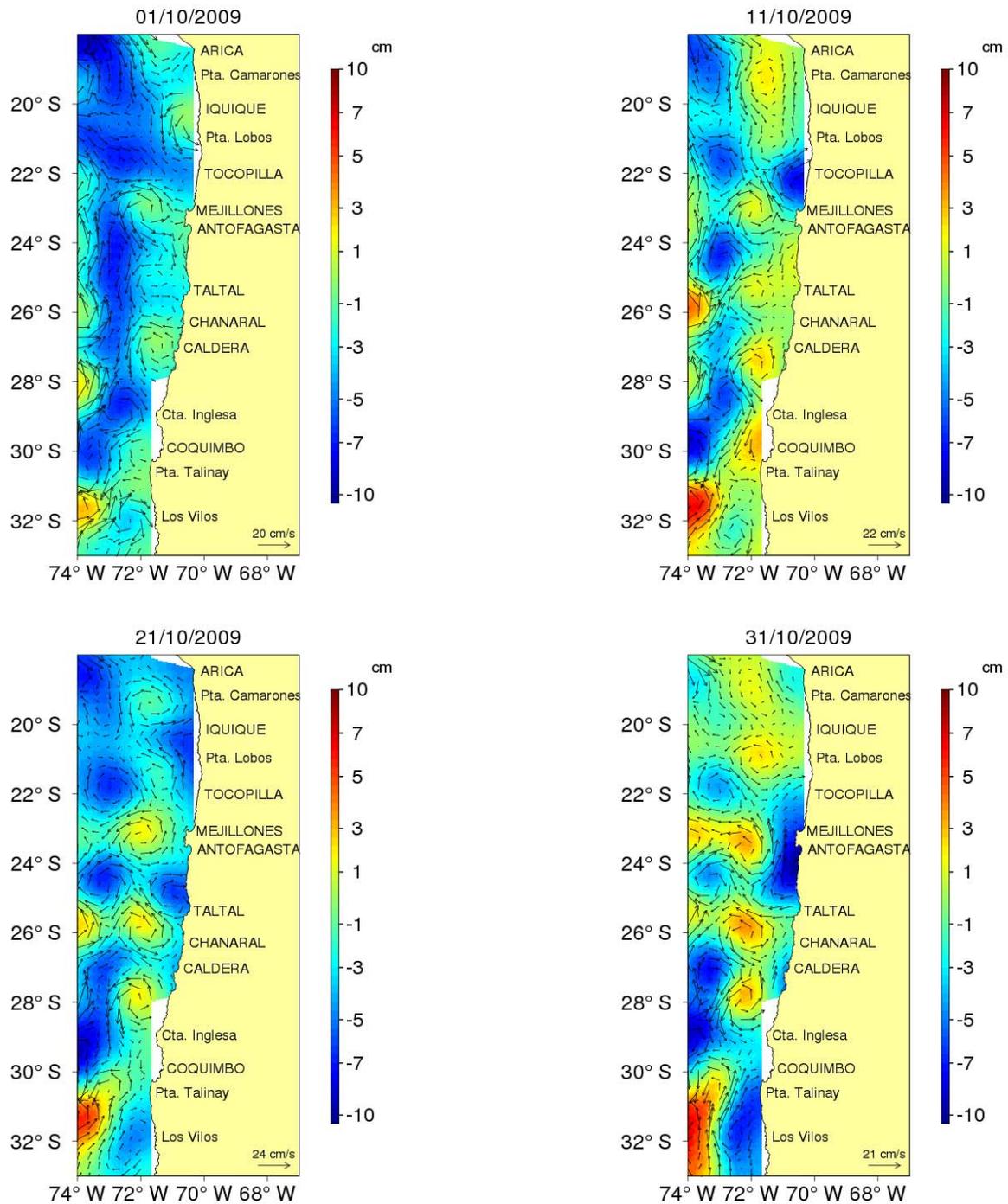


Figura 59. Anomala de nivel del mar (cm) y velocidad geostrofica (cm/s) de los dlas 1, 11, 21 y 31 de octubre de 2009.

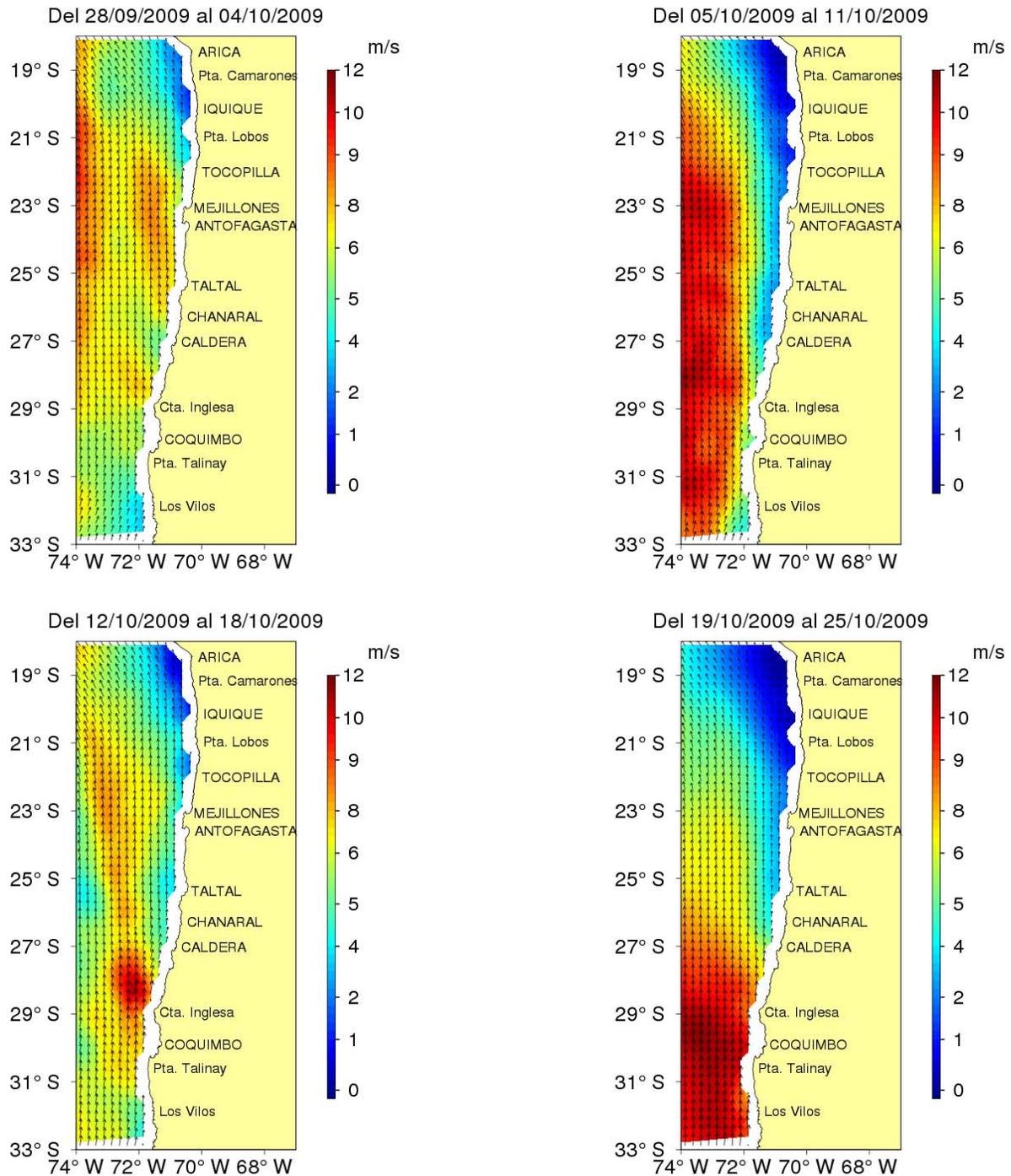


Figura 60. Intensidad del viento (m/s) y velocidad del viento (m/s) proveniente de imágenes satelitales Quikscat y que representan los promedios semanales entre el 28 de septiembre y 4 de octubre, 5 y 11 de octubre, 12 y 18 de octubre y 19 y 25 de octubre de 2009.

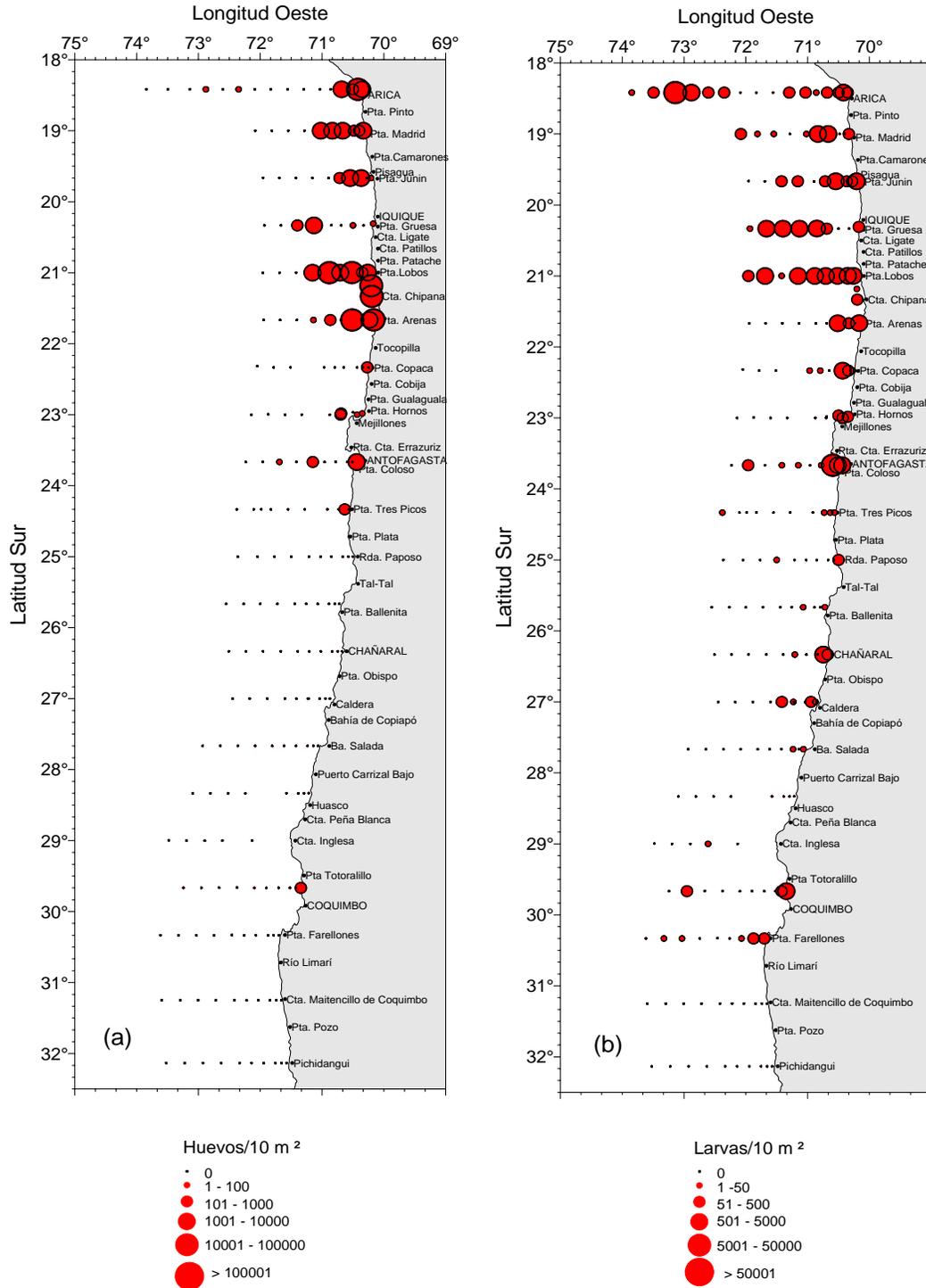


Figura 61. Distribuci3n y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de Anchoveta (N°huevos/larvas/10m²). Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.

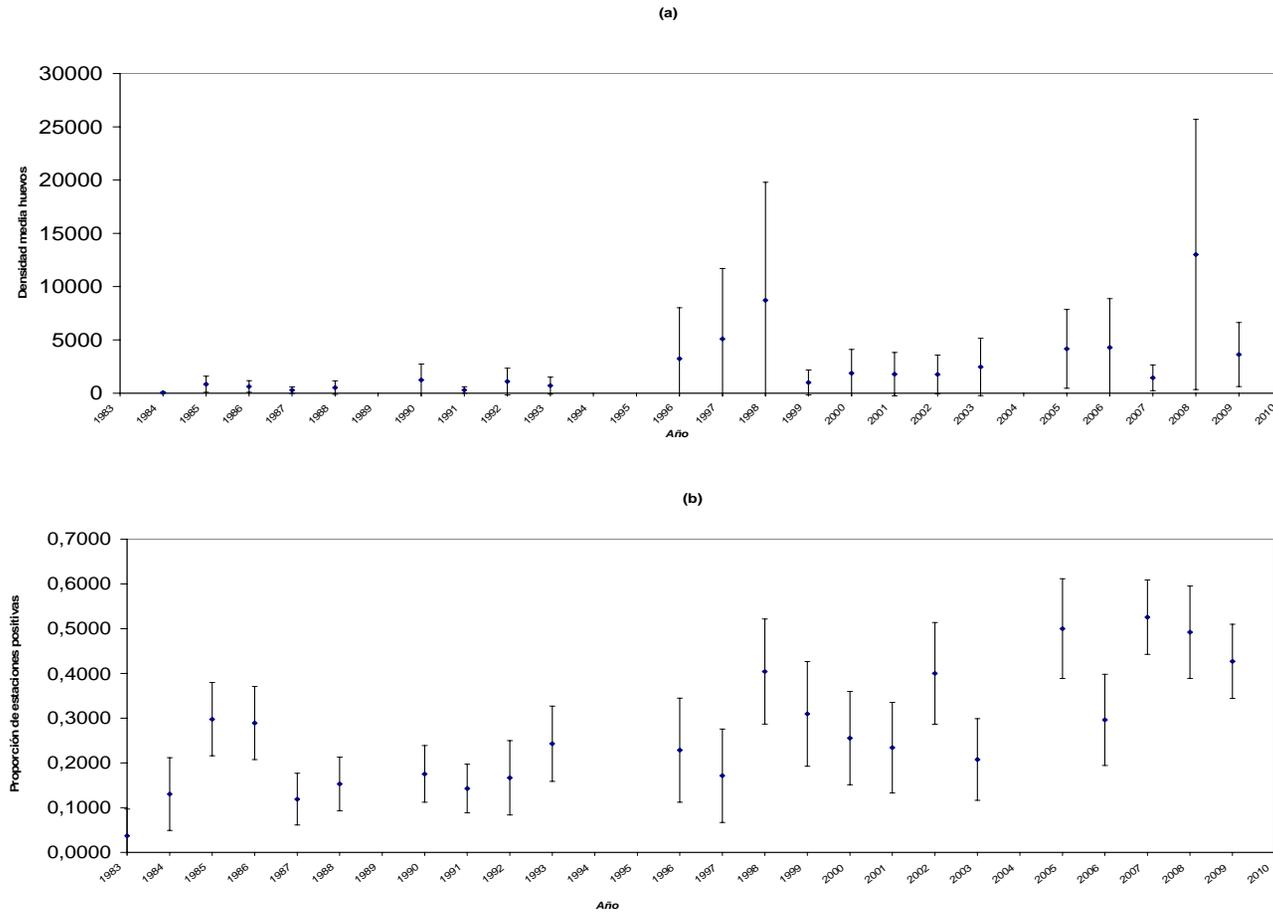


Figura 62. Densidad media de huevos de anchoveta (a) estimada para el período 1983-2009, a través de la media de una distribuci3n delta y proporci3n de estaciones positivas (b). Intervalos de confianza $\alpha=0,1$.

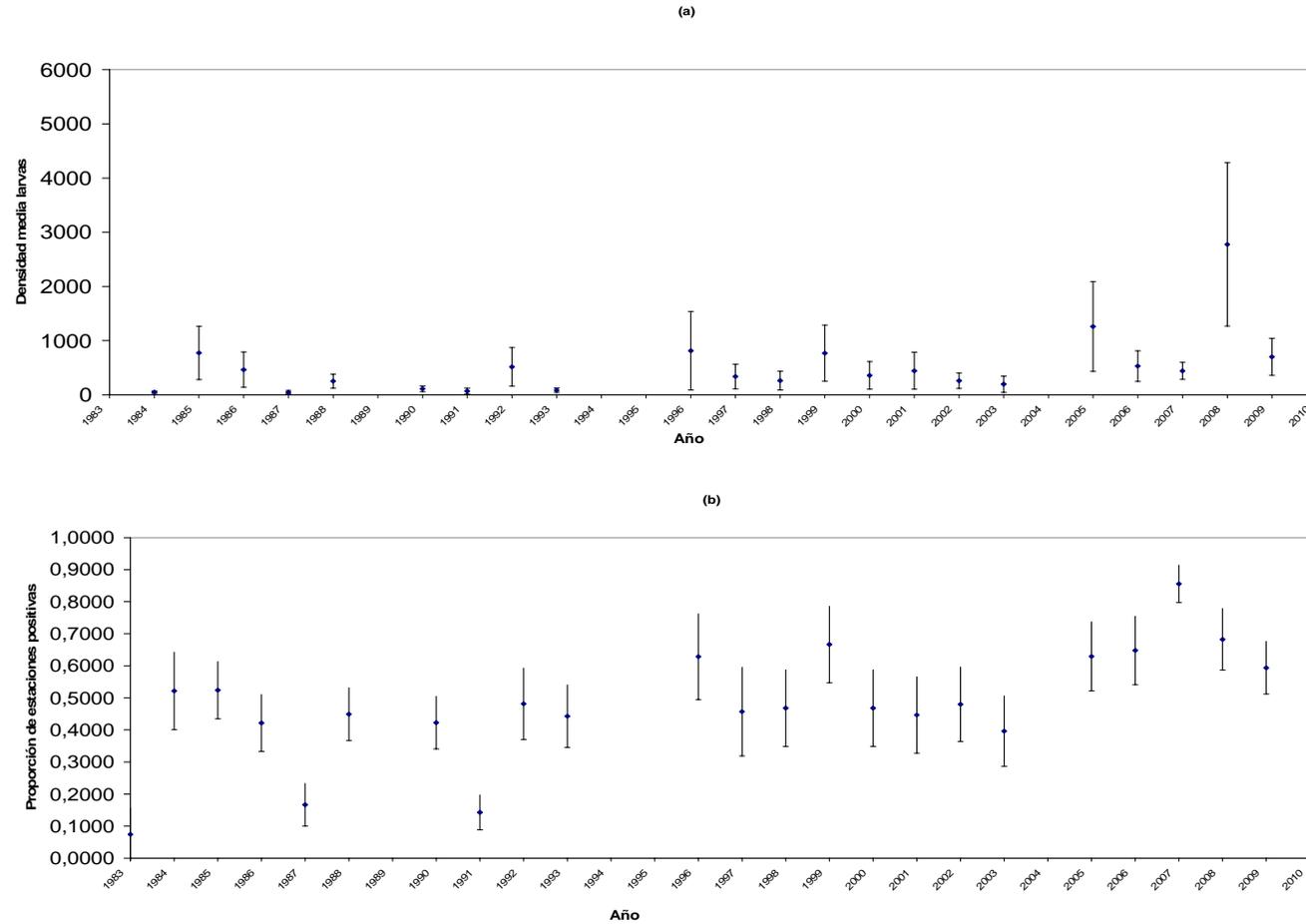


Figura 63. Densidad media de larvas de anchoveta (a) estimada para el período 1983-2009, a través de la media de una distribución delta y proporción de estaciones positivas (b). Intervalos de confianza alfa=0,1.

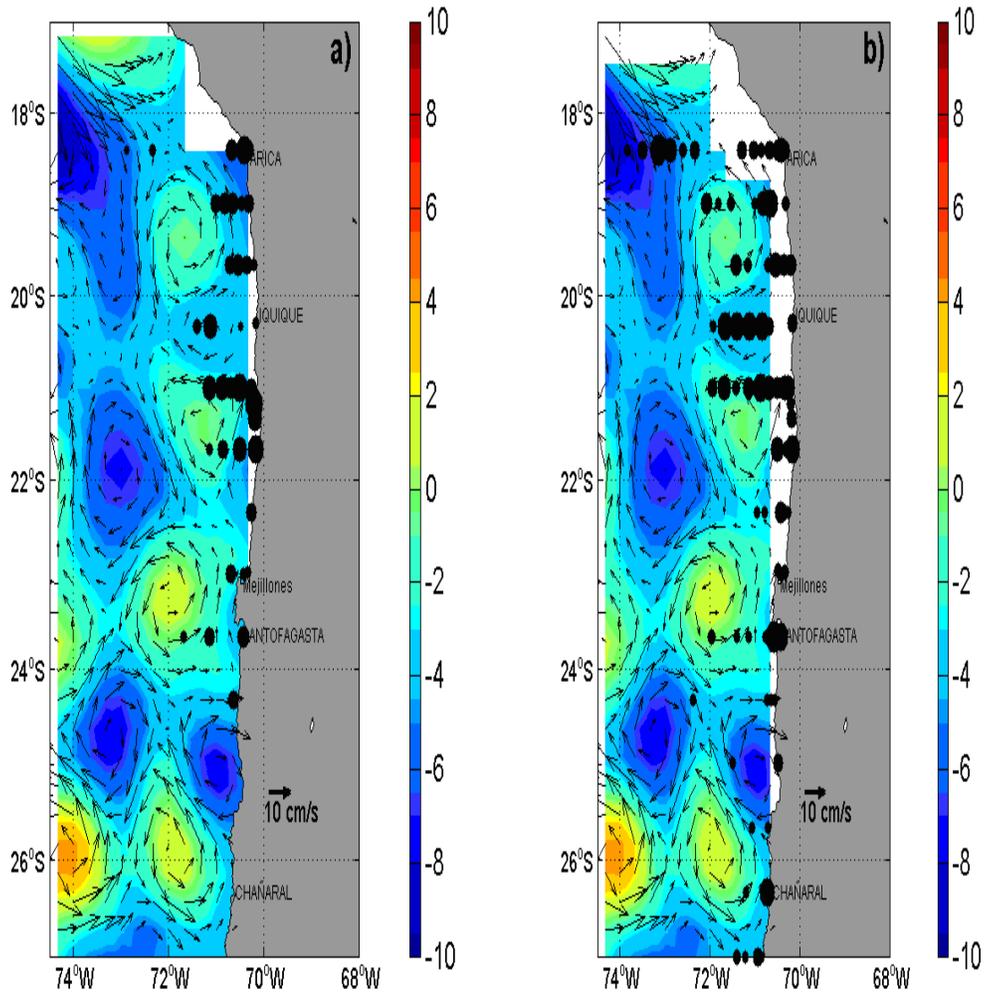


Figura 64. Distribución de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta en conjunto con las anomalías de nivel del mar y corrientes geostroficas del día 19 de octubre, tomado como representativo de la circulación observada durante el periodo del crucero.

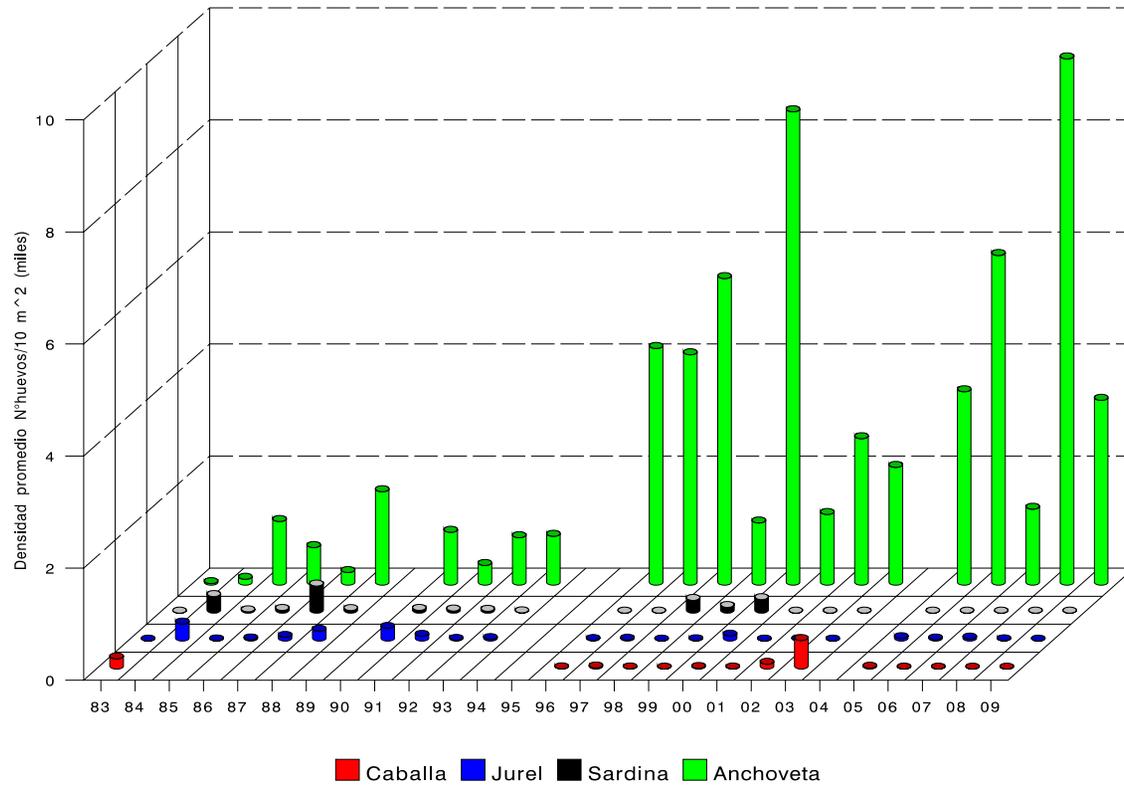


Figura 65. Abundancia promedio de huevos de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en primavera de los años 1983/2009.

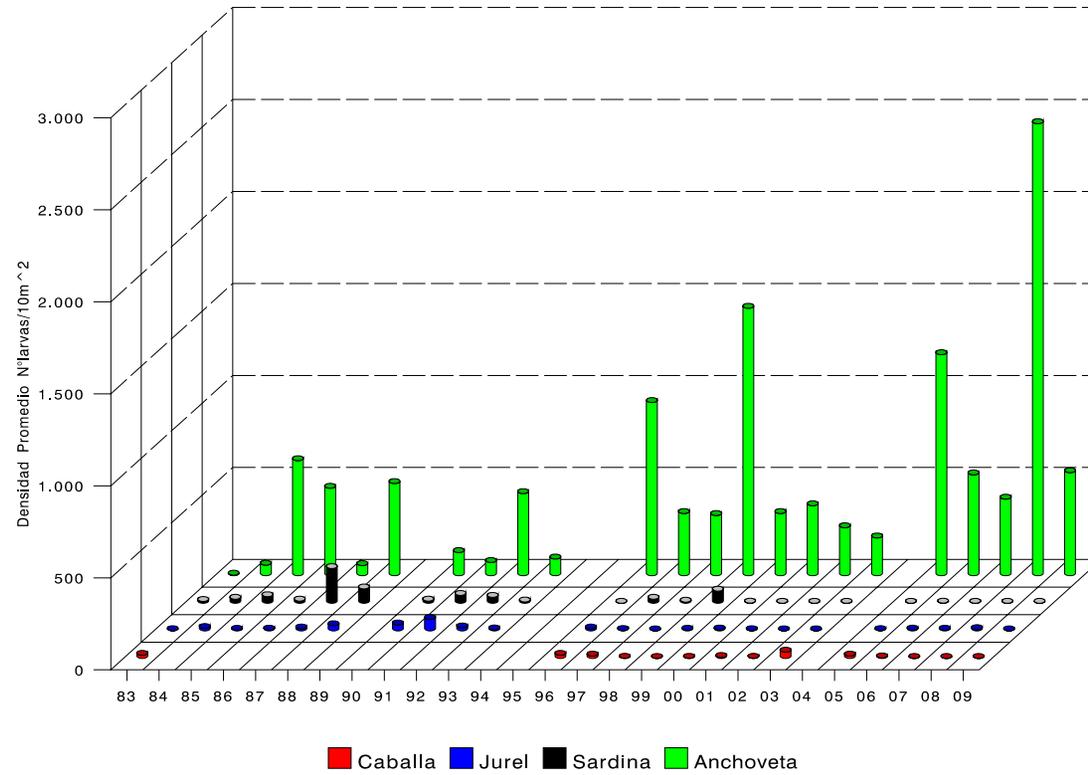


Figura 66. Abundancia promedio de larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en primavera de los años 1983/2009.

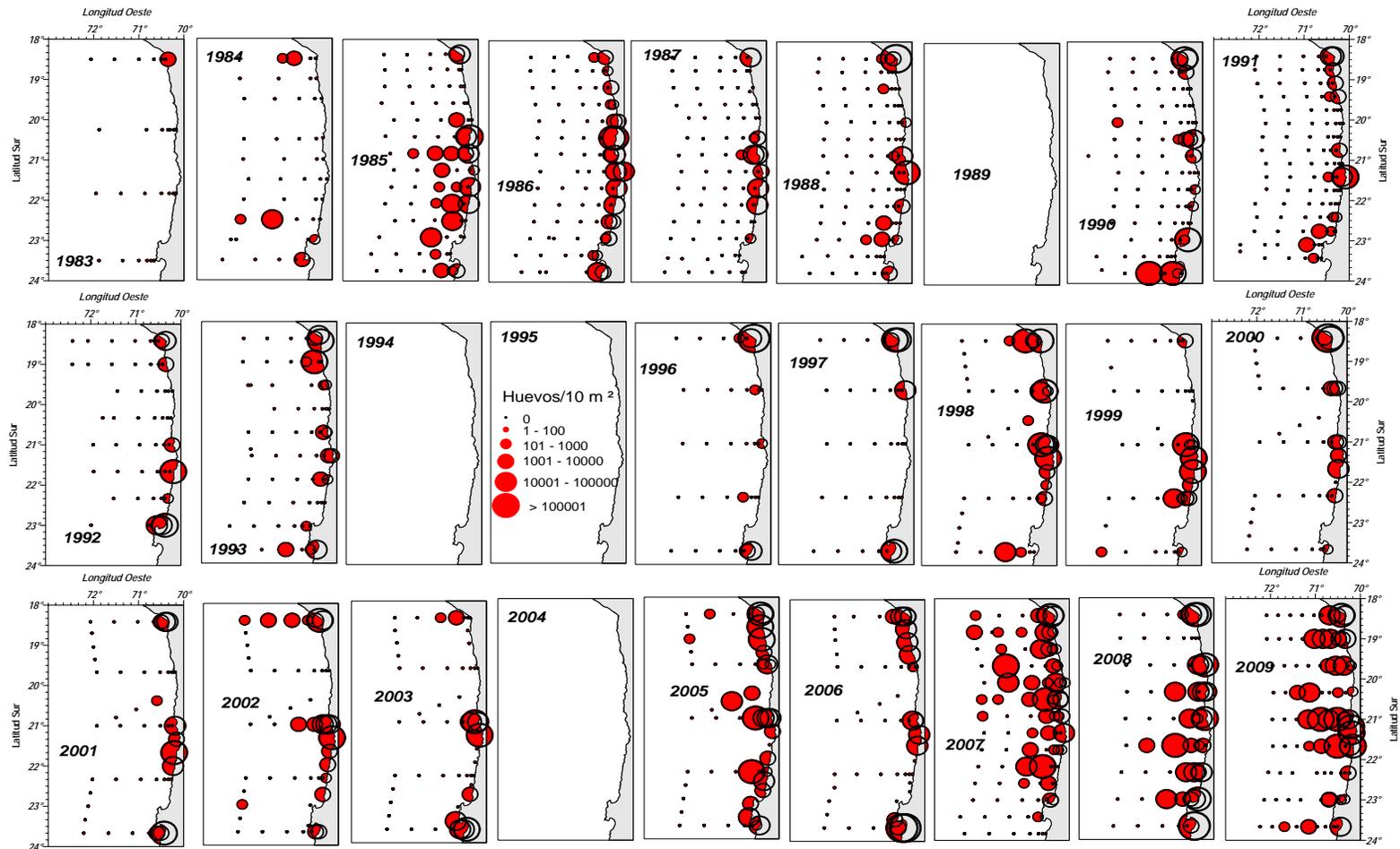


Figura 67. Distribuci3n y abundancia de Huevos de Anchoveta. Cruceros Primavera. Per3odo 1983 - 2009.

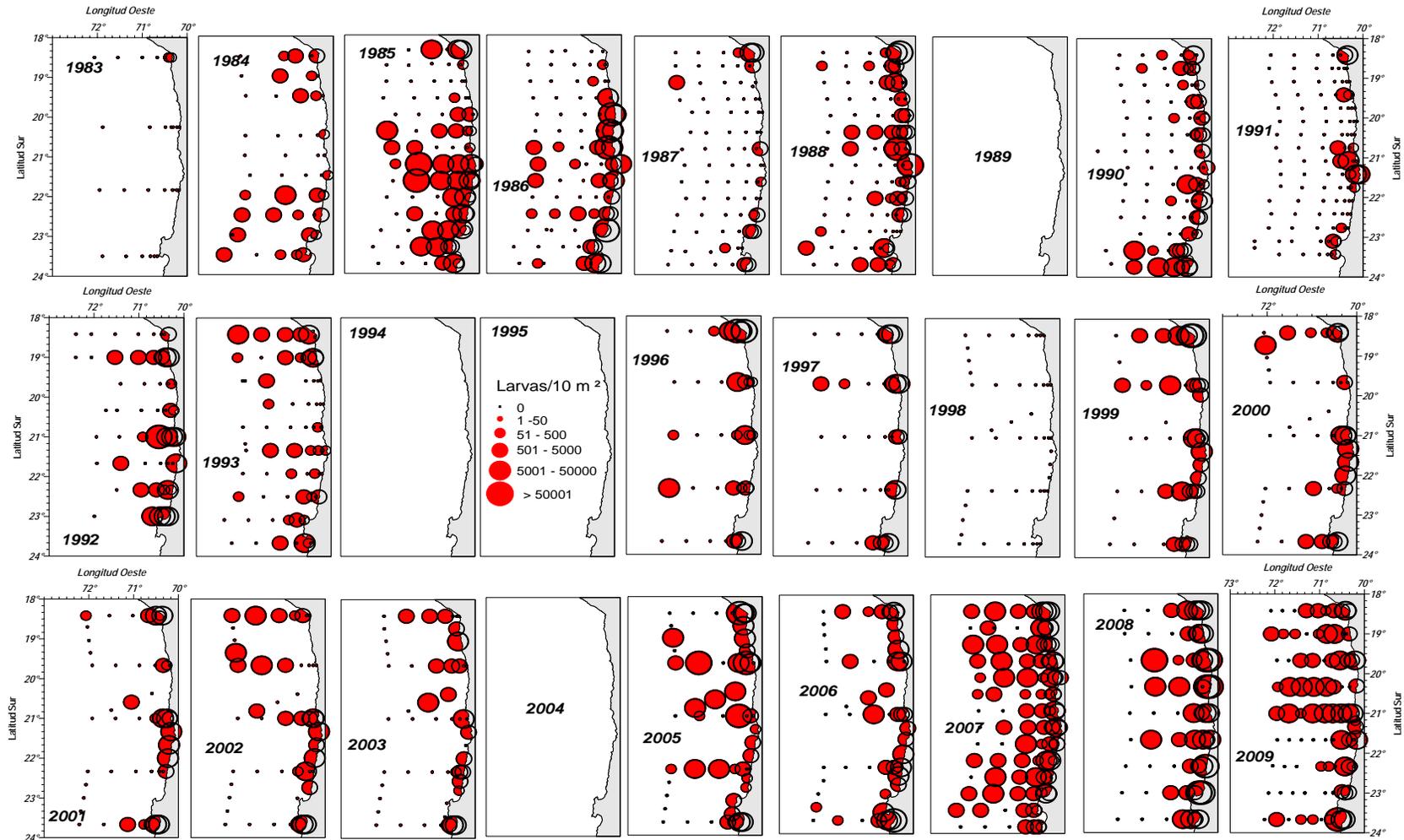


Figura 68. Distribuci3n y abundancia de Larvas de Anchoveta. Cruceros Primavera. Per3odo 1983 - 2009.

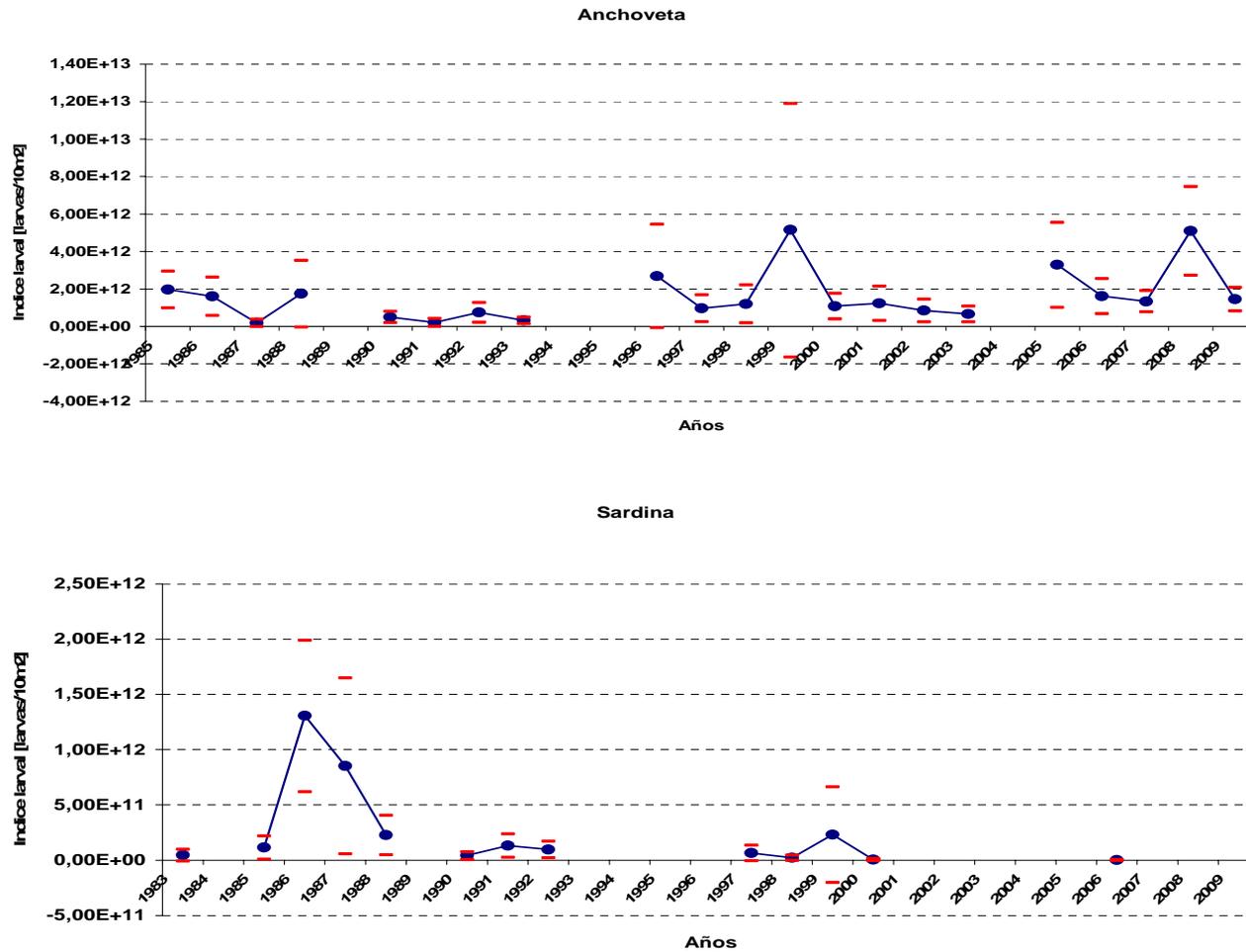


Figura 69. Estimaci3n del 3ndice de abundancia larval para anchoveta y sardina en primavera del per3odo 1983/2009.

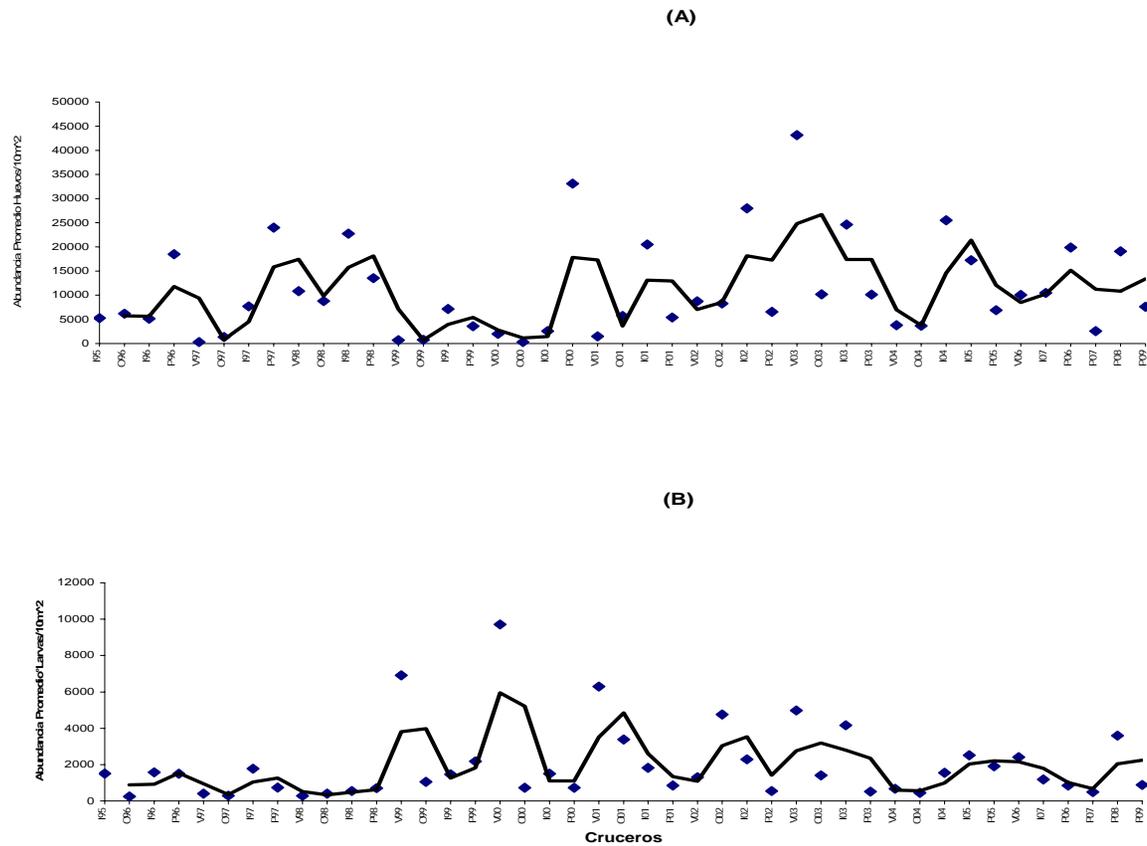


Figura 70. Variaci3n temporal de la intensidad del desove de (A) huevos y (B) larvas de anchoveta, para el per3odo invierno 1995 - primavera 2009. (L3nea negra = media m3vil).

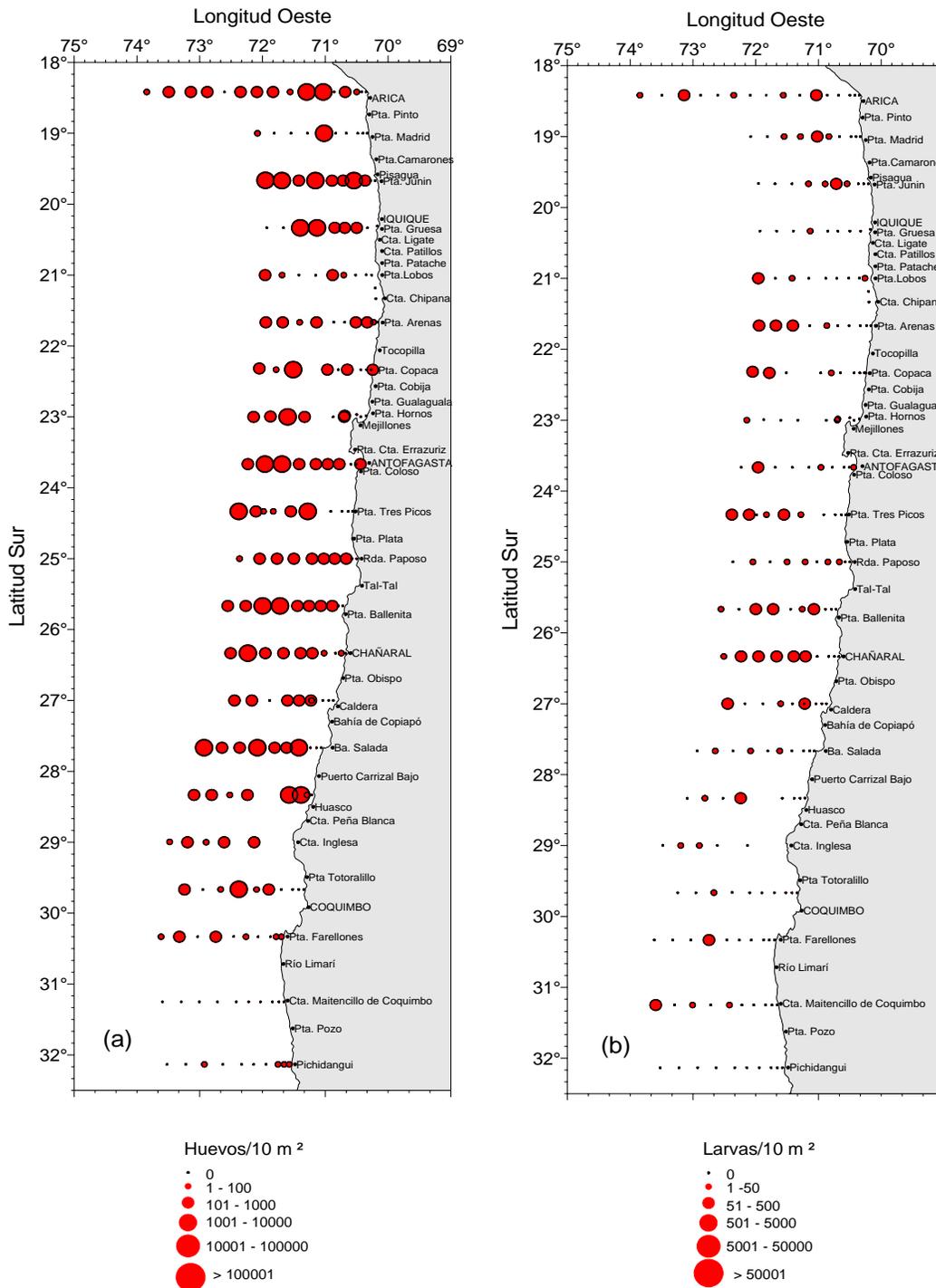


Figura 71. Distribuci3n y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de Vinciguerria (N°huevos/larvas/10m²). Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.

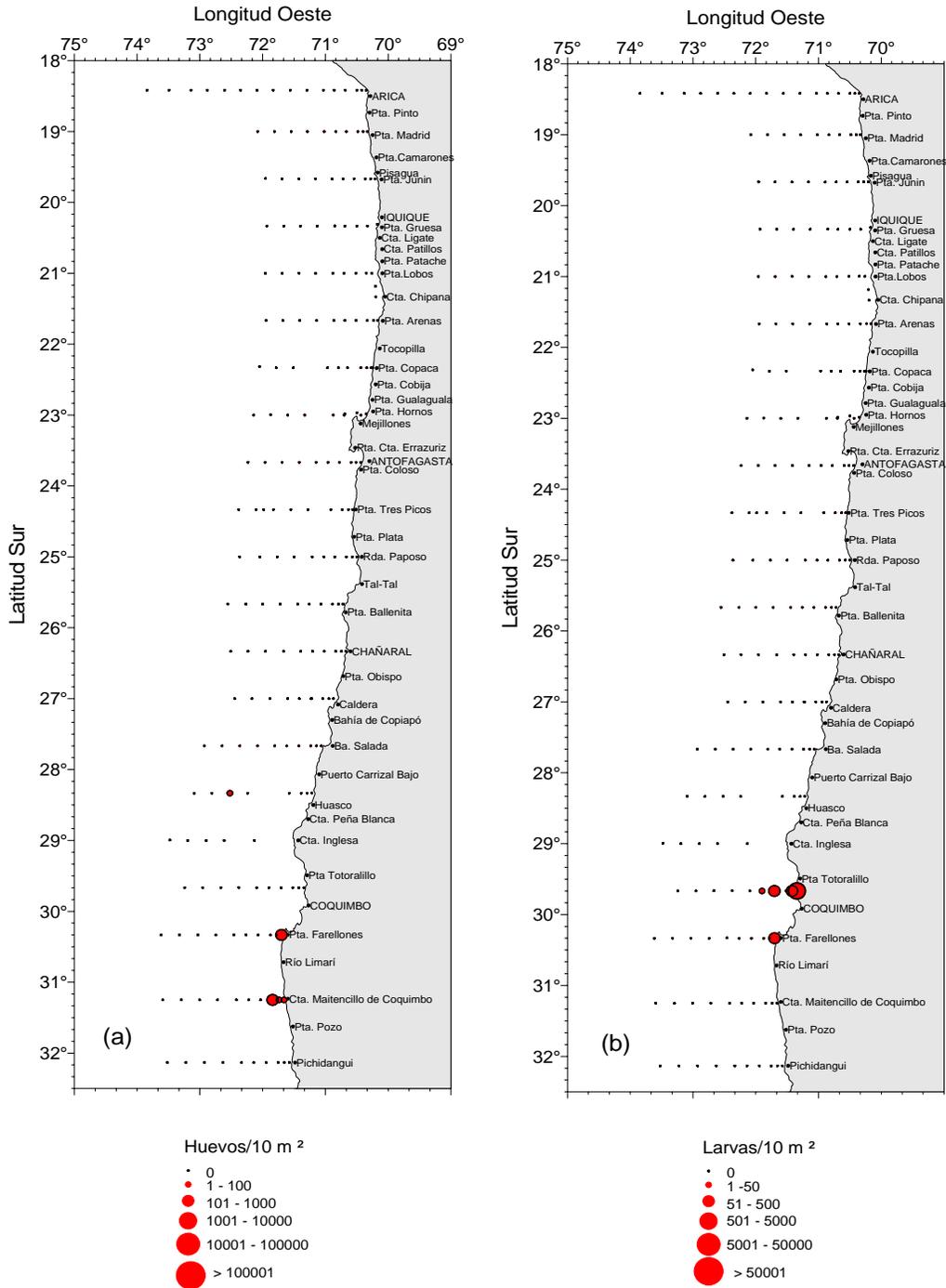


Figura 72. Distribuci3n y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de *M. gayi* (N°huevos/larvas/10m²). Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.

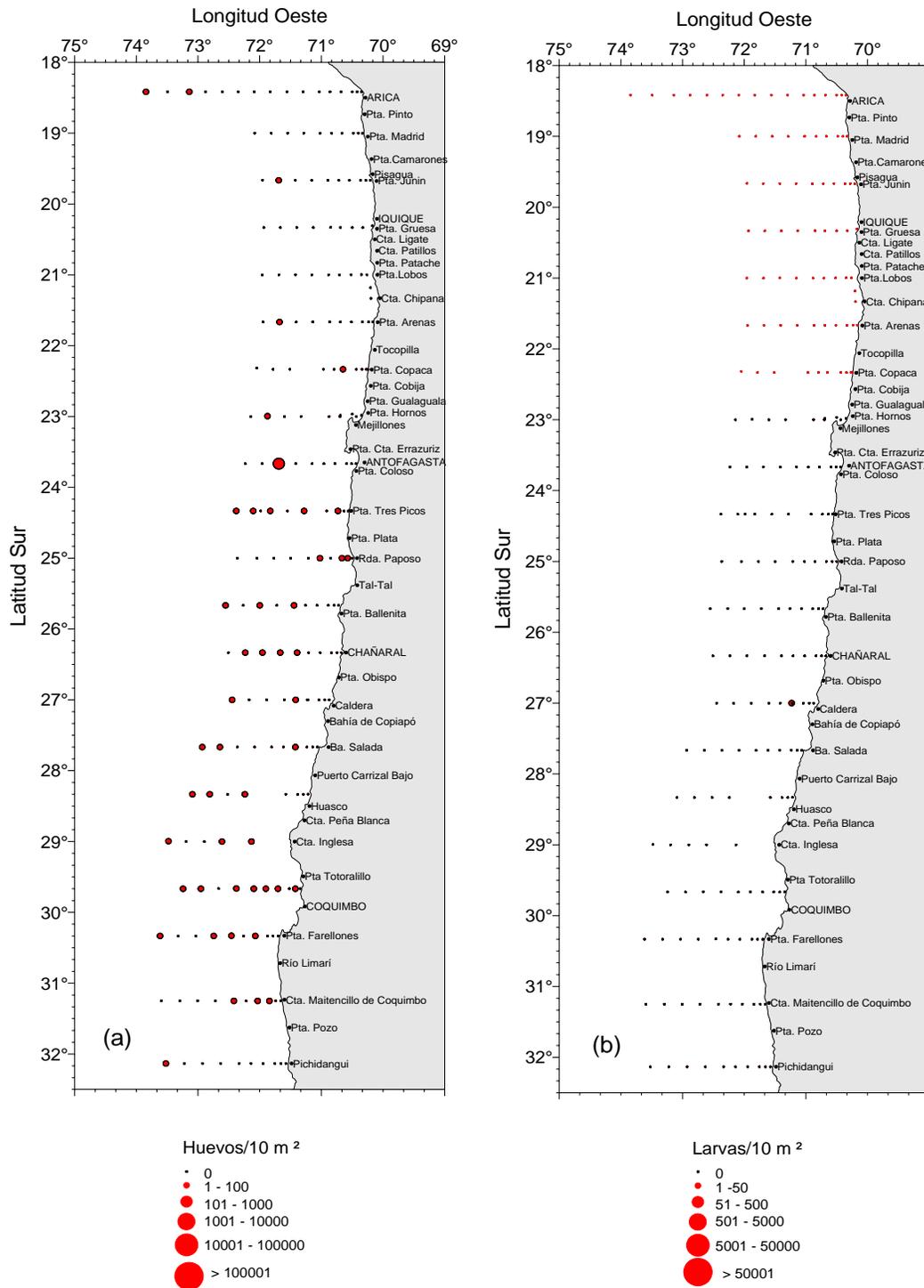


Figura 73. Distribuci3n y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de agujilla (Nº huevos/larvas/10m²). Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.

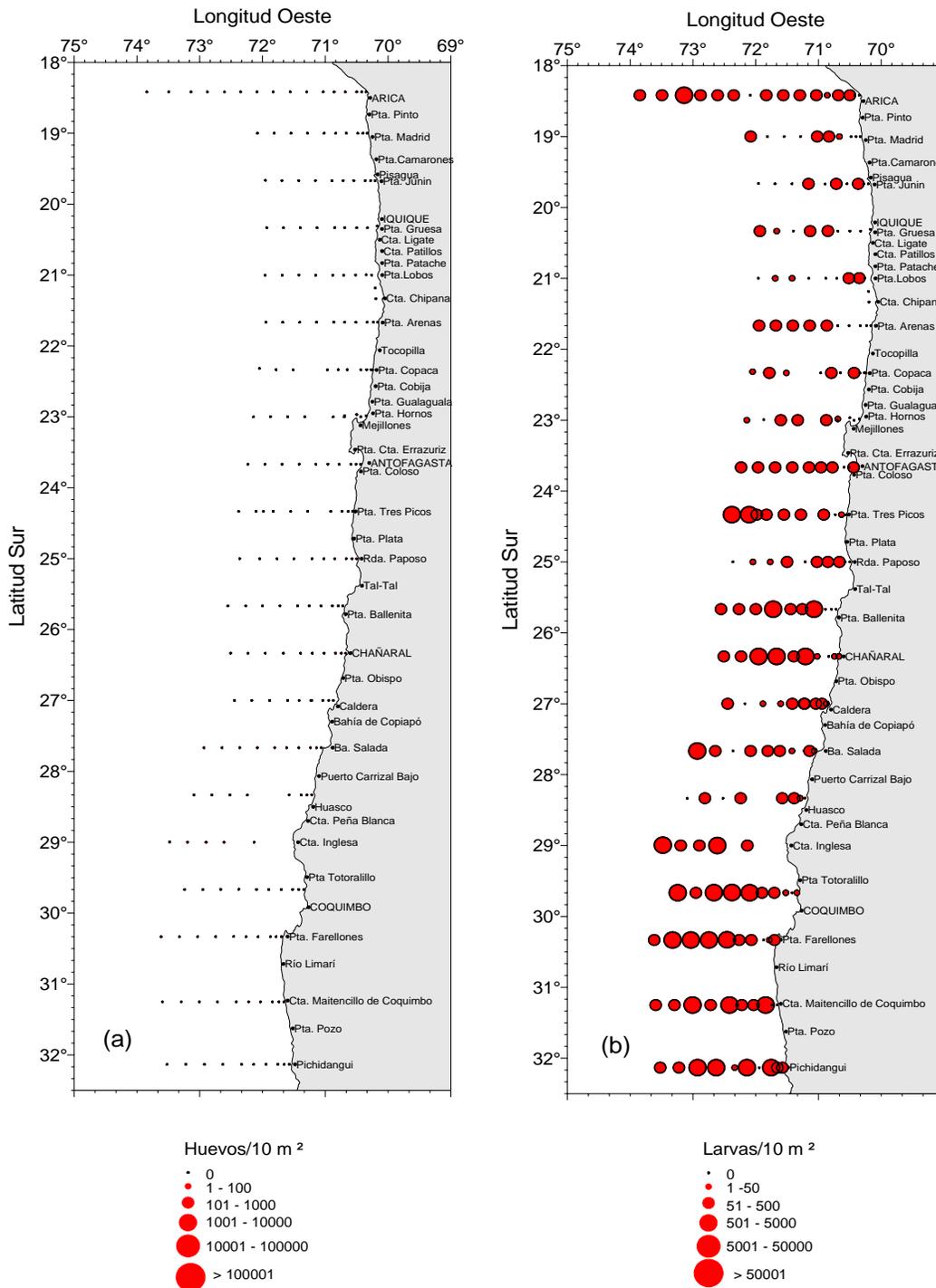


Figura 74. Distribuci3n y abundancia de (a) huevos y (b) larvas de Mictophidae (N°huevos/larvas/10m²). Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.

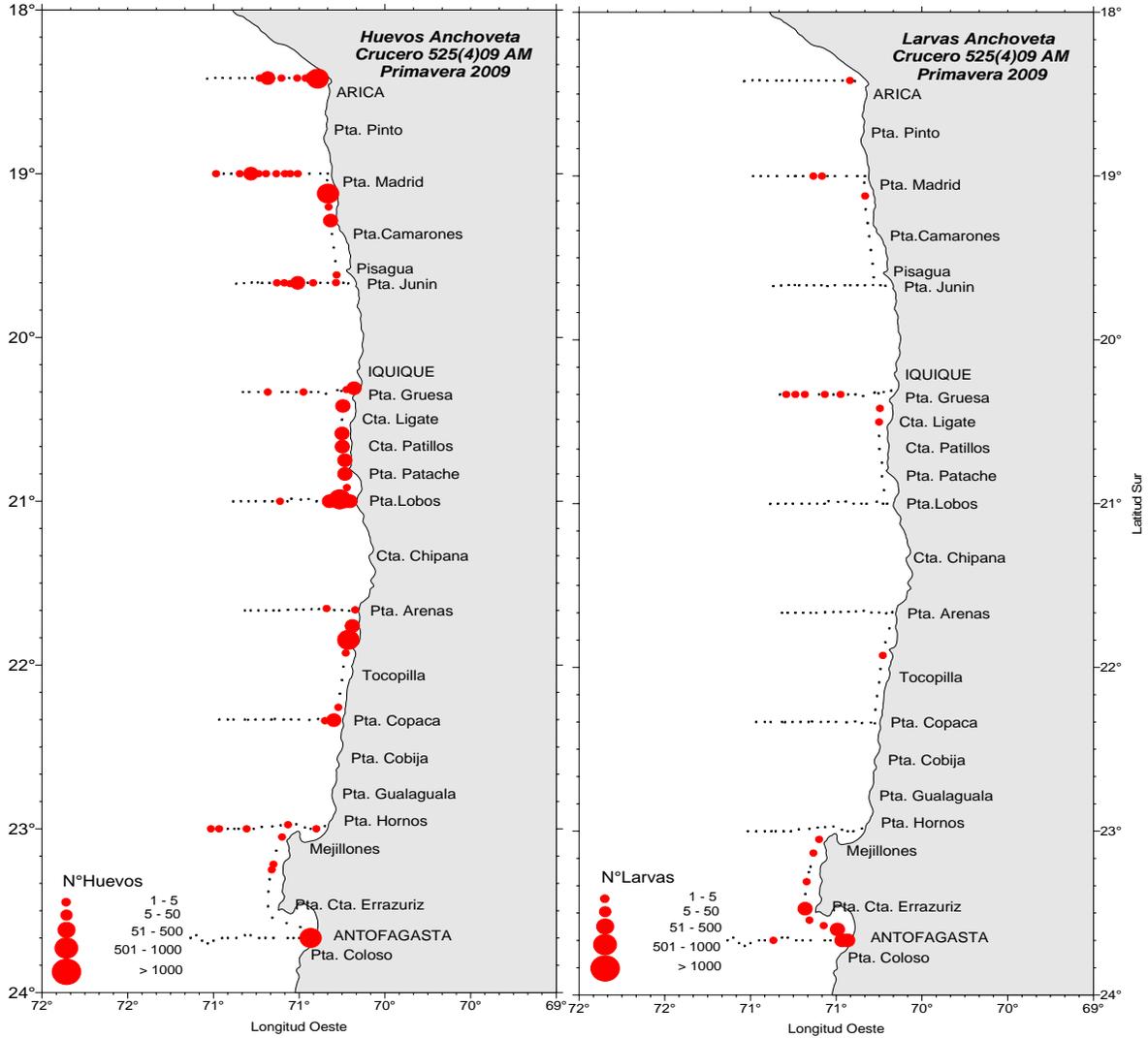


Figura 75. Distribuci3n y abundancia de huevos y larvas de anchoqueta recolectados con la bomba de huevos CUFES. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

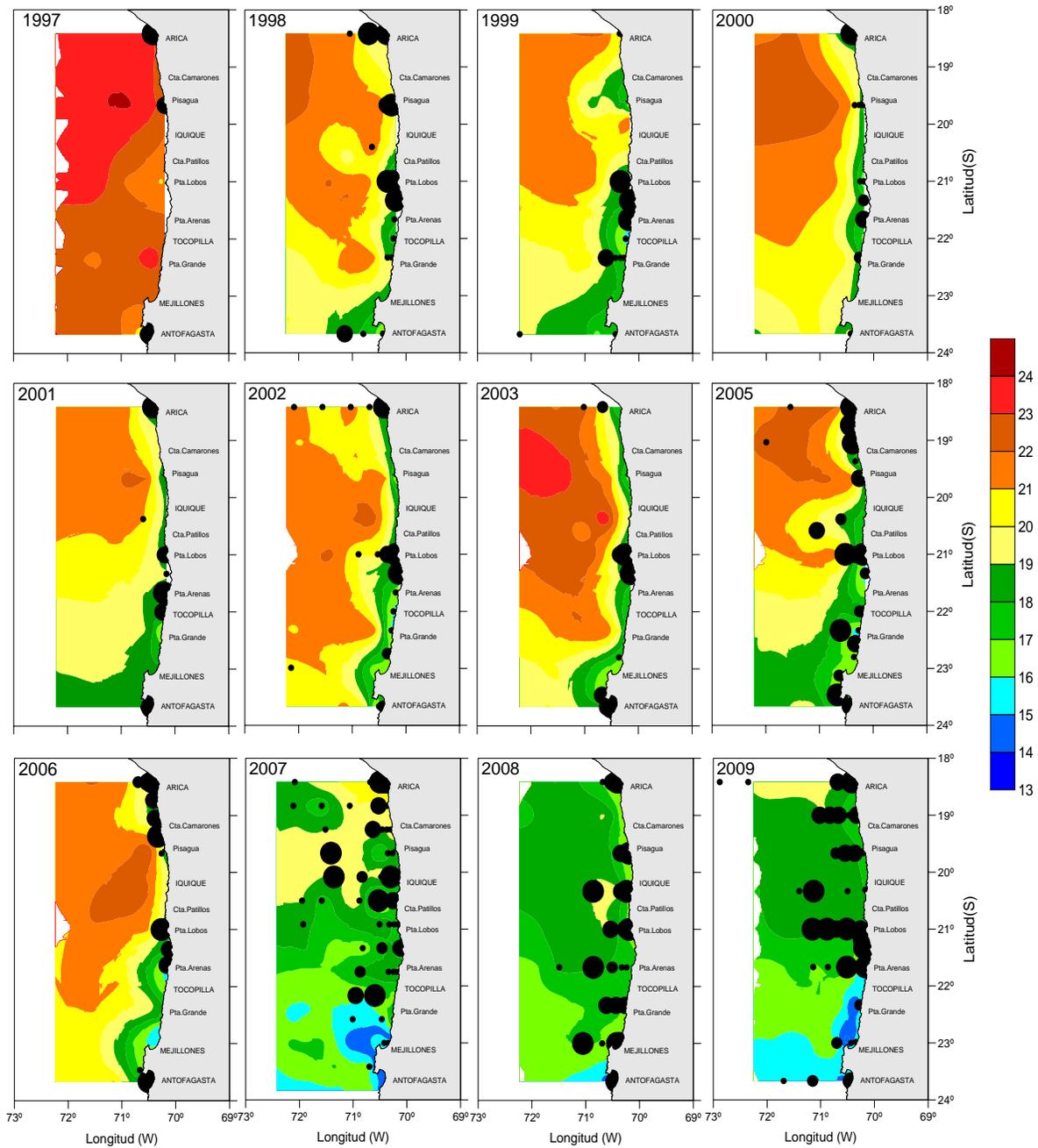


Figura 76. Distribuci3n espacial y temporal de los huevos de anchoveta y las TSM. Años 1997-2009.

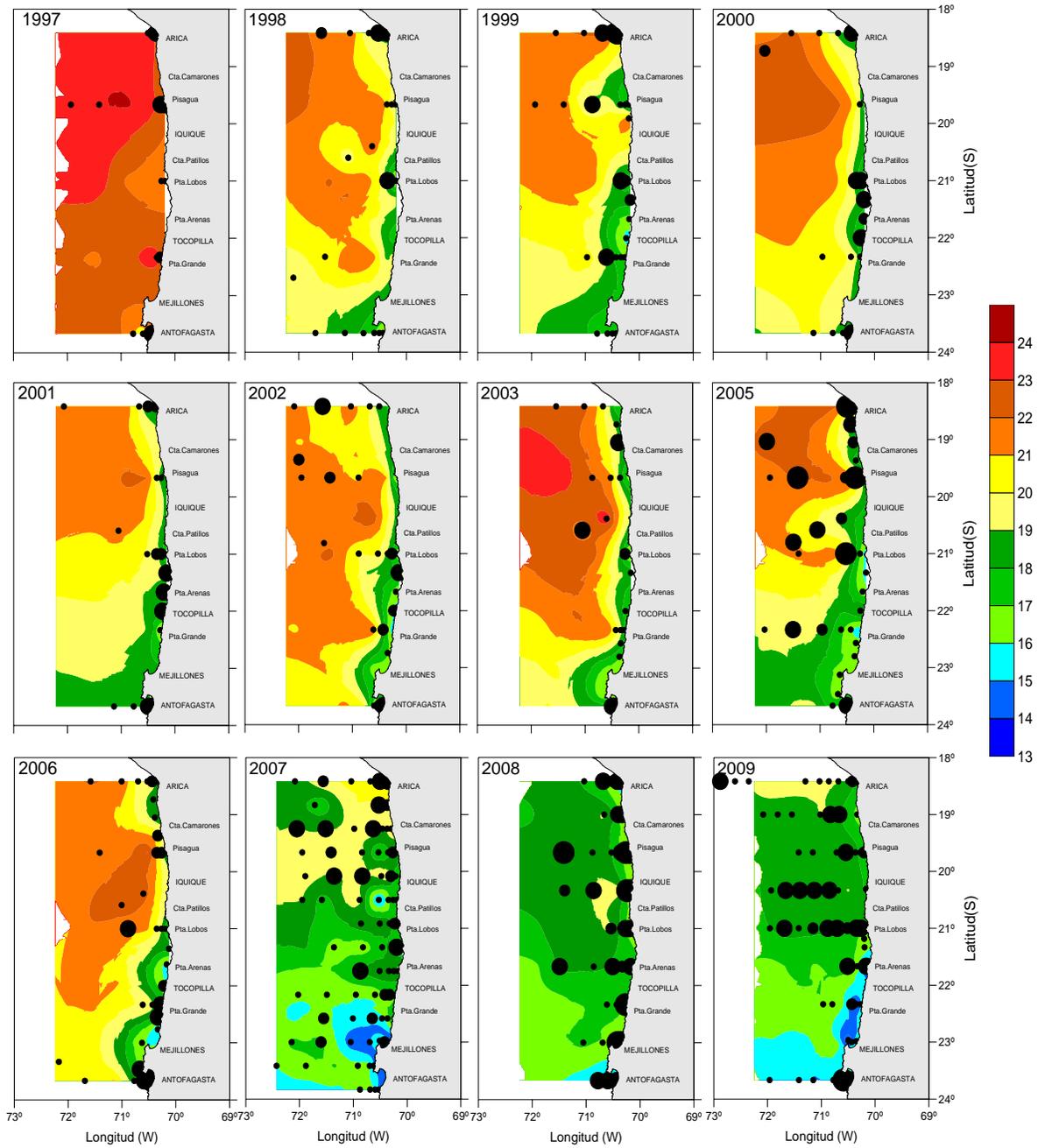


Figura 77. Distribuci3n espacial y temporal de las larvas de anchoveta y las TSM. Años 1997-2009.

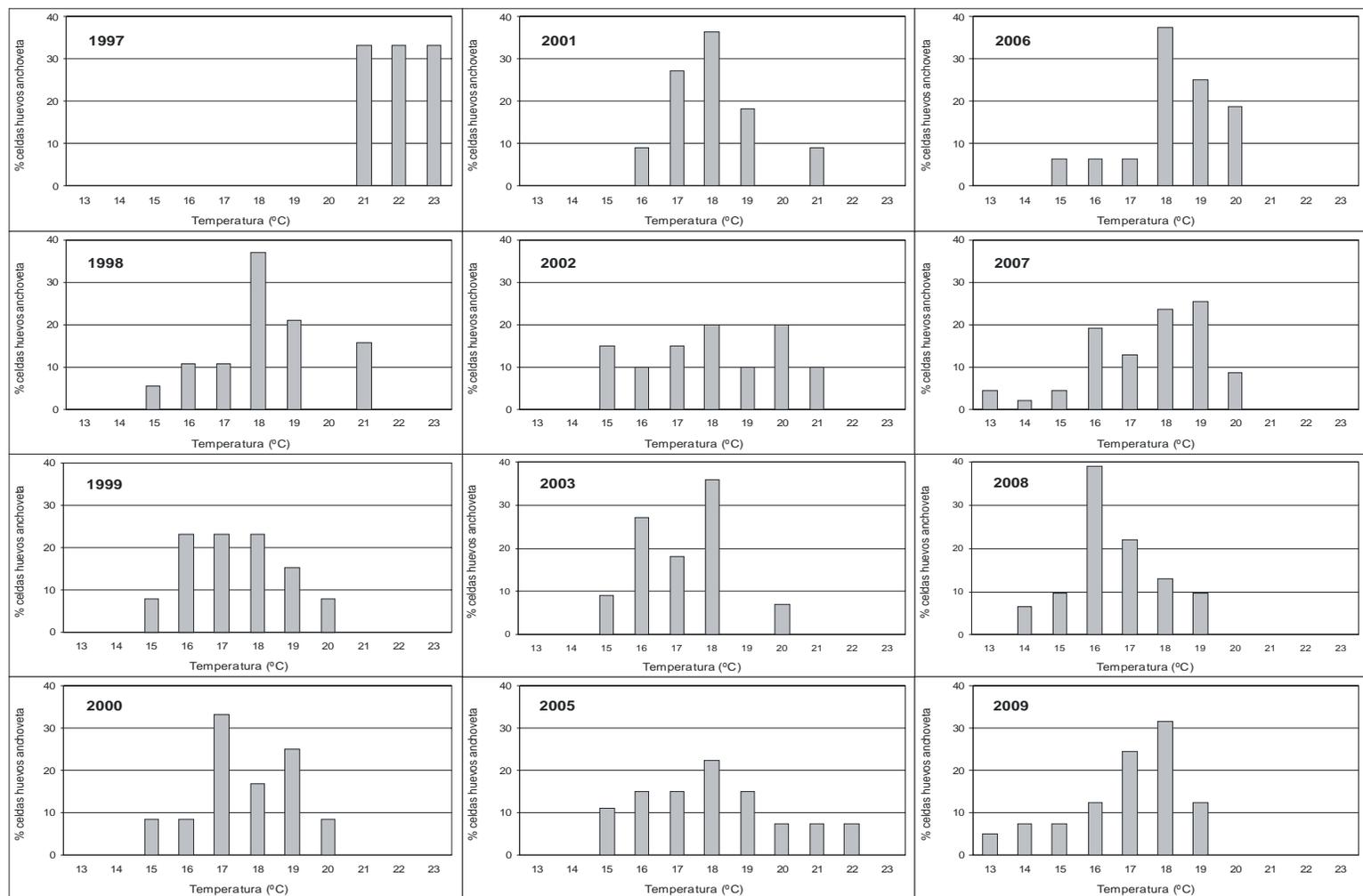


Figura 78. Rangos de distribuci3n preferencial de los huevos de anchoveta respecto de la temperatura (°C). Años 1997-2009.

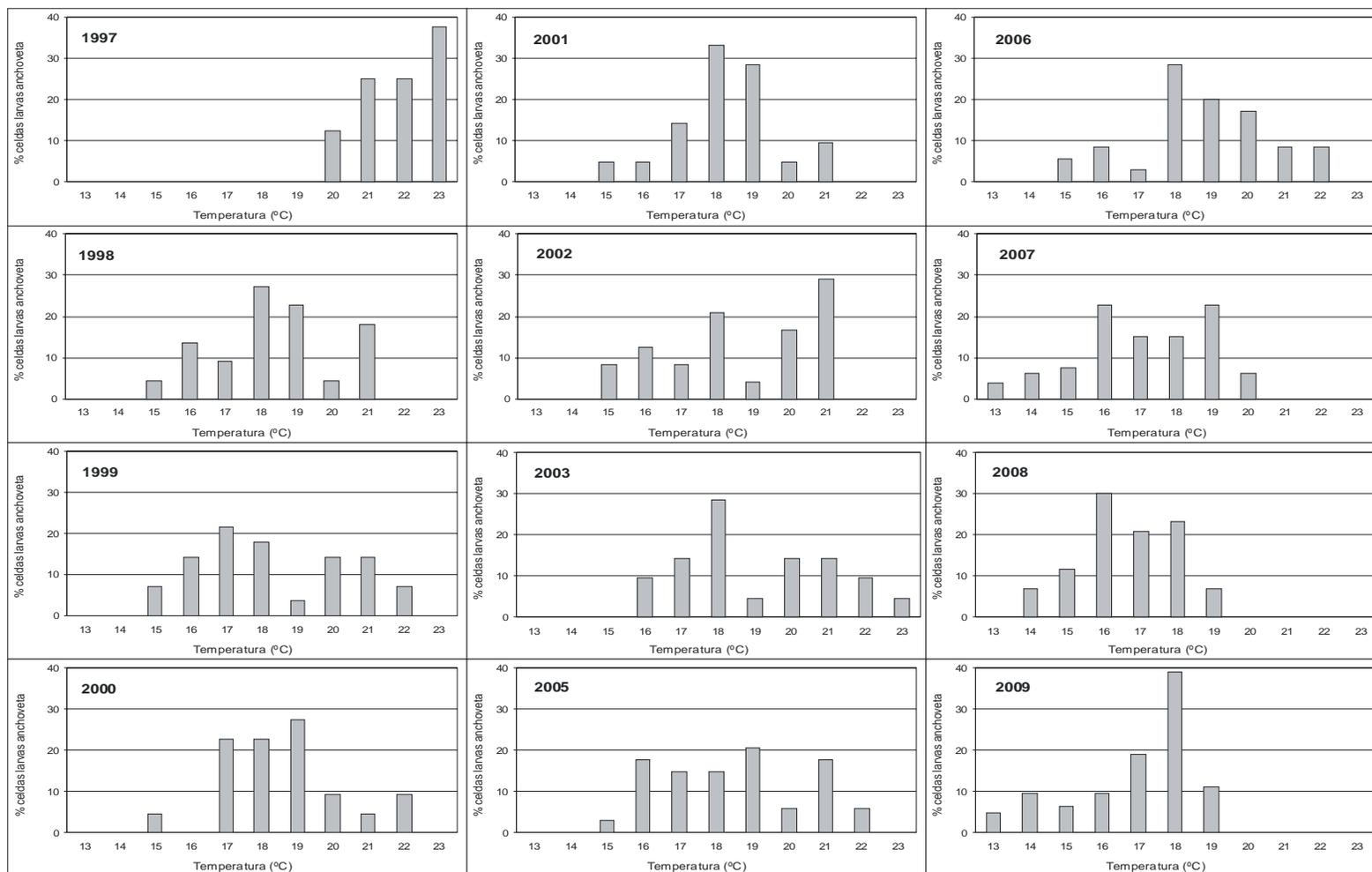


Figura 79. Rangos de distribuci3n preferencial de las larvas de anchoveta respecto de la temperatura (°C). Años 1997-2009.

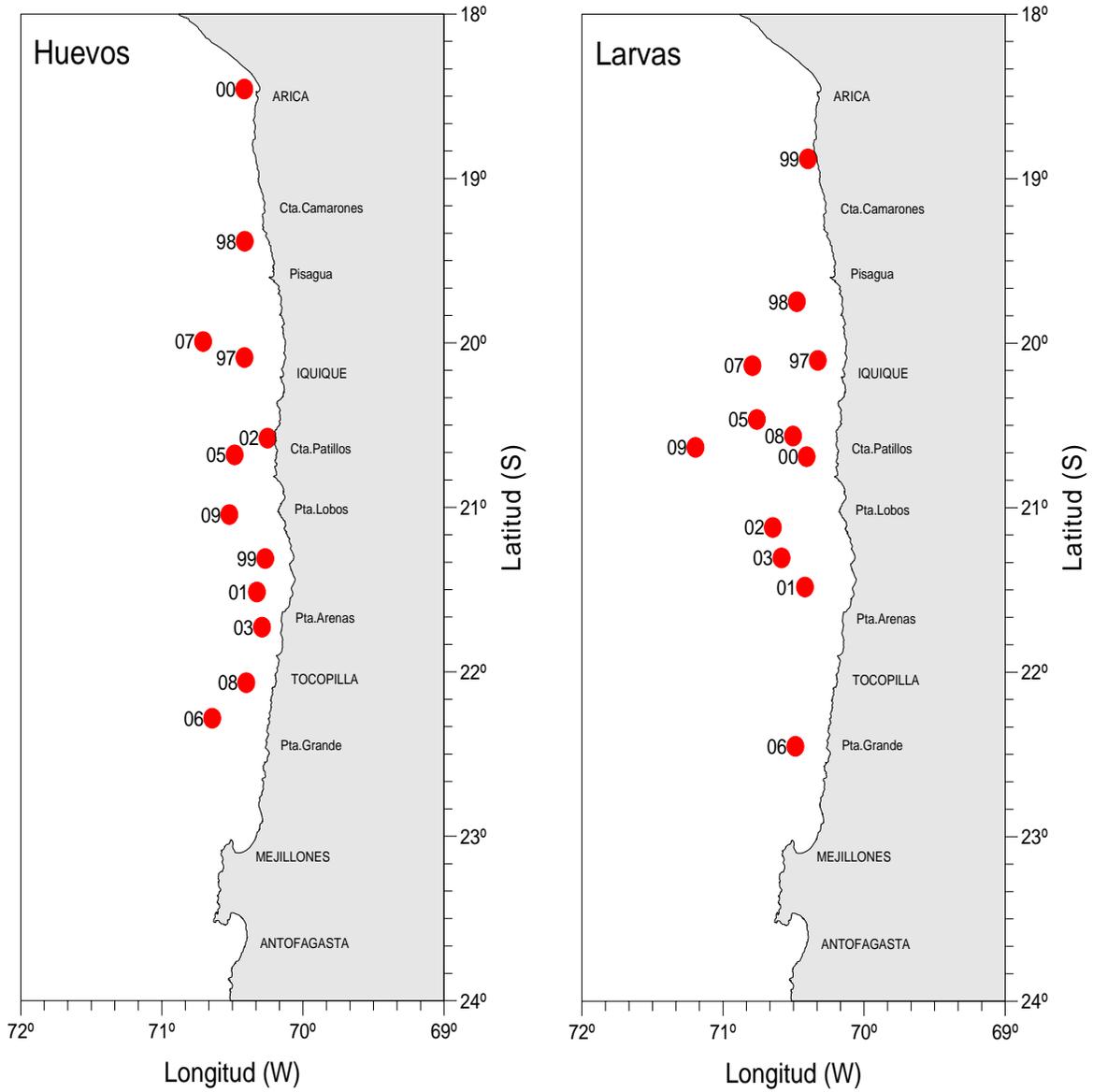


Figura 80. Distribuci3n espacial de los centros de gravedad de las distribuciones de a) huevos y b) larvas de anchoveta. Años 1997-2009.

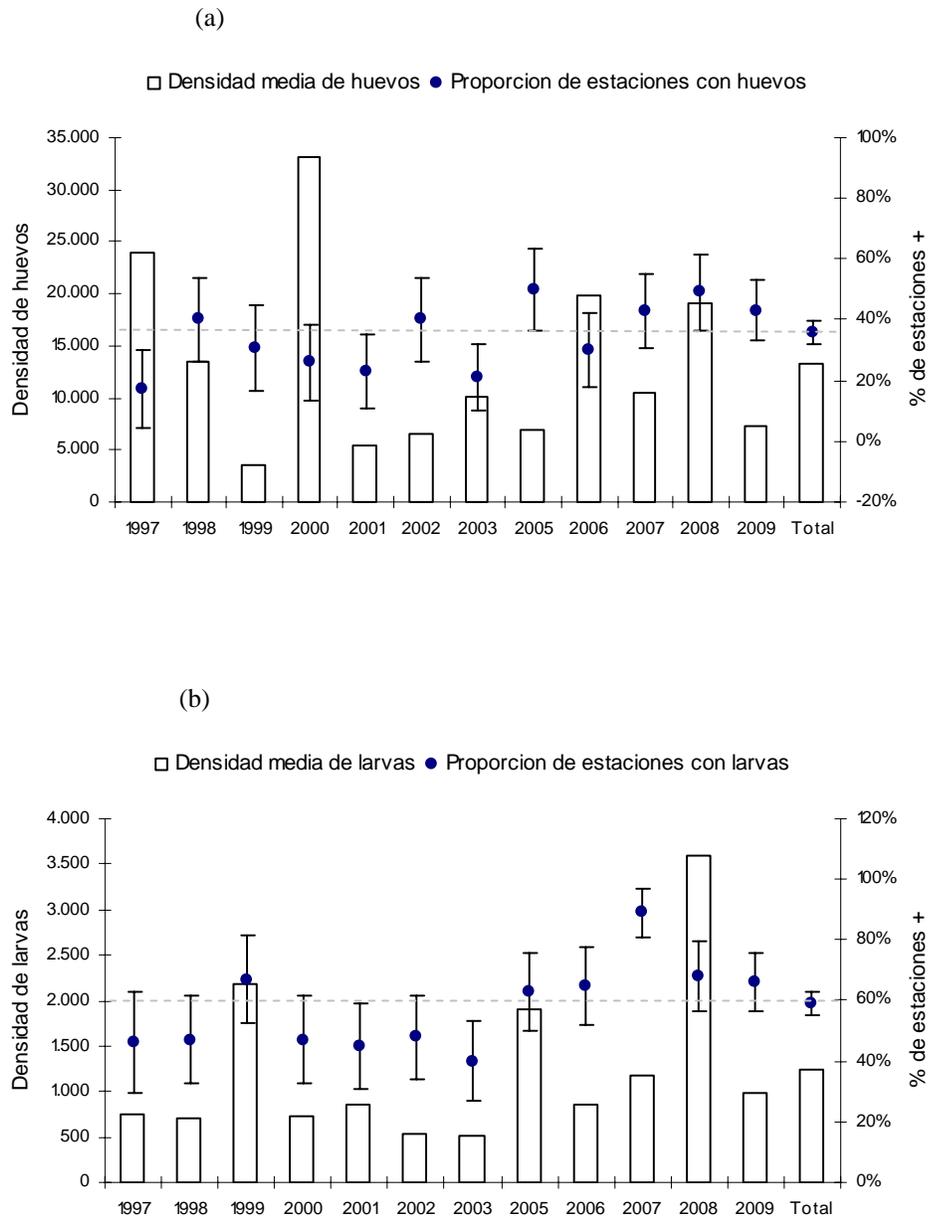


Figura 81. Densidad media y proporción de estaciones positivas con su intervalo de confianza para huevos (a) y larvas (b) de anchoveta, por año y período total. Cruceros realizados en la XV, I y II Región entre octubre y diciembre desde los años 1997 a 2009.

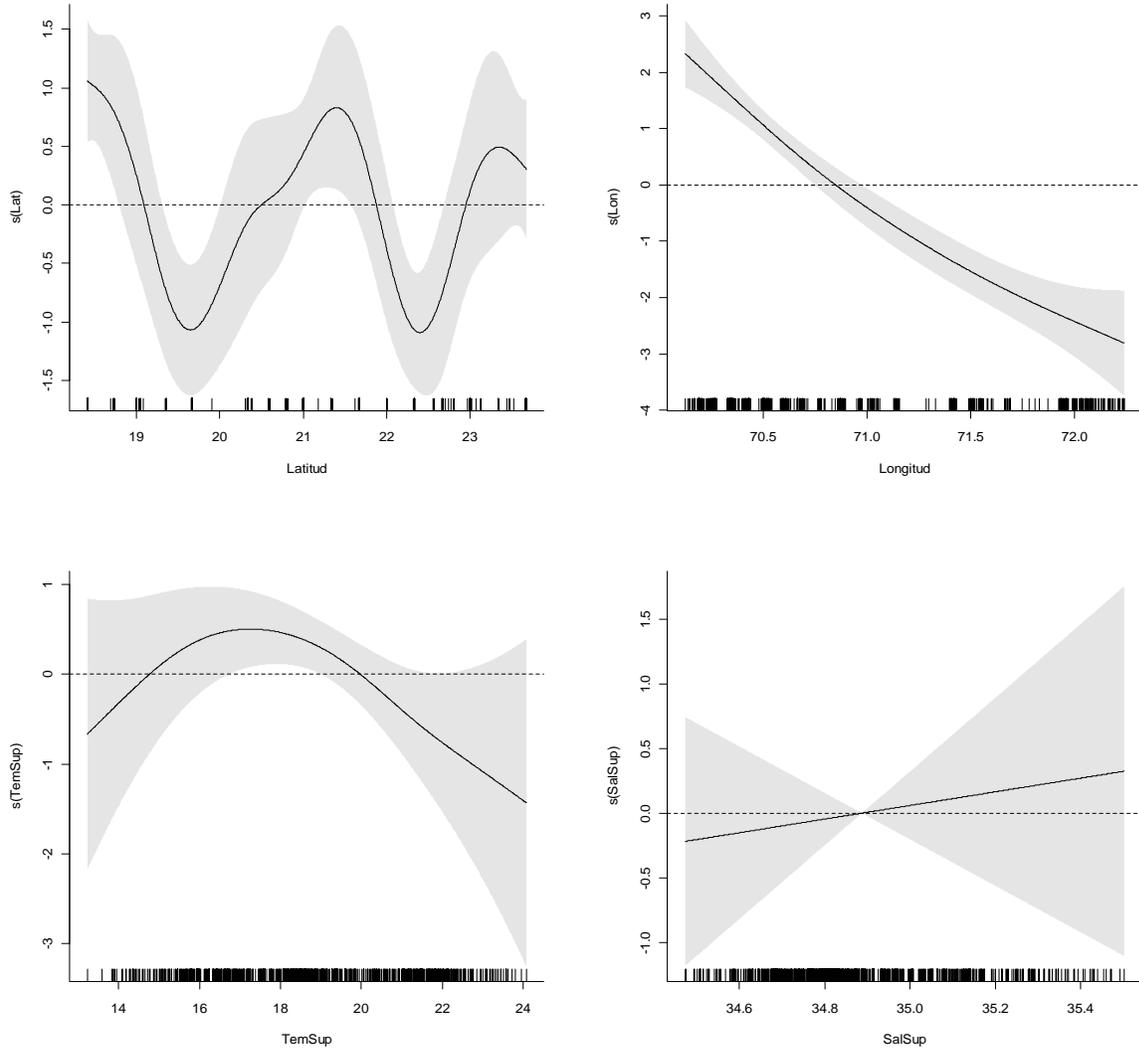


Figura 82. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia/ausencia de huevos de anchoveta por estaci3n, ajustado un modelo binomial con sobre-dispersi3n (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto 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 entre octubre y diciembre, desde el a3o 1997 a 2009.

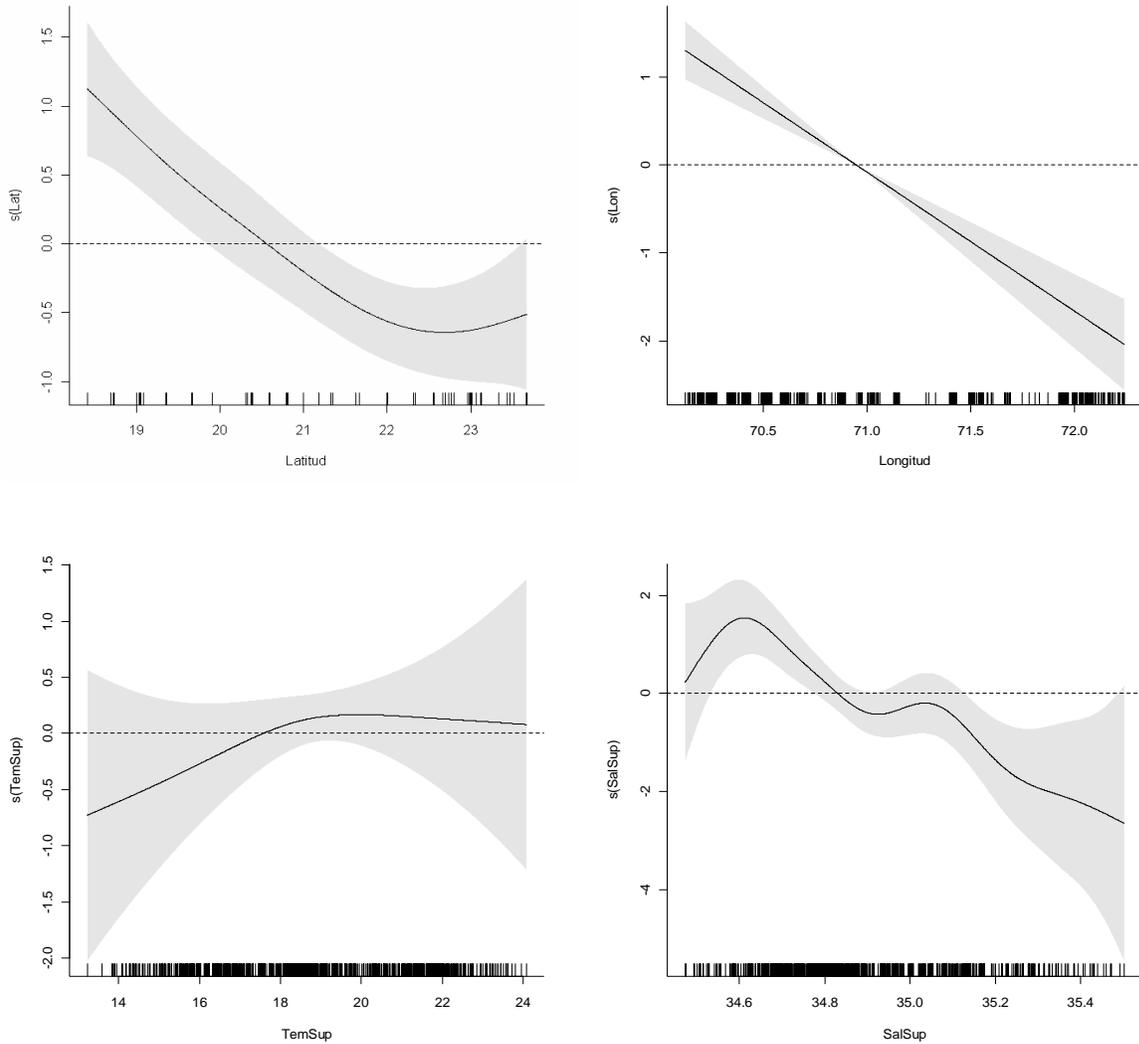


Figura 83. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia/ausencia de larvas de anchoveta por estaci3n, ajustado un modelo binomial con sobre-dispersi3n (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto 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 XV, I y II Regi3n entre octubre y diciembre, desde el a3o 1997 a 2009.

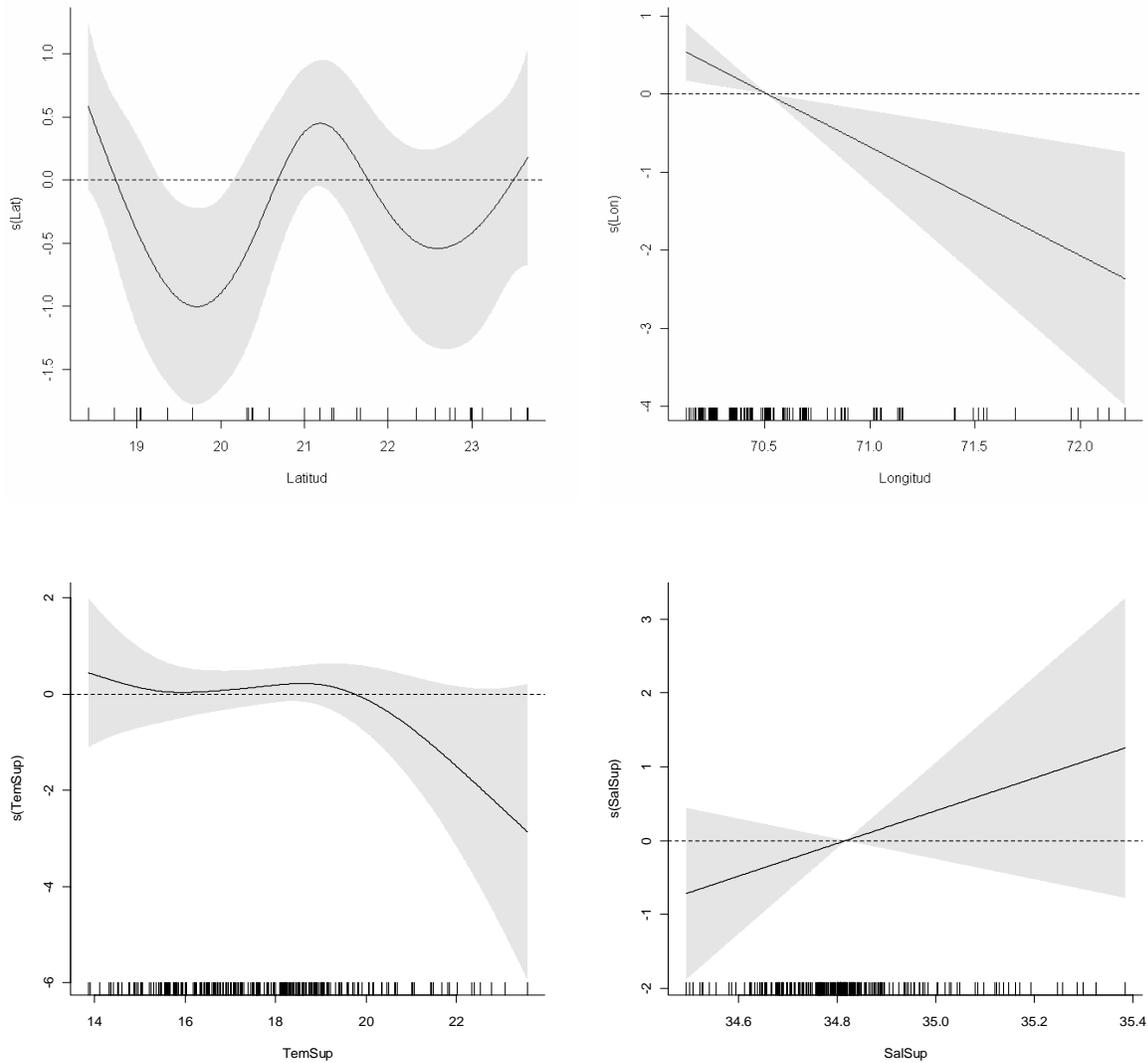


Figura 84. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable logaritmo de la densidad de huevos de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del 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 XV, I y II Regi3n entre octubre y diciembre, desde el a3o 1997 a 2009.

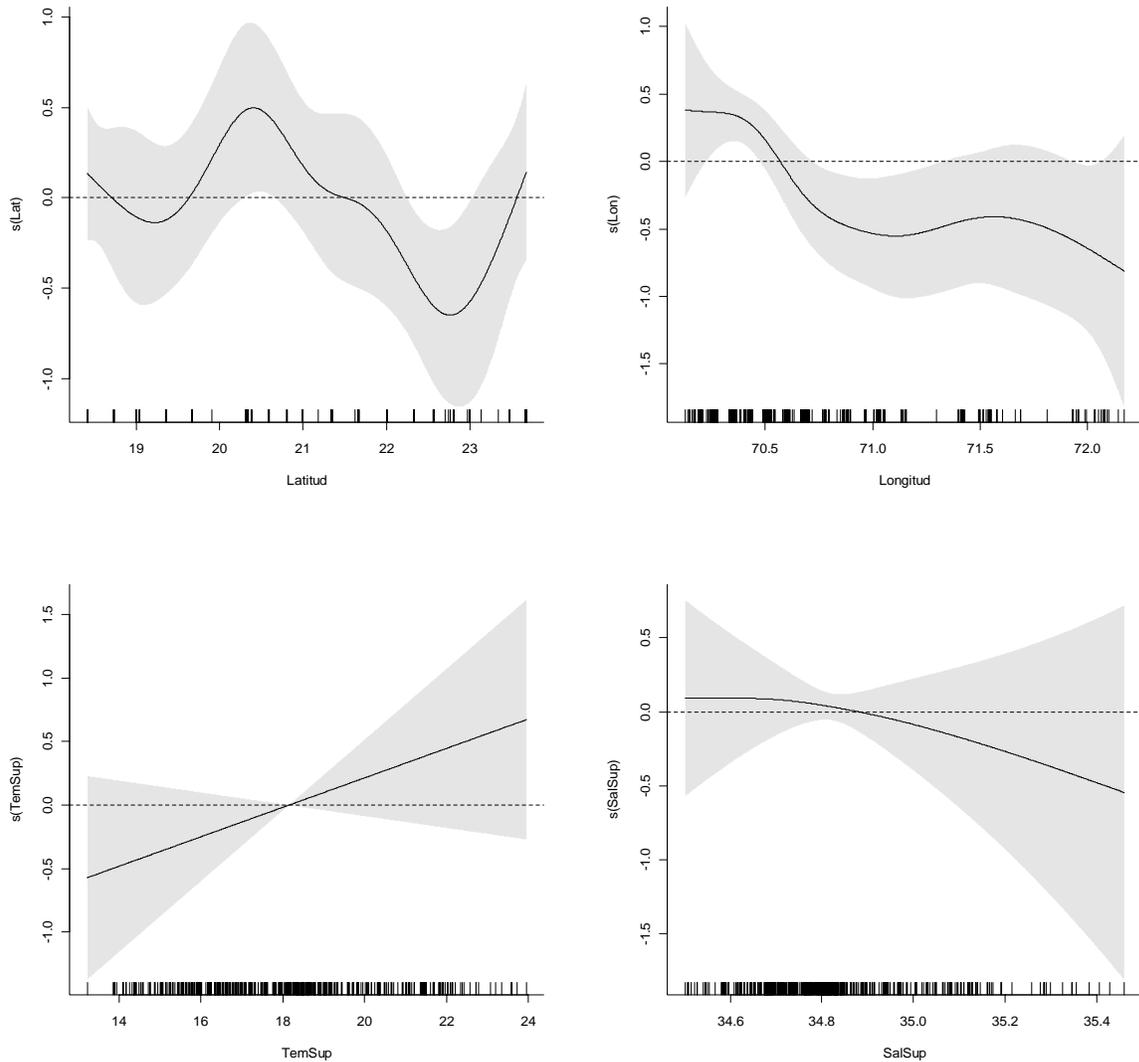


Figura 85. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable logaritmo de la densidad de larvas de anchoveta en las estaciones positivas, ajustado un modelo normal (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del 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 XV, I y II Regi3n entre octubre y diciembre, desde el a3o 1997 a 2009.

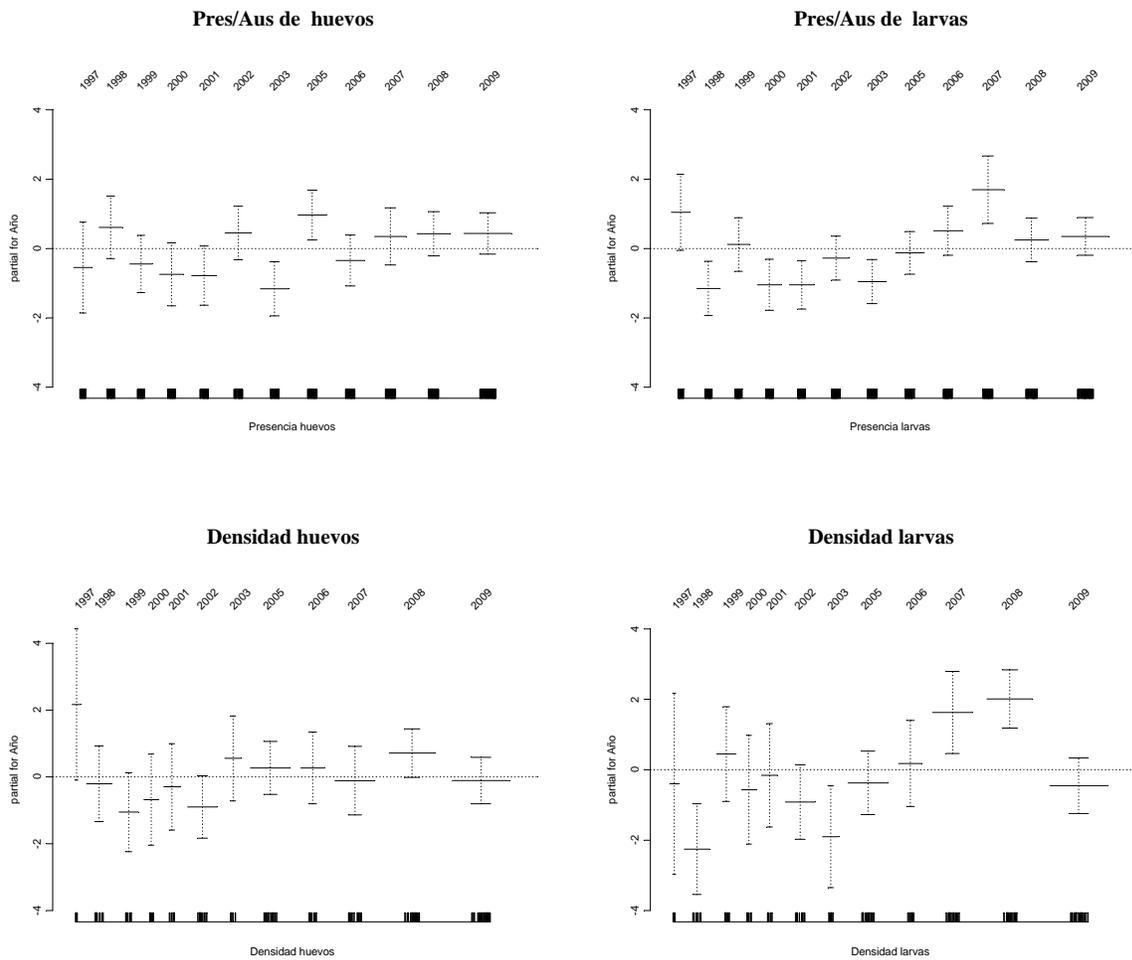


Figura 86. Tendencias de los índices por crucero obtenidos del ajuste de modelos GAM para la presencia/ausencia y la densidad de huevos y larvas de anchoveta. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza. Cruceros realizados en la XV, I y II Región entre octubre y diciembre, desde el año 1997 a 2009.

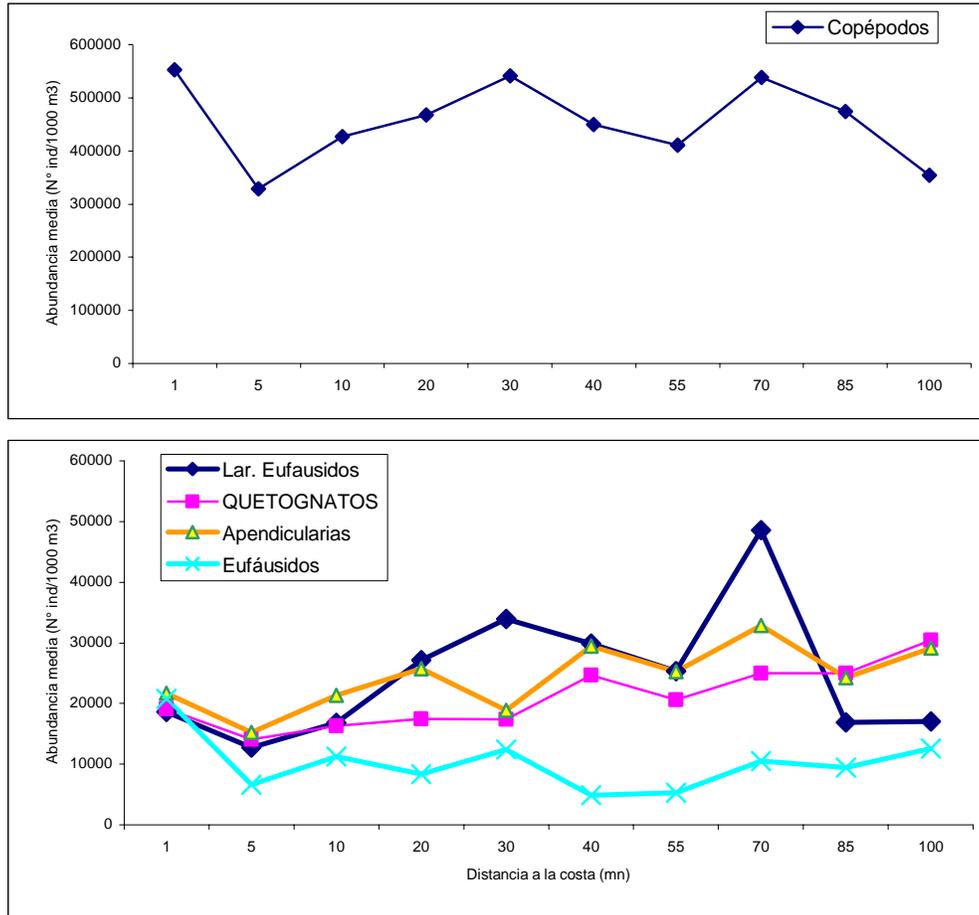


Figura 87. Distribuci3n de la abundancia promedio de los principales grupos zooplanct3nicos con respecto a la distancia de la costa. Crucero MOBIO – Octubre 2009.

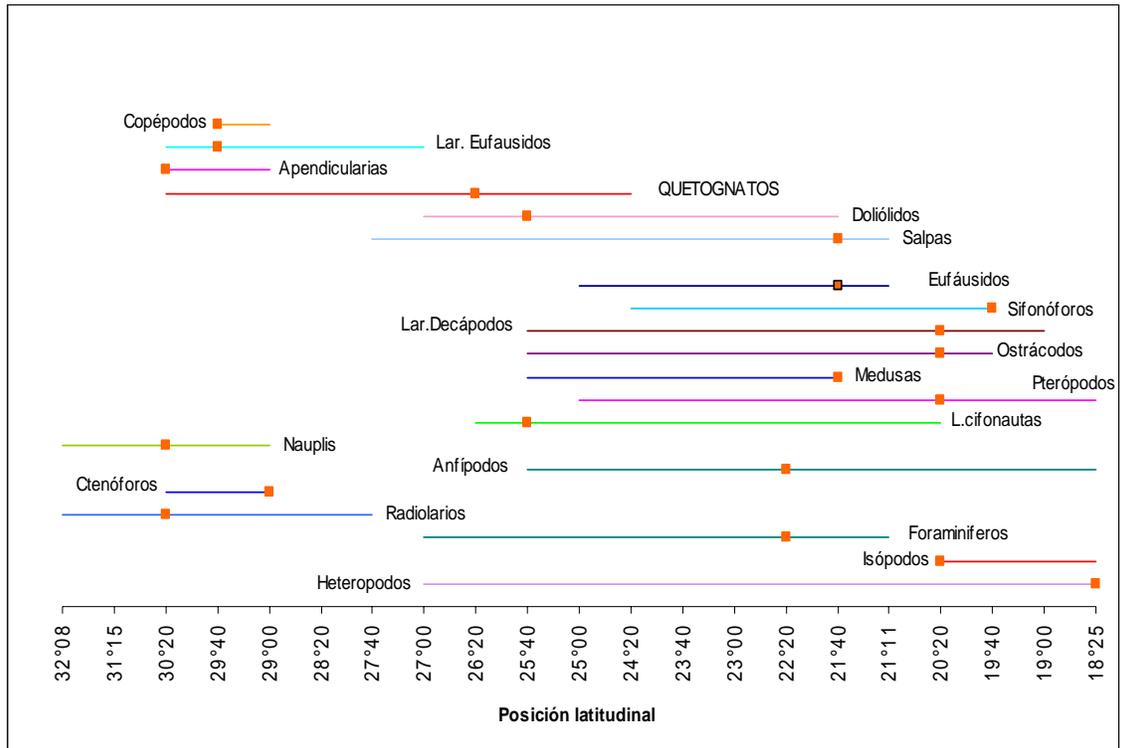


Figura 88. Rangos latitudinales donde se presentaron las agregaciones más altas de los diferentes grupos zooplanct3nicos (en colores) y posici3n latitudinal de sus abundancias máximas (■). Crucero MOBIO – Octubre 2009.

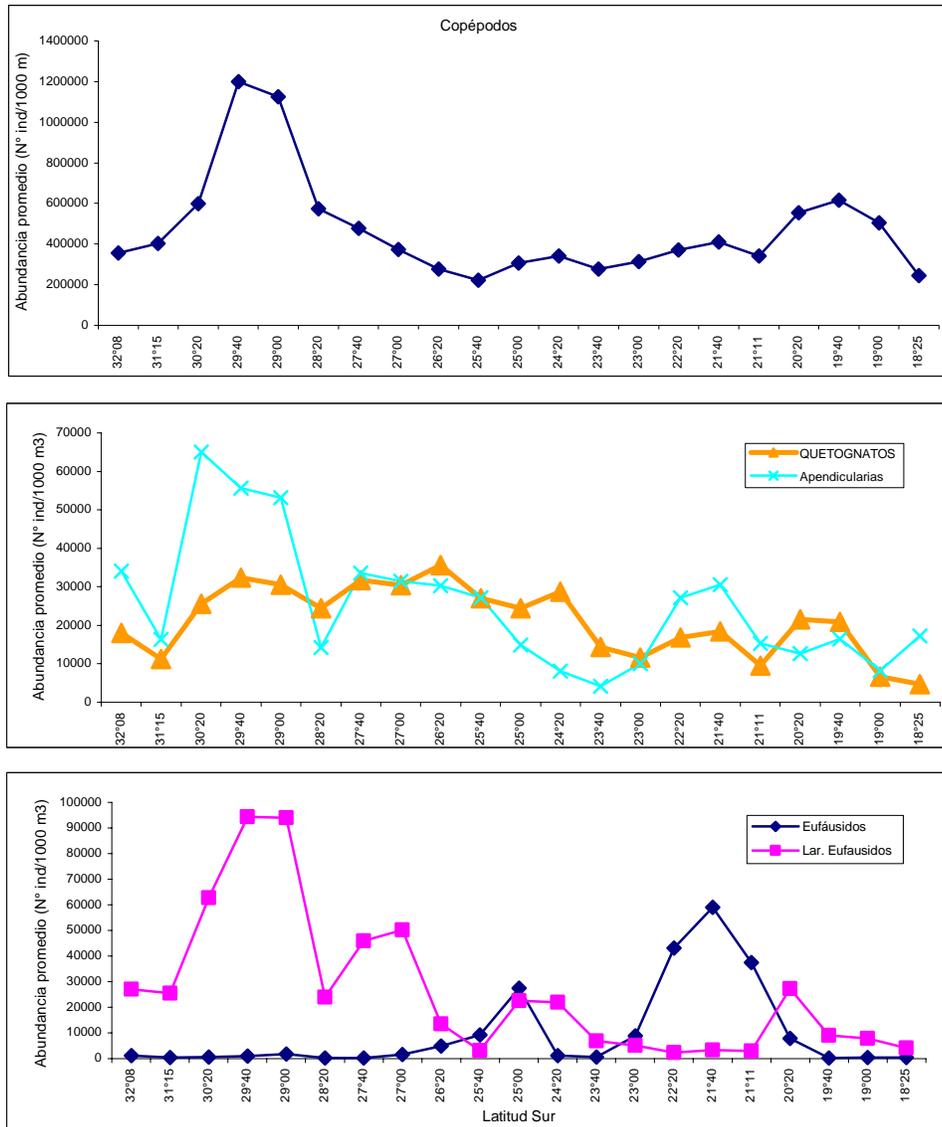


Figura 89. Distribuci3n de la abundancia promedio de los principales grupos zooplanct3nicos con respecto a la latitud. Crucero MOBIO – Octubre 2009.

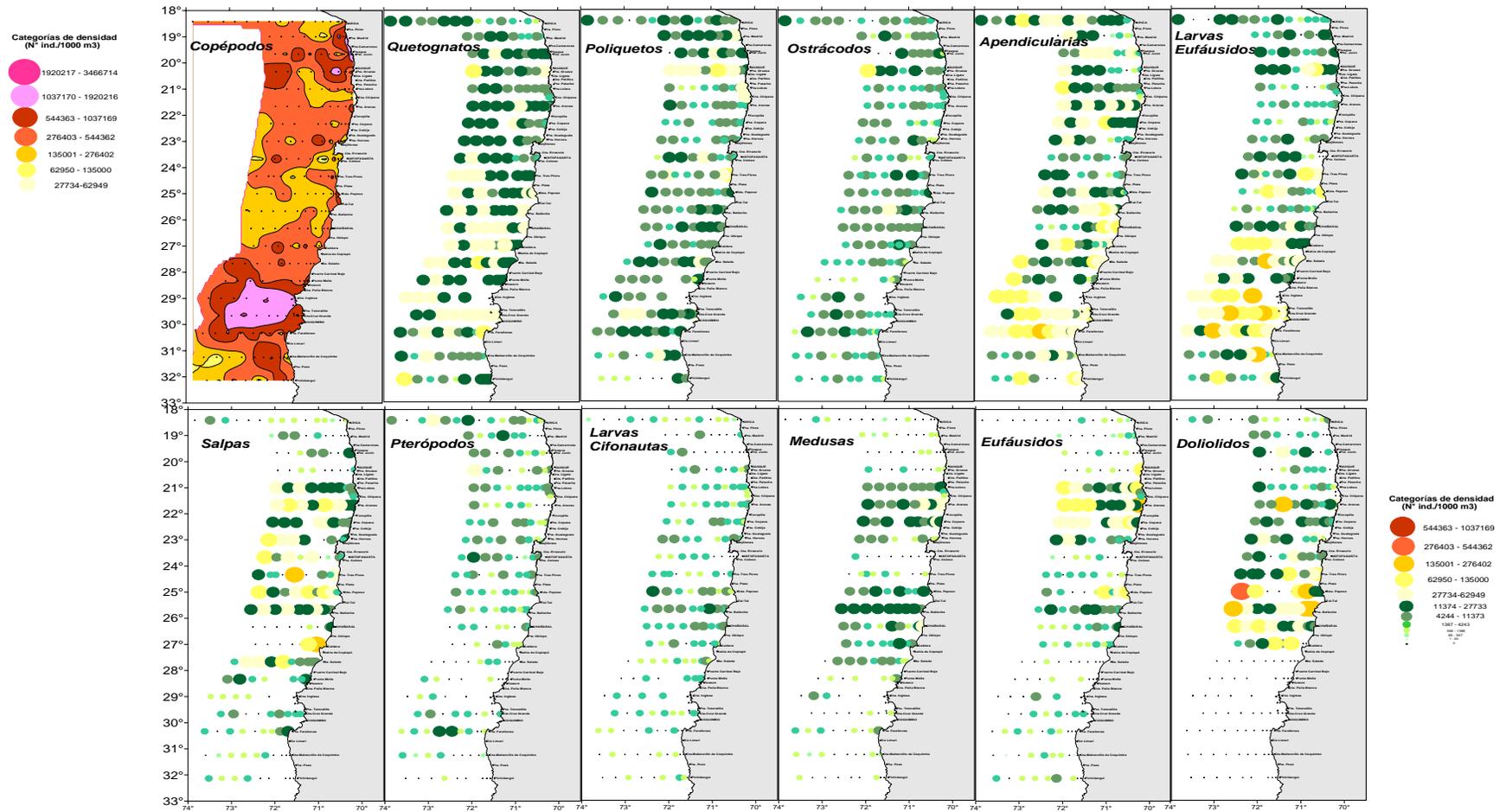
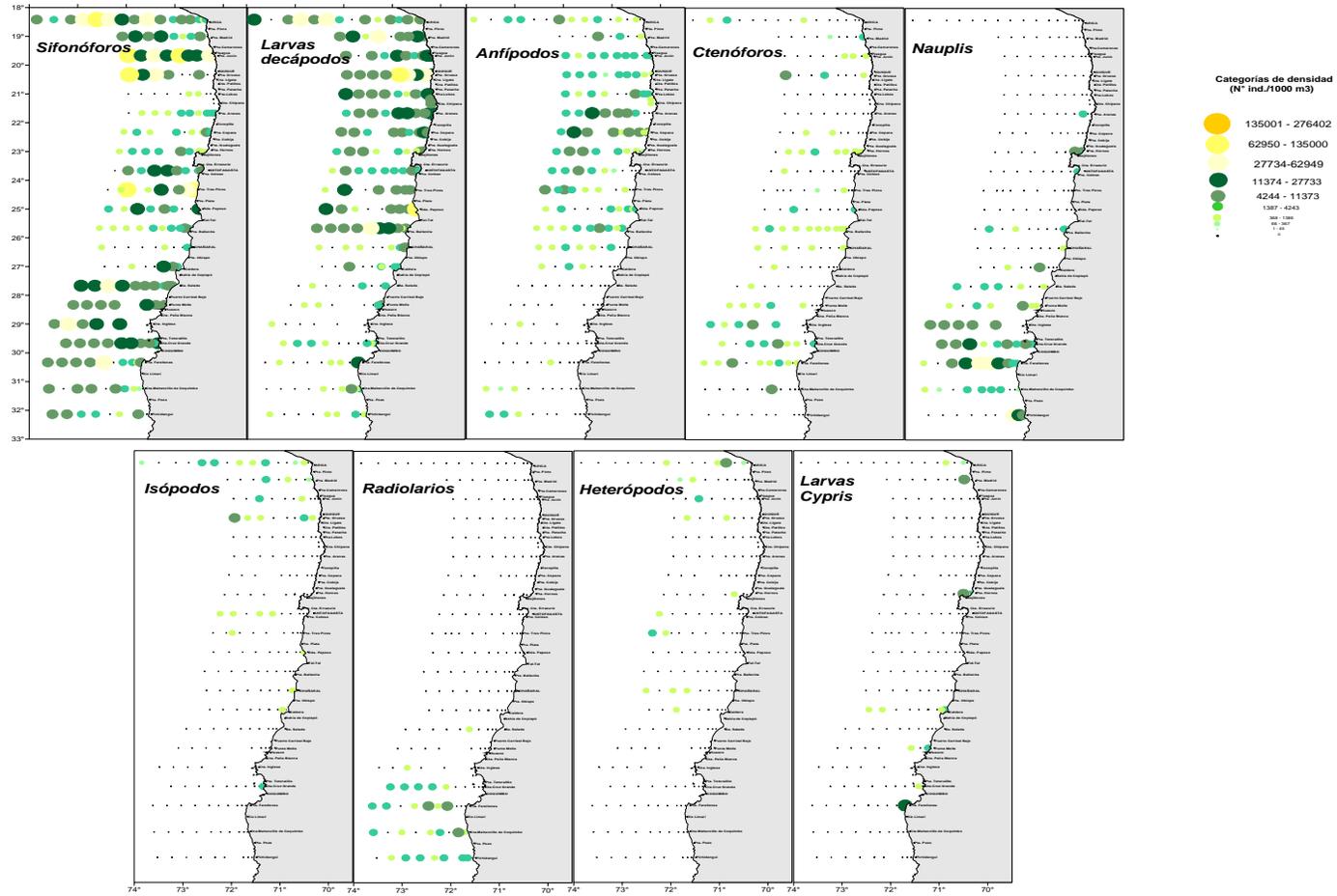


Figura 90. Distribuci3n geográfica de los distintos grupos zooplanct3nicos presentes entre Arica y Pichidangui. Crucero MOBIO - Octubre 2009.



Continuaci3n Figura 90.

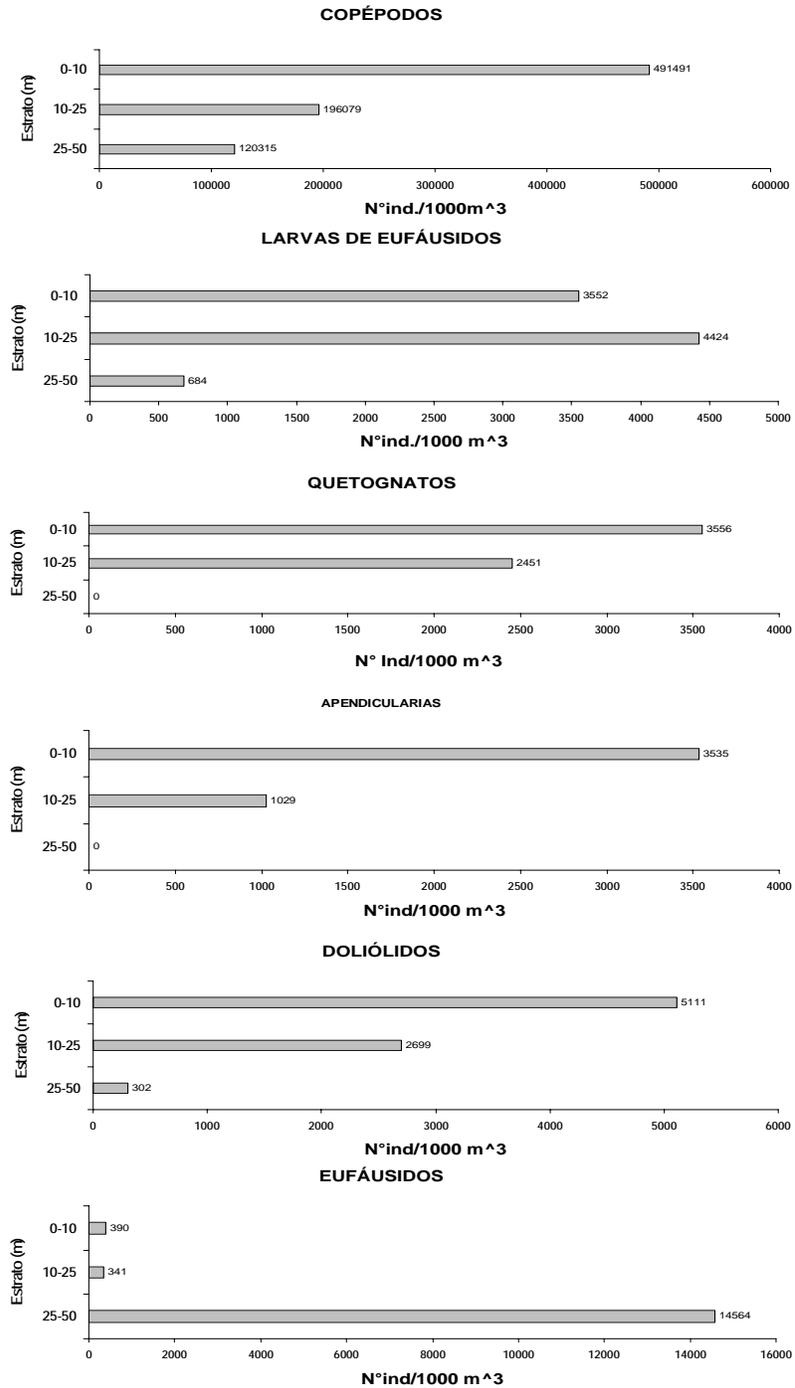


Figura 91. Abundancia promedio por estrato de profundidad de copépodos, apendicularias, quetognatos, larvas de eufáusidos y eufáusidos. Crucero MOBIO – Octubre 2009.

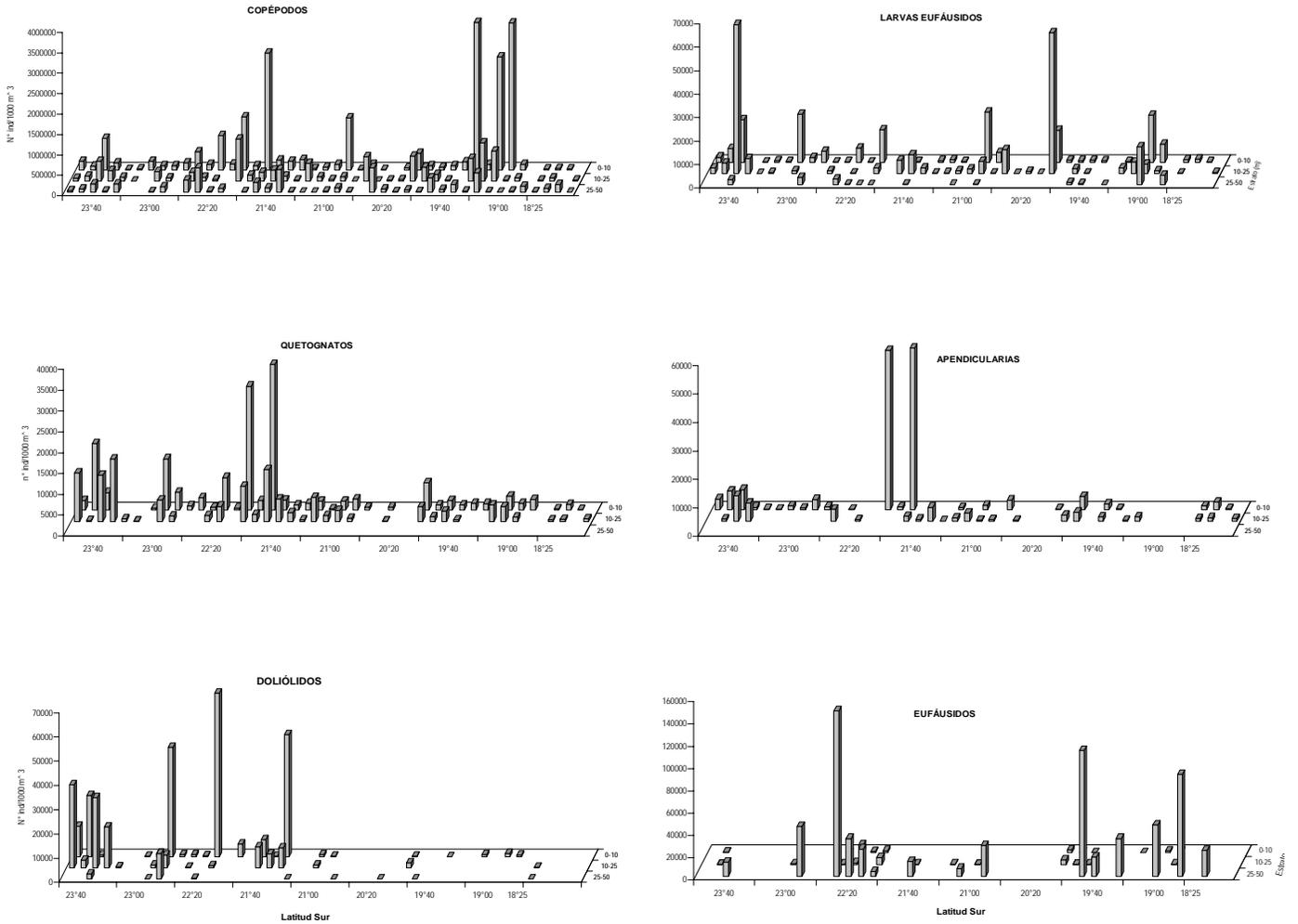


Figura 92. Distribuci3n y abundancia por estaci3n de copépodos, larvas de eufáusidos, quetognatos, apendicularias, doliólidos y eufáusidos. Crucero MOBIO – Octubre 2009.

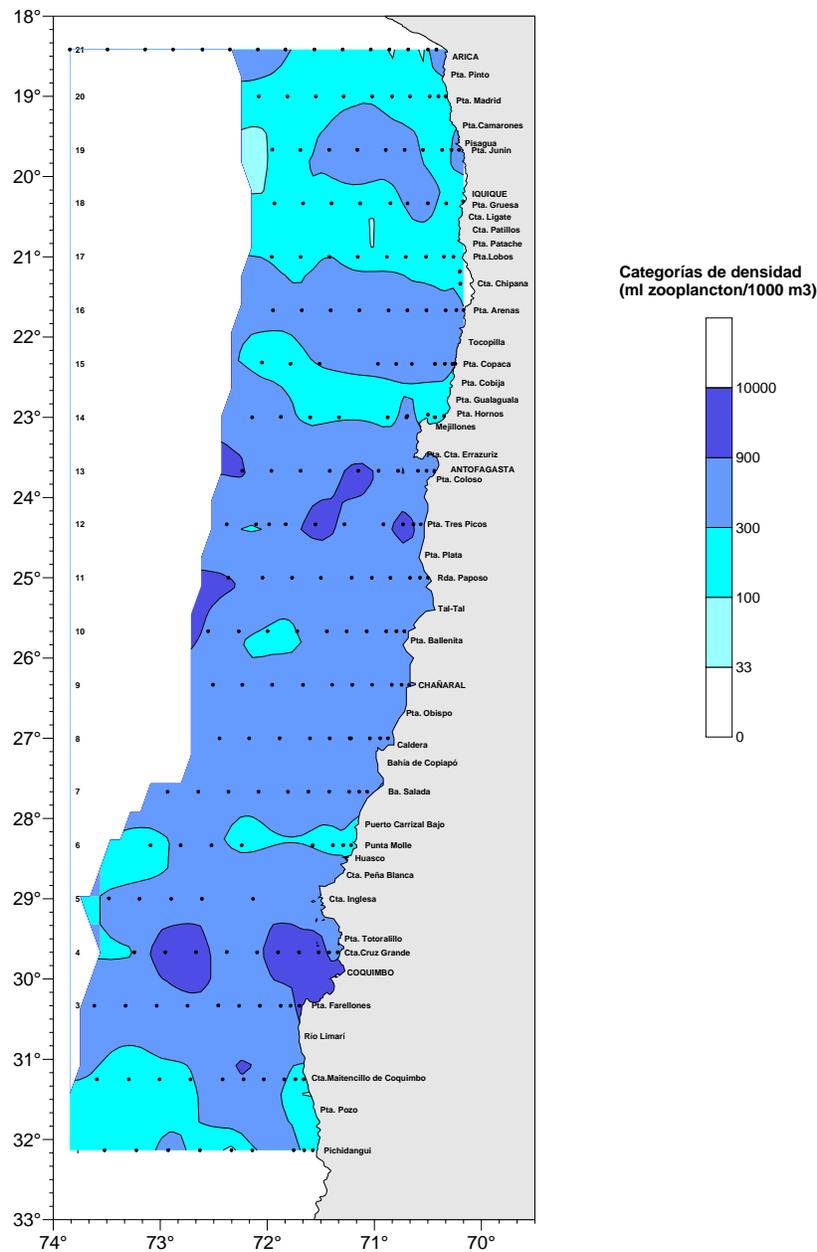


Figura 93. Distribuci3n de la biomasa zooplanct3nica para la zona Arica -Pichidangui en Primavera de 2009. Crucero MOBIO 0910 - Octubre 2009.

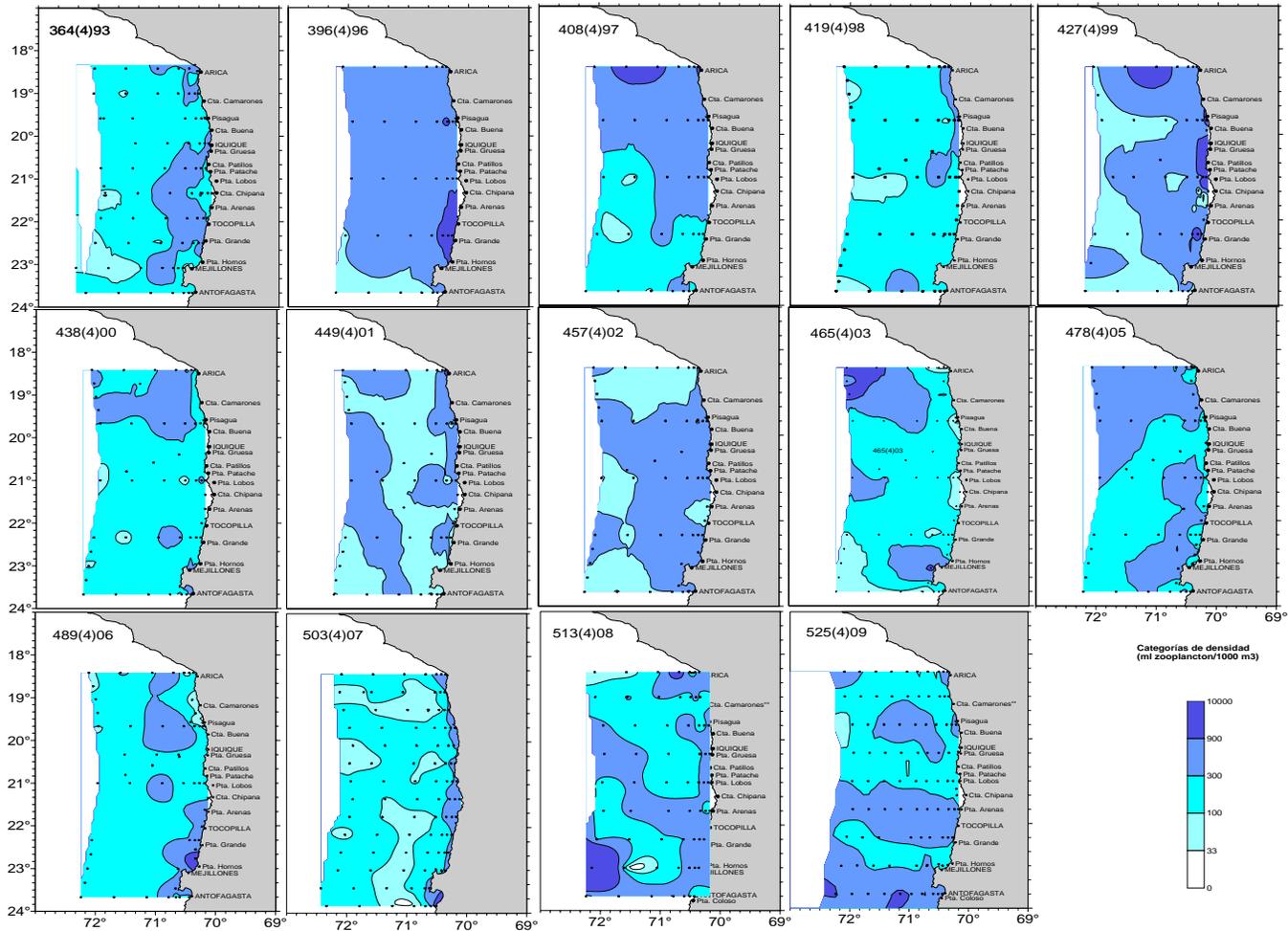


Figura 94. Distribuci3n de la biomasa zooplanct3nica para la zona Arica - Antofagasta en Primavera de los a1os 1993 - 2009.

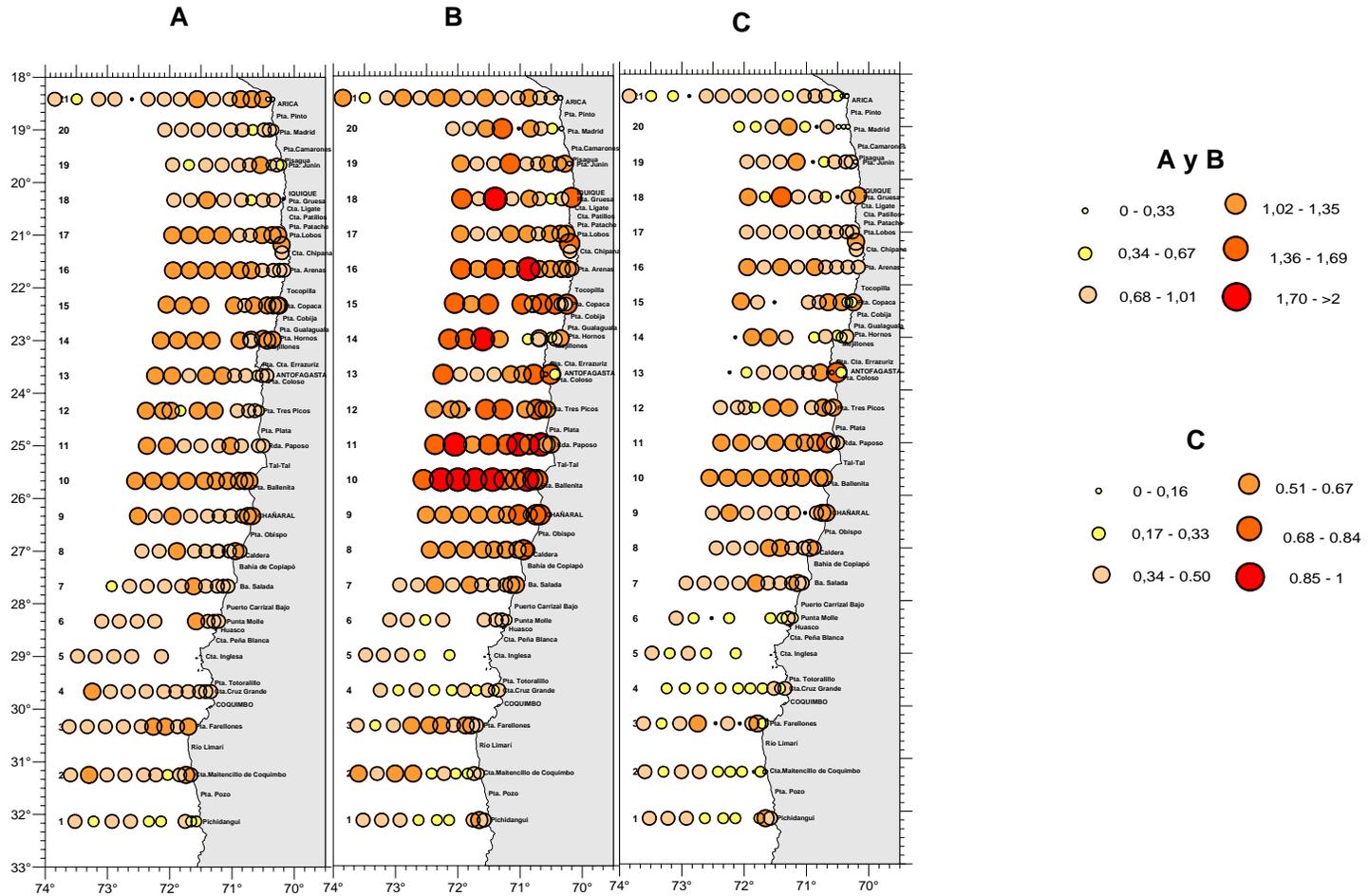


Figura 95. Distribuci3n espacial de los 3ndices de: A) Riqueza espec3fica de Margalef, B) Diversidad de Shannon-Wiener y C) Homogeneidad de Pielou.

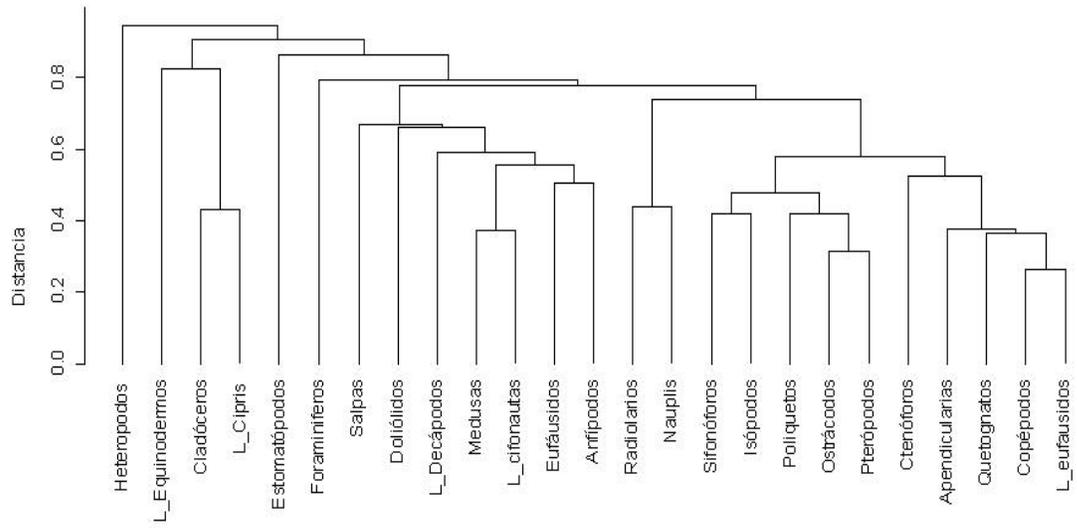


Figura 96. Dendrograma de estaciones y grupos para el área de estudio.

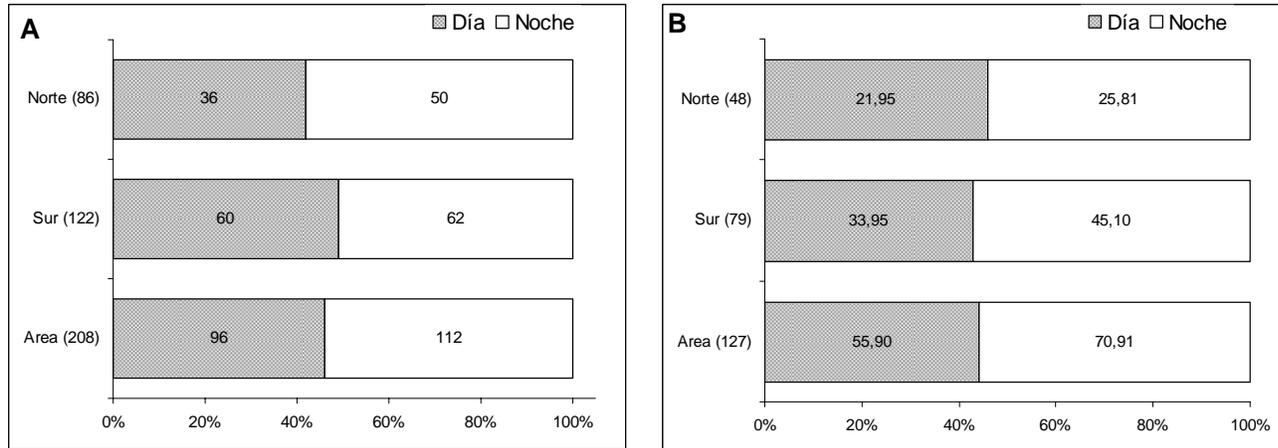


Figura 97. Proporci3n observada de estaciones (A) y n3mero de tasas (B) por periodo del d3a separadas por zona. Valores al interior de las barras y entre par3ntesis en el eje de las ordenadas corresponden a los tama3os de muestra (A) y al n3mero de tasas en millones (B).

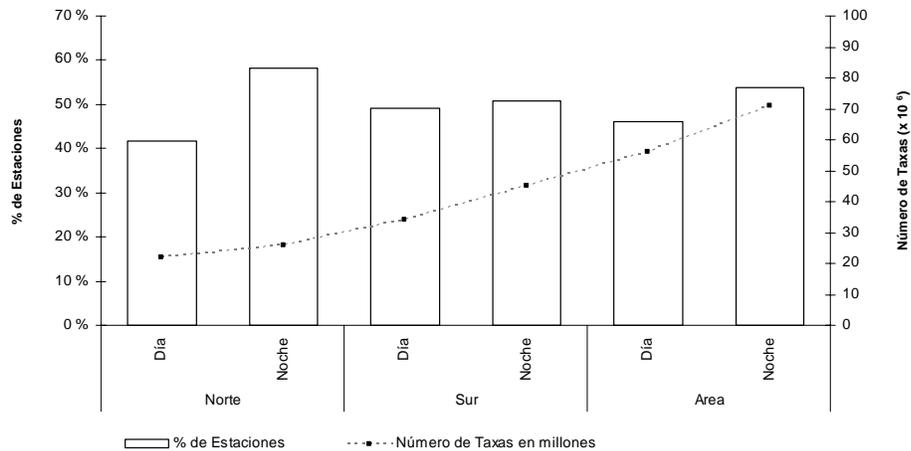


Figura 98. Porcentaje de estaciones por distancia a la costa y n3mero de tasas ($\times 10^6$) respecto de la zona y periodo del d3a.

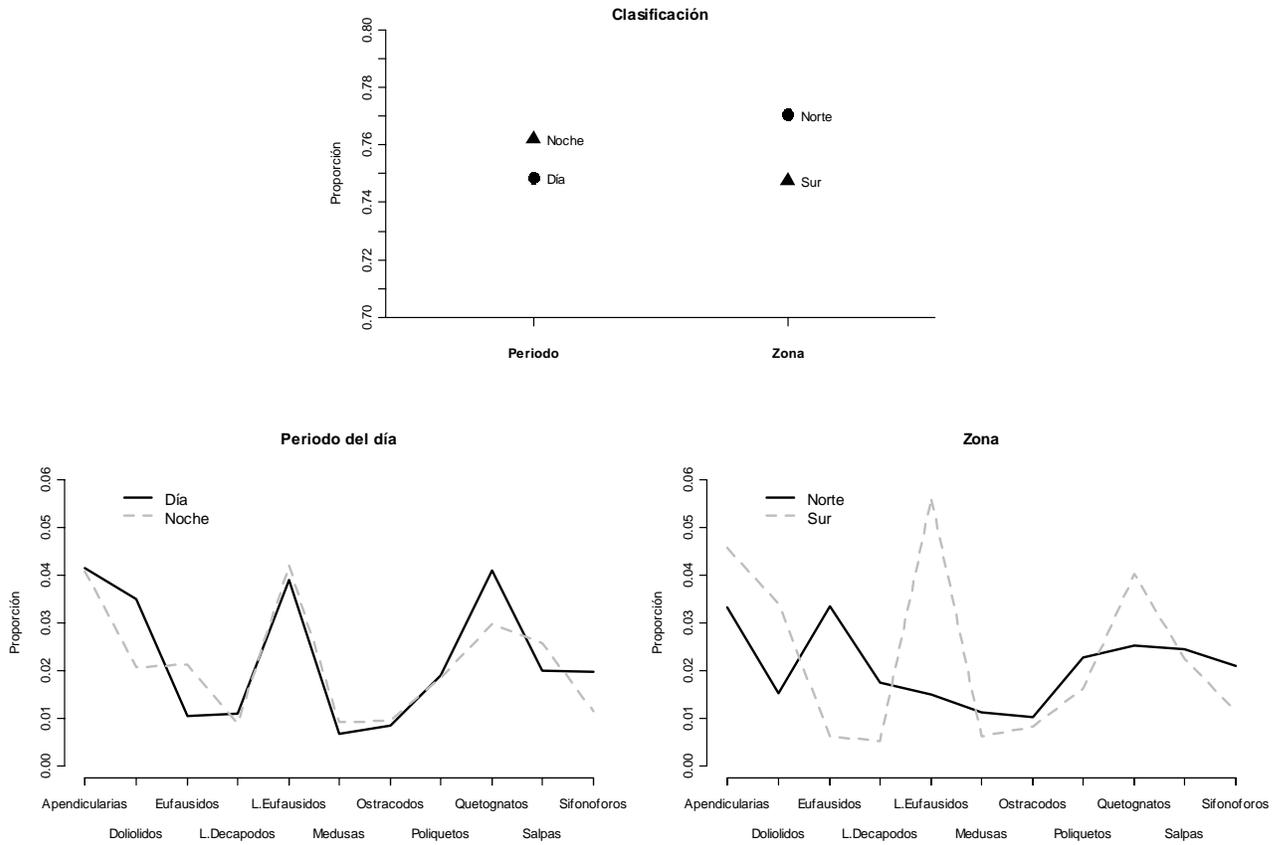


Figura 99. Composici3n de la estructura zooplanct3nica por per3odo del d3a y zona, para los cop3podos y el restante conjunto de taxas.

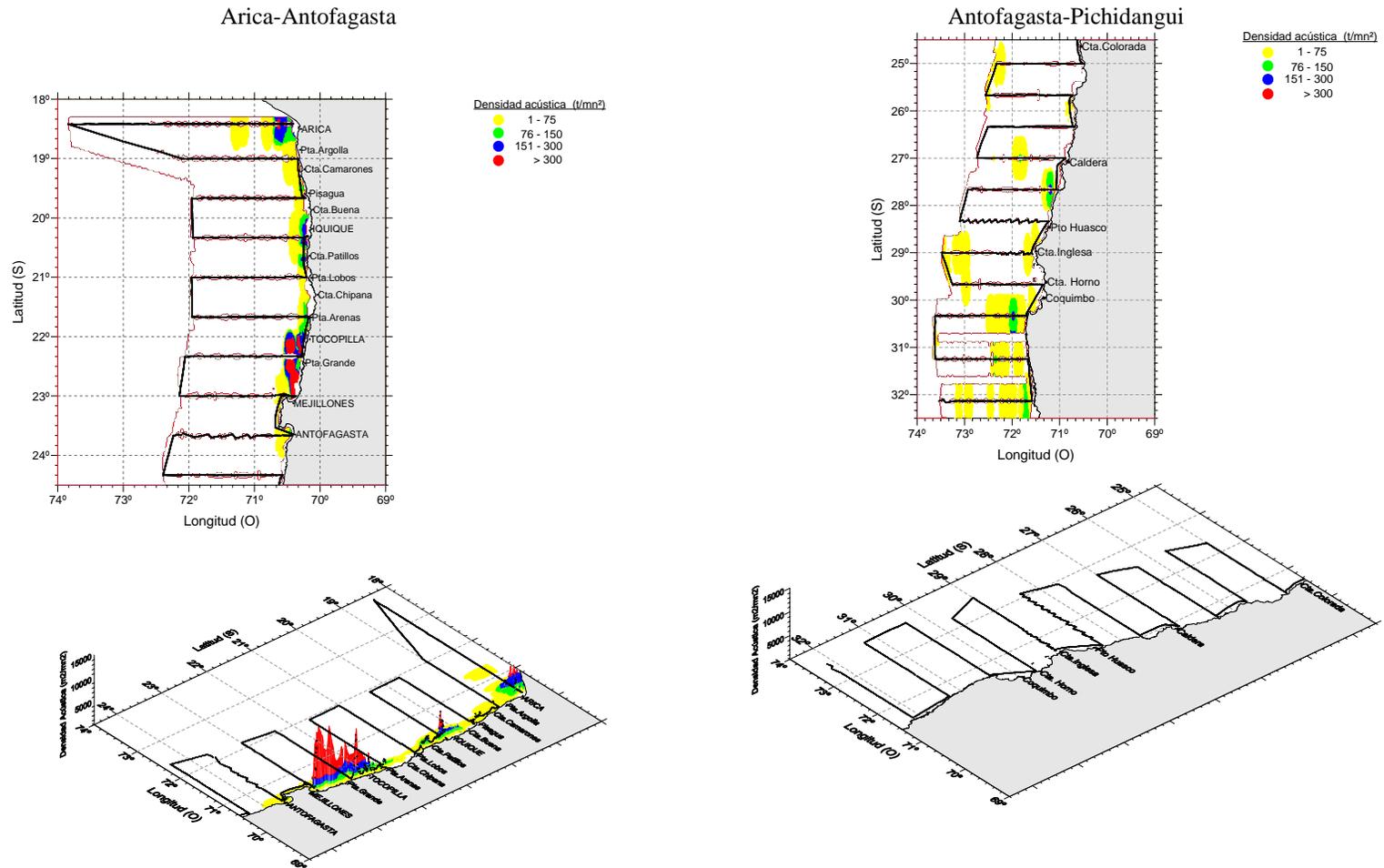


Figura 100. Distribuci3n geográfica de anchoveta entre Arica-Antofagasta y Antofagasta-Pichidanguí. Crucero MOBIO 0910.

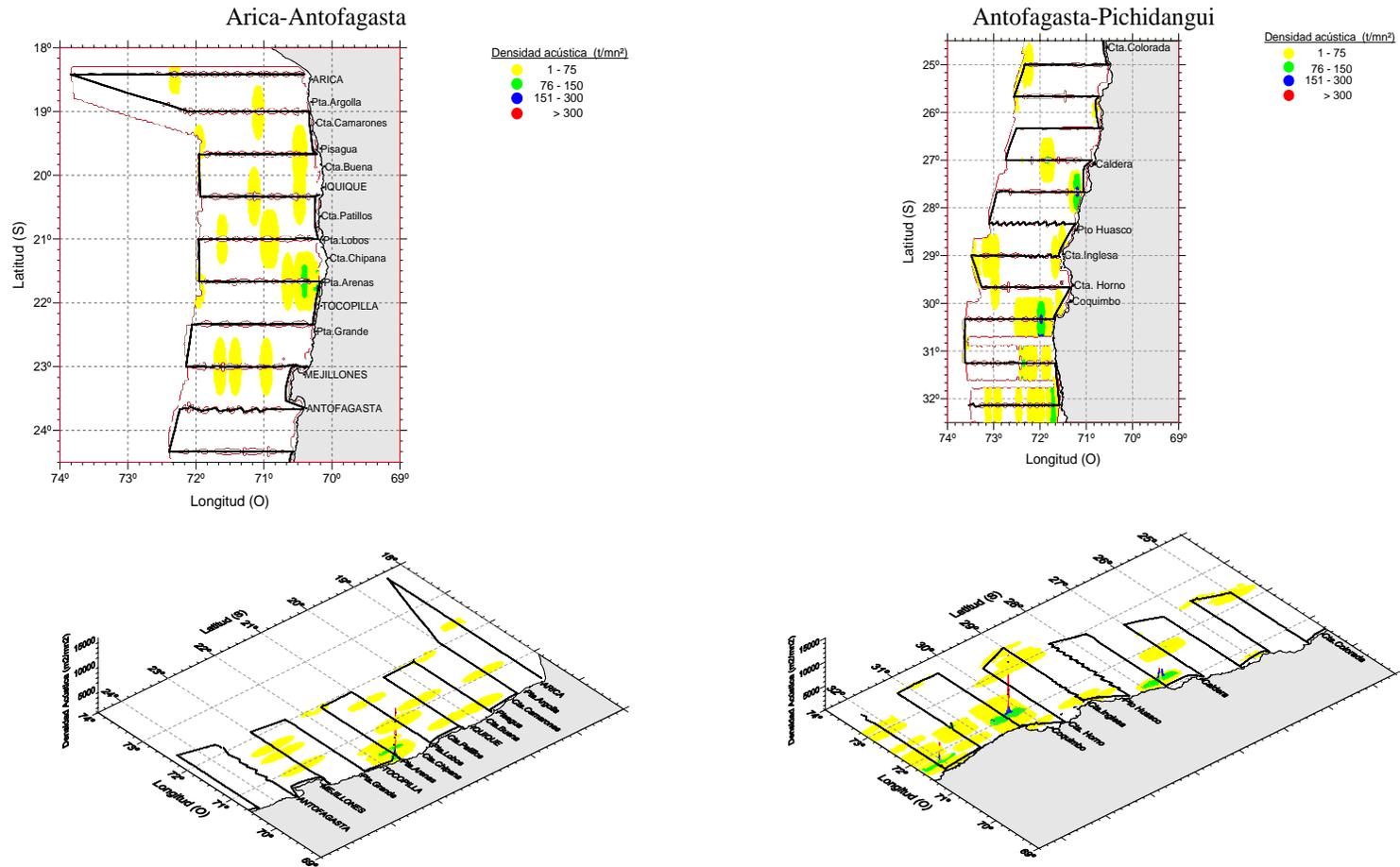


Figura 101. Distribuci3n geográfica de juel entre Arica-Antofagasta y Antofagasta-Pichidangui. Crucero MOBIO 0910.

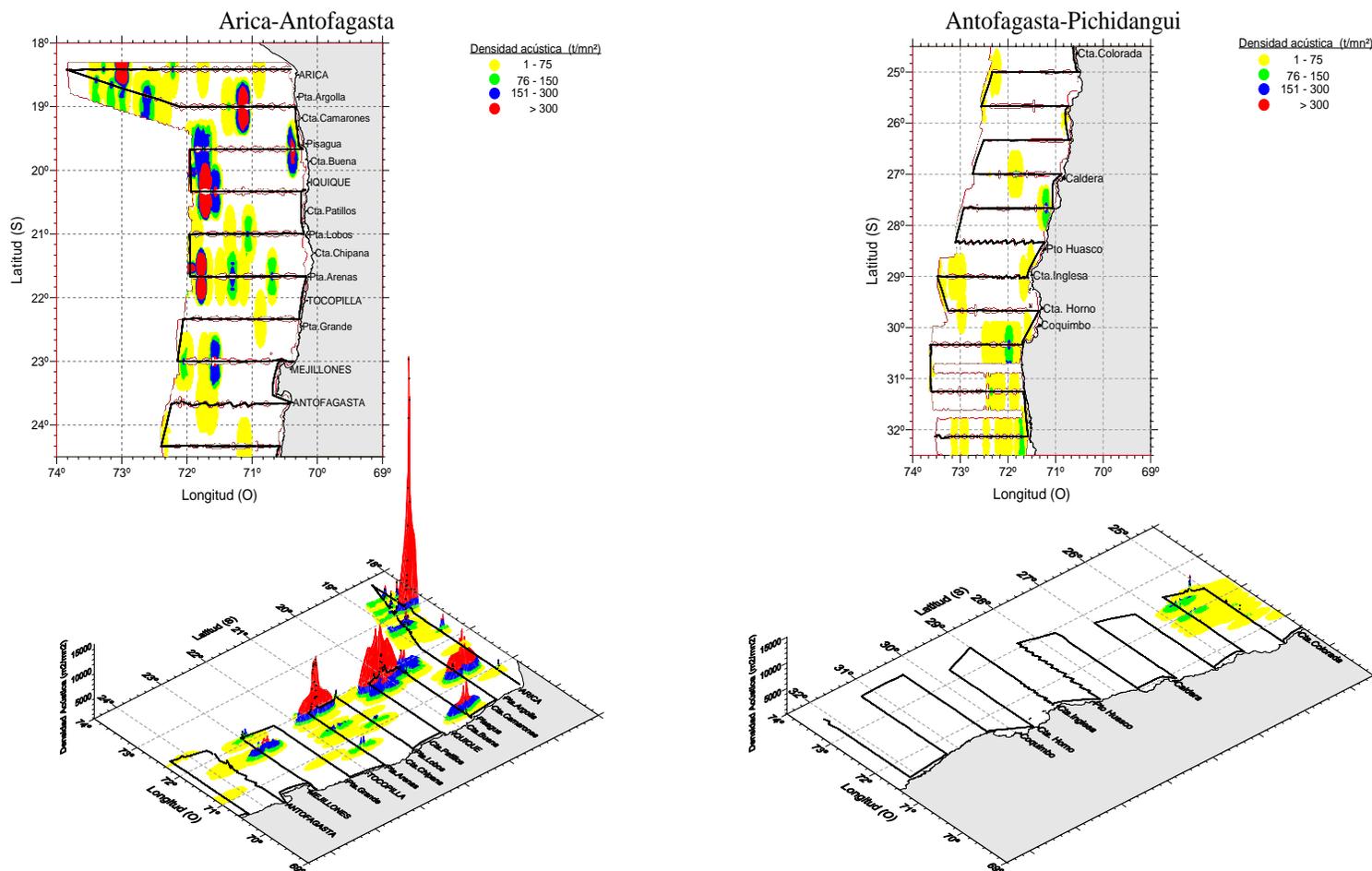


Figura 102. Distribuci3n geogr1fica de *Vinciguerria* entre Arica-Antofagasta y Antofagasta-Pichidanguí. Crucero MOBIO 0910.

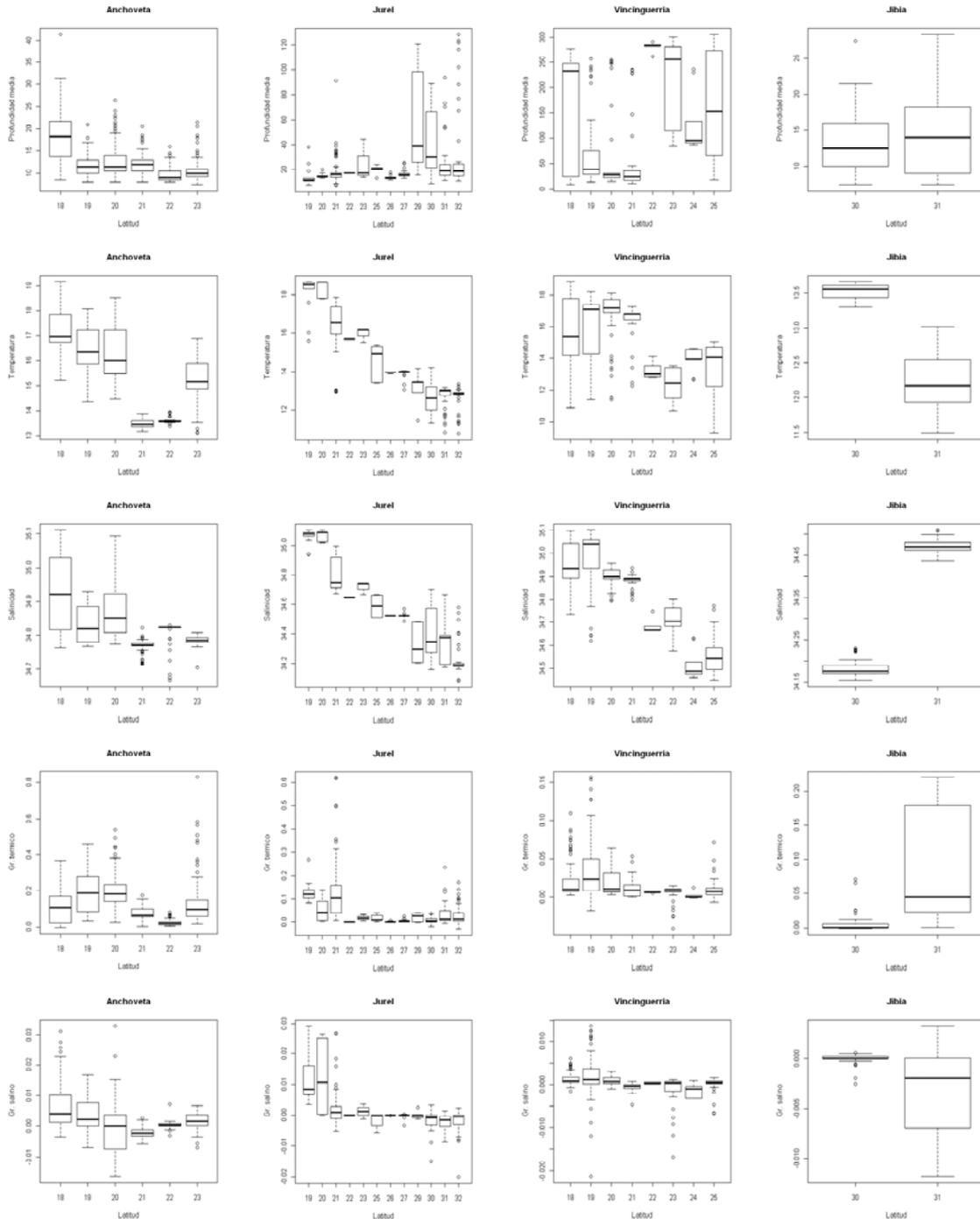


Figura 103. Gráfico box-plot de la distribución batimétrica (m), temperatura ($^{\circ}C$), salinidad (PSU) y sus gradientes ($^{\circ}/m$) para las agregaciones de anchoqueta, jurel, *Vinciguerría* y jibia por latitud. Crucero MOBIO 0910.

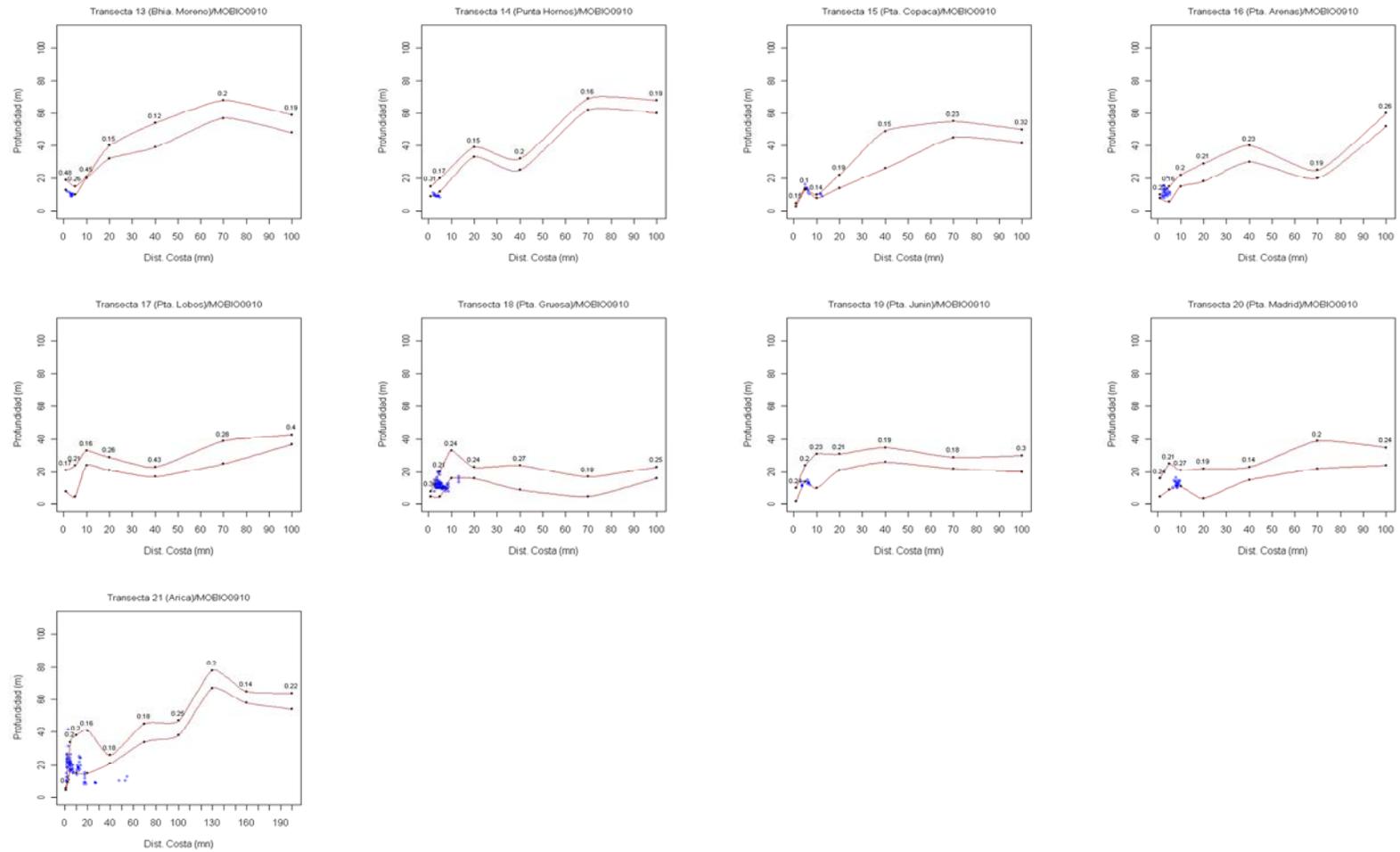


Figura 104. Distribuci3n vertical de Anchoveta por transecta respecto a los l3mites de la termocline. Crucero MOBIO 0910.

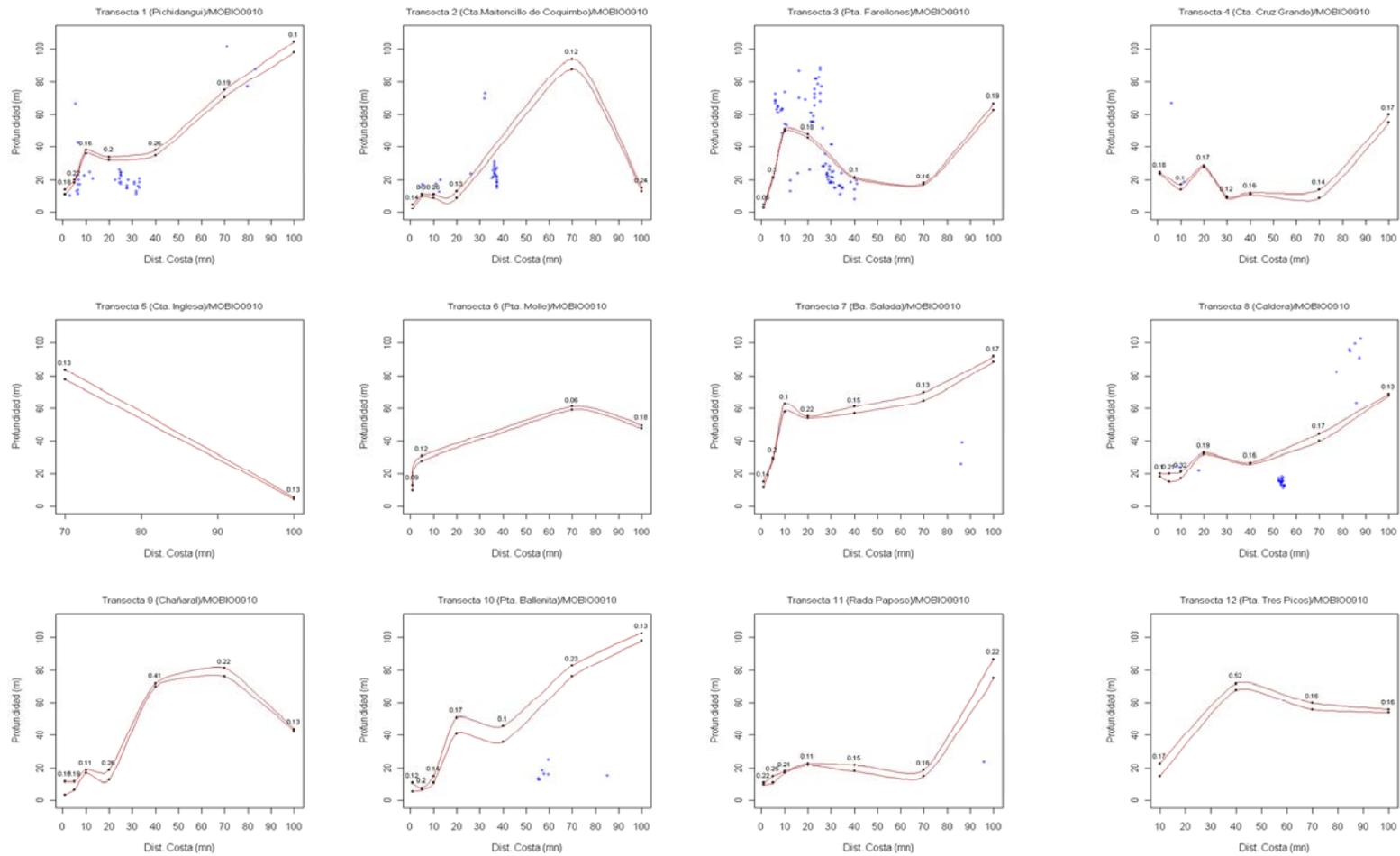


Figura 105. Distribuci3n vertical de Jurel por transecta respecto a los lmites de la termoclina (Transecta 1-12). Crucero MOBIO 0910.

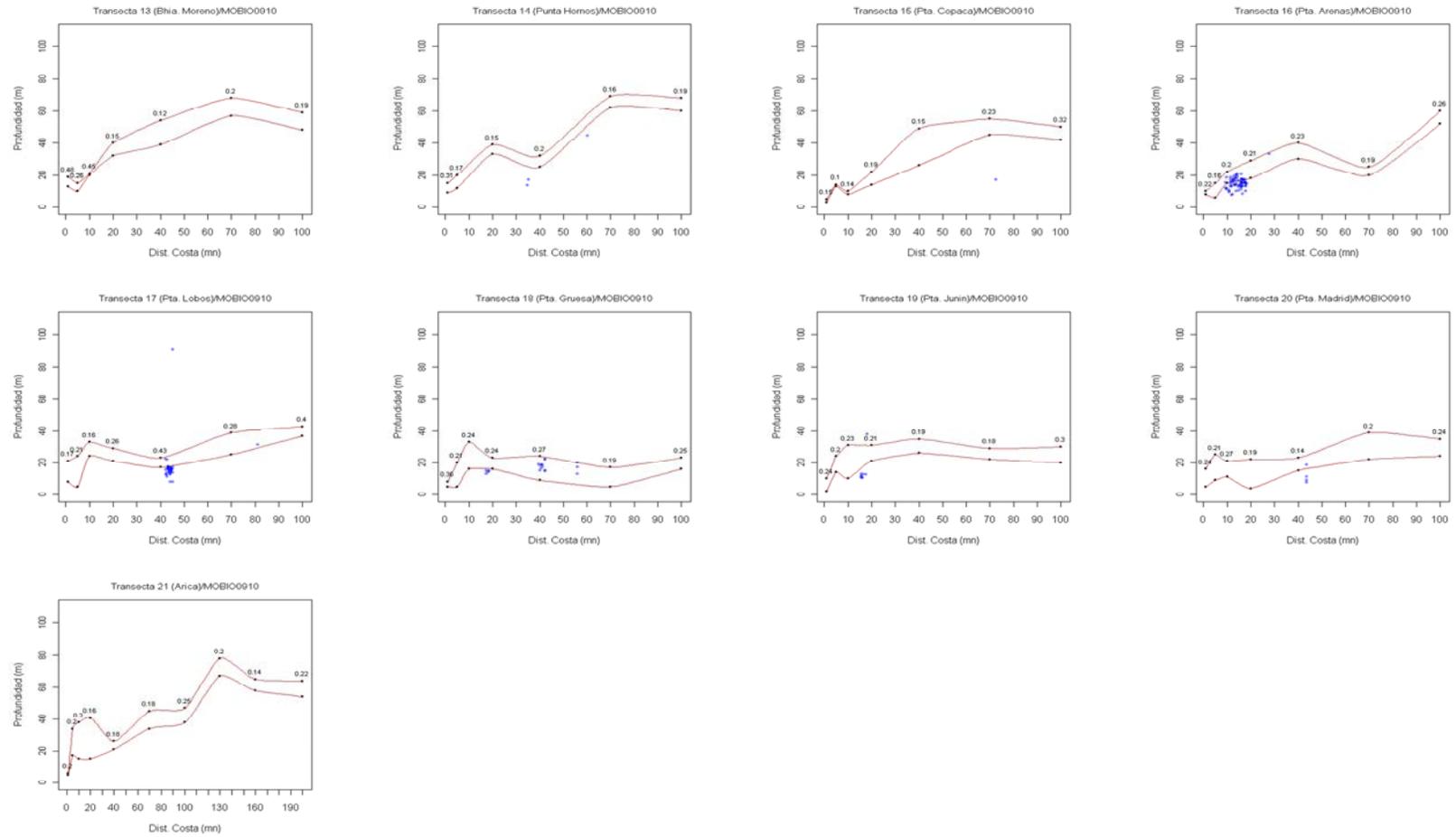


Figura 105 (cont.). Transecta 13 a 21

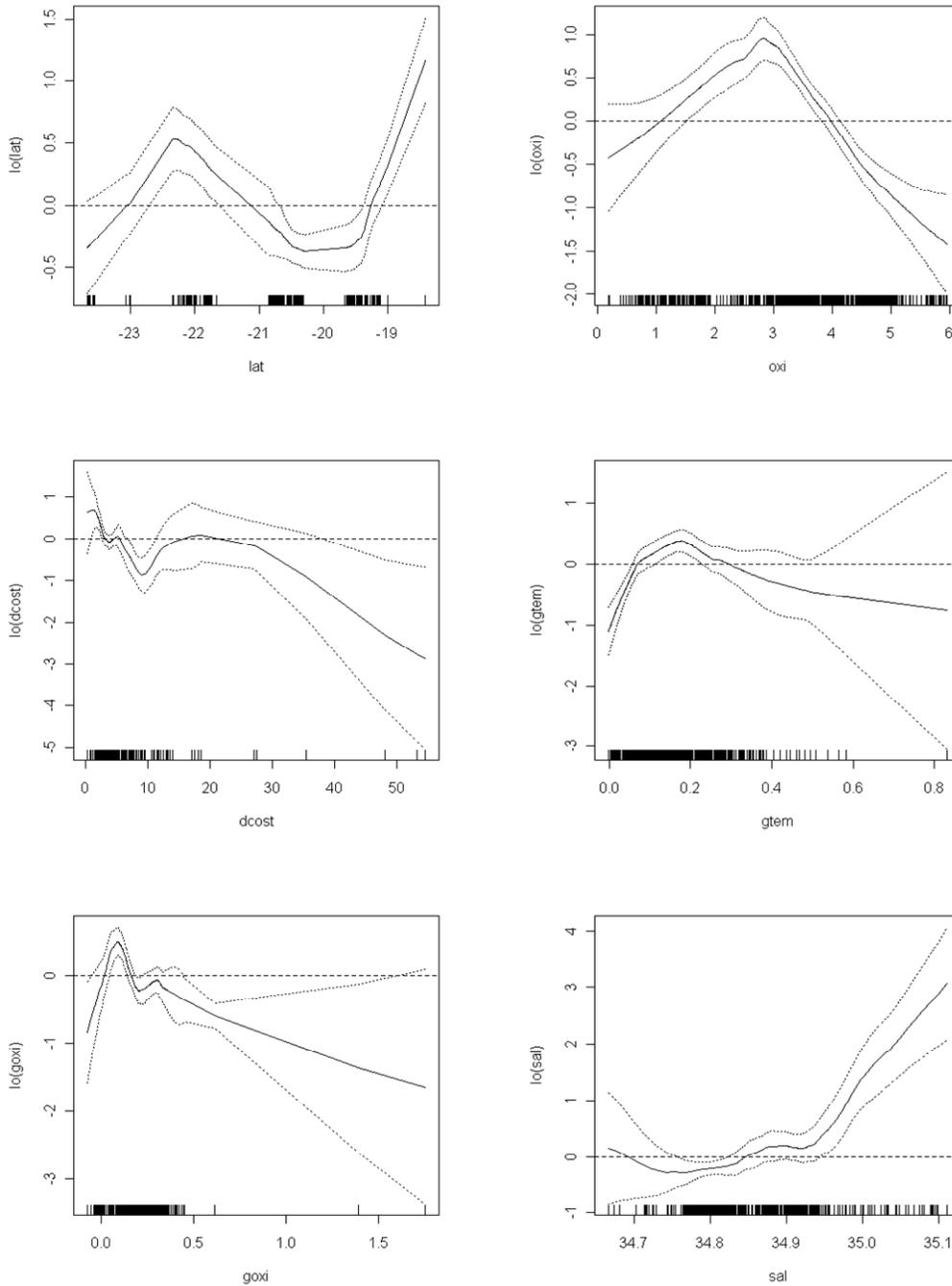


Figura 106. Efectos de los predictores Latitud (lat), Oxígeno disuelto (oxi), Distancia a la costa (dcost), Gr. Térmicos (gtem), Gr. Oxígeno (goxi) y Salinidad (sal) sobre la variable densidad de anchoveta, ajustado a un modelo GAM. Líneas segmentadas corresponden a bandas de confianza y lo (predictor) función suavizadora loess.

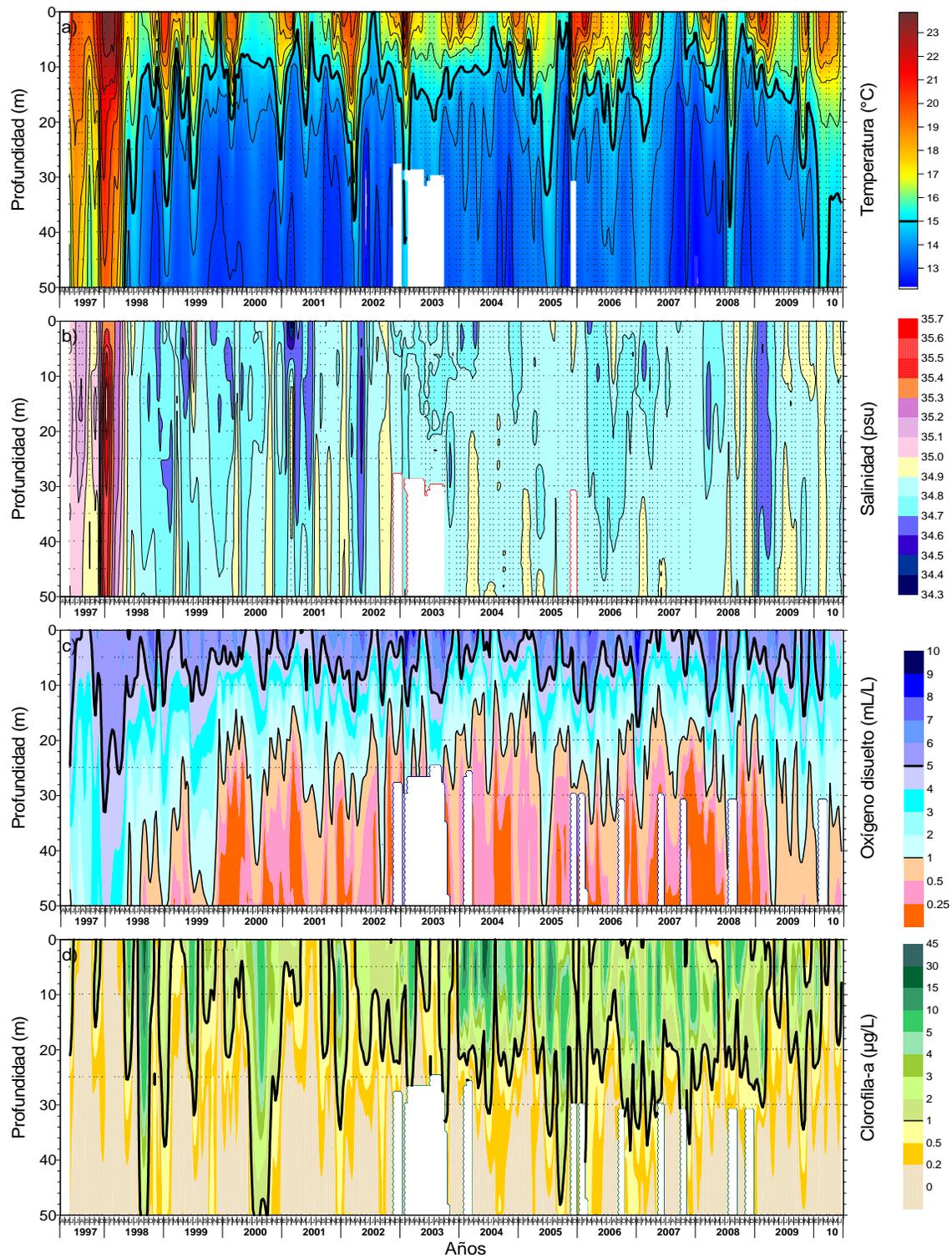


Figura 107. Variabilidad temporal de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) oxígeno disuelto (mL/L) y d) clorofila-a (µg/L), en la estación costera de Arica. Mayo 1997 - Junio 2010.

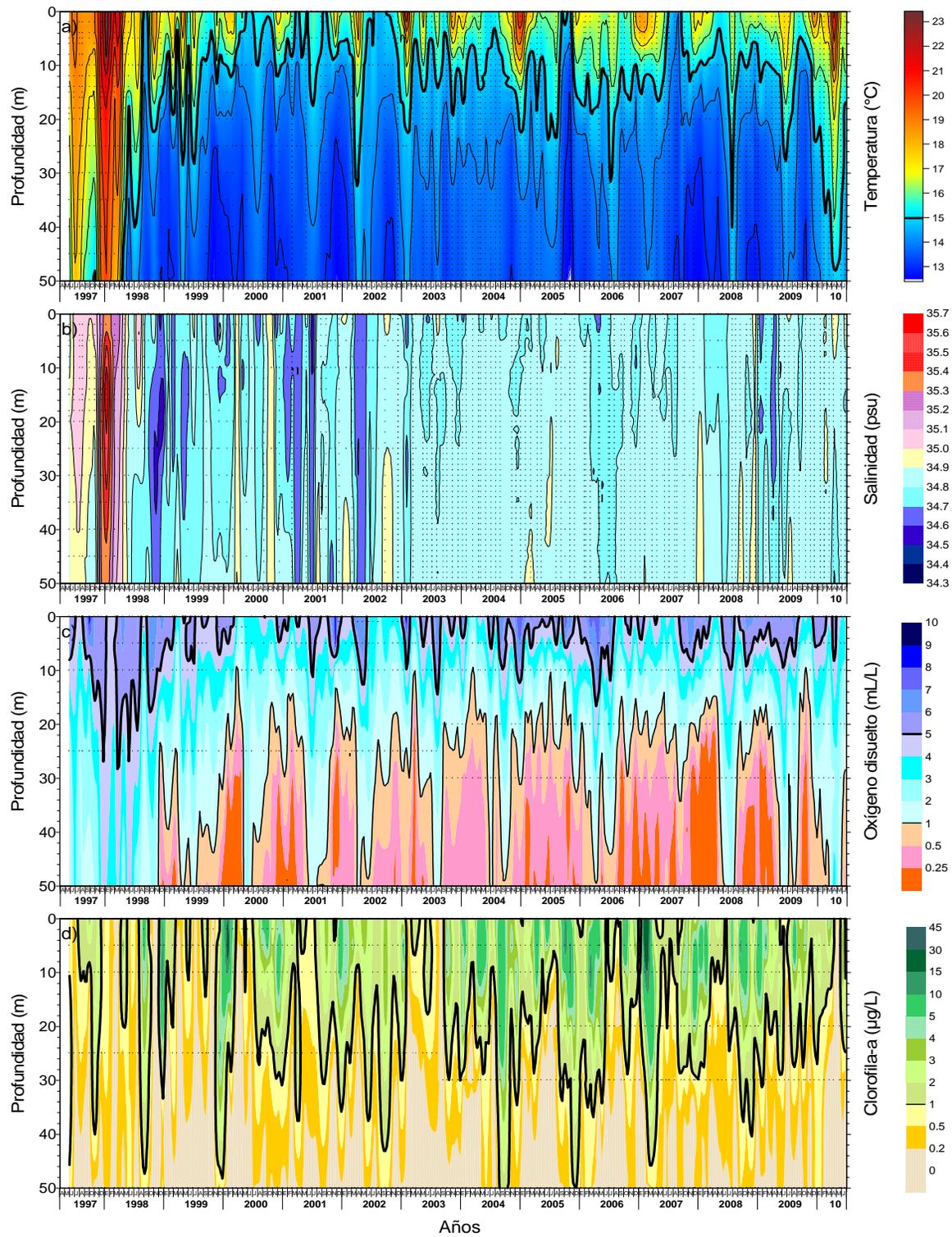


Figura 108. Variabilidad temporal de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) oxígeno disuelto (mL/L) y d) clorofila-a (µg/L), en la estación costera de Iquique. Mayo 1997 - Junio 2010.

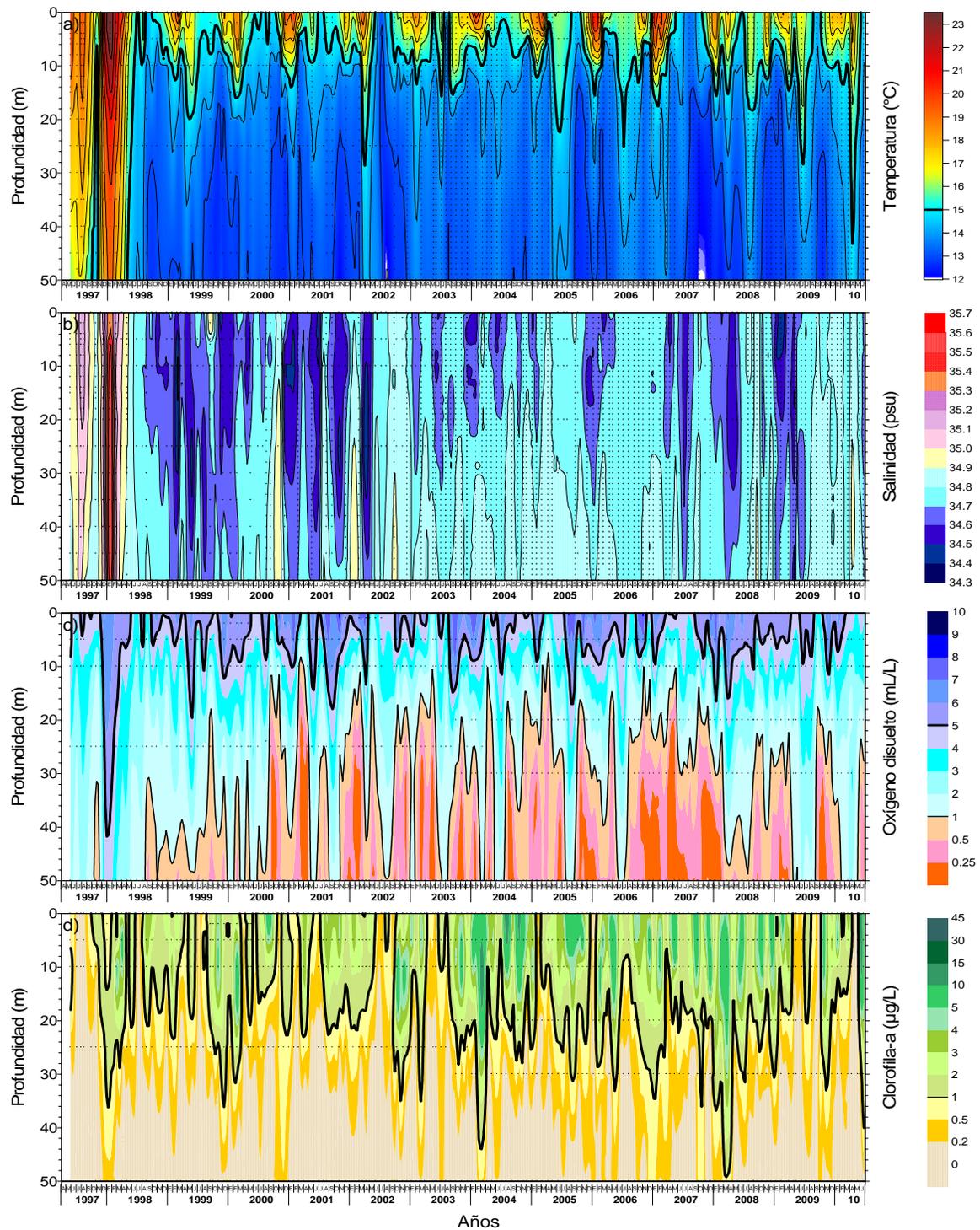


Figura 109. Variabilidad temporal de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) oxígeno disuelto (mL/L) y d) clorofila-a (µg/L), en la estación costera de Mejillones. Mayo 1997 - Junio 2010.

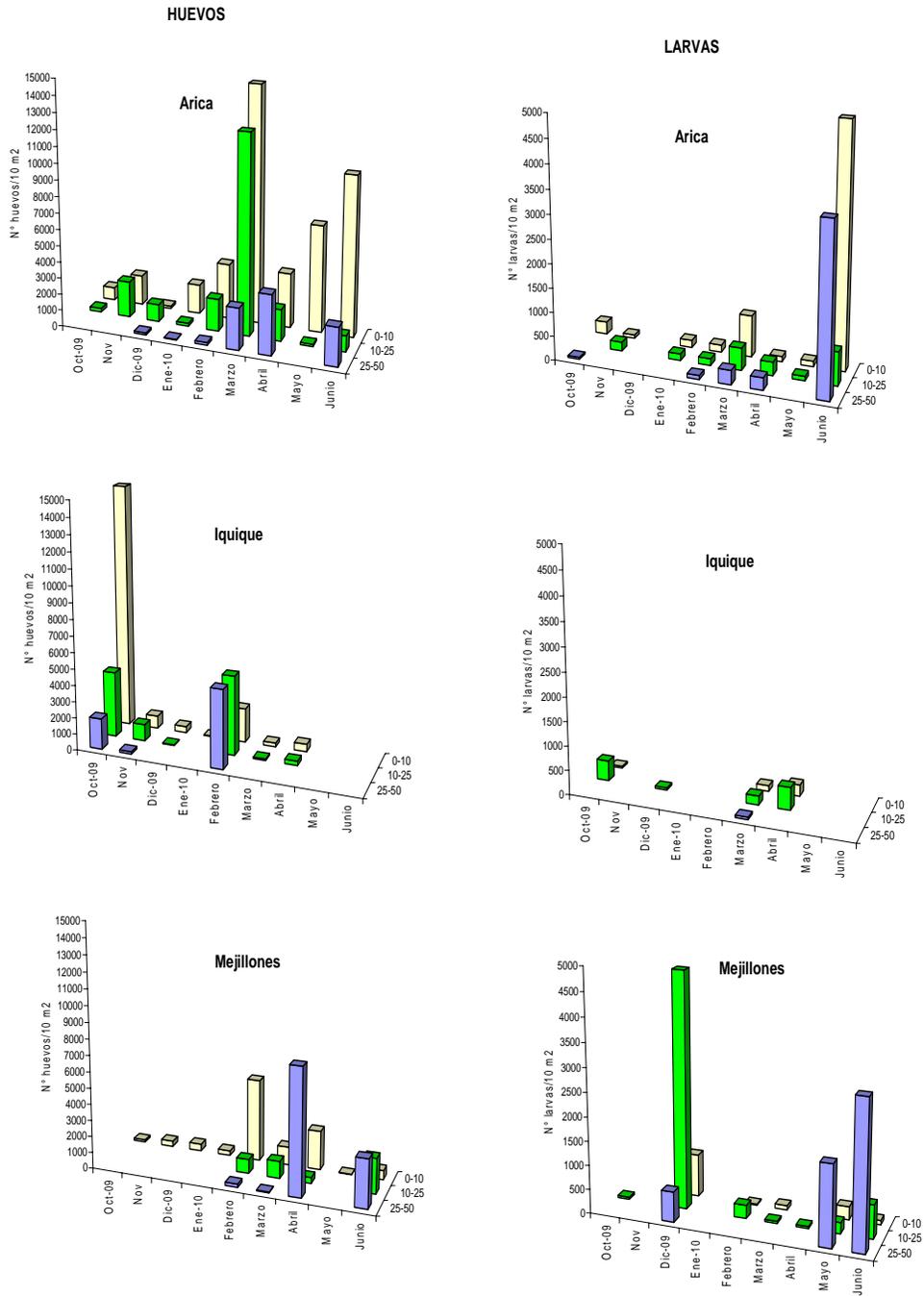


Figura 110. Distribución y abundancia de huevos y larvas de anchoveta en los diferentes estratos de profundidad de las estaciones de monitoreo mensual.

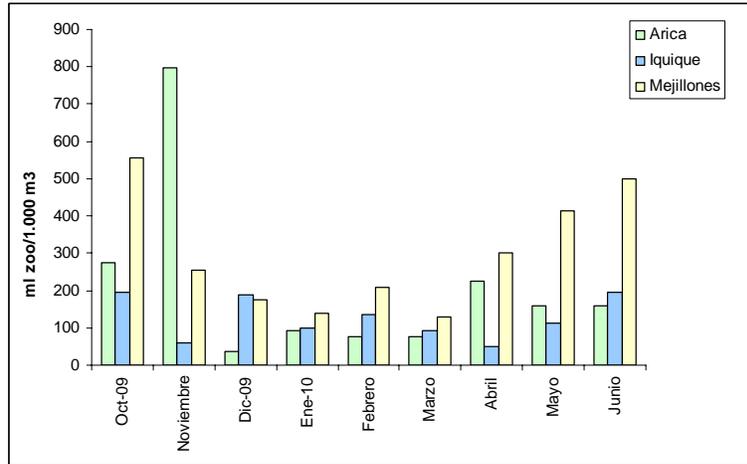


Figura 111. Distribuci3n temporal de la biomasa zooplant3nica en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones. Crucero MOBIO - Octubre de 2009/Junio 2010.

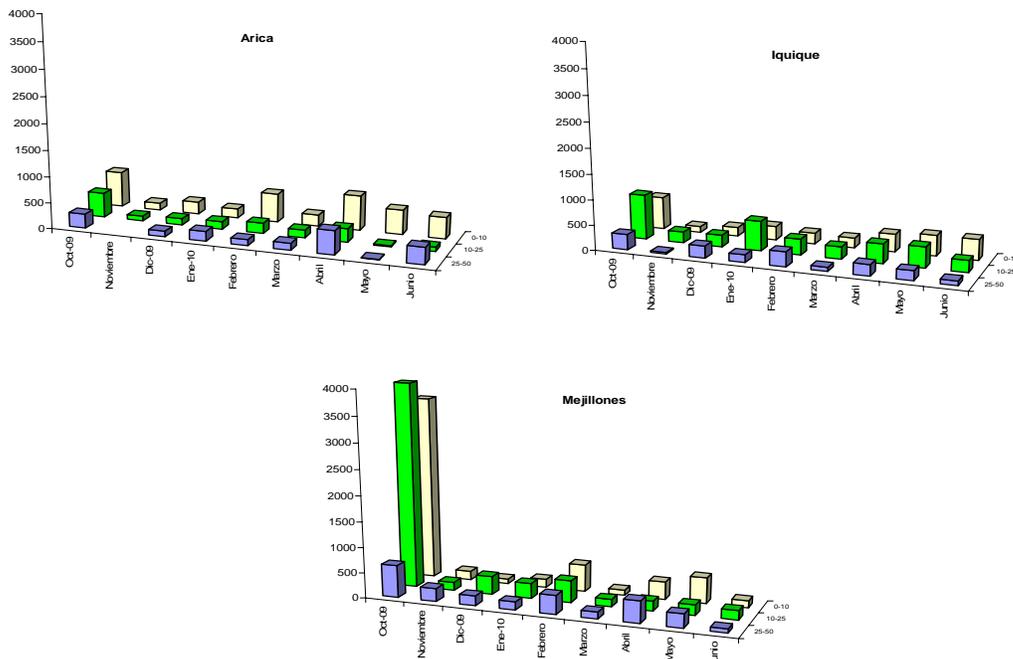


Figura 112. Distribuci3n temporal por estrato de profundidad de la biomasa zooplant3nica en las estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones. Crucero MOBIO - Octubre de 2009.

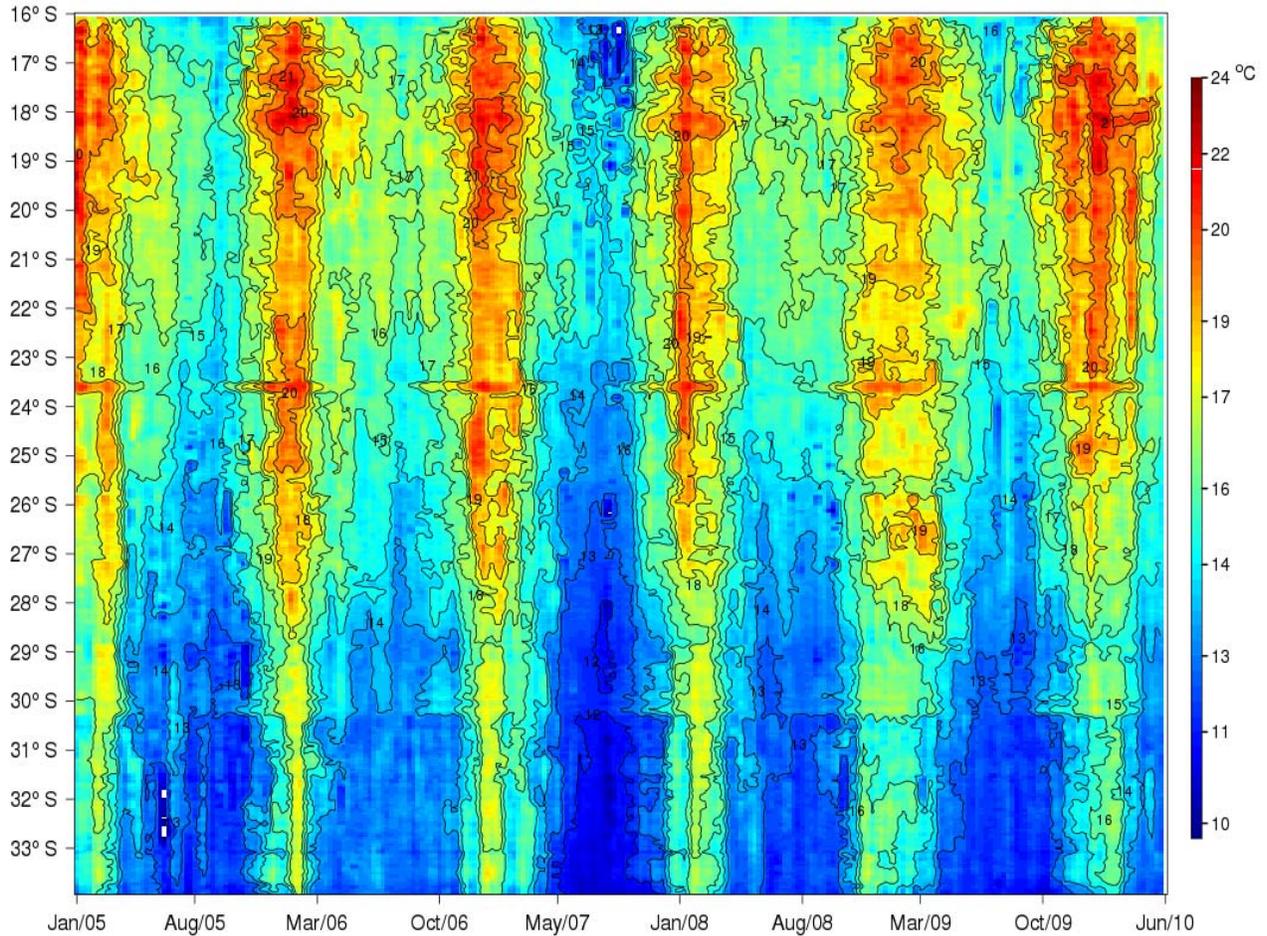


Figura 113. Monitoreo de la Temperatura Superficial del Mar (°C) semanal en la banda costera (~20 km) de la zona norte de Chile (16°-34°S), durante el periodo 2005-2010 (Fuente: Ocean Color Web, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).

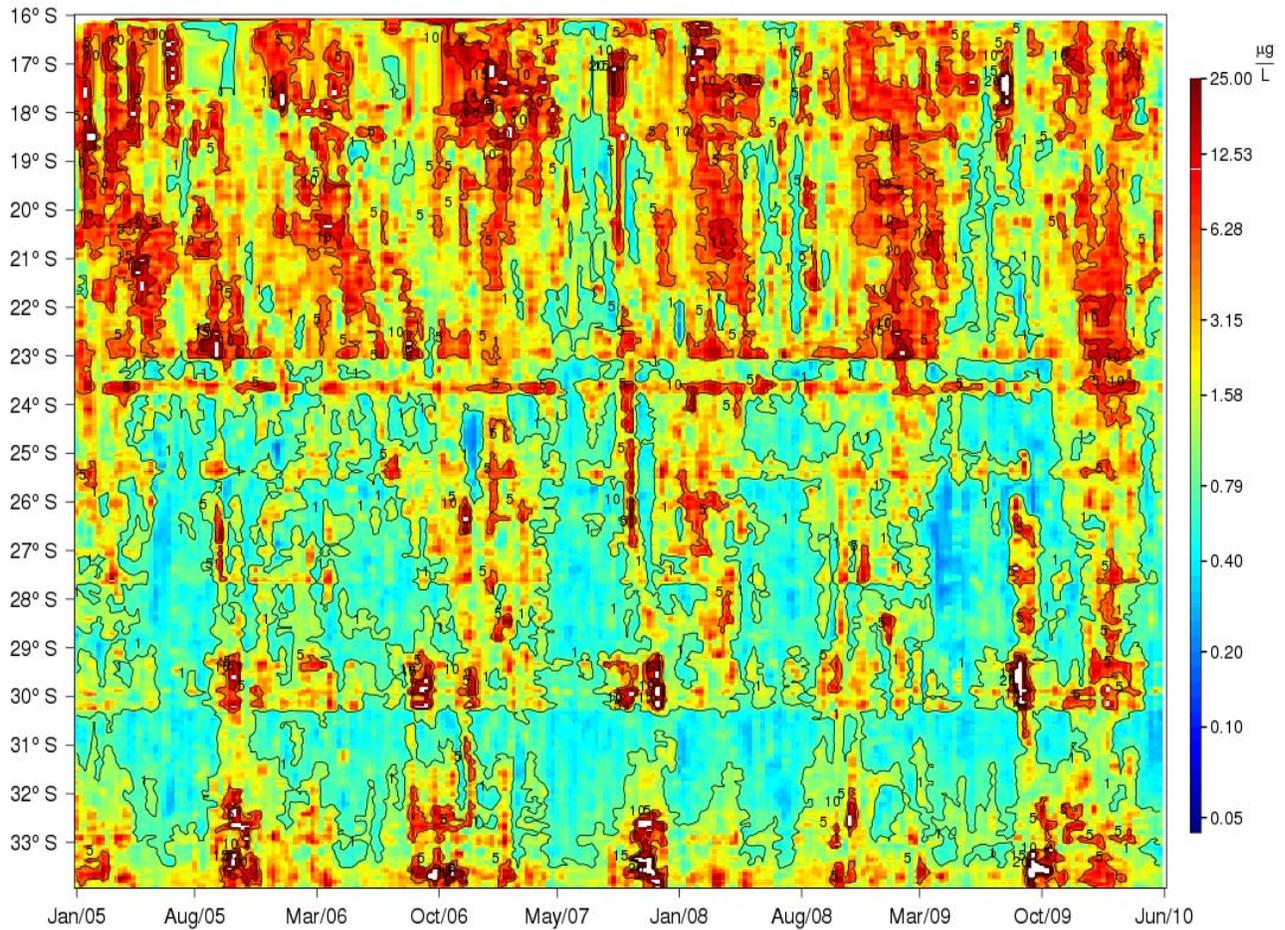


Figura 114. Monitoreo de la Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) semanal en la banda costera (~20km) de la zona norte de Chile (16° - 34°S), durante el periodo 2005-2010 (Fuente: Ocean Color Web, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).

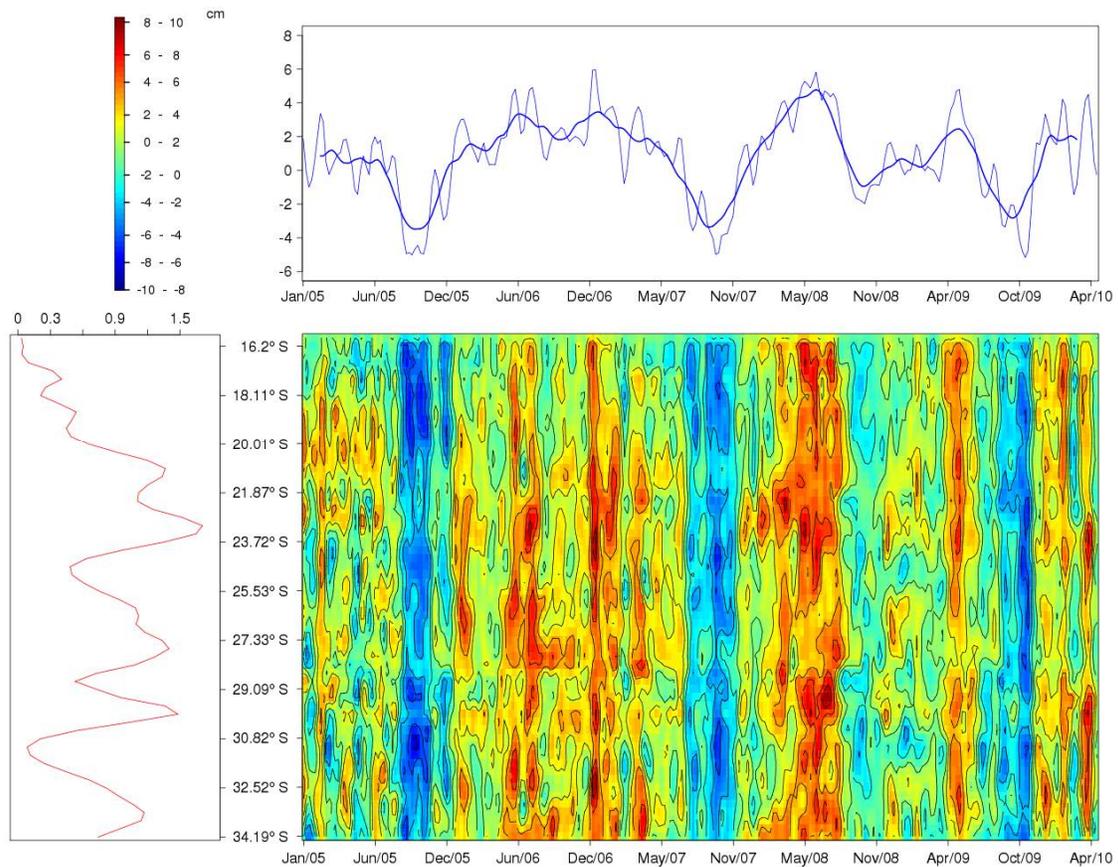


Figura 115. Anomalía del nivel del mar (cm) semanal de los píxeles más cercanos a la costa para la zona norte de Chile (16°-34°S) medido por la combinaci3n de los satélites ERS, Topex y Jason durante el período 2005-2010. Se muestra el valor medio dado a lo largo del tiempo (panel superior) y el valor medio a lo largo de la latitud (panel izquierdo) (Fuente: Aviso, <http://www.aviso.oceanobs.com>).

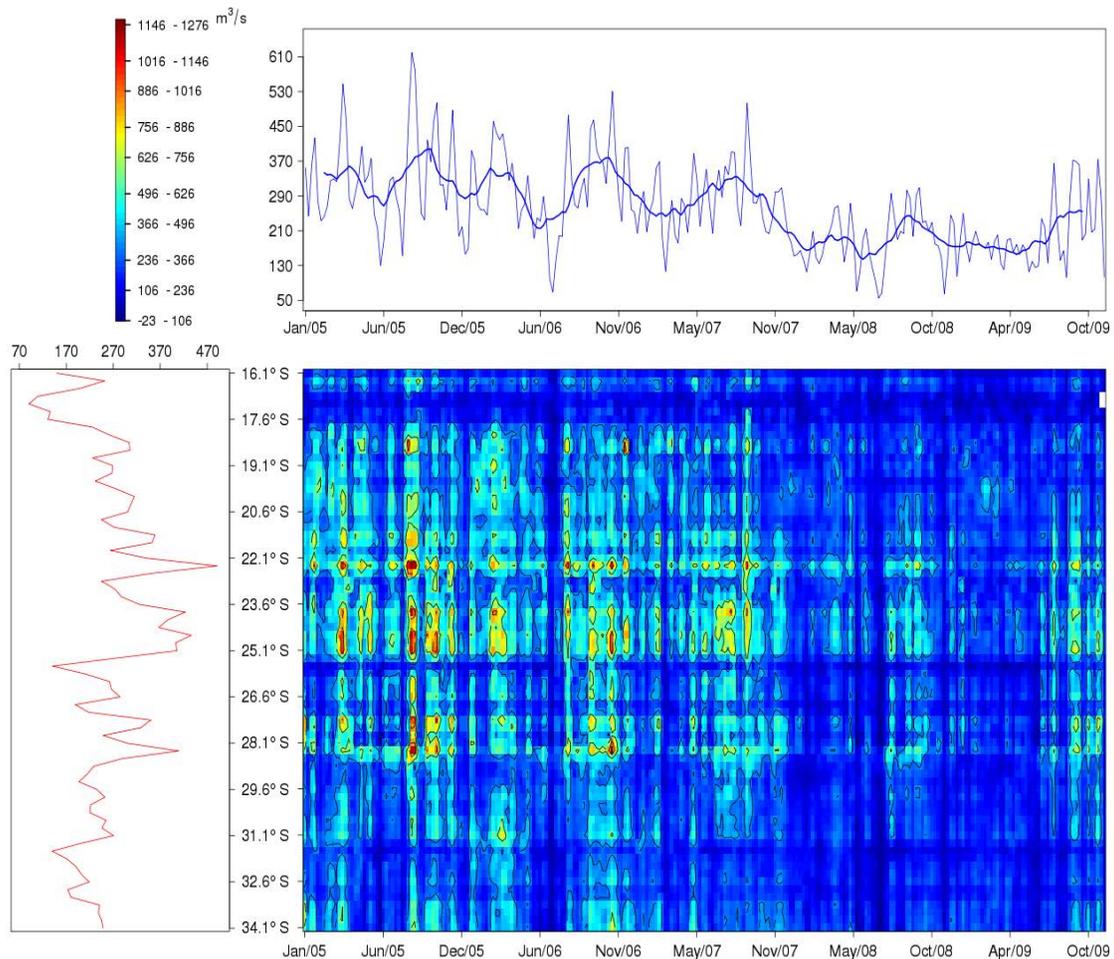


Figura 116. Transporte perpendicular a la costa (m^3/s) por 1000 metros de costa generado por la componente a lo largo de la costa del viento medido por el satélite QuikScat de los píxeles más cercanos a la costa para la zona norte de Chile (16° - 34° S) durante el periodo 2005-2009. Se muestra el valor medio dado a lo largo del tiempo (panel superior) y el valor medio a lo largo de la latitud (panel izquierdo) (Fuente: PO.DAAC, <http://podaac-www.jpl.nasa.gov>).

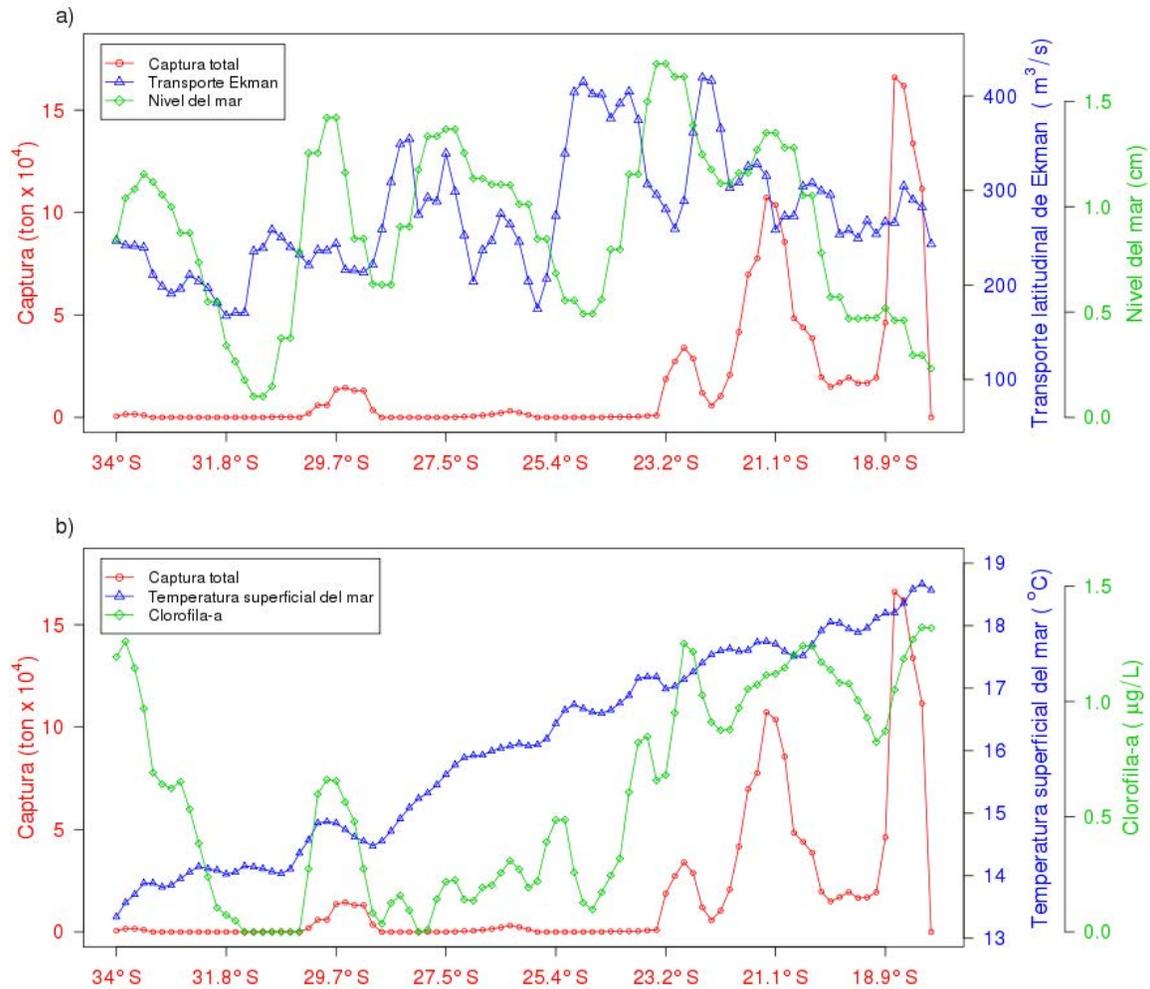


Figura 117. Series latitudinales promedios para el a3o 2009 de las a) Captura (ton), Transporte de Ekman y Nivel (m^3/s) del mar (cm) y las series b) Captura (ton), Temperatura Superficial del Mar ($^{\circ}C$) y Clorofila-a ($\mu g/L$).

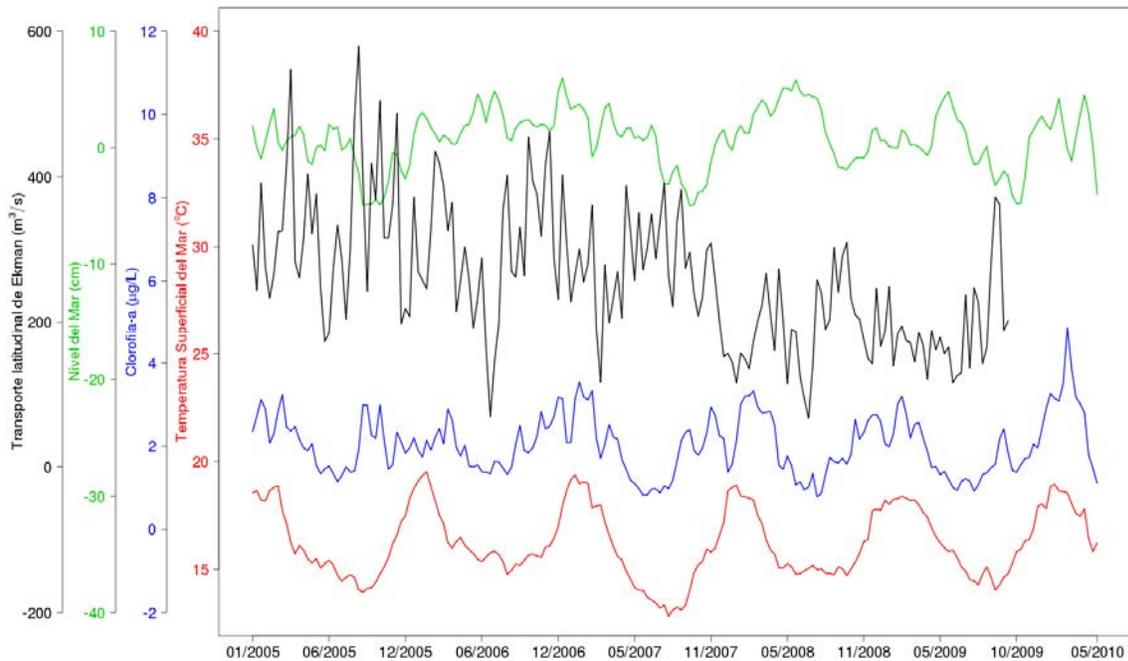


Figura 118. Series temporales del transporte de Ekman (m^3/s), anomalía del nivel del mar (cm), concentración de clorofila-*a* ($\mu g/L$) y temperatura superficial del mar ($^{\circ}C$) durante el período 2005-2010.

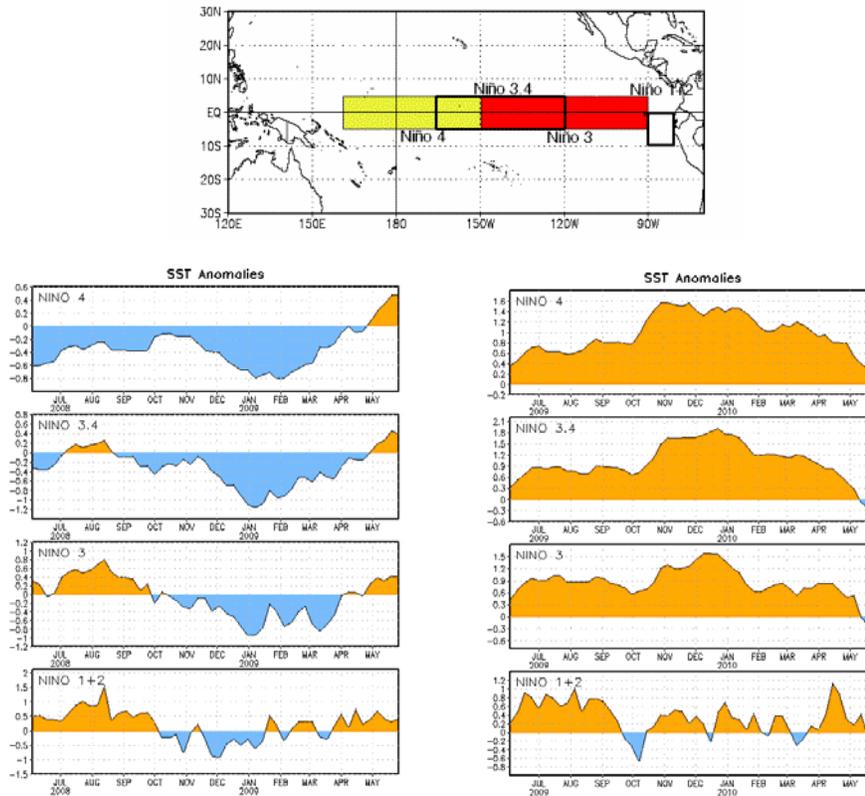


Figura 119. Mapa indicando las diferentes regiones de "El Niño" en el Océano Pacífico y serie de tiempo de anomalía de la Temperatura Superficial del mar (°C) de cada una de ellas en los períodos junio 2008 a mayo 2009 y de junio 2009 a mayo 2010 (note que las escalas para los gráficos son distintas). Las anomalías están computadas respecto al período 1971-2000. Fuente: CPC/NCEP).

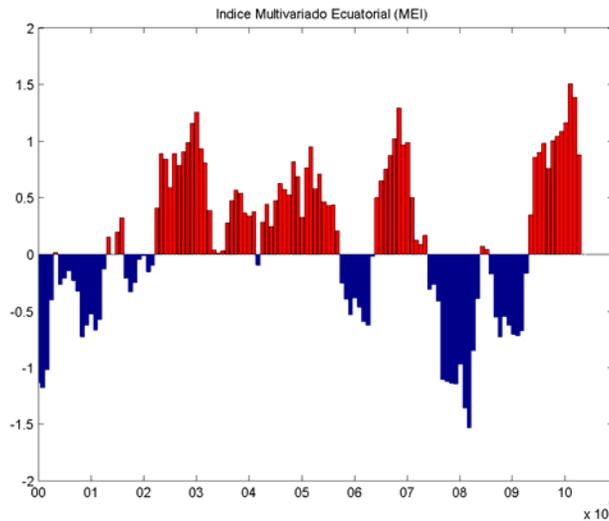


Figura 120. Valores hist3ricos del 3ndice multivariado Ecuatorial entre el periodo enero 2000 – abril 2010 (Fuente: Earth system research Laboratory. <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>).

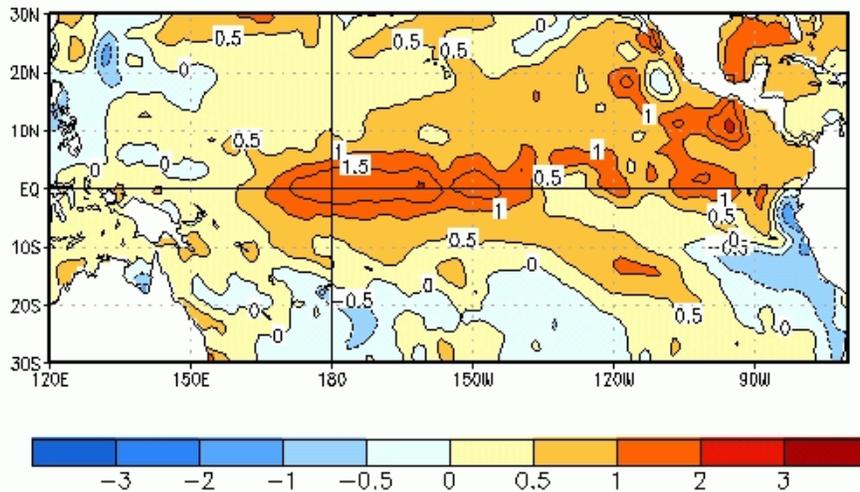


Figura 121. Anomala de temperatura superficial promedio entre las fechas del 4 y 31 de octubre de 2009 en Océano Pacífico (fuente: Earth System Research Laboratory).

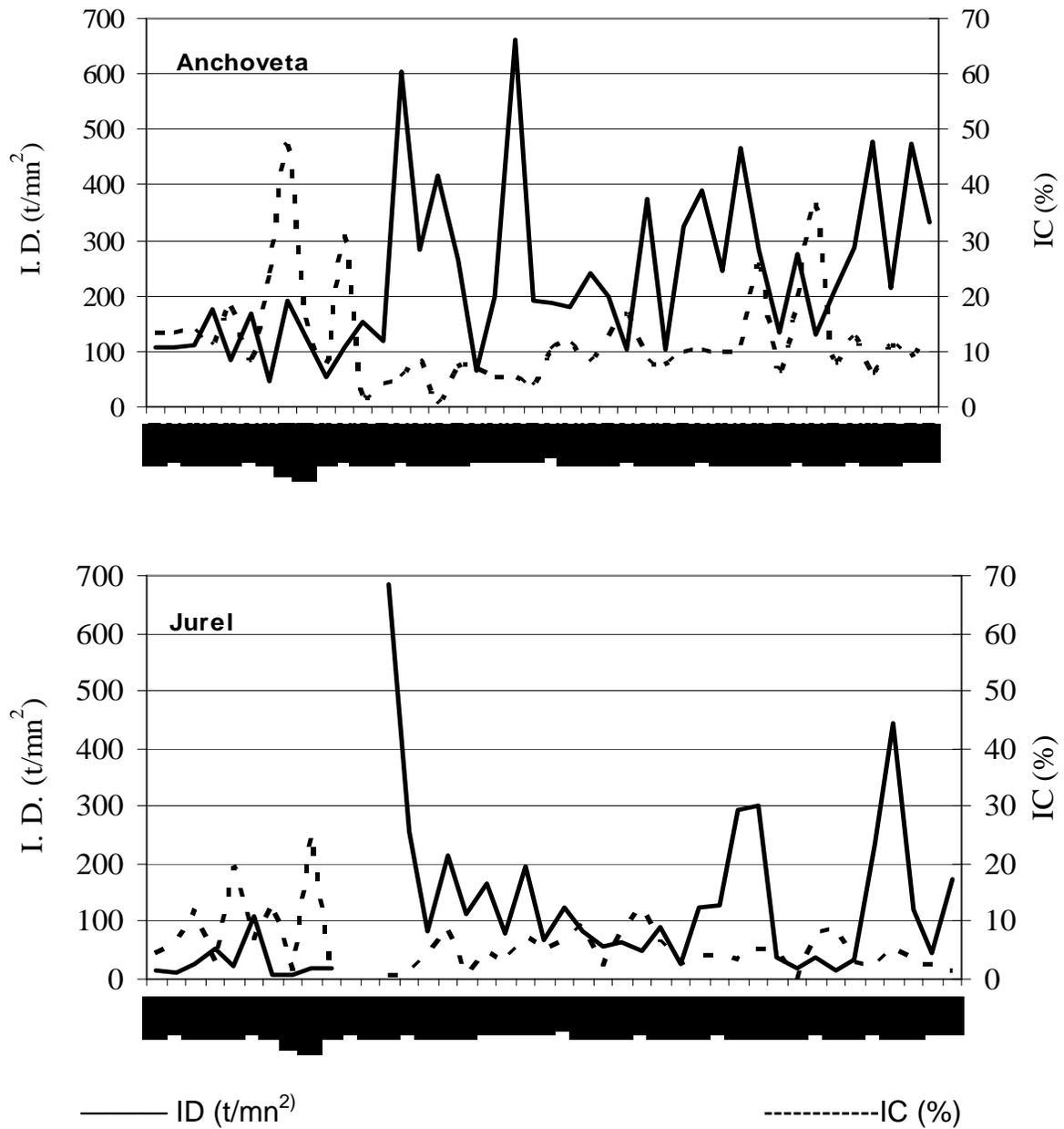


Figura 123. Índices de Cobertura (IC) (%) y Densidad (t/mn²) de anchoveta y jurel históricos. Período 1997-2009.

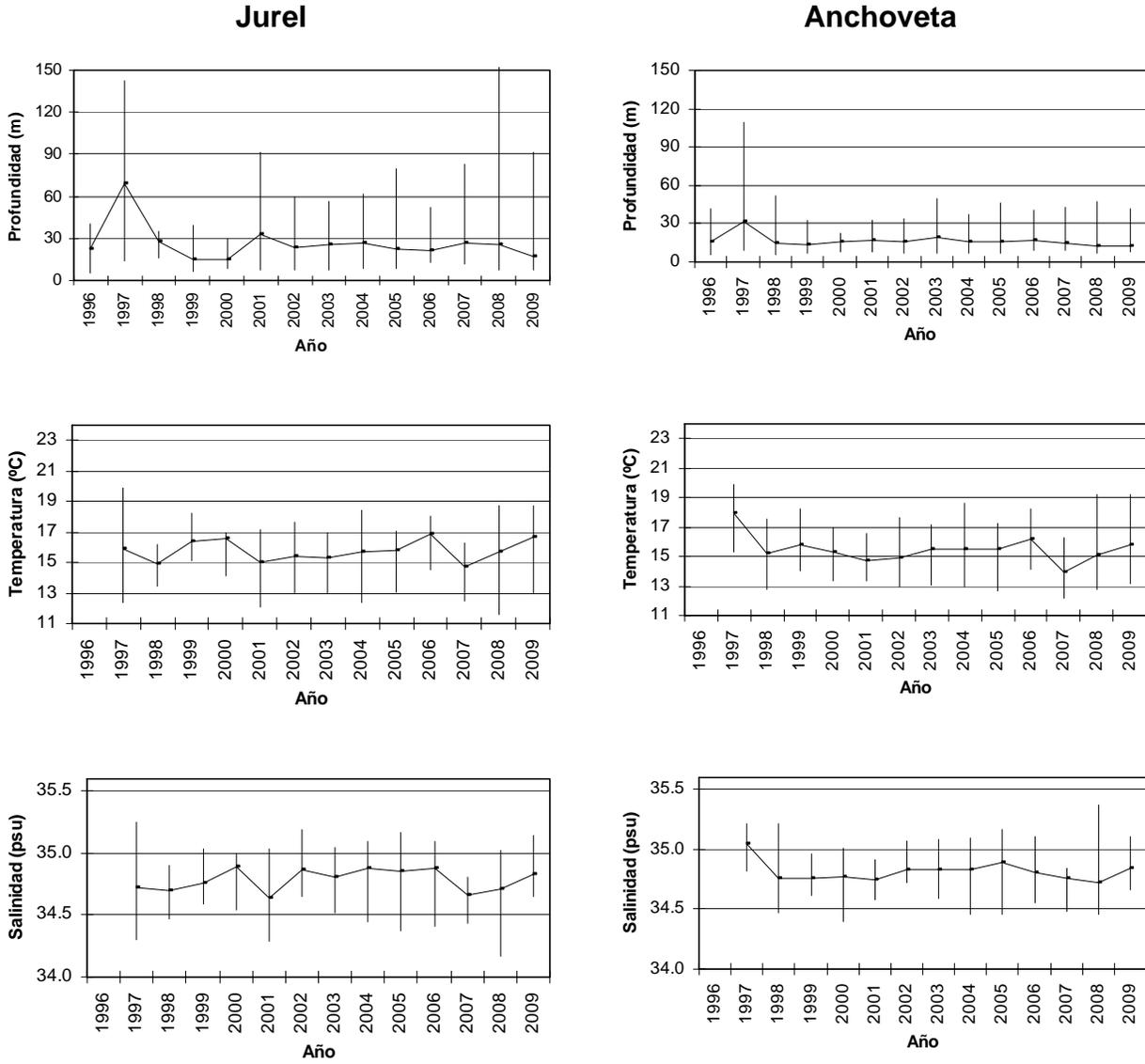


Figura 124. Serie histórica de los valores promedio, mínimos y máximos de profundidad, temperatura y salinidad de jurel y anchoveta en los inviernos de los períodos 1996-2009.

T A B L A S



Tabla 1. 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 2. Bit3cora de las estaciones con medici3n de profundidad del 1% de penetraci3n de luz, estimado a trav3s de la profundidad del disco Secchi, con la correspondiente estimaci3n de CM y la hora de medici3n. Octubre 2009.

tran	est	dcost	Hora	Secchi	1%	capa de mezcla
1	1	100	15:25	9	27	10
1	2	85	18:40	6	17,5	9
1	8	10	08:05	10	29,5	6
1	9	5	09:30	10	29,5	3
1	10	1	10:30	5	14	0
2	11	1	16:50	6	17,5	0
2	12	5	17:55	5	14	2
2	18	70	05:50	7	21	4
2	19	85	08:25	17	50	7
2	20	100	10:30	16	47	0
3	21	100	18:05	7	21	4
3	28	10	08:46	2,5	7,5	4
3	29	5	10:00	3,5	10,5	0
3	30	1	11:11	4,5	13,5	0
4	31	1	16:45	6	17,5	0
4	32	5	17:28	5	14	0
4	33	10	18:35	5,5	17	3
4	40	100	08:00	7	21	6
5	41	100	13:50	6	17,5	5
5	42	85	16:31	8	25	3
6	49	1	15:55	4	12	3
6	50	5	16:50	6	17,5	3
6	51	10	18:20	5	14	
6	54	70	10:15	8,5	25,5	23
6	55	85	14:10	7	21	9
6	56	100	17:20	9	27	14
7	61	40	08:50	14	41	0
7	62	30	10:45	11,5	34,5	4
7	63	20	12:20	6	17,5	5
7	64	10	14:00	5	14	0
7	65	5	15:15	5	14	0
7	66	1	16:22	6	17,5	0
8	73	55	07:25	6,5	18	10
8	74	70	09:20	6,5	18	4
8	75	85	11:35	8	25	0
8	76	100	13:35	11	32	0
9	77	100	19:22	9	27	6
9	83	20	07:48	19	55	8
9	84	10	09:40	3,5	10,5	4
9	85	5	10:48	4	12	3
9	86	1	11:37	4	12	0
10	87	1	16:45	8	25	0
10	88	5	17:40	8	25	0
10	89	10	19:00	13	37,5	0
10	95	85	07:04	12	35	12
10	96	100	09:05	10	29,5	7
11	97	100	15:50	9	27	3
11	98	85	18:00	8	25	8
11	105	5	07:28	10,5	30,5	0
11	106	1	08:40	18	53	0

tran	est	dcost	Hora	Secchi	1%	capa de mezcla
12	107	1	13:35	5	14	3
12	108	5	14:25	4	12	3
12	109	10	15:40	5	14	5
12	110	20	17:35	5	14	5
12	111	30	19:18	10	29,5	8
13	117	100	11:56	10	29,5	28
13	118	85	15:45	5	14	12
13	119	70	18:14	10	29,5	23
13	125	5	10:12	8	25	6
13	126	1	11:25	6	17,5	3
14	132	40	07:43	13	37,5	12
14	133	55	10:35	13	37,5	8
14	134	70	12:35	13	37,5	4
14	135	85	15:05	10	29,5	0
14	136	100	17:07	17	50	5
15	141	40	08:15	12	35	21
16	150	20	15:04	15	44	2
16	151	30	17:38	20	58	0
17	157	100	10:45	13	37,5	3
17	158	85	13:16	10	29,5	0
17	159	70	15:17	9	27	4
17	160	55	17:45	8	25	4
18	167	1	15:37	4,5	13,5	0
18	168	5	14:48	4	12	0
18	169	10	16:23	8	25	5
18	170	20	18:36	8	25	0
18	176	100	08:09	13	37,5	4
19	177	100	13:40	10	29,5	3
19	178	85	16:10	12	35	0
19	179	70	18:16	11	32	4
19	185	5	08:50	6	17,5	3
19	186	1	10:59	5	14	0
20	187	1	17:35	4	12	2
20	188	5	18:45	5	14	4
20	194	70	07:54	16	47	0
20	195	85	10:08	13	37,5	9
20	196	100	12:05	12	35	4
21	199	160	06:55	14	41	12
21	200	145	09:27	15	44	10
21	201	130	11:55	11	32	3
21	202	115	13:55	12	35	0
21	203	100	16:00	12	35	0
21	204	85	18:42	12	35	2
21	210	10	08:19	15	44	5
21	211	5	09:49	9	27	0
21	212	1	11:03	5	14	0
	Fija Arica	2	11:49	5	14	
	Fija Iquique	2	12:05	4	12	



Tabla 3. Densidad promedio, constancia, dominancia numérica y rangos de huevos y larvas de peces
Crucero MOBIO Octubre 2009. Zona Arica – Pichidangui

Huevos	Anchoveta	Sardina	Jurel	Caballa	Vinciguerría	Merluza	Agujilla	Machuelo	Mictófidos	Otros Huevos	Total Huevos
N° Total Estaciones	209	209	209	209	209	209	209	209	209	209	209
N° Estaciones positivas	43	1			128	5	48	1		123	182
Abundancia (H/10m ²)	298596	23			111781	1024	2298	115		40891	454727
Mínimo Est (+)	39				26	33	19			26	27
Máximo Est (+)	90491				9393	572	104			5901	96391
Std.Dev Est (+)	16985,98				1723,05	228,8	20,54			716,54	9204,91
Media Est. Positivas	6944	23			873	205	48	115		332	2499
Media Est. Totales	1429	0			535	5	11	1		196	2176
Constancia	20,57	0,48			61,24	2,39	22,97	0,48		58,85	87,08
Dominancia numérica	65,66	0,01			24,58	0,23	0,51	0,03		8,99	100,00
CV(%)	2,45				1,97	1,12	0,43			2,16	3,68

Larvas	Anchoveta	Sardina	Jurel	Caballa	Vinciguerría	Merluza	Agujilla	Machuelo	Mictófidos	Otros Larvas	Total Larvas
N° Total Estaciones	209	209	209	209	209	209	209	209	209	209	209
N° Estaciones positivas	89				69	5	1	2	145	126	195
Abundancia (L/10m ²)	72000				5348	1423	42	385	41200	21738	142137
Mínimo Est (+)	25				25	36		28	23	22	30
Máximo Est (+)	9106				492	981		357	1694	6245	11687
Std.Dev Est (+)	1528,41				72,51	394,47		232,67	311,01	587,02	1432,4
Media Est. Positivas	809				78	285	42	193	284	173	729
Media Est. Totales	344				26	7	0	2	197	104	680
Constancia	42,58				33,01	2,39	0,48	0,96	69,38	60,29	93,30
Dominancia numérica	50,66				3,76	1,00	0,03	0,27	28,99	15,29	100,00
CV(%)	1,89				0,94	1,39	0,00	1,21	1,09	3,40	1,97



Tabla 4. Estimación del índice de abundancia larval para anchoveta, Zona Antofagasta – Arica en primavera de 1985 - 2009.

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
2007	1,34E+12	8,37E+22	0,0456	7,82E+11	1,92E+12
2008	5,10E+12	1,46E+24	0,0547	2,73E+12	7,46E+12
2009	1,46E+12	1,03E+23	0,0475	8,26E+11	2,08E+12

Tabla 5. Estimación del índice de abundancia larval para sardina, Zona Antofagasta – Arica en primavera de 1985 - 2009.

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
2007					
2008					
2009					



Tabla 6. Tamaños de muestra, valor del estadístico y p-value de prueba de Kolmogorov-Smirnov, para el análisis distribucional de la densidad de huevos o larvas de anchoveta, en los cruceros realizados entre octubre y diciembre, desde los años 1997 a 2009.

Hip3tesis distribucional lognormal	n	Estadístico (KS)	Valor P
Densidad de huevos	234	0,0575	0,42
Densidad de larvas	385	0,0577	0,15

Tabla 7. 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 XV, I y II Regi3n entre octubre y diciembre.

	AÑO												Promedio hist3rico
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2005	2006	2007	2008	2009	
Estaciones	35	47	42	47	47	50	53	54	54	63	63	96	54
Estac. sin huevos	29	28	29	35	36	30	42	27	38	36	32	55	35
Estac. con huevos	6	19	13	12	11	20	11	27	16	27	31	41	20
Densidad media de huevos / 10 m ²	23.984	13.534	3.585	33.092	5.390	6.535	10.129	6.902	19.854	10.445	19.087	7.245	13.315
Estac. sin larvas	19	25	14	25	26	26	32	20	19	7	20	33	22
Estac. con larvas	16	22	28	22	21	24	21	34	35	56	43	63	32
Densidad media de larvas / 10 m ²	739	698	2.180	723	851	543	518	1.907	846	1.179	3.598	986	1.231



Tabla 8. Resumen de estadísticas descriptivas por año para las variables longitud, latitud, temperatura superficial, salinidad superficial y densidad de huevos y larvas de anchoveta. Cruceos realizados en la XV, I y II Regi3n entre octubre y diciembre.

		Año											Promedio hist3rico	
		1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2005	2006	2007	2008		2009
Longitud (° W)	Min	-72,22	-72,24	-72,21	-72,22	-72,22	-72,23	-72,21	-72,21	-72,24	-72,23	-72,24	-72,23	-72,23
	Max	-70,19	-70,19	-70,17	-70,19	-70,16	-70,14	-70,15	-70,14	-70,12	-70,17	-70,17	-70,17	-70,16
	Range	2,03	2,05	2,04	2,03	2,06	2,09	2,06	2,07	2,12	2,06	2,07	2,06	2,06
	Mean	-70,89	-71,02	-70,88	-71,01	-71,00	-70,99	-70,94	-70,93	-70,93	-70,89	-70,88	-70,98	-70,95
	Median	-70,61	-70,80	-70,60	-70,77	-70,77	-70,67	-70,63	-70,62	-70,62	-70,61	-70,61	-70,86	-70,68
	S.D.	0,63	0,71	0,66	0,71	0,71	0,70	0,69	0,69	0,68	0,63	0,63	0,61	0,67
Latitud (° S)	Min	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67	-23,67
	Max	-18,42	-18,42	-18,42	-18,41	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42	-18,42
	Range	5,25	5,25	5,25	5,26	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
	Mean	-21,02	-21,04	-21,03	-21,03	-21,03	-21,16	-21,10	-21,07	-21,06	-21,01	-21,01	-21,02	-21,05
	Median	-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
	S.D.	1,89	1,79	1,79	1,79	1,79	1,80	1,82	1,82	1,81	1,72	1,72	1,71	1,79
Temperatura superficial (° C)	Min	20,24	15,42	15,58	15,85	15,88	15,41	15,8	15,45	15,14	13,59	14,18	13,22	15,48
	Max	24,08	22,55	22,13	23	22,13	22,45	23,61	22,64	23,09	16,54	19,46	19,66	21,78
	Range	3,84	7,13	6,55	7,15	6,25	7,04	7,81	6,19	7,95	2,95	5,28	6,44	6,30
	Mean	22,62	19,85	19,38	19,97	19,59	19,62	19,86	19,18	19,90	15,24	17,27	17,22	19,14
	Median	22,78	19,74	19,27	20,21	19,36	20,26	19,77	19,02	20,32	15,24	17,18	17,37	19,21
	S.D.	0,99	1,86	1,90	1,78	1,61	2,09	2,30	2,12	1,88	0,76	1,24	1,52	1,67
Salinidad superficial (psu)	Min	35,05	34,49	34,51	34,54	34,58	34,68	34,66	34,52	34,63	34,47	34,62	34,51	34,61
	Max	35,50	35,33	35,25	35,20	35,26	35,29	35,39	35,25	35,34	34,84	35,06	35,16	35,24
	Range	0,450	0,840	0,740	0,660	0,680	0,610	0,730	0,730	0,710	0,370	0,440	0,650	0,634
	Mean	35,33	34,81	34,85	34,83	34,85	34,96	34,96	34,84	34,92	34,74	34,82	34,89	34,90
	Median	35,36	34,76	34,80	34,78	34,83	34,91	34,90	34,83	34,85	34,77	34,81	34,87	34,87
	S.D.	0,12	0,23	0,21	0,15	0,17	0,15	0,20	0,20	0,20	0,10	0,11	0,17	0,17
Densidad de huevos/10 m ²	Min	475	29	33	62	37	27	90	36	41	28	51	39	79
	Max	66.290	99.190	19.300	380.400	20.580	70.140	52.810	93.750	174.500	63.100	226.900	90.490	113.121
	Range	65.815	99.161	19.267	380.338	20.543	70.113	52.720	93.714	174.459	63.072	226.849	90.451	113.042
	Mean	23.980	13.530	3.585	33.090	5.390	6.535	10.130	6.902	19.850	10.450	19.090	7.245	13.315
	Median	9.403	226	124	408	1.219	327	1.828	1.574	1.313	561	2.749	1.030	1.730
	S.D.	30.072	26.772	6.481	109.424	7.469	17.377	16.441	18.014	49.238	18.799	45.031	17.348	30.206
Densidad de larvas/10 m ²	Min	38	28	36	30	30	22	33	37	36	35	46	33	34
	Max	3.933	4.890	40.910	3.536	4.133	4.002	2.397	19.660	8.395	9.622	21.310	9.106	10.991
	Range	3.895	4.862	40.874	3.506	4.103	3.980	2.364	19.623	8.359	9.587	21.264	9.073	10.958
	Mean	739	698	2.180	723	851	543	518	1.907	846	1.179	3.598	986	1.231
	Median	323	149	225	159	314	269	209	574	318	422	1.171	255	366
	S.D.	1.021	1.358	7.702	1.017	1.209	825	731	3.826	1.568	1.733	5.556	1.652	2.350



Tabla 9. 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 XV, I y II Región entre octubre y diciembre, desde los años 1997 a 2009.

Modelo binomial presencia/ausencia de huevos

Predictores	edf	Ref.df	F	p-value
Año	11		2,958	< 0,01
s(Lat)	7,5	8,2	6,15	< 0,01
s(Lon)	1,9	2,4	36,36	< 0,01
s(TSM)	2,7	3,4	2,90	< 0,05
s(Sal)	1,0	1,0	0,21	0,650

Pseudo R2 (36,7 %)

Modelo binomial presencia/ausencia de larvas

Predictores	edf	Ref.df	F	p-value
Año	11		35,3	< 0,01
s(Lat)	2,5	3,1	24,14	< 0,01
s(Lon)	1,0	1,0	61,23	< 0,01
s(TSM)	1,8	2,3	2,21	0,388
s(Sal)	6,2	7,4	22,25	< 0,01

Pseudo R2 (30,3 %)

Tabla 10. 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 XV, I y II Región entre octubre y diciembre, desde los años 1997 a 2009.

Densidad de huevos

Predictores	edf	Ref.df	F	p-value
Año	11		1,428	0,162
s(Lat)	4,8	5,8	2,47	< 0,05
s(Lon)	1,0	1,0	8,53	< 0,01
s(TSM)	2,9	3,7	1,42	0,232
s(Sal)	1,0	1,0	1,53	0,218

Pseudo R2 (22,1 %)

Densidad de larvas

Predictores	edf	Ref.df	F	p-value
Año	11		3,676	< 0,01
s(Lat)	5,8	6,9	1,68	0,114
s(Lon)	4,2	5,1	3,06	< 0,01
s(TSM)	1,0	1,0	2,04	0,154
s(Sal)	1,4	1,7	0,62	0,514

Pseudo R2 (19,3 %)



Tabla 11. Grupos zooplanctónicos identificados en las pescas planctónicas. (t): totales; (+): positivas; DE: desviación estándar, Dom (%): porcentaje de dominancia numérica; FREC (%): porcentaje de frecuencia de ocurrencia. Crucero MOBIO – Octubre 2009.

	N° Est (+)	N°Ind totales	MIN	MAX	Media (t)	Media (+)	DE	Dom (%)	Frec (%)
Copépodos	208	94360004	24084	2155985	453654	453654	382765.4114	74.41	100.00
Apendicularias	194	5114461	315	183394	24589	26363	28588.75387	4.03	93.27
Lar. Eufausidos	194	5071828	179	224515	24384	26143	39615.83941	4.00	93.27
QUETOGNATOS	202	4315564	179	101017	20748	21364	16917.08218	3.40	97.12
Doliólidos	112	3367976	201	303568	16192	30071	51141.58858	2.66	53.85
Salpas	147	2897244	148	243804	13929	19709	32554.73669	2.28	70.67
Poliquetos	197	2335852	126	65526	11230	11857	12095.57987	1.84	94.71
Eufáusidos	130	2064482	37	195912	9925	15881	30297.17553	1.63	62.50
Sifonóforos	165	1887718	126	120049	9076	11441	19254.32874	1.49	79.33
Lar. Decápodos	155	1231279	427	69193	5920	7944	10364.63649	0.97	74.52
Ostrácodos	196	1128823	430	67345	5427	5759	6081.172882	0.89	94.23
Medusas	131	1015819	148	61110	4884	7754	9736.170306	0.80	62.98
Pterópodos	144	605886	126	52705	2913	4208	6302.029302	0.48	69.23
L. cifonautas	144	420822	206	13044	2023	2922	2425.748303	0.33	69.23
Naupliis	57	354814	102	47367	1706	6225	8805.794339	0.28	27.40
Anfípodos	110	281143	148	14829	1352	2556	2326.011219	0.22	52.88
Ctenóforos	70	108274	327	9031	521	1547	1741.13629	0.09	33.65
Radiolarios	27	61104	204	6761	294	2263	1641.630098	0.05	12.98
Foraminíferos	31	51245	460	7608	246	1653	1503.196308	0.04	14.90
Lar. Cipris	14	40275	206	12431	194	2877	3507.017341	0.03	6.73
Isópodos	28	34248	201	7320	165	1223	1468.437543	0.03	13.46
L. Equinodermos	20	26983	534	3164	130	1349	815.7988572	0.02	9.62
Heterópodos	17	22358	206	8884	107	1315	2024.658234	0.02	8.17
Estomatópodos	11	6611	63	756	32	601	214.6726257	0.01	5.29
Cladóceros	4	3205	615	1243	15	801	297.6686244	0.00	1.92



Tabla 12. Porcentajes de ocurrencia, dominancia y patrones de clasificación de los grupos zooplanctónicos. Crucero MOBIO - Octubre 2009.

Grupos Taxonómicos	N° Est Positivas	N° Total Individuos	Constancia (%)	Dominancia (%)
ARTROPODOS (Crustáceos)				
Copépodos	208	9436004	100.00	74.41
Eufáusidos	130	2064482	62.50	1.63
Larvas Eufáusidos	194	5071828	93.27	4.00
Ostrácodos	196	1128823	94.23	0.89
Cladóceros	4	3205	1.92	0.00
Lar.Decápodos	155	1231279	74.52	0.97
Anfípodos	110	281143	52.88	0.22
Estomatópodos	11	6611	5.29	0.01
Isópodos	28	34248	13.46	0.03
Larvas Cypris	14	40275	6.73	0.03
Nauplis	57	354814	27.40	0.28
CELENTEREOS				
Medusas	131	1015819	62.98	0.80
Sifonóforos	165	1887718	79.33	1.49
Ctenóforos	70	108274	33.65	0.09
QUETOGNATOS				
	202	4315564	97.12	3.40
ANELIDOS				
Poliquetos	197	2335852	94.71	1.84
MOLUSCOS				
Pterópodos	144	605886	69.23	0.48
Heterópodos	17	22358	8.17	0.02
CORDADOS				
Salpas	147	2897244	70.67	2.28
Doliólidos	112	3367976	53.85	2.66
Apendicularias	194	5114461	93.27	4.03
Radiolarios	27	61104	12.98	0.05
Foraminíferos	31	51245	14.90	0.04
Larvas cifonautas	144	420822	69.23	0.33
Larvas equinodermos	20	26983	9.62	0.02

Grupos Taxonómicos	Constancia (%)	Clasificación	Dominancia (%)	Clasificación
ARTROPODOS (Crustáceos)				
Copépodos	100.00	DOMINANTES	74.41	DOMINANTES
Eufáusidos	62.50	DOMINANTES	1.63	ACCIDENTALES
Larvas Eufáusidos	93.27	DOMINANTES	4.00	ACCESORIOS
Ostrácodos	94.23	DOMINANTES	0.89	ACCIDENTALES
Cladóceros	1.92	ACCIDENTALES	0.00	ACCIDENTALES
Lar.Decápodos	74.52	DOMINANTES	0.97	ACCIDENTALES
Anfípodos	52.88	DOMINANTES	0.22	ACCIDENTALES
Estomatópodos	5.29	ACCIDENTALES	0.01	ACCIDENTALES
Isópodos	13.46	ACCIDENTALES	0.03	ACCIDENTALES
Larvas Cypris	6.73	ACCIDENTALES	0.03	ACCIDENTALES
Nauplis	27.40	ACCESORIOS	0.28	ACCIDENTALES
CELENTEREOS				
Medusas	62.98	DOMINANTES	0.80	ACCIDENTALES
Sifonóforos	79.33	DOMINANTES	1.49	ACCIDENTALES
Ctenóforos	33.65	ACCESORIOS	0.09	ACCIDENTALES
QUETOGNATOS				
	97.12	DOMINANTES	3.40	ACCESORIOS
ANELIDOS				
Poliquetos	94.71	ACCIDENTALES	1.84	ACCIDENTALES
MOLUSCOS				
Pterópodos	69.23	DOMINANTES	0.48	ACCIDENTALES
Heterópodos	8.17	ACCIDENTALES	0.02	ACCIDENTALES
CORDADOS				
Salpas	70.67	DOMINANTES	2.28	ACCIDENTALES
Doliólidos	53.85	DOMINANTES	2.66	ACCESORIOS
Apendicularias	93.27	DOMINANTES	4.03	ACCESORIOS
Radiolarios	12.98	ACCIDENTALES	0.05	ACCIDENTALES
Foraminíferos	14.90	ACCIDENTALES	0.04	ACCIDENTALES
Larvas cifonautas	69.23	DOMINANTES	0.33	ACCIDENTALES
Larvas equinodermos	9.62	ACCIDENTALES	0.02	ACCIDENTALES



Tabla 13. Resultado de la Prueba de Kruskal-Wallis. Los valores significativos se indican en negrita (valor $p < 0,05$). Crucero MOBIO – Octubre 2009.

ARTROPODOS	
(Crustáceos)	
Copépodos	0,9242
Eufáusidos	0,7845
Larvas Eufáusidos	0,0618
Ostrácodos	0,0993
Cladóceros	0,9682
Lar.Decápodos	0,0019
Anfípodos	0,0028
Estomatópodos	0,7525
Isópodos	0,7893
Larvas Cypris	0,0041
Nauplis	0,2989
CELENTEREOS	
Medusas	0,9058
Sifonóforos	0,0463
Ctenóforos	0,1848
QUETOGNATOS	0,0001
ANELIDOS	
Poliquetos	0,1003
MOLUSCOS	
Pterópodos	0,0003
Heterópodos	0,0068
CORDADOS	
Salpas	0,1785
Doliólidos	0,193
Apendicularias	0,0048
Radiolarios	0,2166
Foraminíferos	0,0008
Larvas cifonautas	0,6683
Larvas equinodermos	0,0237



Tabla 14. Biomasa promedio y rangos del zooplancton por crucero. Serie Primavera 1983/2009.

Crucero	Fecha	N	M3nimo	M3ximo	Promedio	Sd	CV(%)
301(4)85 CP	01/10 - 16/12	83	30	1951	203	262,5	1,29
306(4)86 CP	21/11 - 16/12	48	28	465	136	94,3	0,69
312(4)87 CP	31/10 - 16/12	72	4	865	184	156,4	0,85
320(4)88 CP	17/11 - 21/12	50	43	1289	208	213,8	1,03
335(4)90 CP	16/11 - 06/12	97	31	1147	333	239,6	0,72
341(4)91 CP	12/11 - 10/12	110	68	6571	569	763,7	1,34
358(4)92 CP	11/12 - 18/12	54	72	986	312	204,9	0,65
364(4)93 AM	23/11 - 29/11	70	17	911	263	174,4	0,66
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
419(4)98 AM	12/12 - 18/12	47	26	685	202	133,9	0,66
427(4)99 CP	30/11 - 10/12	41	93	6622	621	1052,2	1,69
438(4)00 CP	08/12 - 17/12	47	38	955	256	163,7	0,64
449(4)01 CP	11/12 - 18/12	47	46	1436	331	226,0	0,68
457(4)02 AM	10/12 - 17/12	50	71	767	347	157,1	0,45
465(4)03 CP	10/12 - 17/12	53	13	1344	240	302,2	1,26
478(4)05 CP	02/12 - 13/12	52	54	862	321	179,1	0,56
489(4)06 AM	05/12 - 18/12	54	30	1669	267	256,6	0,96
503(4)07 AM	23/09 - 15/10	97	38	1394	218	213,3	0,98
513(4)08 AM	04/10 - 28/10	63	24	5246	408	672,8	1,65
525(4)09 AM	05/10 - 29/10	90	3	1135	340	268,4	0,79



Tabla 15. Número estaciones, especies y ejemplares para las zonas al norte y sur de Antofagasta y periodos del día.

Zona	Número de Estaciones			Número de Especies			Numero de Taxas x 10 ⁶		
	Día	Noche	D - N	Día	Noche	D - N	Día	Noche	D - N
Norte	36	50	86	25	25	25	21,9	25,8	47,8
Sur	60	62	122	25	25	25	33,9	45,1	79,1
Area	96	112	208	25	25	25	55,9	70,9	126,8

Tabla 16. Porcentaje de ejemplares por grupo zooplanctónico, según período del día, zona y total.

Taxa	Zona Latitudinal		Periodo del Día		Total
	Norte	Sur	Día	Noche	
Anfipodos	0,4	0,1	0,2	0,3	0,2
Apendicularias*	3,3	4,5	4,1	4,0	4,0
Cladoceros	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Copepodos*	75,7	73,7	73,6	75,1	74,4
Ctenoforos	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Doliolidos*	1,5	3,3	3,4	2,0	2,7
Estomatopodos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eufausidos*	3,3	0,6	1,0	2,1	1,6
Foraminiferos	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0
Heteropodos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Isopodos	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
L.Cifonautas	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
L.Cipris	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
L.Decapodos*	1,7	0,5	1,1	0,9	1,0
L.Equinodermos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
L.Eufausidos*	1,5	5,5	3,8	4,1	4,0
Medusas*	1,1	0,6	0,7	0,9	0,8
Nauplis	0,0	0,4	0,2	0,3	0,3
Ostracodos*	1,0	0,8	0,8	0,9	0,9
Poliquetos*	2,2	1,6	1,9	1,8	1,8
Pteropodos	0,7	0,3	0,6	0,4	0,5
Quetognatos*	2,5	4,0	4,0	2,9	3,4
Radiolarios	-	0,1	0,0	0,1	0,0
Salpas*	2,4	2,2	2,0	2,5	2,3
Sifonoforos*	2,1	1,1	1,9	1,1	1,5

* Taxa seleccionado para modelamiento

Tabla 17. Hipótesis, estadístico de Wald y valor p para el análisis por zona y periodo del día.

Estrato	Hipótesis	Wald	p.value
Zona	Ho: norte=sur	3.537.258	< 0,001
Periodo día	Ho: Día=Noche	817.914	< 0,001



Tabla 18. Resultados de las calibraciones hidroacústicas históricas de los sistemas SIMRAD EK-500 (para las frecuencias de 38 y EK-60 del B/C Abate Molina, por longitudes de pulso).

FRECUENCIA 38 KHZ							
Lugar	Fecha	TS - transducer gain			Sv - Transducer gain		
		Corto (0,3 ms)	Medio (1,0 ms)	Largo (3,0 ms)	Corto (0,3 ms)	Medio (0,6 ms)	Largo (1,0 ms)
Valparaíso	1993.11.09	26,50	27,20	27,38	26,92	27,24	27,57
Mejillones	1994.02.26	26,00	27,00	26,95	26,10	26,72	27,02
Mejillones	1994.05.15	26,10	27,13	27,10	26,19	27,04	27,24
Valparaíso	1994.07.13	25,70	26,50	26,50	25,84	26,28	26,70
Talcahuano	1994.08.21	26,00	26,70	26,65	25,98	26,72	
Mejillones	1995.01.05	27,03	27,90	27,75	27,08	27,74	28,13
Valparaíso	1995.07.12	27,10	28,10	28,00	27,17	28,04	28,15
Puerto Yates	1996.09.04	26,65	27,90	27,90	26,98	27,48	28,13
Mejillones	1996.11.19	26,72	27,92	27,92	26,93	27,68	27,99
Valparaíso	1997.04.18	26,81	27,50	27,59	27,31	27,68	27,83
Valparaíso	1997.12.29	26,81	27,73	27,73	27,23	27,46	27,91
Valparaíso	1998.11.21	26,90	27,35	27,20	27,13	27,18	27,33
Talcahuano	1999.05.15	26,96	27,78	27,58	27,24	27,69	27,68
Valparaíso	1999.07.21	26,47	27,62	27,69	27,26	27,54	27,49
Iquique	1999.09.16	26,60	27,51	27,68	27,15	27,45	27,25
Valparaíso	1999.12.22	26,38	27,52		27,02	27,32	
Valparaíso	2000.01.13	26,47	27,64	27,40	26,82	27,43	27,09
Valparaíso	2001.06.28	26,47	27,69	28,34	26,81	27,50	27,85
Valparaíso	2001.11.01	26,35	27,69	28,57	26,89	27,54	28,15
Valparaíso	2001.12.27	26,57	27,67	28,35	26,97	27,53	28,01
Valparaíso	2002.04.24	26,62	27,80	28,21	26,94	27,58	27,94
Valparaíso	2002.10.16	25,98	27,30		26,36	27,23	
Valparaíso	2003.01.02	25,98	27,30	28,01	26,52	27,23	27,63
Valparaíso	2003.05.07	26,13	27,56	28,36	26,77	27,48	27,94
Valparaíso	2003.01.03	26,52	27,23	27,63	25,98	27,30	28,01
Valparaíso	2005.01.03	26,35	27,70	28,04	26,76	27,38	27,77
Valparaíso	2006.01.03	26,42	27,23	27,50	26,81	27,06	27,29
Valparaíso	2006.03.01	26,50	27,80	28,60	26,90	27,60	27,20
Valparaíso	2006.12.29	26,27	27,61	28,37	26,87	27,58	28,13
Mejillones	2007.10.28	26,59	27,83	28,47	27,05	27,68	28,18
Valparaíso *	2008.06.10		25,59			25,59	

* = EK-60



Tabla 19. Estadísticos de las variables de distribuci3n vertical y de la hidrografa por especie y zona. Crucero MOBIO 0910

		Zona 18 a 24° S				Zona 24° a 32° S				
		otras	jurel	anchoa	linterna	otras	jurel	caballa	linterna	jibia
N		1	188	1018	336	9	247	1	75	66
Sa	Promedio	14400	219,98	597,30	3035,66	98	290,72	247	988,05	68,742
	Suma	14400	41357	608052	1019982	882	71809	247	74104	4537
	Max	14400	11151	28351	61997	779	14308	247	8294	441
	Min	14400	0	0	0	0	0	247	1	0
	Var(Sa)	--	1.063.625,8	5.151.941,1	51.632.404,4	65,44	1.811.546,42		2.661.628,73	7.736,25
Z	promedio	241	17,12	12,34	121,09	134,88	31,64	8,5	163,46	13,64
	max	241	91	41,5	301,5	169	129	8,5	307	28,5
	min	241	7,5	7,5	8,5	73	8,5	8,5	17	7,5
	Var(Z)	--	68,17	12,70	11.037,36	1.239,98	651,09	--	11.620,22	25,15
T°	Promedio	12,83	16,65	15,75	15,41	11,23	12,92	13,9	13,48	12,98
	max	12,83	18,69	19,17	18,84	12,41	15,41	13,9	15,06	13,67
	min	12,83	12,96	13,12	10,72	10,79	10,78	13,9	9,33	11,49
	Var (T°)	--	1,59	2,01	4,56	0,4534	0,6450		2,31	0,50
Sal	Promedio	34,84	34,83	34,83	34,89	34,64	34,36	34,52	34,55	34,30
	max	34,84	35,14	35,11	35,10	34,71	34,70	34,52	34,77	34,51
	min	34,84	34,65	34,66	34,46	34,62	34,08	34,52	34,45	34,15
	Var(Sal)	--	0,0157	0,0052	0,0187	0,0010	0,0278		0,0038	0,0211
GT°	Promedio	0,0108	0,1225	0,1519	0,0198	0,0021	0,0197	-0,0005	0,0095	0,0428
	max	0,0108	0,623	0,8319	0,1568	0,009	0,2356	-0,0005	0,072	0,2202
	min	0,0108	0,0008	-0,0009	-0,041	-0,0015	-0,0281	-0,0005	-0,007	-0,0009
	Var (GT°)	--	0,0123	0,0110	0,00072	1,33E-05	0,00124	--	0,000128	0,00475
Gsal	Promedio	0,00057	0,0026	0,0009	0,00064	-0,000301	-0,00153	0	0,000174	-0,00151
	max	0,00057	0,0292	0,0330	0,01373	0,00091	0,00326	0	0,00156	0,00335
	min	0,00057	-0,0051	-0,0162	-0,02121	-0,00117	-0,01993	0	-0,00666	-0,01175
	var	--	3,73E-05	4,14E-05	1,01E-05	5,22E-07	7,02E-06	--	1,85E-06	1,15E-05



Tabla 20. Análisis de Varianza de las covariables ajustadas al modelo gaussiano GAM para la relación con la densidad acústica de anchoveta seleccionadas a través del método de máxima verosimilitud. Valores P(F), AIC y Pseudo coeficiente de determinación.

Co-variable	G.I. Residuales	Devianza Residual	AIC	Pr(>F)	Pseudo R ²
Null	1017	3814,28	4237,65		
Latitud	1013,06	3493,24	4156,02	2,2E-04	0,084
Oxígeno Disuelto	1009,50	3340,26	4117,55	2,1E-09	0,124
Dist. Costa	1003,52	3238,81	4098,10	1,7E-06	0,150
Gr. térmico	999,20	3131,01	4072,09	6,8E-09	0,179
Gr. oxígeno	994,20	3060,19	4058,9	3,0E-04	0,197
Salinidad	990,18	3009,22	4049,9	1,2E-04	0,211



Tabla 21. 3ndices de cobertura (IC) (%) y de Densidad (ID) (t/mn²) de anchoveta, jurel, caballa y pez linterna estimados por zona en el crucero MOBIO 0910.

Especie	Arica-Antofagasta		Antofagasta-Pichidangui	
	IC (%)	ID (t/mn ²)	IC (%)	ID (t/mn ²)
Jurel	1,45	172,66	5,21	81,37
Anchoveta	12,91	333,29		
Vinciguerra	3,80	691,88	1,11	193,28
Jibia			0,94	27,59

Nota:

Anchoveta

$$\overline{L}_{\rightarrow} = 12,5 \text{ cm (Arica-Antofagasta)}$$

$$\overline{L}_{\rightarrow} = 12,5 \text{ cm (Antofagasta-Pichidangui)}$$

$$TS = 20\text{Log}(L) - 73,58 \text{ (Castillo et al 2004)}$$

$$\text{Peso} = 0,00571 * L^{3,06229}, R^2 = 0,95 \text{ (2004)}$$

$$Cb \text{ (Ar-Pichid)} = 0,15158 \text{ (t/mn}^2\text{)}$$

Jurel

$$\overline{L}_{\rightarrow} = 24 \text{ cm (Arica-Pichidangui)}$$

$$TS = 20,11\text{Log}(L) - 68,67 \text{ (C3rdova, com Pers)}$$

$$\text{Peso} = 0,01182 * L^{2,96789}, R^2 = 0,92 \text{ (2004)}$$

$$Cb \text{ (Ar-Pich)} = 0,15174 \text{ (t/mn}^2\text{)}$$

Caballa

$$Cb = 0,14 \text{ (t/mn}^2\text{)}$$

Pez linterna

$$Cb = 0,14 \text{ (t/mn}^2\text{)}$$



Tabla 22. Valores de temperatura (°C), salinidad (psu), oxígeno disuelto (mL/L) y clorofila-a (µg/L) en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones obtenidos entre agosto de 2009 y junio de 2010.

localidad	FATOS FISICOS						DATOS QUIMICOS					
	Arica		Iquique		Mejillones		Arica		Iquique		Mejillones	
	20-Ago-09		14-Ago-09		17-Ago-09		20-Ago-09		14-Ago-09		17-Ago-09	
Fecha	tem	Sali	tem	Sali	tem	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa
1	16,72	34,83					7,06	2,48	7,09	5,14	6,30	0,88
2	16,62	34,84	15,83	34,87	15,23	34,71						
4	16,53	34,85	15,80	34,87	15,16	34,73						
5	16,49	34,86	15,74	34,86	15,11	34,74	6,57	4,60	5,72	9,22	5,88	0,94
6	16,43	34,88	15,68	34,87	15,06	34,75						
8	16,38	34,90	15,54	34,87	14,96	34,75						
10	16,33	34,90	15,38	34,87	14,65	34,75	6,36	5,28	4,24	3,64	4,23	0,51
15	15,24	34,91	14,87	34,86	14,35	34,80						
20	14,79	34,85	14,63	34,84	14,13	34,81	1,24	0,29	2,72	1,97	3,14	0,25
25	14,20	34,84	14,57	34,86	14,05	34,82						
30	14,03	34,85	14,29	34,87	13,97	34,83	1,02	0,14	2,24	0,73	2,57	0,23
35	13,88	34,88	14,10	34,87	13,92	34,82						
40	13,83	34,90	14,08	34,86	13,75	34,82						
45	13,68	34,90	14,00	34,86	13,69	34,83						
50	13,56	34,92	13,84	34,86	13,66	34,83						
Fecha	11-Sep-09		14-Sep-09		13-Sep-09		11-Sep-09		14-Sep-09		13-Sep-09	
prof	tem	Sali	tem	Sali	tem	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa
1	15,21	34,83	15,79	34,77	14,01	34,80						
2	15,21	34,84	15,44	34,78	13,96	34,81		2,61	5,47	1,99	3,73	0,36
4	15,20	34,85	15,13	34,80	13,93	34,81						
5	15,17	34,85	14,95	34,80	13,92	34,82	3,83	3,27	3,34	4,79	2,26	0,45
6	15,14	34,85	14,81	34,78	13,91	34,82						
8	15,02	34,85	14,40	34,78	13,88	34,81						
10	14,91	34,85	14,20	34,76	13,84	34,82	2,72	2,07	1,16	1,63	1,90	0,43
15	14,10	34,83	13,83	34,77	13,70	34,83						
20	13,78	34,87	13,59	34,77	13,45	34,84	0,78	0,07	0,75	0,10	0,76	0,07
25	13,70	34,89	13,46	34,79	13,20	34,86						
30	13,58	34,89	13,39	34,80	13,04	34,87	0,61	0,04	0,63	0,04	0,50	0,06
35	13,39	34,91	13,33	34,83	13,01	34,87						
40	13,32	34,92	13,33	34,86	12,93	34,88						
45	13,30	34,92	13,27	34,87	12,89	34,87						
50	13,29	34,92	13,26	34,88	12,87	34,88						
Fecha	29-Oct-09		24-Oct-09		19-Oct-09		29-Oct-09		6-Oct-09		24-Oct-09	
prof	tem	Sali	tem	Sali	tem	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa
1	18,82	35,01	16,52	34,83	15,64	34,78	5,88	1,47	4,43	2,55	5,69	0,28
2	18,78	35,01	16,31	34,84	15,66	34,78						
4	18,64	35,00	15,63	34,84	15,66	34,78						
5	18,53	34,99	15,40	34,84	15,63	34,78	5,91	6,95	3,05	3,67	3,52	0,23
6	18,39	34,98	15,24	34,84	15,36	34,78						
8	18,13	34,95	14,63	34,84	14,84	34,78						
10	17,85	34,91	14,27	34,85	14,42	34,78	5,94	7,03	0,39	6,80	3,05	0,29
15	17,22	34,82	13,53	34,86	13,96	34,79						
20	16,79	34,86	13,45	34,86	13,52	34,81	5,20	1,15	0,34	1,56	0,99	0,77
25	16,12	34,86	13,36	34,86	13,10	34,82						
30	14,93	34,77	13,25	34,86	12,77	34,84	1,92	0,69	0,15	0,56	0,16	0,99
35	14,38	34,75	13,16	34,87	12,73	34,84						
40	14,12	34,74	12,96	34,87	12,64	34,84						
45			12,88	34,87	12,57	34,85						
50			12,84	34,87	12,53	34,85						
Fecha	20-Nov-09		23-Nov-09		22-Nov-09		20-Nov-09		23-Nov-09		22-Nov-09	
prof	tem	Sali	tem	Sali	tem	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa
1	19,43	34,98	17,70	34,81	16,80	34,79	6,71	0,31	4,38	1,08	7,15	2,58
2	19,36	34,96	17,28	34,79	16,65	34,79						
4	19,21	34,94	16,45	34,83	16,60	34,80						
5	19,13	34,93	16,33	34,82	16,56	34,81	6,53	0,41	2,45	1,01	7,28	2,63
6	18,89	34,97	16,13	34,82	16,48	34,81						
8	17,90	34,95	15,59	34,81	16,28	34,80						
10	15,76	34,93	14,72	34,82	15,08	34,81	5,23	1,55	1,29	0,50	6,20	3,38
15	15,21	34,85	14,60	34,82	13,67	34,83						
20	14,70	34,84	14,20	34,82	13,50	34,83	1,64	0,60	0,94	0,38	0,91	1,78
25	14,50	34,85	14,00	34,82	13,40	34,84						
30	14,04	34,82	13,90	34,82	13,40	34,84	0,98	0,12	0,84	0,15	0,62	0,88
35	13,74	34,83	13,90	34,83	13,30	34,84						
40	13,60	34,83	13,80	34,83	13,30	34,85						
45	13,50	34,83	13,80	34,83	13,20	34,85						
50	13,30	34,85	13,75	34,83	13,20	34,85	0,89	0,07	0,59	0,13	0,40	0,16
Fecha	11-Dic-09		16-Dic-09		15-Dic-09		11-Dic-09		16-Dic-09		15-Dic-09	
prof	tem	Sali	tem	Sali	tem	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa
1	15,91	34,85	19,37	34,90	18,10	34,83	4,15	0,51	5,98	1,38	5,62	0,48
2	15,87	34,85	18,79	34,91	17,86	34,80						
4	15,86	34,86	17,32	34,86	17,19	34,85						
5	15,88	34,86	17,05	34,87	16,85	34,85	3,52	1,00	5,19	2,79	4,81	4,65
6	15,88	34,87	16,72	34,84	16,68	34,84						
8	15,89	34,88	16,36	34,85	15,69	34,87						
10	15,96	34,95	16,25	34,85	15,07	34,82	3,47	1,38	3,90	1,56	2,10	1,71
15	15,34	34,91	15,88	34,83	14,56	34,79						
20	14,68	34,83	15,38	34,84	14,30	34,77	1,19	0,11	2,83	1,41	1,17	0,30
25	14,18	34,83	14,99	34,83	13,80	34,75						
30	13,90	34,82	14,39	34,82	13,72	34,77	0,82	0,08	1,17	0,50	1,16	0,24
35	13,70	34,82	14,26	34,83	13,63	34,80						
40	13,54	34,81	14,15	34,83	13,34	34,79						
45	13,37	34,84	13,93	34,83	13,19	34,80						
50	13,32	34,85	13,76	34,82	13,15	34,81	0,77	0,02	0,79	0,52	0,33	0,22



Continuación Tabla 22.

Fecha prof	FATOS FISICOS						DATOS QUIMICOS											
	Arica		Iquique		Mejillones		Arica		Iquique		Mejillones							
	20-Ene-10	22-Ene-10	18-Ene-10	20-Ene-10	16-Ene-10	18-Ene-10	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa						
1	34,90	16,74	34,85	17,86	34,89	7,39	2,45	5,91	1,51	6,39	3,89							
2		16,65	34,86	17,50	34,89													
4		16,60	34,87	16,54	34,86													
5	34,91	16,55	34,86	15,65	34,85	7,24	7,56	5,12	2,45	5,94	7,33							
6		16,58	34,87	15,47	34,85													
8		16,29	34,87	15,22	34,83													
10	34,89	16,00	34,87	14,75	34,82	4,64	7,56	3,55	2,64	3,99	0,89							
15		15,32	34,87	14,41	34,82													
20	34,87	15,07	34,87	14,25	34,81	1,41	0,20	2,86	0,67	3,19	0,11							
25		14,77	34,86	14,06	34,81													
30	34,87	14,40	34,85	13,85	34,82	1,20	0,12	1,02	0,73	1,19	0,16							
35		14,32	34,85	13,83	34,82													
40		14,32	34,85	13,72	34,82													
45		14,20	34,85	13,69	34,82													
50	34,87	13,91	34,85	13,69	34,82	1,04	0,11	0,93	0,70	0,61	0,11							
Fecha prof	13-Feb-10		15-Feb-10		11-Feb-10		13-Feb-10		15-Feb-10		11-Feb-10							
Temp	Sali	Temp	Sali	Temp	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa							
1	19,75	34,98	17,91	34,91	18,30	34,83	7,75	0,19	5,82	0,36	6,59	0,58						
2	19,67	34,99	17,65	34,92	18,11	34,84												
4	19,42	35,00	17,46	34,93	17,42	34,84												
5	19,37	34,99	17,26	34,91	17,10	34,81	7,36	0,96	5,22	1,35	4,65	1,47						
6	19,33	34,99	16,97	34,92	16,62	34,81												
8	19,20	34,98	16,62	34,91	15,81	34,84												
10	18,49	34,98	16,32	34,91	15,77	34,84	5,94	1,29	3,65	1,12	3,04	1,45						
15	16,45	34,98	15,83	34,90	15,01	34,81												
20	15,99	34,95	15,66	34,91	14,78	34,84	3,14	0,11	1,49	0,97	1,92	0,47						
25	15,68	34,95	15,55	34,91	14,50	34,81												
30	15,45	34,94	15,47	34,91	14,11	34,82	2,53	0,03	1,24	0,02	1,47	0,27						
35	15,40	34,94	15,22	34,90	13,97	34,82												
40	15,34	34,94	14,99	34,89	13,91	34,82												
45	15,30	34,94	14,86	34,88	13,94	34,82												
50	15,28	34,94	14,82	34,89	13,72	34,84		0,02	1,08	0,02	1,21	0,07						
Fecha prof	23-Mar-10		17-Mar-10		21-Mar-10		23-Mar-10		17-Mar-10		21-Mar-10							
Temp	Sali	Temp	Sali	Temp	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa							
1	18,13	34,84	18,13	34,84	16,60	34,72	2,49	2,26	4,75	6,86	5,12	5,81						
2	19,57	34,88	18,18	34,84	16,59	34,72												
4	19,48	34,90	17,82	34,82	14,96	34,73												
5	19,10	34,89	17,53	34,82	14,91	34,73	1,49	1,47	2,49	2,56	3,81	2,13						
6	18,91	34,88	16,59	34,84	14,84	34,73												
8	18,28	34,88	16,29	34,84	14,78	34,73												
10	17,98	34,88	16,20	34,86	14,70	34,72	2,45	0,79	2,45	0,71	2,11	0,91						
15	16,64	34,86	15,95	34,87	14,48	34,74												
20	16,09	34,89	15,67	34,88	14,31	34,74	1,67	0,48	1,49	0,25	1,77	0,41						
25	15,75	34,88	15,23	34,88	14,22	34,75												
30	15,55	34,89	15,04	34,89	14,18	34,75	1,34	0,24	1,67	0,07		0,16						
35	15,50	34,90	14,74	34,87	14,17	34,75												
40	15,46	34,90	14,49	34,86	14,17	34,75												
45			14,46	34,86	14,16	34,75												
50			14,38	34,86	14,16	34,75	1,15	0,20	0,77	0,05	1,99	0,22						
Fecha prof	10-Abr-10		13-Abr-10		12-Abr-10		10-Abr-10		13-Abr-10		12-Abr-10							
Temp	Sali	Temp	Sali	Temp	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa							
1	18,91	34,83	21,30	34,99	18,96	34,87	4,34	0,10	5,52	0,91	4,65	0,90						
2	18,76	34,82	20,96	34,94	18,39	34,90												
4	18,66	34,84	20,43	34,95	18,17	34,88												
5	18,63	34,84	20,31	34,93	18,11	34,88	3,63	0,18	6,00	1,25	3,74	1,23						
6	18,59	34,84	19,93	34,93	18,05	34,87												
8	18,54	34,85	19,69	34,90	17,87	34,87												
10	17,58	34,84	19,50	34,90	17,24	34,88	3,48	0,07	4,42	0,14	2,14	0,05						
15	16,52	34,84	17,62	34,82	16,15	34,88												
20	15,85	34,85	17,07	34,80	15,84	34,90	1,20	0,02	3,68	0,21	1,76	0,04						
25	15,50	34,86	16,67	34,80	15,64	34,91												
30	15,19	34,83	16,46	34,79	15,48	34,93	0,95	0,01	1,67	0,08	3,31	0,05						
35	14,96	34,82	16,23	34,77	15,28	34,94												
40	14,85	34,85	15,88	34,74	15,14	34,94												
45	14,78	34,81	15,35	34,73	14,94	34,92												
50	14,34	34,83	14,82	34,68	14,84	34,88	0,77	0,01	3,79	0,12	2,01	0,07						
Fecha prof	29-May-10		30-May-10		31-May-10		29-May-10		17-May-10		30-May-10		20-May-10		31-May-10		19-May-10	
Temp	Sali	Temp	Sali	Temp	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa	
1	18,42	35,00					4,75	0,73	3,99	0,35	4,35	0,23						
2	18,42	35,00	16,43	34,86	15,03	34,75												
4	18,38	35,00	16,01	34,83	14,87	34,75												
5	18,33	34,99	15,91	34,85	14,84	34,75	4,85	1,18	3,89	0,29	3,93	0,13						
6	18,31	34,99	15,85	34,85	14,81	34,76												
8	18,15	34,95	15,77	34,85	14,76	34,76												
10	17,46	34,90	15,76	34,85	14,72	34,77	3,11	1,01	2,70	0,42	3,73	0,11						
15	16,69	34,91	15,71	34,83	14,67	34,77												
20	16,24	34,88	15,38	34,85	14,61	34,77	1,94	0,75	1,77	0,25	1,04	0,09						
25	15,57	34,86	15,35	34,85	13,98	34,77												
30	15,14	34,86	15,24	34,85	13,86	34,78	0,98	0,19	1,39	0,17	0,50	0,10						
35	14,94	34,87	15,01	34,85	13,77	34,82												
40	14,78	34,87	14,96	34,85	13,74	34,83												
45	14,48	34,83	14,88	34,85	13,66	34,83												
50	14,33	34,88	14,82	34,85	13,60	34,82	0,33	0,14	0,97	0,13	0,53	0,04						
Fecha prof	19-Jun-10		23-Jun-10		22-Jun-10		19-Jun-10		23-Jun-10		22-Jun-10		22-Jun-10					
Temp	Sali	Temp	Sali	Temp	Sali	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa	oxi	cloa					
1	16,45	34,85	16,69	34,93	14,67	34,68	4,23	1,60	4,13	0,54	4,03	4,64						
2	16,42	34,85	16,68	34,93	14,57	34,69												
4	16,40	34,90	16,68	34,93	14,57	34,69												
5	16,38	34,90	16,66	34,93	14,56	34,69	3,19	1,56	3,48	0,60	3,82	6,50						
6	16,38	34,90	16,63	34,92	14,45	34,70												
8	16,38	34,90	16,37	34,88	14,16	34,66												
10	16,38	34,90	16,21	34,86	13,97	34,64	3,10	0,51	2,63	0,88	3,52	6,25						
15	15,97	34,83	15,56	34,79	13,84	34,64												
20	15,72	34,83	14,78	34,82	13,67	34,64	2,14	0,23	2,58	1,77	2,05	3,93						
25	15,29	34,81	14,82	34,84	13,33	34,65												
30	15,18	34,90	14,74	34,83	13,37	34,69	1,78	0,11	0,71	0,16	0,71	2,31						
35	14,96	34,71	14,40	34,82	13,41	34,74												
40	14,50	34,74	14,34	34,85	13,46	34,78												
45	14,17	34,74	14,23	34,85	13,47	34,80												
50	14,09	34,80	14,13	34,85	13,42	34,80	0,36	0,06	0,36	0,14	0,40	0,10						



Tabla 23. Abundancia de huevos y larvas de anchoveta por estrato de profundidad en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones. Octubre 2009 – Junio 2010.

	Huevos de Anchoveta			Larvas de Anchoveta		
	0-10 (m)	10-25 (m)	25-50 (m)	0-10 (m)	10-25 (m)	25-50 (m)
Octubre 2009						
Arica	962	227		321		42
Iquique	22419	4035	1891	53	417	
Mejillones	302				46	
Noviembre						
Arica	1845	2219		75	185	
Iquique	778	1498	206			
Mejillones	341					
Diciembre						
Arica	151	1063	126			
Iquique	389	46			46	
Mejillones	432			886	4875	625
Enero 2010						
Arica	1807	185	42	151	139	
Iquique	39					
Mejillones	295					
Febrero						
Arica	3389	1988	168	151	139	84
Iquique	2100	4870	4805			
Mejillones	5046	874	208	23	276	
Marzo						
Arica	14571	12251	2560	866	462	294
Iquique	233	93		117	186	51
Mejillones	1114	1058	52	91	46	
Abril						
Arica	3351	1942	3651	113	277	252
Iquique	467	278		233	464	
Mejillones	2409	368	7761		46	
Mayo						
Arica	6551	139		113	92	
Iquique						
Mejillones	23			273	230	1667



Continuaci3n **Tabla 23.**

	Huevos de Anchoveta			Larvas de Anchoveta		
	0-10 (m)	10-25 (m)	25-50 (m)	0-10 (m)	10-25 (m)	25-50 (m)
Junio 2010						
Arica	9789	971	2350	5158	693	3484
Iquique						
Mejillones	568	2162	2969	91	690	3021



Tabla 24. Estadísticos de la distribución vertical de las especies detectadas en el período 1994-2003 por estación respecto a las variables densidad acústica (Sa), profundidad, temperatura y salinidad. Se ha descartado el año 1997 por presentarse fuera de rango en la mayoría de las variables.

		Otoño 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
	Mín.	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
	Mín.	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
	Mín.	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
	Mín.	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



Continuaci3n Tabla 24.

		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

ANEXOS

A N E X O 1

Bitácora de estaciones bio-oceanográficas
y registro de datos meteorológicos



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN DE INVESTIGACIÓN PESQUERA

N° EST	FECHA AA	MM	DD	HORA HH	MIN	GR. LAT	LONG GR	PROF. ECOS. (m)	RED CODIGO	MALLA	FLUJOMETRO COD.	N° FIN.	CALADO MIN	VRADO MIN	CABLE ARR.	ANG. ATWZOF	PRESSION (hpa)	TEMPAIRE SECA	HUMEDA	DISTANCIA COSTA (m)	NUMERO TRANSECTA	LOCALIDAD	SECCHI (m)	OLAS ALT.	DIR	WENTO DIR	VELO	TIEMPO PRESENTE	TUBES NUBES	CAN.					
1	9	10	6	15	25	32	8.0	73	31.3	4100	3	297	7042	898	3	6	3	6	100	22	16.0	12.5	11.5	100	1	Pichidangul	9.0	7	19	18	20	1	1	4	
2	9	10	6	18	40	32	8.0	73	13.4	3960	3	297	7042	810	2	59	3	21	100	0	17.0	15.5	14.0	85	1	Pichidangul	6.0	6	21	18	12	1	2	4	
3	9	10	6	21	5	32	8.0	72	55.6	4470	3	297	7042	800	1	43	1	41	100	22	17.5	12.0	10.0	70	1	Pichidangul	5.0	4	21	18	10	1	2	6	
4	9	10	6	23	55	32	8.0	72	37.8	5000	3	297	7042	712	1	51	1	34	100	27	18.0	11.0	9.0	55	1	Pichidangul	5.0	4	21	18	10	1	2	6	
5	9	10	7	2	30	32	8.0	72	20.1	3870	3	297	7042	815	1	50	1	16	100	0	16.0	11.0	9.0	40	1	Pichidangul	4.0	21	18	10	1	2	2	2	
6	9	10	7	4	33	32	8.0	72	8.4	3750	3	297	7042	548	1	51	2	28	100	6	15.5	11.0	9.0	30	1	Pichidangul	4.0	21	17	8	1	2	2	2	
7	9	10	7	6	15	32	8.0	71	56.6	2380	3	297	7042	690	1	33	2	19	100	6	16.0	11.0	9.0	20	1	Pichidangul	4.0	21	19	8	1	6	2	2	
8	9	10	7	8	5	32	8.0	71	45.2	414	3	297	7042	648	1	46	1	42	100	18	16.5	12.0	10.0	10	1	Pichidangul	5.0	21	14	8	1	0	6	0	
9	9	10	7	9	30	32	8.0	71	39.3	347	3	297	7042	682	1	52	1	40	100	22	16.5	13.0	11.0	5	1	Pichidangul	5.0	21	15	7	1	0	6	0	
10	9	10	7	10	30	32	8.0	71	34.5	130	3	297	7042	642	1	51	1	36	100	26	16.5	15.0	13.0	1	1	Pichidangul	5.0	21	16	7	1	0	6	0	
11	9	10	7	16	50	31	15.0	71	39.6	97	3	297	7042	462	1	30	2	7	80	5	16.5	14.5	12.5	1	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	6.0	3	22	0	2	6	8	0	
12	9	10	7	17	55	31	15.0	71	44.3	470	3	297	7042	768	2	10	2	16	104	15	16.0	13.5	11.5	5	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	5.0	4	22	27	8	1	6	6	
13	9	10	7	19	10	31	15.0	71	50.5	940	3	297	7042	595	2	7	1	36	100	8	17.0	13.0	11.5	10	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	4.0	22	0	2	6	8	0	0	
14	9	10	7	21	1	31	15.0	72	2.0	2200	3	297	7042	560	1	54	1	41	100	12	18.0	12.5	11.0	20	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	4.0	22	20	2	6	8	0	0	
15	9	10	7	23	30	31	15.0	72	13.3	3520	3	297	7042	698	2	1	2	0	100	31	18.5	12	10.0	30	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	4.0	22	19	5	2	6	8	0	
16	9	10	8	1	0	31	15.0	72	25.1	5000	3	297	7042	628	1	54	1	46	100	14	18.5	12.0	10.0	40	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	4.0	22	19	5	2	6	8	0	
17	9	10	8	2	50	31	15.0	72	43.1	5000	3	297	7042	640	1	55	1	42	100	15	17.0	11.6	10.0	55	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	4.0	22	19	6	2	6	8	0	
18	9	10	8	5	50	31	15.0	73	0.4	4750	3	297	7042	700	1	46	1	55	100	20	17.0	11.5	10.0	70	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	7.0	4	22	18	10	1	6	4	
19	9	10	8	8	25	31	15.0	73	17.7	4090	3	297	7042	662	1	39	1	35	100	25	17.5	14.0	12.0	85	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	17.0	4	22	18	12	1	6	6	
20	9	10	8	10	30	31	15.0	73	35.6	3820	3	297	7042	640	1	48	1	40	100	21	18.0	18.0	16.0	100	2	Cta.Mallencillo de Coquimbo	16.0	4	21	18	16	1	0	5	
21	9	10	8	18	5	30	20.0	73	37.0	4410	3	297	7042	710	2	5	2	3	100	20	17.0	14.0	12.0	100	3	Pla. Farellones	7.0	4	20	18	15	1	6	4	
22	9	10	8	20	30	30	20.0	73	19.5	4100	3	297	7042	672	1	52	1	41	100	18	17.5	13.0	11.0	85	3	Pla. Farellones	4.0	21	18	15	1	0	3	0	
23	9	10	8	22	35	30	20.0	73	2.0	4420	3	297	7042	649	1	52	1	40	100	20	17.5	12.0	10.0	70	3	Pla. Farellones	4.0	21	19	16	1	0	2	0	
24	9	10	9	1	5	30	20.0	72	44.7	5000	3	297	7042	698	1	48	1	45	100	32	16.0	11.7	10.0	55	3	Pla. Farellones	4.0	21	19	16	1	0	2	0	
25	9	10	9	3	12	30	19.8	72	27.5	5000	3	297	7042	640	1	50	1	44	100	15	14.5	11.4	10.0	40	3	Pla. Farellones	4.0	20	19	16	1	0	2	0	
26	9	10	9	5	20	30	20.0	72	15.8	4180	3	297	7042	610	2	4	4	36	100	7	14.0	13.0	9.5	7	14	Pla. Farellones	6.0	2	21	9	7	1	0	2	
27	9	10	9	6	55	30	20.0	72	4.2	3500	3	297	7042	612	2	0	2	50	100	15	15.0	11.5	9.5	20	3	Pla. Farellones	6.0	2	21	20	8	1	6	6	
28	9	10	9	8	46	30	20.0	71	52.5	2750	3	297	7042	522	1	42	1	35	100	14	16.0	12.5	10.5	10	3	Pla. Farellones	2.5	2	21	13	6	2	6	8	
29	9	10	9	10	40	30	20.0	71	49.0	4820	3	297	7042	510	1	41	1	32	100	10	16.0	11.0	9.0	40	4	Pla. Farellones	11.0	5	21	3.5	2	6	8	0	
30	9	10	9	11	11	30	20.0	71	42.0	133	3	297	7042	627	1	41	1	36	100	30	16.0	15.0	13.0	1	3	Pla. Farellones	4.5	2	21	0	2	6	7	0	
31	9	10	9	16	45	29	40.00	71	20.6	118	3	297	7042	538	1	48	1	43	100	5	15.0	18.0	16.0	1	4	Cta. Cruz Grande	6.0	0	22	0	2	6	8	0	
32	9	10	9	17	29	40.00	71	25.3	683	3	297	7042	552	1	49	1	43	100	5	14.0	14.0	12.0	5	5	Cta. Cruz Grande	5.0	4	22	0	2	6	8	0		
33	9	10	9	18	35	29	40.00	71	31.2	680	3	297	7042	485	1	49	1	41	100	1	15.0	14.5	12.5	10	4	Cta. Cruz Grande	5.5	22	20	4	1	6	6	0	
34	9	10	9	20	20	29	40.00	71	42.2	1540	3	297	7042	625	1	51	1	45	100	19	15.0	13.0	11.0	20	4	Cta. Cruz Grande	41	22	21	11	1	6	4	0	
35	9	10	9	22	15	29	40.00	71	54.0	2510	3	297	7042	625	1	50	1	44	100	19	15.0	13.0	11.0	30	4	Cta. Cruz Grande	4.0	22	18	11	1	6	6	0	
36	9	10	9	23	45	29	40.00	71	13.0	3600	3	297	7042	650	1	52	1	36	100	18	15.0	12.5	11.0	40	4	Cta. Cruz Grande	5.0	3	22	18	12	1	6	5	
37	9	10	10	2	0	29	39.80	72	22.7	5000	3	297	7042	671	1	43	1	37	100	25	14.0	13.2	11.0	55	4	Cta. Cruz Grande	3	22	18	12	1	6	5	0	
38	9	10	10	3	55	29	39.90	72	40.0	5000	3	297	7042	662	1	34	1	33	100	30	14.0	13.4	11.0	70	4	Cta. Cruz Grande	3	21	18	18	1	6	5	0	
39	9	10	10	6	0	29	40.00	72	57.2	4250	3	297	7042	510	1	41	1	32	100	10	15.0	13.0	11.0	85	3	Cta. Cruz Grande	3.5	2	20	18	2	6	8	0	
40	9	10	10	8	0	29	40.00	73	14.6	4400	3	297	7042	600	1	41	1	32	100	14	16.5	14.0	12.5	100	4	Cta. Cruz Grande	7.0	3	21	20	8	2	7	8	
41	9	10	10	13	50	28	59.70	73	28.8	4195	3	297	7042	835	1	41	1	40	100	29	18.0	14.3	12.5	100	5	Cta. Inglesa	6.0	3	21	21	8	2	6	8	
42	9	10	10	16	0	31	29	0.00	73	11.7	3930	3	297	7042	668	1	29	1	32	100	17	15.0	19.0	17.0	85	4	Cta. Inglesa	8.0	4	19	18	20	1	6	4
43	9	10	10	18	50	29	0.00	72	53.9	4320	3	297	7042	810	1	37	1	30	100	35	18.0	15.0	13.0	70	5	Cta. Inglesa	5	19	18	25	1	6	6	0	
44	9	10	10	21	15	29	0.00	72	36.7	4540	3	297	7042	694	1	40	1	34	100	38	19.0	13.0	11.0	55	5	Cta. Inglesa	5	20	18	25	1	6	4	0	
45	9	10	11	2	25	29	0.00	72	8.0	5000	3	297	7042	930	1	43	1	37	100	45	20.0	11.8	11.0	11	5	Cta. Inglesa	5	20	18	25	1	6	2	0	
46	9	10	11	6	52	29	0.00	71	45.2	2630	3	297	7042	694	1	40	1	34	100	38	19.0	13.0	11.0	55	5	Cta. Inglesa	5	19	17	28	1	6	6	0	
47	9	10	11	8																															



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISION DE INVESTIGACION PESQUERA

Table with columns: N° EST, FECHA AA, MM, DD, HORA HH, MIN, LAT GR, LONG GR, PROF. ECOS (m), RED CODIGO, MALLA, FLUJOMETRO COD., N°FIN, CALADO SEG, VIBRADO MIN, SEG, CABLE ARR., CARRE ANG., PRESION ATMOSF (hpa), SECA, TEMP AIRE HUMEDA, DISTANCIA COSTA (m), NUMERO TRANSECTA, LOCALIDAD, SECCHI (m), OLAS ALT, DIR, VIENTO DIR, VELO, TIEMPO PRESENTE, NUBES TIP, CAN.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISI3N DE INVESTIGACI3N PESQUERA

N° EST	FECHA		HORA				LAT		LONG		PROF. ECOS. (m)	RED CODIGO	MALLA	FLUJ3METRO		CALADO		VIRADO		CABLE		PRESI3N ATMOSF.		TEMP. AIRE		DISTANCIA COSTA (mm)	NUMERO TRANSECTA	LOCALIDAD	SECCHI (m)	OLAS		VIENTO		TIEMPO PRESENTE	NUBES	
	AA	MM	DD	HH	MIN	GR	MIN	GR	MIN	GR				MIN	SEG	MIN	SEG	ARR.	ANG.	SECA	HUMEDA	ATMOSF.	SECA	HUMEDA	ALT.					DIR.	DIR.	VEL.	TIP.		CAN.	
181	9	10	25	22	59	19	40.1	70	53.6	2440	3	297	7042	502.0	1.0	35.0	1.0	34	100	17	14	17	15	40	19	Plta. Junin		4	20	0	2	6	7			
182	9	10	26	1	37	19	40	70	43	1175	3	297	7042	462	1	38.0	1	39	100	9	13	15.5	13.5	30	19	Plta. Junin		4	20.0	0.0	2	6	7			
183	9	10	26	3	20	19	40	70	32.7	786	3	297	7042	518	1	52.0	1	43	100	13	12	16.2	14.3	20	19	Plta. Junin		4	20.0	0.0	2	6	7			
184	9	10	26	6	56	19	40	70	22	518	3	297	7042	518	1	38.0	1	44	100	14	12	16.5	14.5	10	19	Plta. Junin		4	20.0	13	5.0	2	6	8		
185	9	10	26	8	50	19	40	70	16.8	548	3	297	7042	548	1	40.0	1	37	100	24	12.5	16.5	14.5	5	19	Plta. Junin	6.0	4	21.0	9	5.0	2	6	7		
186	9	10	26	10	59	19	40	70	12.5	93	3	297	7042	287	1	5.0	1	16	70	9	13.5	19	17	1	20	Plta. Madrid	5.0	4	21.0	15	5.0	2	6	6		
187	9	10	26	17	35	19	0	70	20	85	3	297	7042	370	1	10.0	1	20	80	5	11.5	22	19	1	20	Plta. Madrid	4.0	4	20.0	17	8.0	2	6	7		
188	9	10	26	18	45	19	0	70	24	388	3	297	7042	553	1	35.0	1	36	100	9	11.5	19	17	5	20	Plta. Madrid	5.0	4	20.0	14	7.0	2	6	6		
189	9	10	26	20	39	19	0	70	29	987	3	297	7042	520	1	39.0	1	34	100	4	13	17	15	10	20	Plta. Madrid		4	21.0	16	4.0	2	6	6		
190	9	10	26	23	0	19	0	70	40	1370	3	297	7042	495	1	40.0	1	40	100	26	14	17	15	20	20	Plta. Madrid		4	21.0	20	7.0	2	6	6		
191	9	10	26	1	13	19	0	70	50	1566	3	297	7042	550	1	31.0	1	31	100	12	14	16.8	14.5	30	20	Plta. Madrid		4	21.0	20	7.0	2	6	6		
192	9	10	27	2	54	19	0	71	1.2	2070	3	297	7042	543	1	42.0	1	36	100	6	13	16.3	14.5	40	20	Plta. Madrid		3	21.0	20	7.0	2	6	6		
193	9	10	27	5	42	19	0	71	17.2	2780	3	297	7042	520	1	30.0	1	27	100	10	13	16	14	55	20	Plta. Madrid		3	21.0	0.0	2	6	8			
194	9	10	27	7	54	19	0	71	32.8	3230	3	297	7042	501	1	33.0	1	36	100	5	14	16	14	70	20	Plta. Madrid	16.0	3	21.0	0.0	2	6	8			
195	9	10	27	10	8	19	0	71	48.7	6000	3	297	7042	594	1	36.0	1	35	100	5	15	17	15	85	20	Plta. Madrid	13.0	3	21.0	17	5.0	2	6	8		
196	9	10	27	12	5	19	0	72	4.8	6000	3	297	7042	540	1	41.0	1	35	100	18	15	19.7	16.7	100	21	Arica	12.0	4	21.0	17	4.0	2	6	8		
197	9	10	28	1	0	18	25	73	50.7	6000	3	297	7042	552.0	1.0	41.0	1.0	37	100	12	15	15.4	13.5	200	21	Arica		3	19	17	10	2	6	8		
198	9	10	28	4	15	18	25	73	29.6	4540	3	297	7042	448	1	38.0	1	37	100	6	13	15	13	180	21	Arica		3	20.0	12	7.0	2	6	8		
199	9	10	28	6	55	18	25	73	8.5	3830	3	297	7042	498	1	46.0	1	36	100	18	13.5	15	13	160	21	Arica		3	20.0	14	5.0	2	6	8		
200	9	10	28	9	27	18	25	72	52.8	5000	3	297	7042	540	1	34.0	1	24	100	29	14.5	14	14	145	21	Arica		3	20.0	14	6.0	2	6	6		
201	9	10	28	11	28	18	25	72	36.4	6000	3	297	7042	472	1	26.0	1	20	100	20	15	16.5	16	130	21	Arica		3	20.0	17	10.0	2	6	8		
202	9	10	28	13	55	18	25	72	21	6000	3	297	7042	514	1	38.0	1	29	100	19	14.5	22.2	16.5	115	21	Arica		3	20.0	17	8.0	2	6	8		
203	9	10	28	16	0	18	25	72	5.3	4440	3	297	7042	485	1	36.0	1	32	100	11	13	21.5	19.5	100	21	Arica		2	20.0			2	6	8		
204	9	10	28	18	42	18	25	71	49.9	2650	3	297	7042	462	1	37.0	1	31	100	14	12.5	19	17	85	21	Arica		3	20.0	23	10.0	2	6	8		
205	9	10	28	20	41	18	25	71	33.6	2100	3	297	7042	521	1	36.0	1	32	100	30	13	18	16	70	21	Arica		3	20.0	19	7.0	2	6	8		
206	9	10	28	23	21	18	25	71	17.8	1120	3	297	7042	488	1	41.0	1	34	100	13	13	18	16	55	21	Arica		3	20.0	17		2	6	8		
207	9	10	29	1	39	18	25	71	2	896	3	297	7042	462	1	35.0	1	41	100	4	13	17.8	16	40	21	Arica		3	20.0			2	6	8		
208	9	10	29	4	3	18	25	70	51.6	973	3	297	7042	500	1	30.0	1	32	100	7	12	17.5	15.5	30	21	Arica		2	20.0			2	6	8		
209	9	10	29	5	45	18	25	70	41	702	3	297	7042	480	1	30.0	1	33	100	8	12	17.5	15.5	20	21	Arica		2	20.0	15	5.0	2	6	8		
210	9	10	29	8	19	18	25	70	30	112	3	297	7042	465	1	40.0	1	40	100	15	12	17.7	15.5	10	21	Arica		2	23.0	19	5.0	2	6	8		
211	9	10	29	9	49	18	25	70	25.2	69	3	297	7042	232	0	52.0	0	47	50	15	13	18.5	17.5	5	21	Arica		2	23.0	10	5.0	2	6	7		
212	9	10	29	11	3	18	25	70	21.1	17	3	297	7042	54	0	10.0	0	12	10	2	13.5	21	19	1	21	Arica		2	23.0	20	6.0	2	6	5		
fija arica	9	10	29	11	49	18	23	70	24.8	50	3	297	7042	358	0	46.0	0	46	45	28	13	23	20	2				2	23	19	10	1	6	2		

A N E X O 2

Personal participante por actividad



ANEXO 2

PERSONAL PARTICIPANTE POR ACTIVIDAD

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO IFOP / CORPESCA S.A / UNAP

Nombre	Título	Función
Mauricio Braun Alegría	Licenciado en Biología	Jefe de Proyecto Coordinación general Crucero y estaciones costeras de vigilancia, Participa en crucero estacional, procesamiento, análisis de plancton fraccionado e ictioplancton y sus relaciones con variables físicas, CUFES, elaboración de boletines mensuales, informes y análisis integrado .
Hernán Reyes Rivas	Oceanógrafo	Participa en crucero, procesamiento y análisis de información oceanográfica física, elaboración de boletines mensual e informe de avance.
Jorge Castillo Pizarro	Ingeniero Pesquero	Participa en crucero, procesamiento y análisis de datos acústicos, elaboración de informes.
Vivian Valenzuela Cuevas	Biólogo Marino	Participa en crucero. Coordinación estaciones costeras, procesamiento y análisis del ictioplancton, CUFES, elaboración boletines mensuales e informe de avance.
Elisa Milena Pizarro Revello	Oceanógrafa	Participa en crucero, procesamiento y análisis de clorofila-a y contenido de oxígeno disuelto a bordo, elaboración de boletines mensuales e informes.
Víctor Catasti Barraza	Ingeniero Pesquero	Participa en crucero, análisis de TSM satelitales y relaciones exploratorias entre huevos y larvas de anchoveta y variables físicas, elaboración de boletines mensuales e informe de avance.
Guillermo Galindo Pérez	Técnico	Participa en crucero, procesamiento de muestras zooplanctónicas.



Jos3 R. Ca3on Canales	Ocean3grafo CORPESCA	Estaciones costeras de vigilancia, Elaboraci3n boletines, Condiciones Regionales y de Pesca.
Nicola Decovic	T3cnico CORPESCA	Participa en estaciones costeras, recolecci3n de muestras de zooplancton y analista de ox3geno a bordo.
Manuel Rojas Garc3a	T3cnico Marino	Participa en crucero in situ, componente ac3stica.
Fernando Esp3ndola R.	Ingeniero Pesquero	Procesamiento y an3lisis sensores remotos.
Juan Saavedra Nievas	Master en Estadística	An3lisis estadístico – Modelaci3n Num3rica
Hern3n Miles Urbina	T3cnico	Participa en crucero, procesamiento e identificaci3n ictioplancton
Liliana Herrera Campos	Doctor en Oceanograf3a	Coordinador t3pico Nutrientes, an3lisis y elaboraci3n de informes
Edgardo Santander P.	Bi3logo Marino	Responsable del procesamiento y an3lisis de nutrientes, elaboraci3n de informes
Jorge Angulo C.	Bi3logo Marino	Participa en crucero, procesamiento de muestras zooplanct3nicas.
Jeannelle Jaque B.	T3cnico 1	An3lisis de nutrientes
Debora Albornoz P.	Muestreador	Participa en crucero, muestreo
Priscila Bush R.	Muestreador	Participa en crucero, muestreo



PLAN DETALLADO DE ASIGNACI3N DE PERSONAL PROFESIONAL Y T3CNICO (HH) ASIGNACI3N HORAS HOMBRE POR ACTIVIDAD PRINCIPAL

Objetivo Específico 2.2.1

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernán Reyes R.	145	50	30	22	247
Elisa Pizarro R.	145	20	35	27	227
Fernando Espindola R.		20	60	15	95
UNAP					
Liliana Herrera	11		56	36	103
Edgardo Santander			84	24	108
Jeannelle Jaque B		140			140
Debora Albornoz P.	180				180
Priscila Bush R	180				180
TOTAL	661	230	265	124	1280

Objetivo Específico 2.2.2

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A.	20	40	80	82	222
Vivian Valenzuela C.	145	100	100	45	390
Guillermo Galindo P.	145	140			285
Victor Catasti B.	145	20	15	5	185
Hernán Miles U.	145	150			295
Juan Saavedra N.		50	15	15	80
Jorge Angulo C.	145	100	40	10	295
TOTAL	745	600	250	157	1752

**Objetivo Específico 2.2.3**

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Jorge Castillo P.	145	40	25	20	230
Manuel Rojas R.	145				145
TOTAL	290	40	25	90	375

Objetivo Específico 2.2.4

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Mauricio Braun A.		30	60	60	150
Milena Pizarro R.		20	15	20	55
Vivian Valenzuela C.		40	15	30	85
Guillermo Galindo P.		100			100
Hernán Miles U.		80			80
Jorge Angulo C.		80	15	10	105
Hernán Reyes R.		20	15	17	52
CORPESCA					
José Cañon C.	200	30		250	480
Nicola Decovic	660	35		54	749
TOTAL	860	435	120	441	1856

Objetivo Específico 2.2.5

PERSONAL	CRUCERO	PROCESAMIENTO	ANALISIS	INFORMES	TOTAL
IFOP					
Hernan Reyes R.		25	8	8	41
Mauricio Braun A.		40	80	81	201
Fernando Espíndola		20	60	10	90
Elisa Pizarro		10	8	9	27
TOTAL		95	156	108	359

A N E X O 3

Taller de difusión y discusión
de resultados



ANEXO 3

TALLER DE DIFUSI3N Y DISCUSI3N DE RESULTADOS

De acuerdo a lo consignado en las bases t3cnicas y administrativas del proyecto, el taller de difusi3n y discusi3n de resultados del proyecto, se realiz3 en la ciudad de Iquique en dependencias de la Universidad Arturo Prat, Departamento de Ciencias del Mar con sede en Huayquique. El listado de participantes se encuentra a continuaci3n y sus respectivas presentaciones en CD adjunto.



TALLER DE PRESENTACIÓN DE RESULTADOS



PROYECTO FIP 2009-38

“Monitoreo de las Condiciones Bio-oceanográficas entre la XV y IV Regiones, año 2009”

Iquique, martes 20 julio de 2010

Departamento Cs. del Mar Universidad Arturo Prat - Iquique
Av. Arturo Prat s/n, Iquique

PROGRAMA

10:00 a 10:10 horas	Bienvenida y presentación del proyecto	Sra. Vivian Valenzuela C. IFOP
10:10 a 10:40	Distribución espacio-temporal a nivel de mesoescala de las condiciones oceanográficas (Obj. 1 y 4)	Sr. Hernán Reyes R. IFOP
10:40 a 11:10	Concentración y distribución de nutrientes (Obj. 1)	Srta. Liliana Herrera C. UNAP
11:10 a 11:30	C a f é	
11:30 a 11:50	Distribución espacial y composición del plancton (Obj. 2).	Sra. Vivian Valenzuela C. IFOP
11:50 a 12:10	Modelación estadística (Obj. 2)	Sr. Juan C. Saavedra N. IFOP
12:10 a 12:40	Caracterización de los recursos pelágicos (Obj. 3)	Sr. Jorge Castillo P.

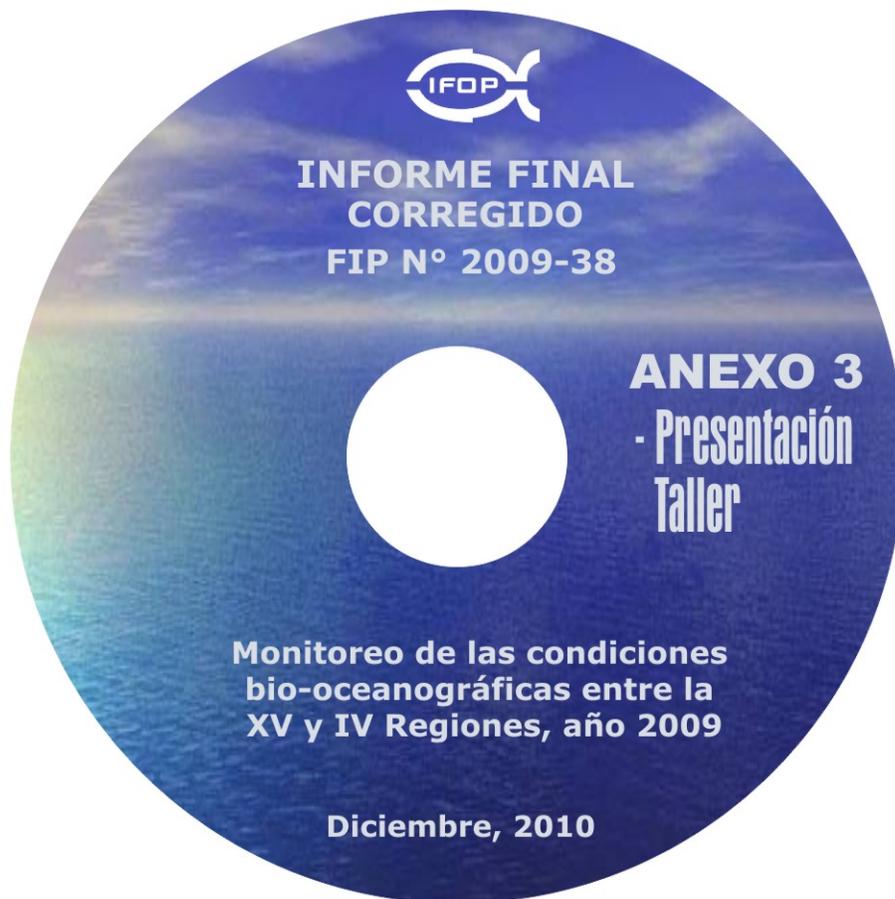


TALLER DE PRESENTACI3N DE RESULTADOS

PROYECTO FIP 2009-38
"Monitoreo de las Condiciones Bio-oceanogr3ficas entre la XV y IV
Regiones, a3o 2009"

LISTA DE ASISTENTES

	NOMBRE	FIRMA
1	Siliana Herrera C	
2	Natalia Pizarro Lut.	
3	Cristian Ag3cos S.	
4	Edgardo Soutoabr P.	
5	Paola Moreno G.	
6	Hern3n Rey3 Rivas	
7	Juan Carlos F3rvez de Nicu3s	
8	Jos3 Cu3n	
9	Luis Bustos Rocha	
10	M. Araya	
11	Rosolino Fuentes Lido .	
12	Jessica P3rdalillo P.	
13	Vivian Valenzuela Conos	
14	MICHEL CAUPELLAN CA3AS	
15	MIGUEL A. ESCOBAR S.	
16	ROBINSON PERAZO F.	
17		



Presentación Final
Taller FIP N° 2009-38

PROYECTO FIP N° 2009-38

MONITOREO DE LAS CONDICIONES BIO- OCEANOGRÁFICAS ENTRE LA XV Y IV REGIONES, AÑO 2009



OBJETIVO GENERAL

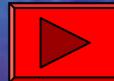
Monitorear las condiciones bio-oceanográficas de la zona norte de Chile, entre Arica y Pichidangui y hasta 100 mn de la costa.



OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 2.1** Determinar la distribución espacial, así como sus variaciones espacio-temporales, a nivel de meso-escala (km), de la variabilidad bio-oceanográfica, temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, clorofila-*a*, nutrientes y penetración de la luz, en la zona de estudio, en la estructura vertical de 0 a 200 m.
- 2.2** Determinar la abundancia estacional, distribución espacial y composición del plancton, incluyendo el macrozooplancton e ictioplancton, incluyendo huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa de la zona de estudio, y su relación con las condiciones oceanográficas indicadas en 2.1.
- 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** Determinar las variaciones mensuales en la zona costera de las variables señaladas en 2.1 y 2.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras de Arica, Iquique y Mejillones, dentro de la zona de estudio.
- 2.5** Determinar la variabilidad superficial de las variables temperatura del mar, clorofila-*a* y anomalía del nivel del mar por medio de percepción remota. La frecuencia mínima de análisis debe ser al menos mensual. Y asociar estas variaciones espacio-temporales con la actividad pesquera.





PLANCTON



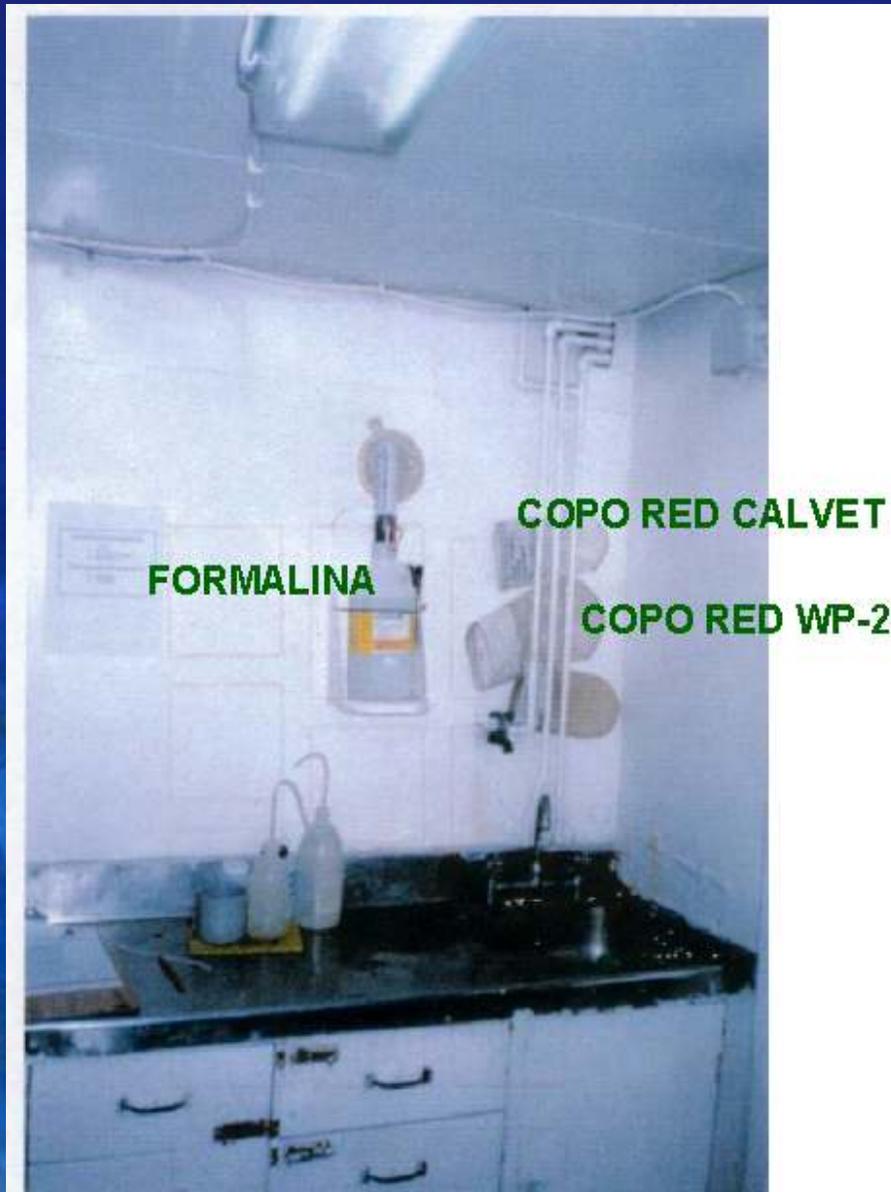
MATERIALES Y
METODOS



Red WP-2
(Working Party N°2)
(UNESCO, 1968; ICES,
2000)



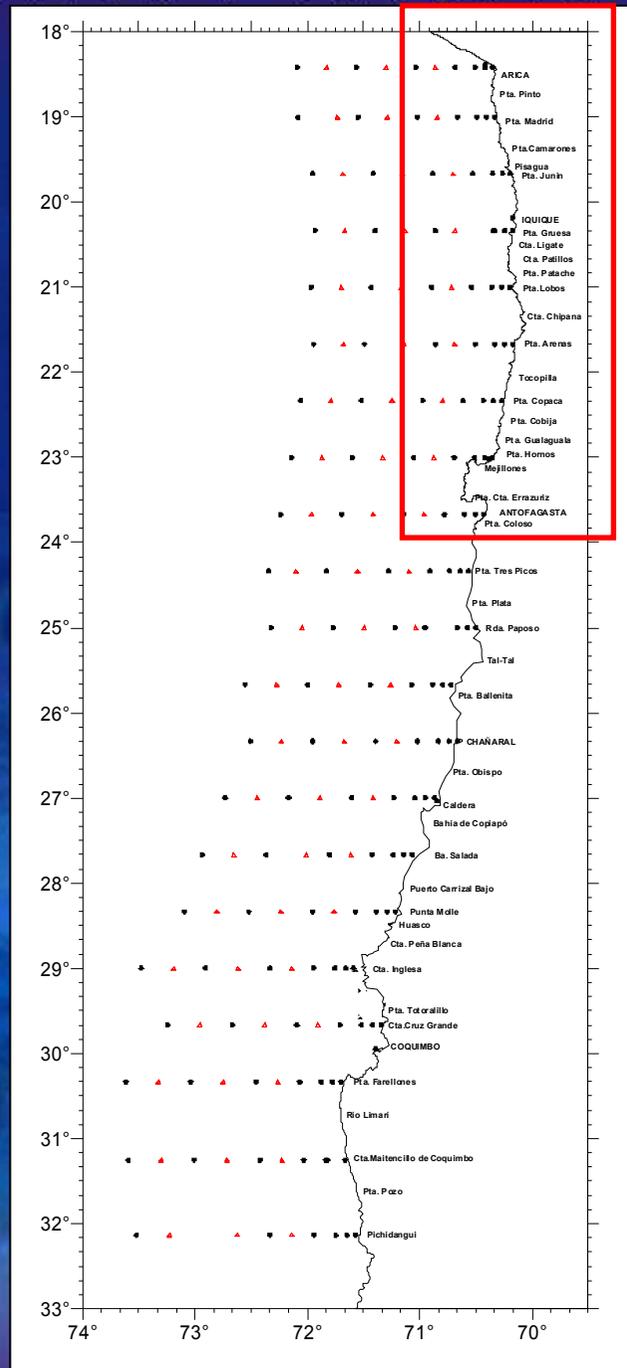
Laboratorio Húmedo
(Procesamiento
muestras planctónicas a
bordo)



Laboratorio Húmedo
(Procesamiento
muestras planctónicas a
bordo)



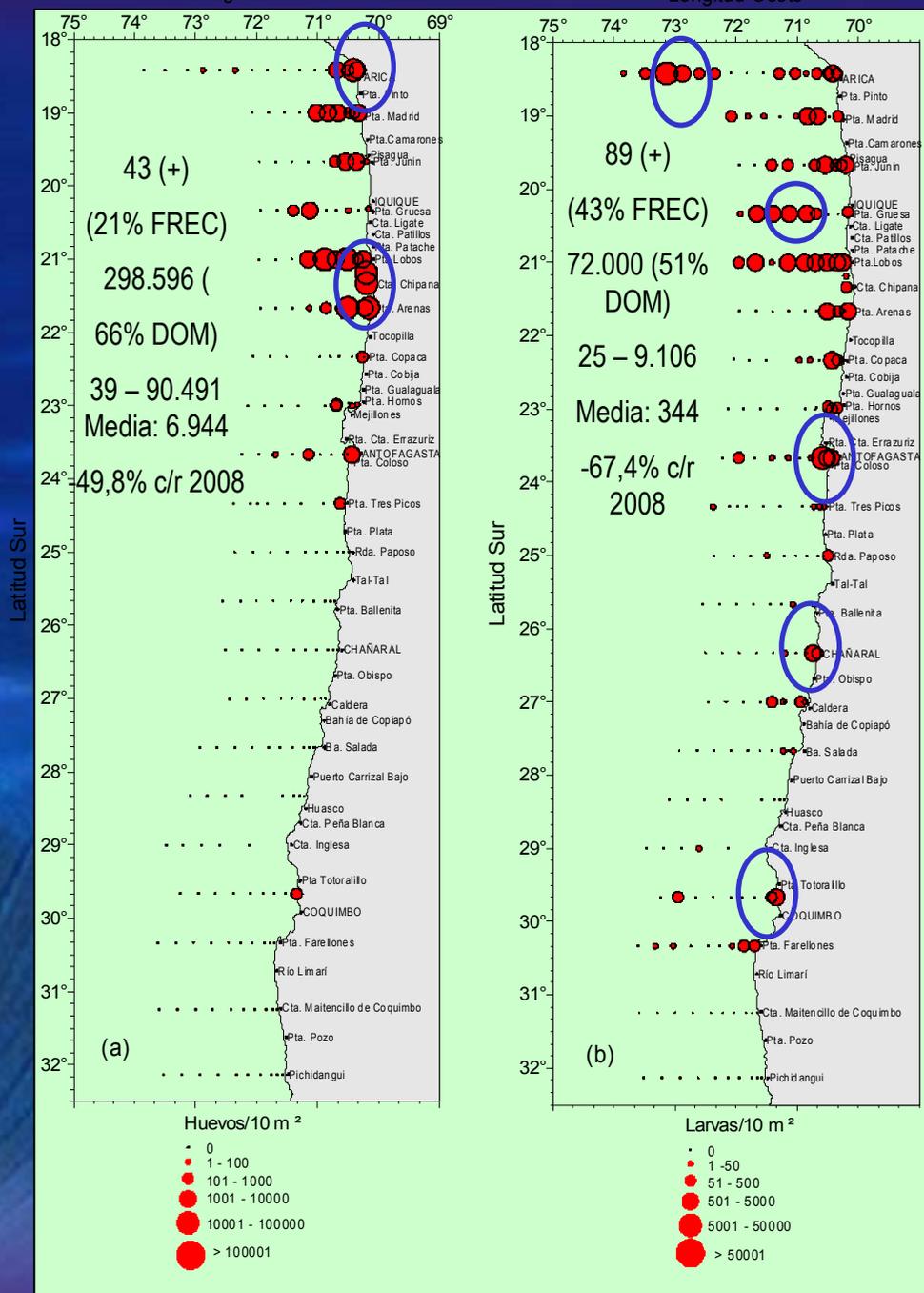
Posición geográfica
estaciones bio-
oceanográficas MOBIO
Primavera 2010



MATERIALES Y
METODOS

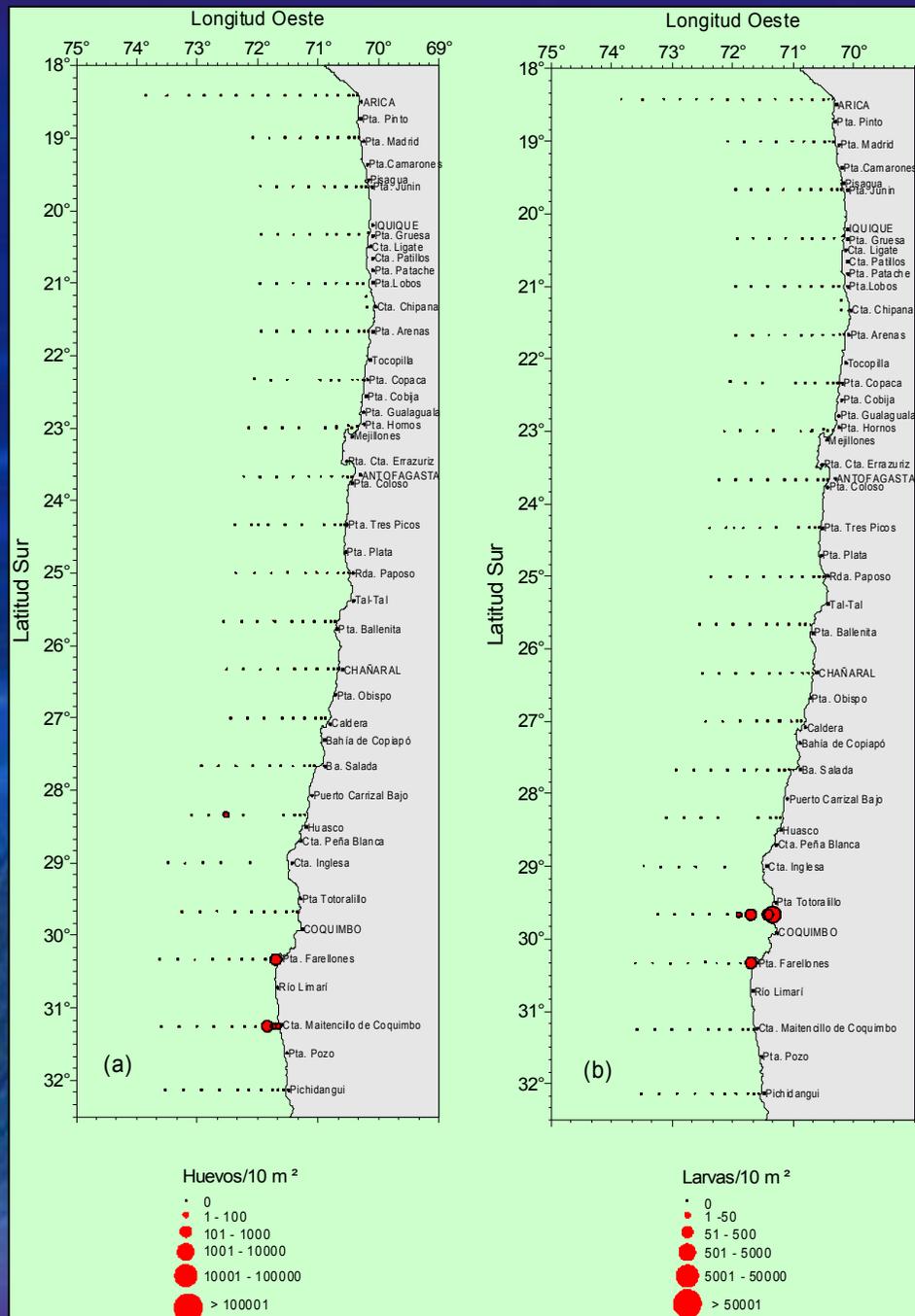
CUFES





Distribución y abundancia de huevos y larvas de anchoveta, Crucero MOBIO Primavera 2009.

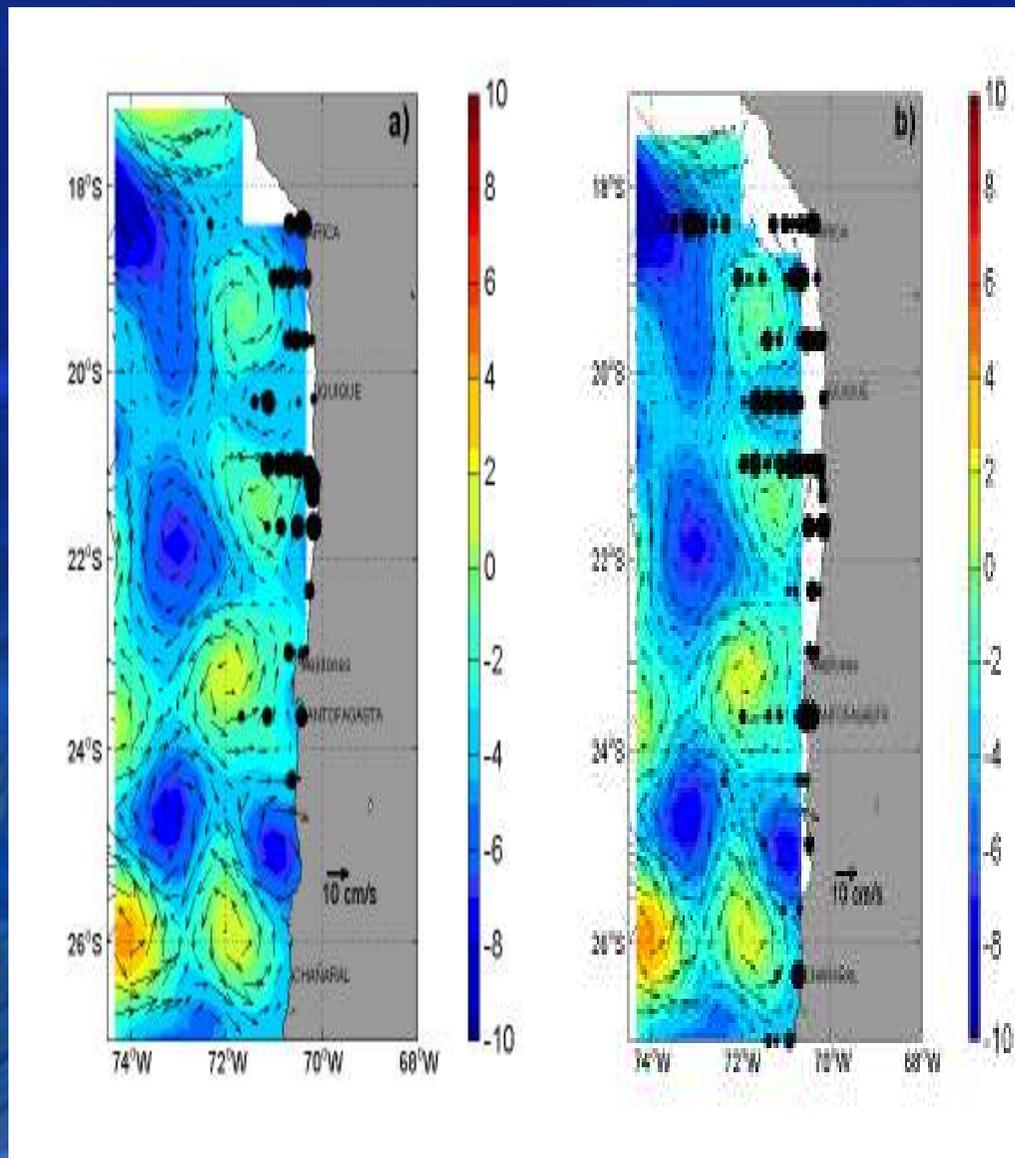




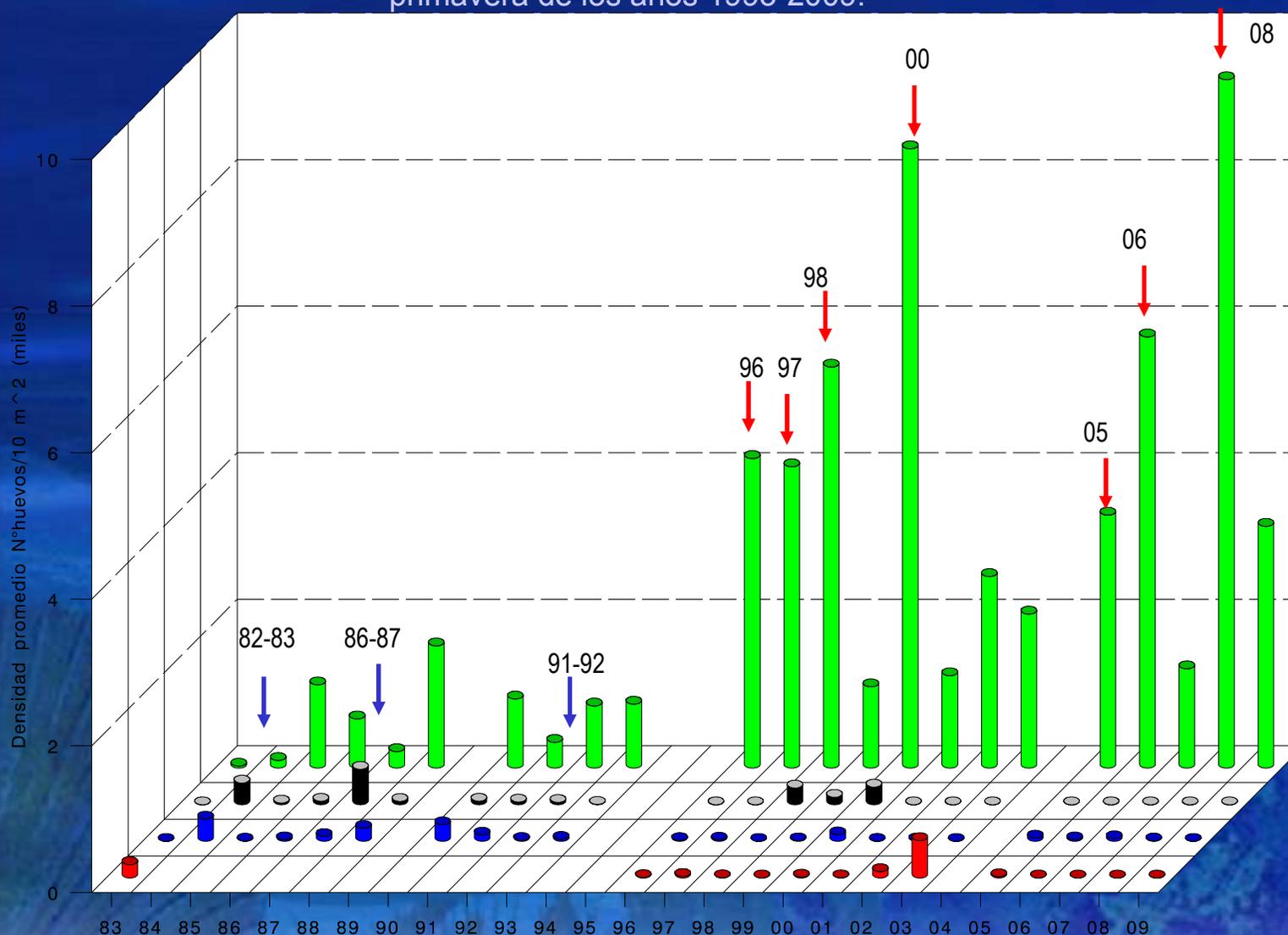
Distribución y abundancia de huevos y larvas de *M. gayi*. Crucero MOBIO Primavera 2009.



Distribución de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta en conjunto con las anomalías de nivel del mar y corrientes geostroficadas del día 19 de octubre, tomado como representativo de la circulación observada



Abundancia promedio de huevos de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en primavera de los años 1993-2009.

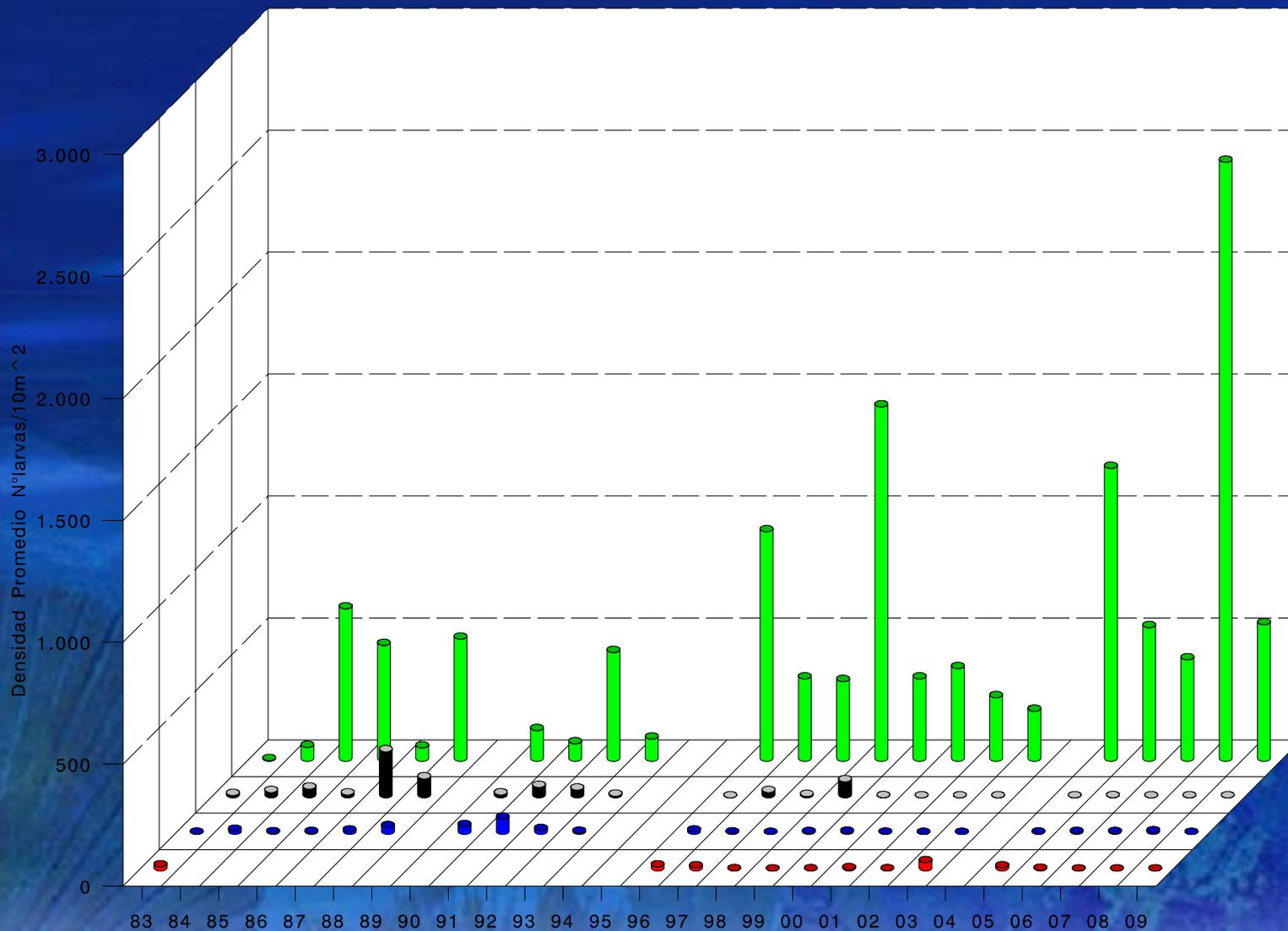


■ Caballa
 ■ Jurel
 ■ Sardina
 ■ Anchoveta



Figura 68

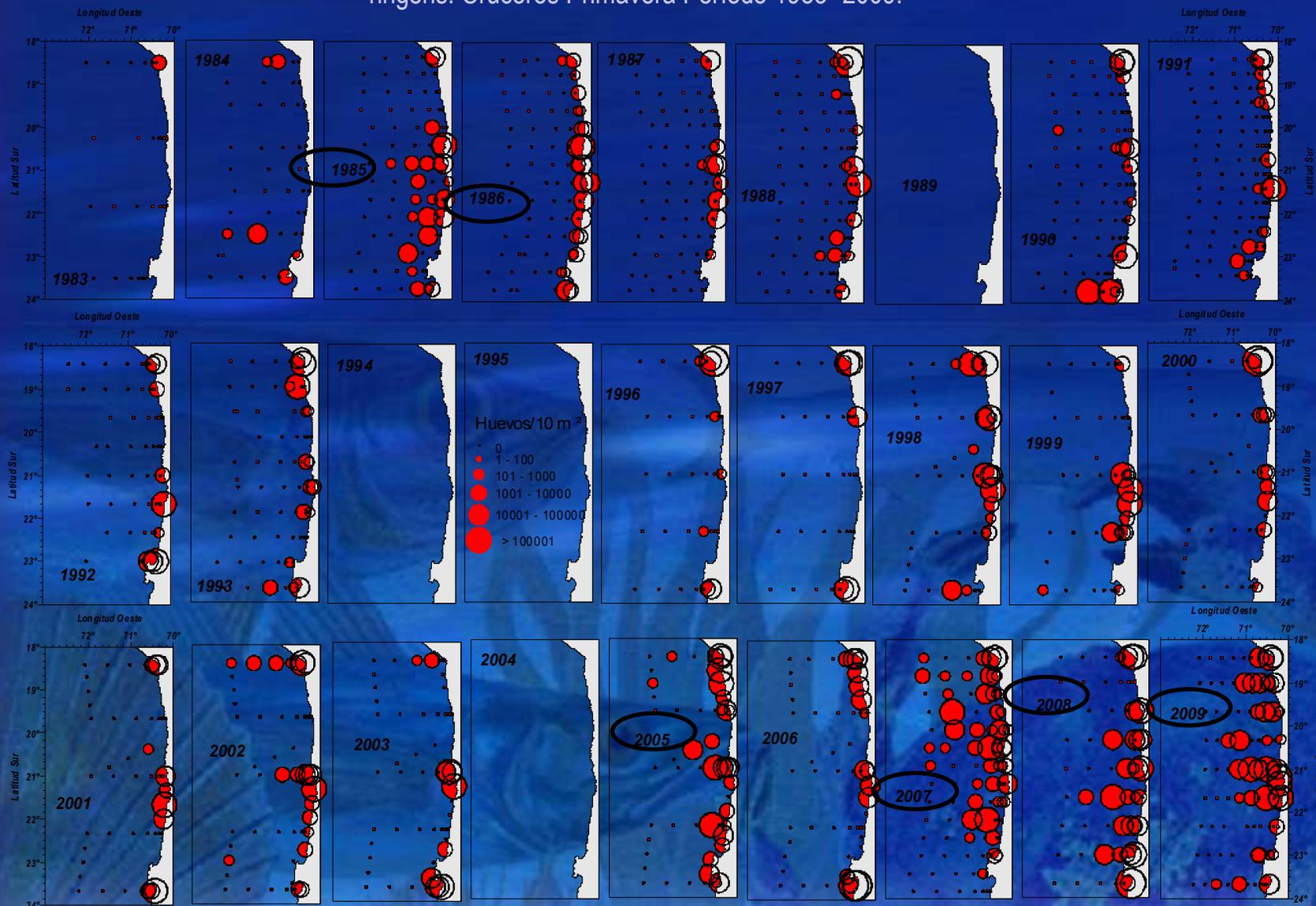
Abundancia promedio de larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa para la zona Antofagasta – Arica en primavera de los años 1993-2009.



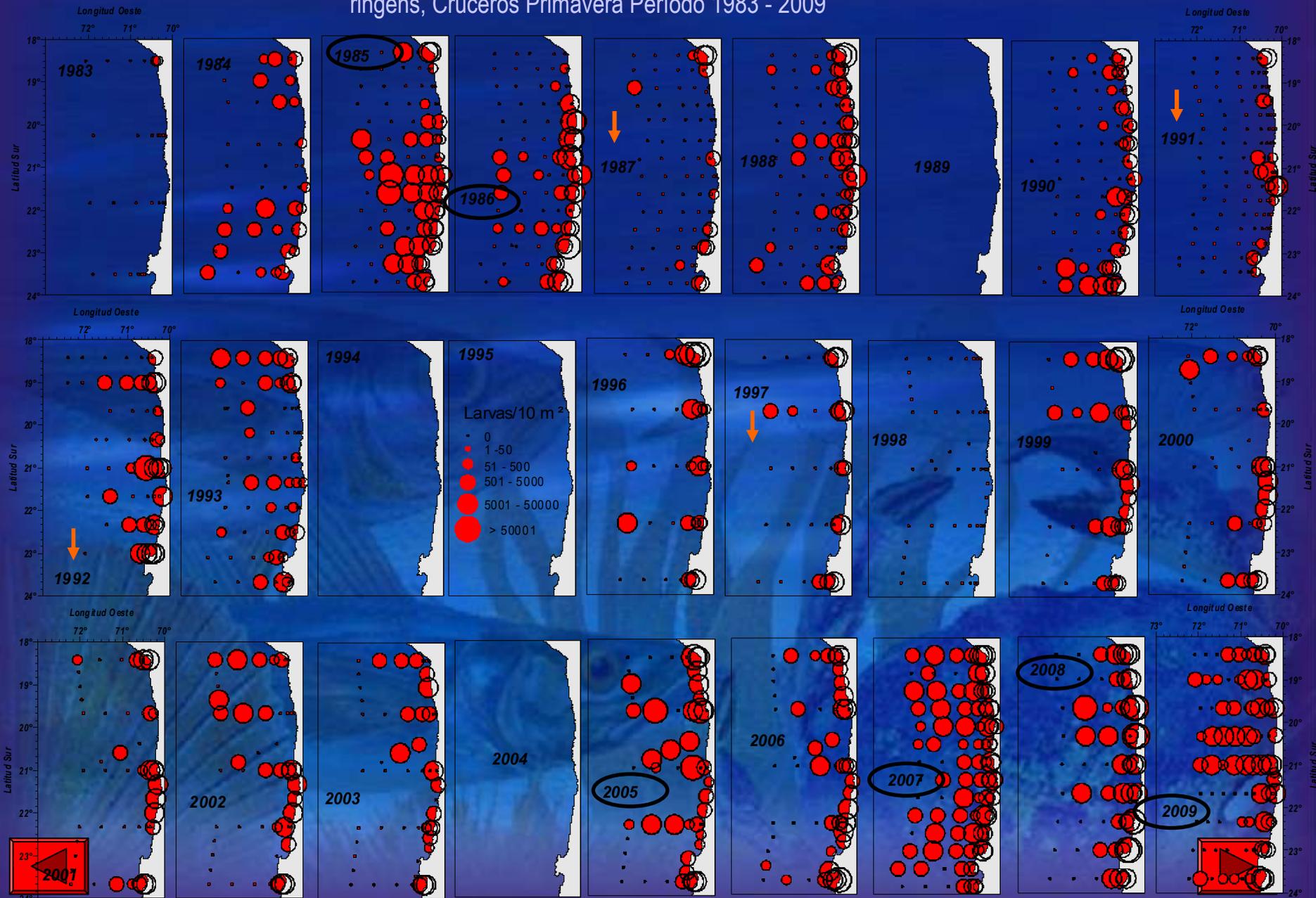
■ Caballa
 ■ Jurel
 ■ Sardina
 ■ Anchoveta



Distribución y abundancia de huevos de anchoveta, *Engraulis ringens*. Cruceros Primavera Período 1983- 2009.

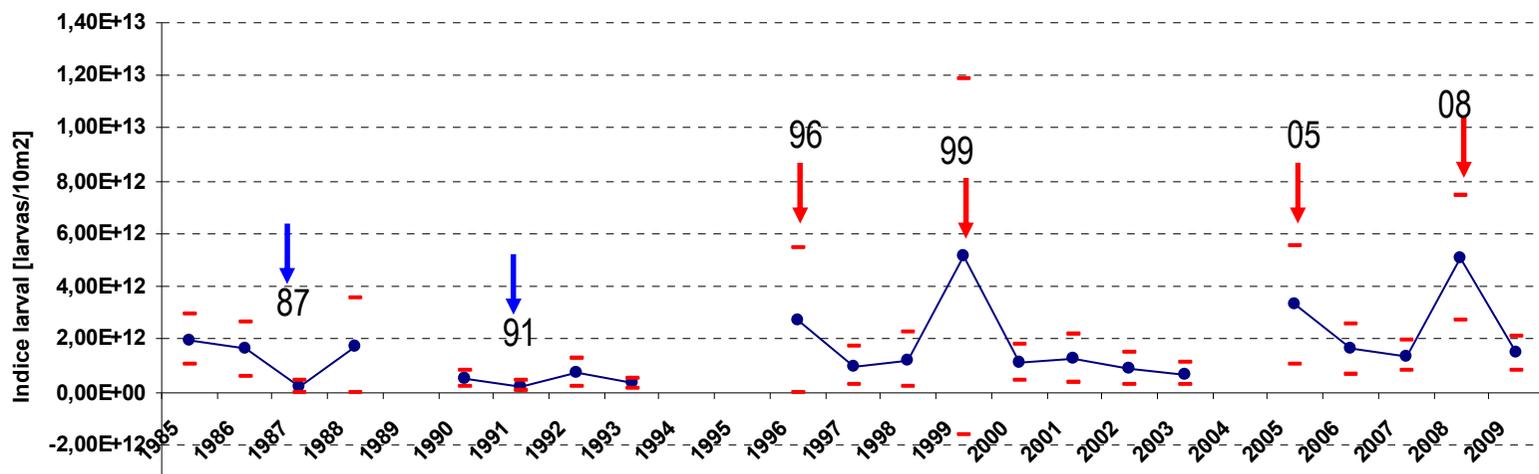


Distribución y abundancia de larvas de anchoveta, *Engraulis ringens*, Cruceros Primavera Período 1983 - 2009

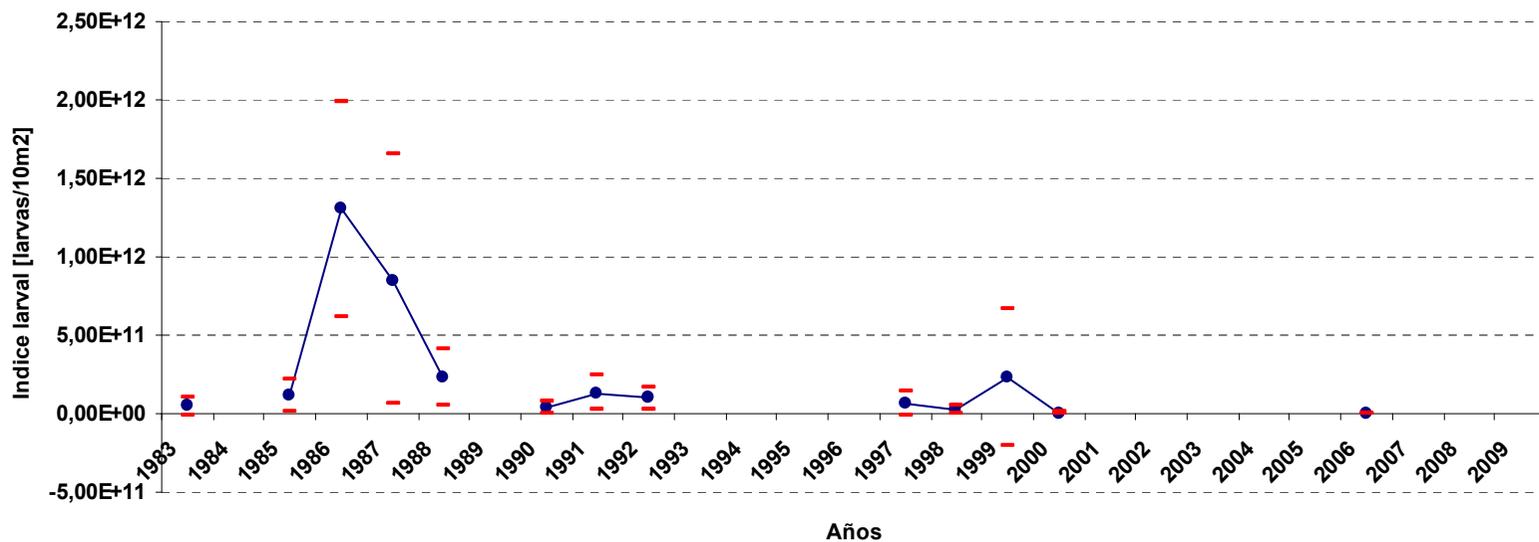


Indice de abundancia larval

Anchoveta



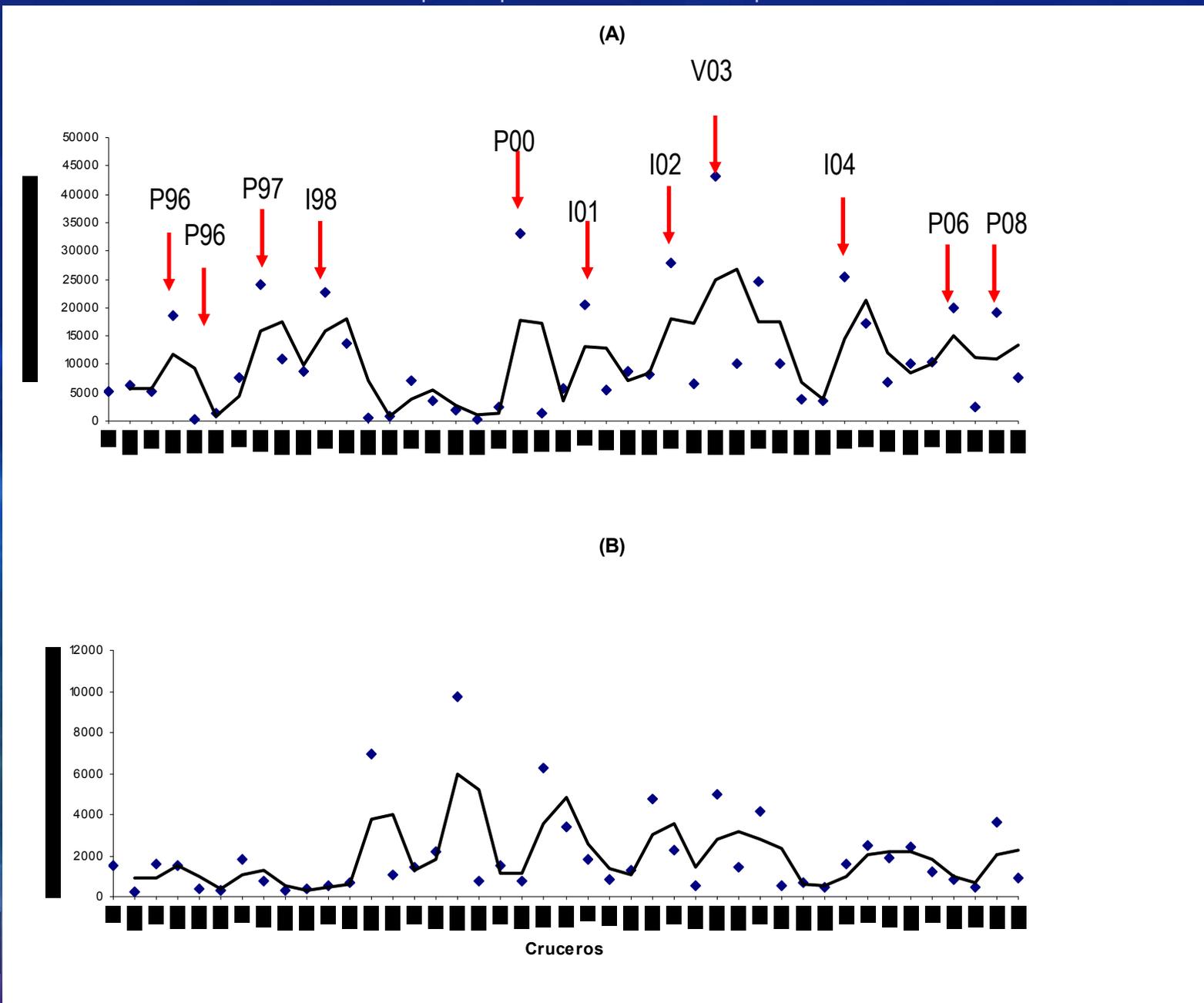
Sardina

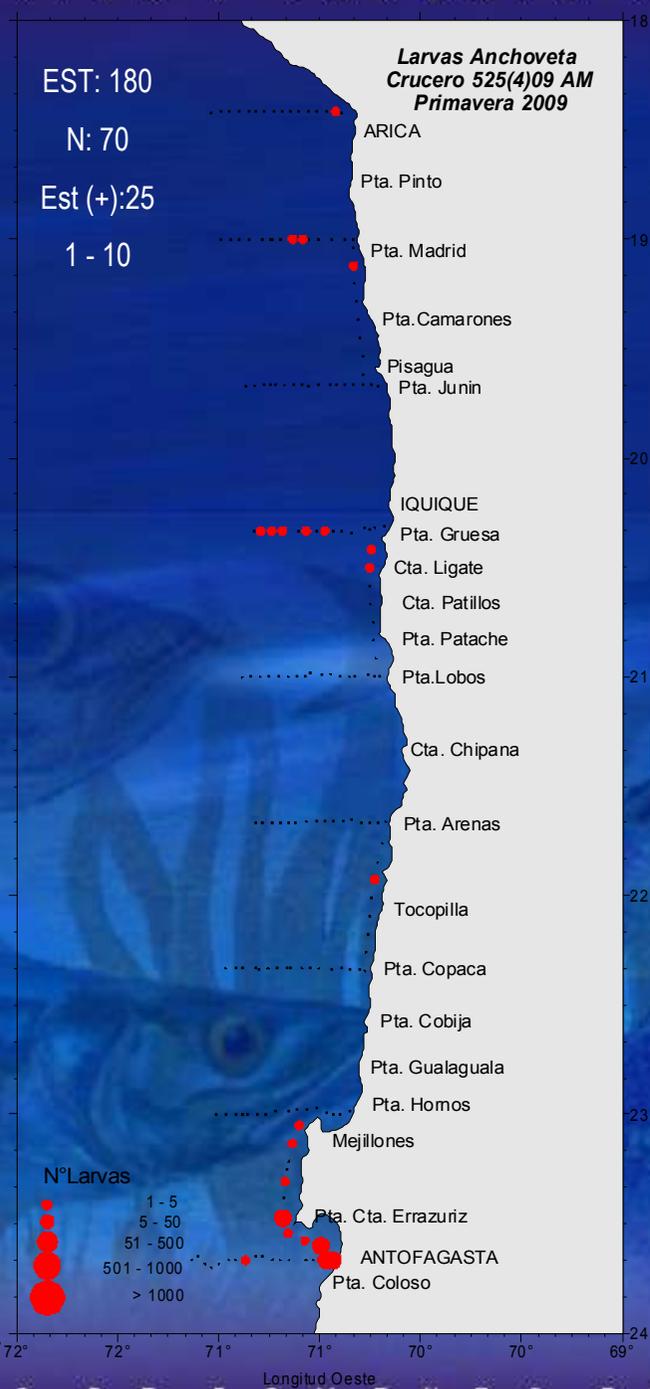
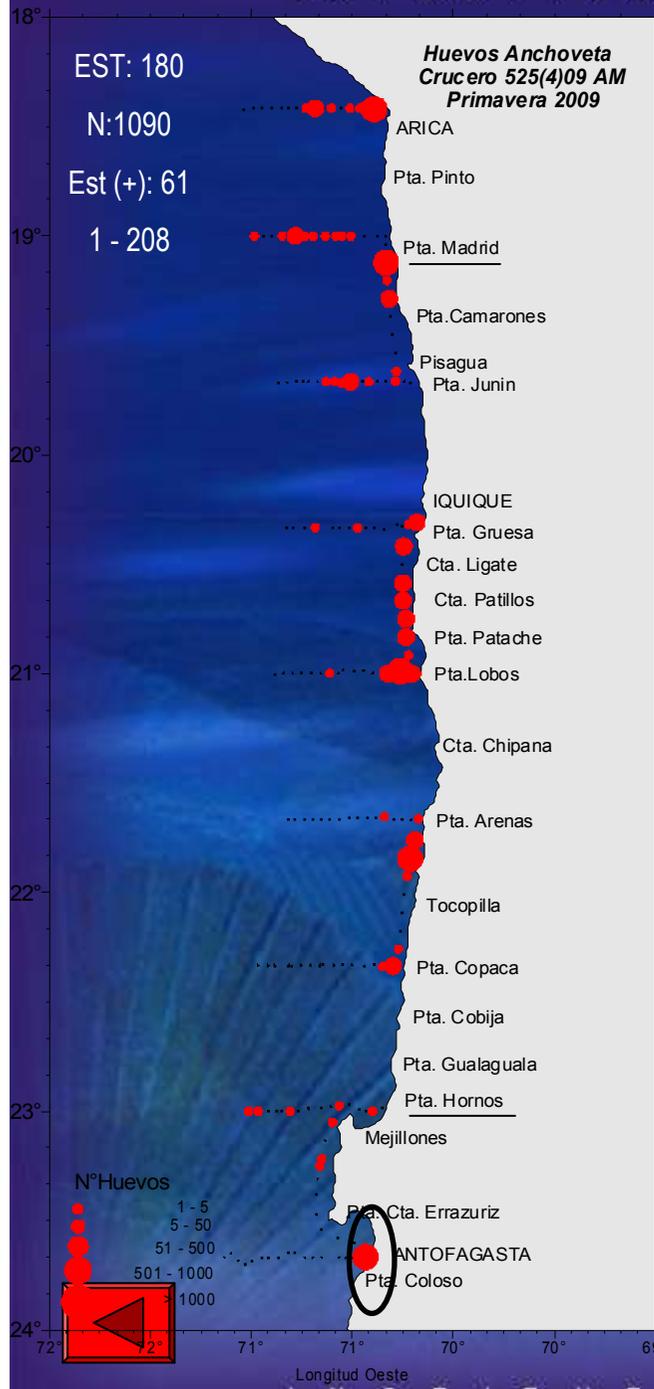


<71,3%



Variación temporal de la intensidad del desove de (A) huevos y (B) larvas de anchoveta para el período invierno 1995 – primavera 2009.





Distribución de huevos y larvas de anchoveta colectados con la bomba CUFES

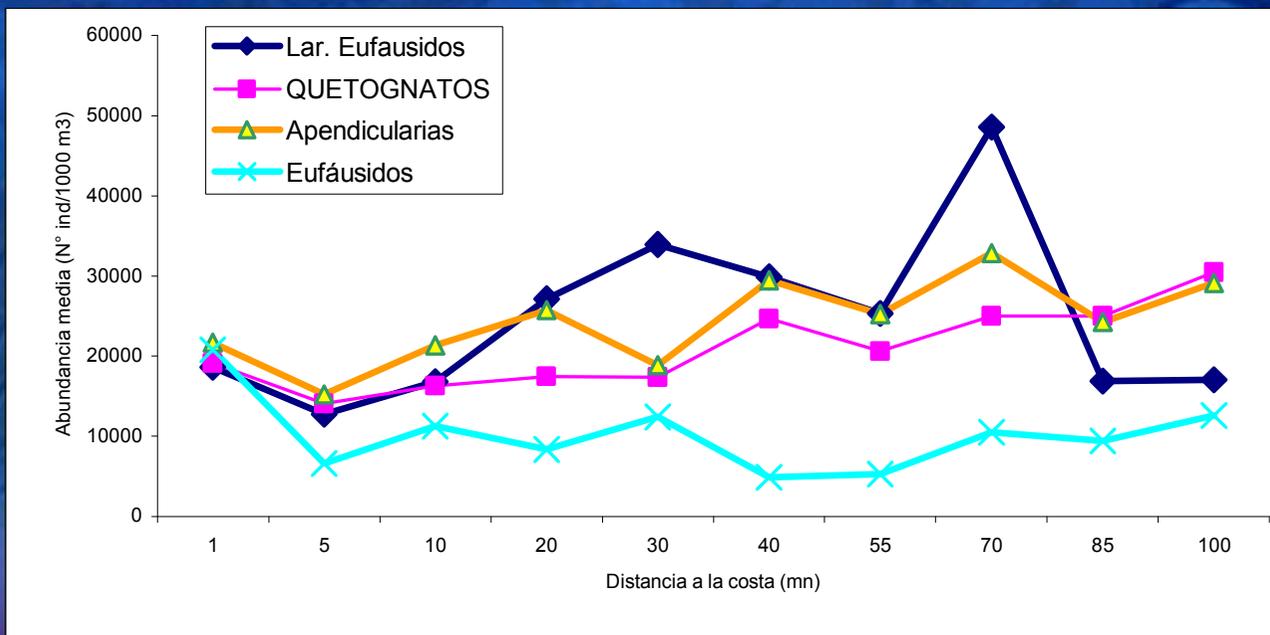
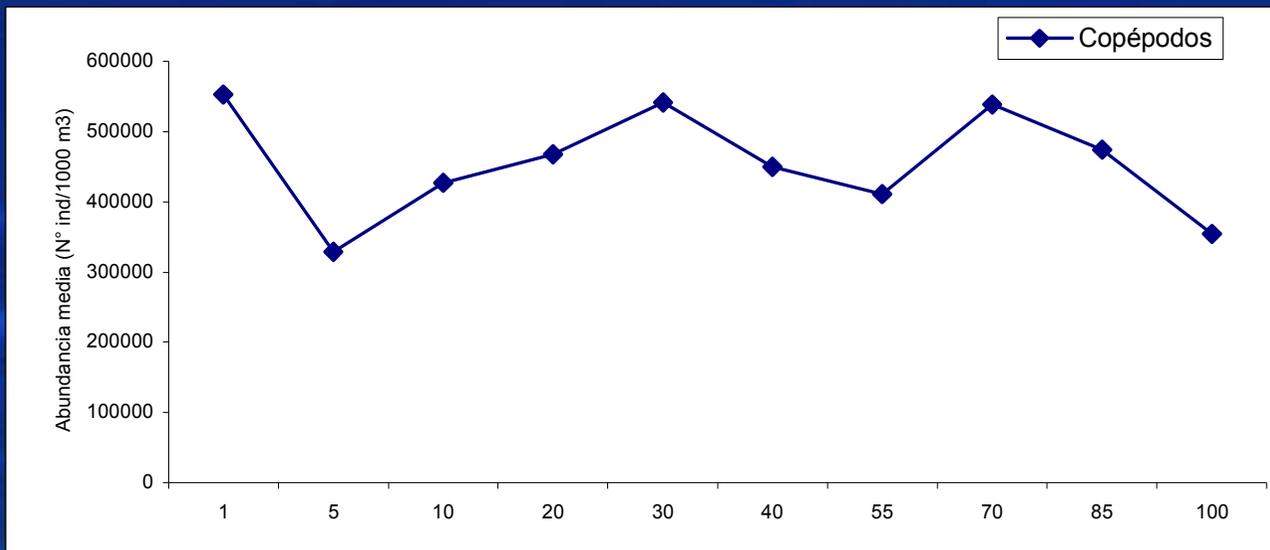
Latitud Sur

Macrozooplancton

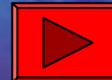
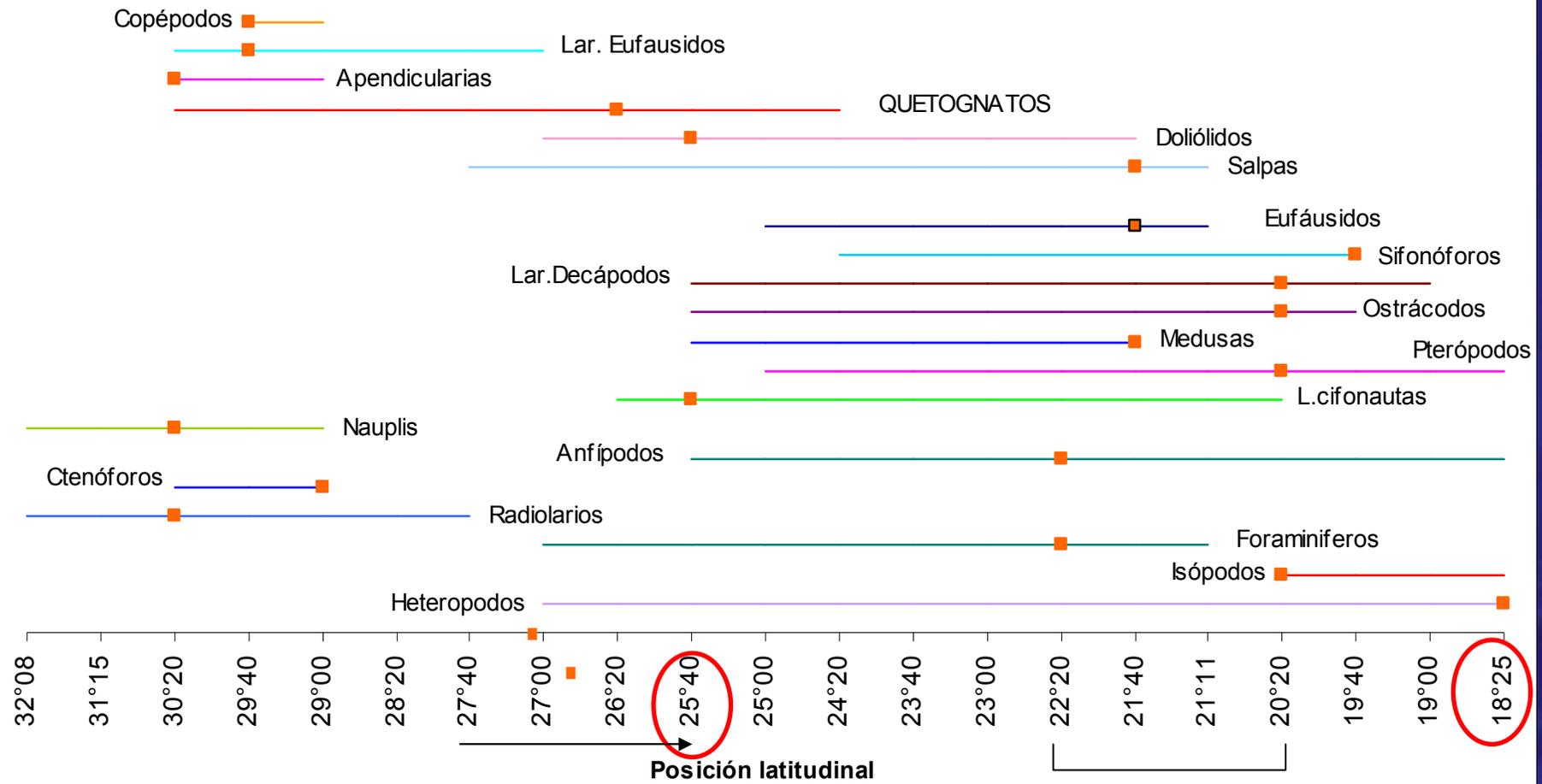
COPÉPODOS
APENDICULARIAS
LARVAS EUFAUSIDOS
QUETOGNATOS



Distribución de la abundancia promedio de los principales grupos zooplanctónicos con respecto a la distancia de la costa. Crucero MOBIO – Octubre 2009.



Rangos latitudinales donde se presentaron las agregaciones más altas de los diferentes grupos zooplancónicos (en colores) y posición latitudinal de sus abundancias máximas (). Crucero MOBIO – Octubre 2009



CONCLUSIONES

- En octubre de 2009, destacan tres sectores donde se observaron registros de huevos y larvas de manera recurrente. El primero, localizado en las inmediaciones del puerto de Arica; el segundo núcleo se ubicó en las proximidades de punta Lobos, siendo este el foco principal en términos espaciales y temporales y que además presenta las mayores densidades de huevos y larvas; y un tercer sector se emplaza frente al puerto de Antofagasta y se caracteriza por su extensión costera.
- Los principales focos de abundancia de huevos y larvas coinciden con las áreas de surgencias más relevantes del norte del país.

Presentación Modelos
Taller FIP N° 2009-38

Modelamiento estadístico de la densidad de huevos y larvas asociado a variables ambientales

FIP: 2009-38

**Juan Carlos Saavedra
N.**

Modelamiento estadístico

- Objetivo
- Método
- Análisis exploratorio
- Modelamiento huevos y larvas
- Conclusiones

Objetivo

Describir la distribución y abundancia del ictioplancton, incluyendo huevos y larvas de anchoveta en la zona de estudio, y su relación con las condiciones oceanográficas.

Caracterizar la relación entre las variables oceanográficas y la distribución de huevos y larvas de anchoveta.

Tabla 1. Número de estaciones y densidad de huevos y larvas de anchoveta.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Estaciones	35	47	42	47	47	50	53
Estac. sin huevos	29	28	29	35	36	30	42
Estac. con huevos	17%	40%	31%	26%	23%	40%	21%
Densidad media de huevos / 10 m ²	23.984	13.534	3.585	33.092	5.390	6.535	10.129
Estac. sin larvas	19	25	14	25	26	26	32
Estac. con larvas	46%	47%	67%	47%	45%	48%	40%
Densidad media de larvas / 10 m ²	739	698	2.180	723	851	543	518

	2005	2006	2007	2008	2009	Promedio
Estaciones	54	54	63	63	96	54
Estac. sin huevos	27	38	36	32	55	35
Estac. con huevos	50%	30%	43%	49%	43%	36%
Densidad media de huevos / 10 m ²	6.902	19.854	10.445	19.087	7.245	13.315
Estac. sin larvas	20	19	7	20	33	22
Estac. con larvas	63%	65%	89%	68%	66%	59%
Densidad media de larvas / 10 m ²	1.907	846	1.179	3.598	986	1.231

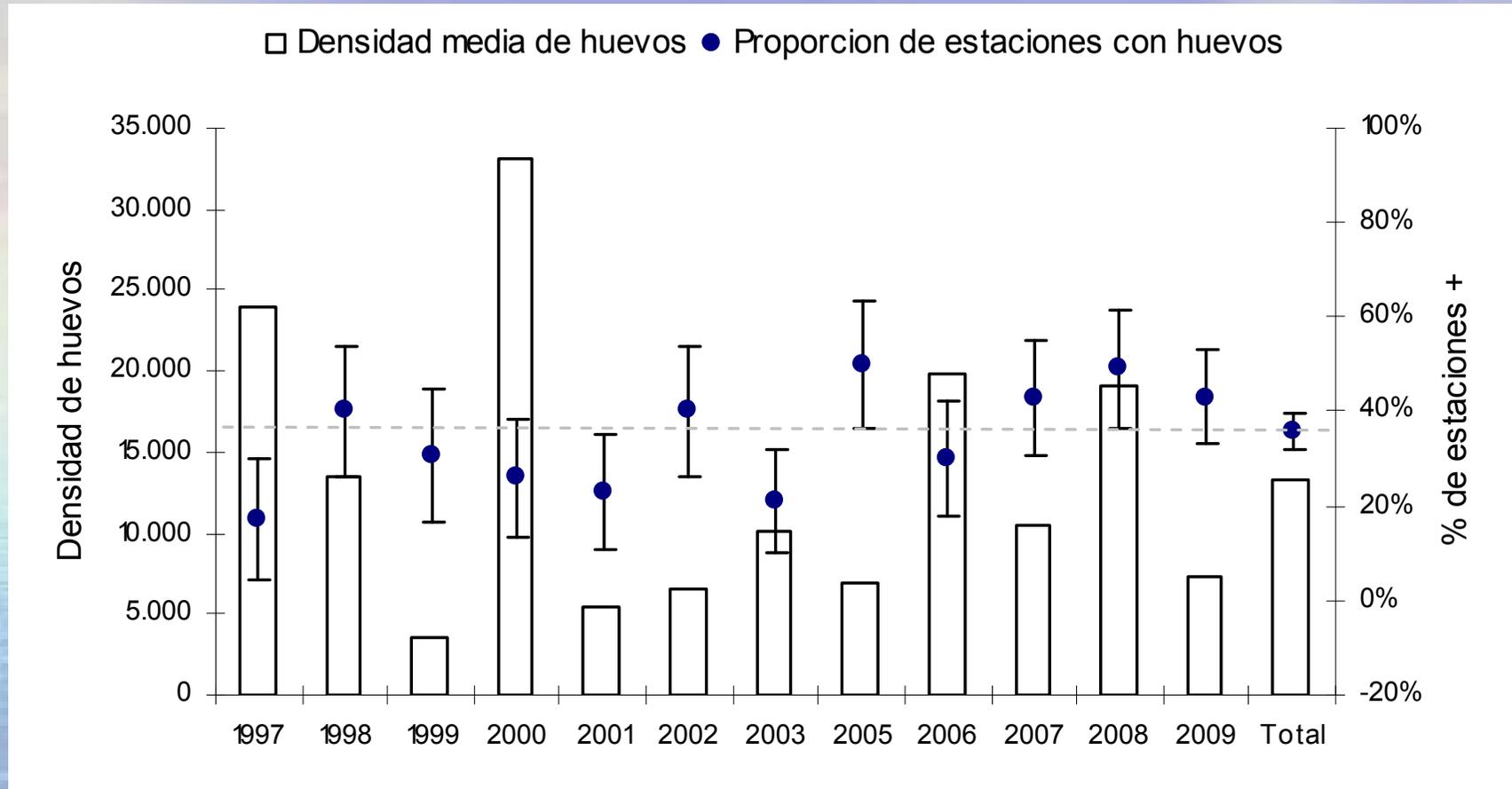


Figura 1. Densidad media y proporción de estaciones positivas con su intervalo de confianza para huevos de anchoveta, por crucero y total.

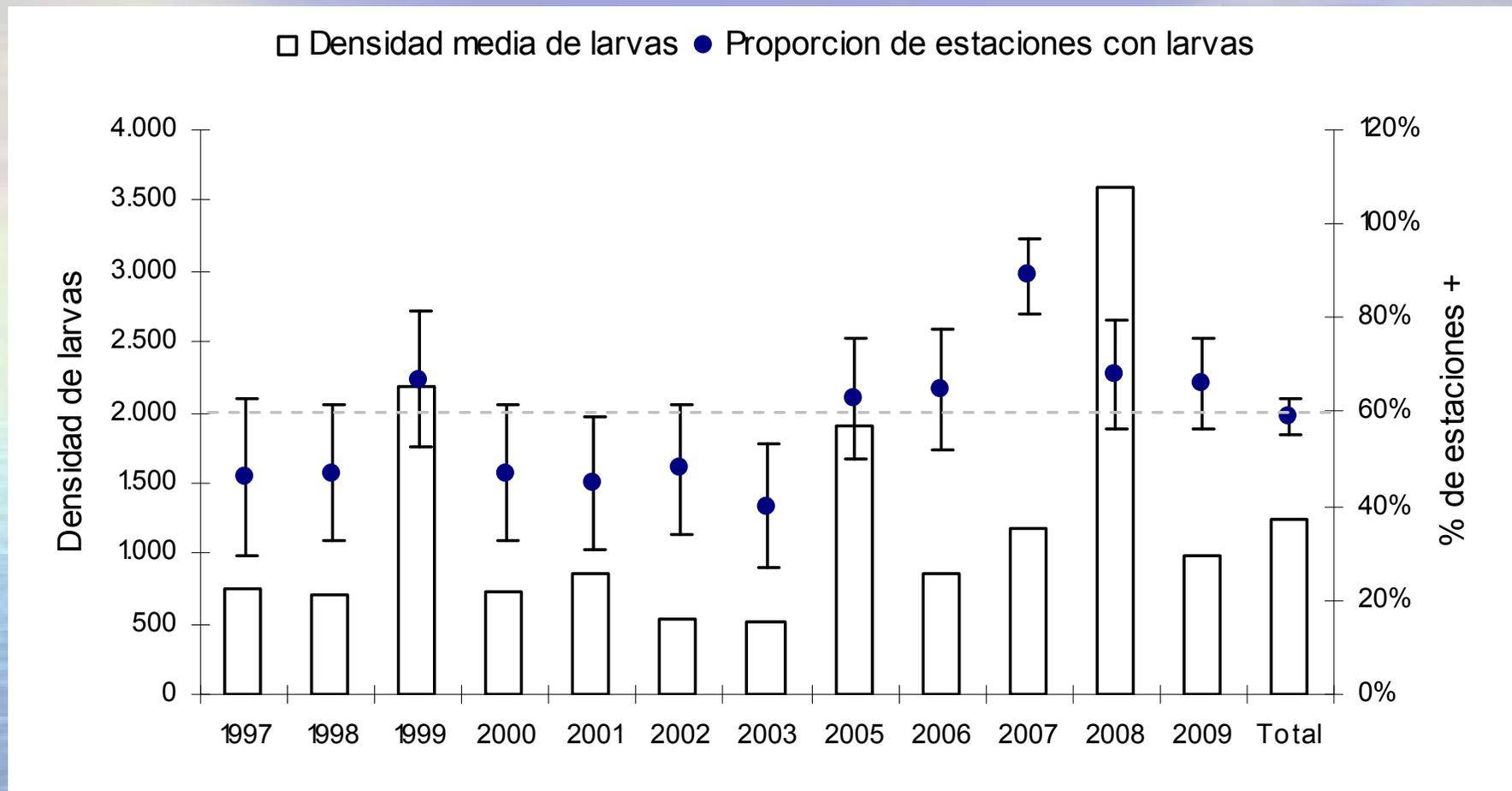


Figura 2. Densidad media y proporción de estaciones positivas con su intervalo de confianza para larvas de anchoveta, por crucero y total.

Modelo presencia de huevos

$$\eta = \beta_0 + s(LAT) + s(LON) + s(TSM) + s(SAL) + \text{Crucero}$$

Binomial huevos				
Predictores	edf	Ref.df	F	p-value
Año	11		2,958	< 0,01
s(Lat)	7,5	8,2	6,15	< 0,01
s(Lon)	1,9	2,4	36,36	< 0,01
s(TSM)	2,7	3,4	2,90	< 0,05
s(Sal)	1,0	1,0	0,21	0,650
Pseudo R2 (36,7 %)				

Modelo presencia de larvas

$$\eta = \beta_0 + s(LAT) + s(LON) + s(TSM) + s(SAL) + Crucero$$

Binomial larvas				
Predictores	edf	Ref.df	F	p-value
Año	11		35,3	< 0,01
s(Lat)	2,5	3,1	24,14	< 0,01
s(Lon)	1,0	1,0	61,23	< 0,01
s(TSM)	1,8	2,3	2,21	0,388
s(Sal)	6,2	7,4	22,25	< 0,01
Pseudo R2 (30,3 %)				

Modelo densidad de huevos

$$\eta = \beta_0 + s(LAT) + s(LON) + s(TSM) + s(SAL) + Crucero$$

Lognormal huevos				
Predictores	edf	Ref.df	F	p-value
Año	11		1,428	0,162
s(Lat)	4,8	5,8	2,47	< 0,05
s(Lon)	1,0	1,0	8,53	< 0,01
s(TSM)	2,9	3,7	1,42	0,232
s(Sal)	1,0	1,0	1,53	0,218
Pseudo R2 (22,1 %)				

Modelo densidad de larvas

$$\eta = \beta_0 + s(LAT) + s(LON) + s(TSM) + s(SAL) + Crucero$$

Lognormal larvas				
Predictores	edf	Ref.df	F	p-value
Año	11		3,676	< 0,01
s(Lat)	5,8	6,9	1,68	0,114
s(Lon)	4,2	5,1	3,06	< 0,01
s(TSM)	1,0	1,0	2,04	0,154
s(Sal)	1,4	1,7	0,62	0,514
Pseudo R2 (19,3 %)				

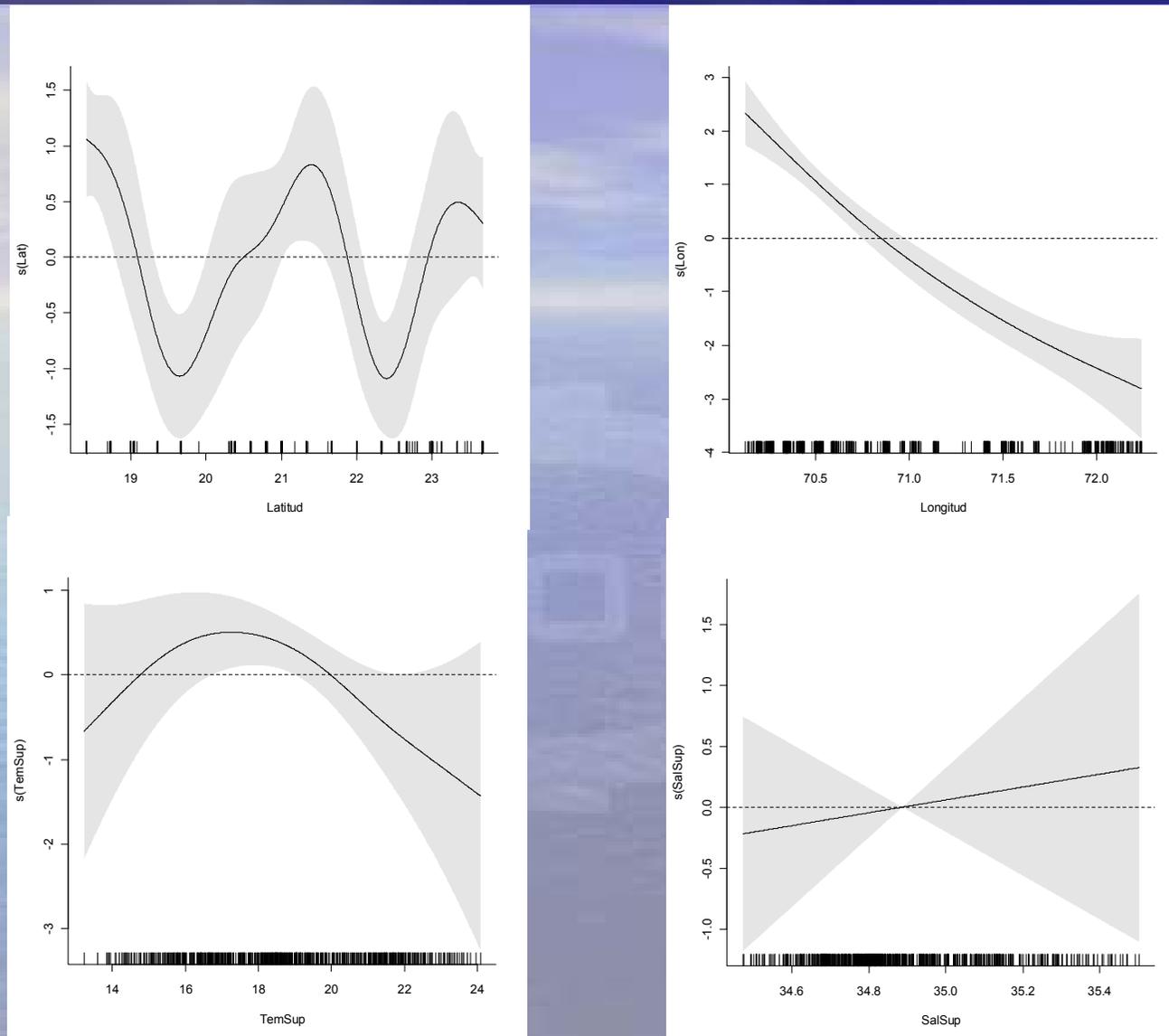


Figura 3. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia de huevos por estación.

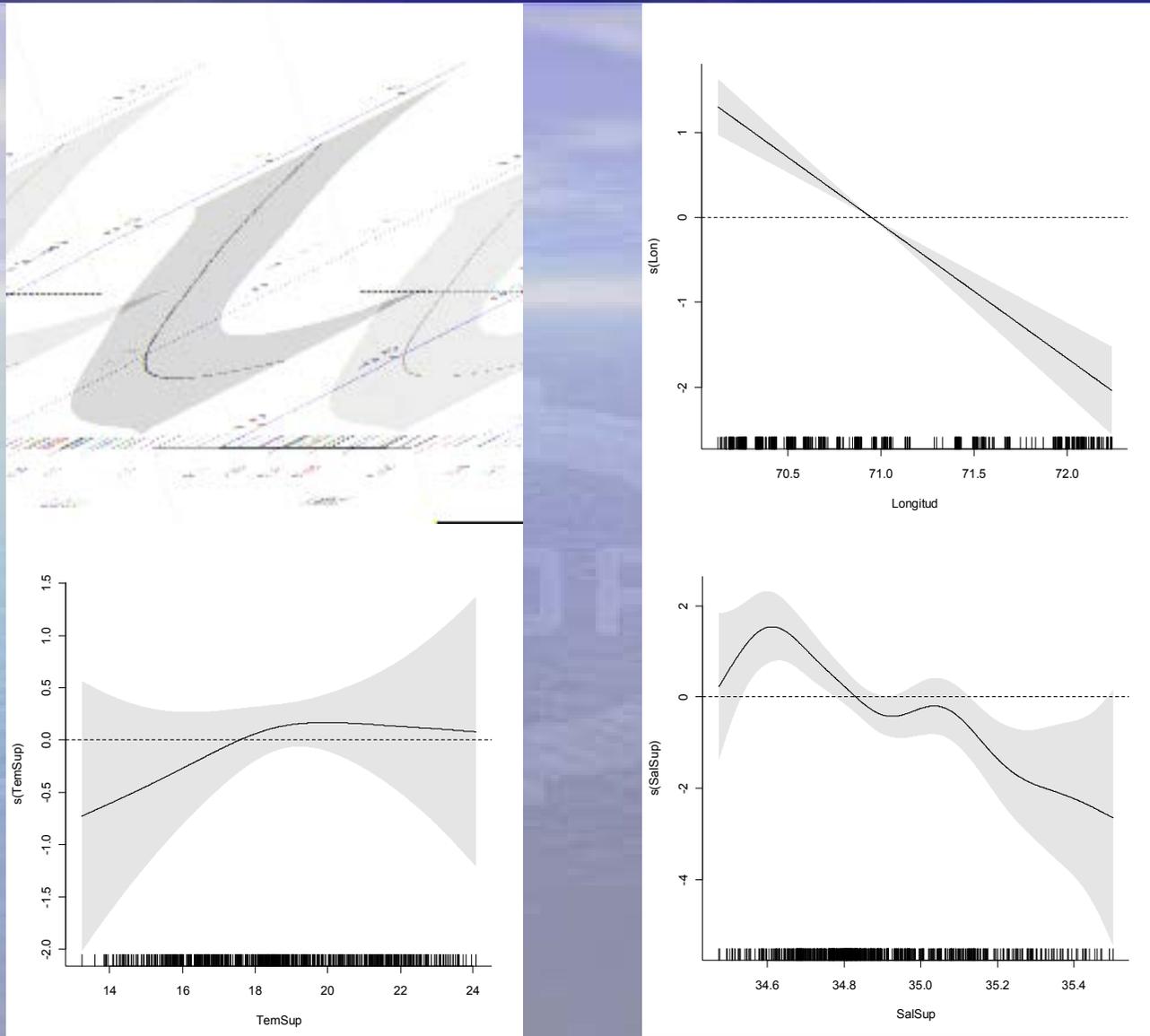


Figura 4. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable presencia de larvas por estación.

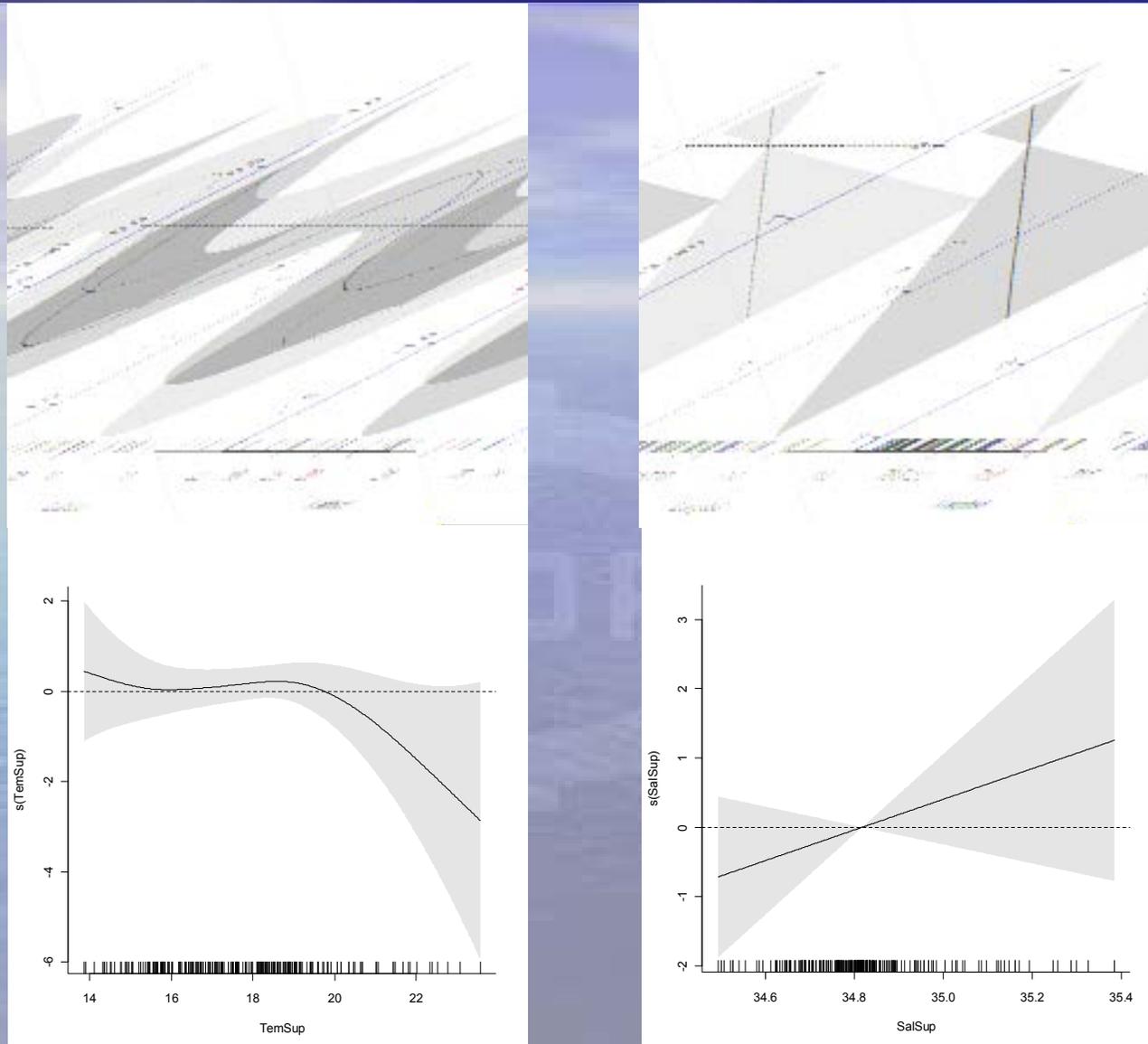


Figura 5. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable densidad de huevos.

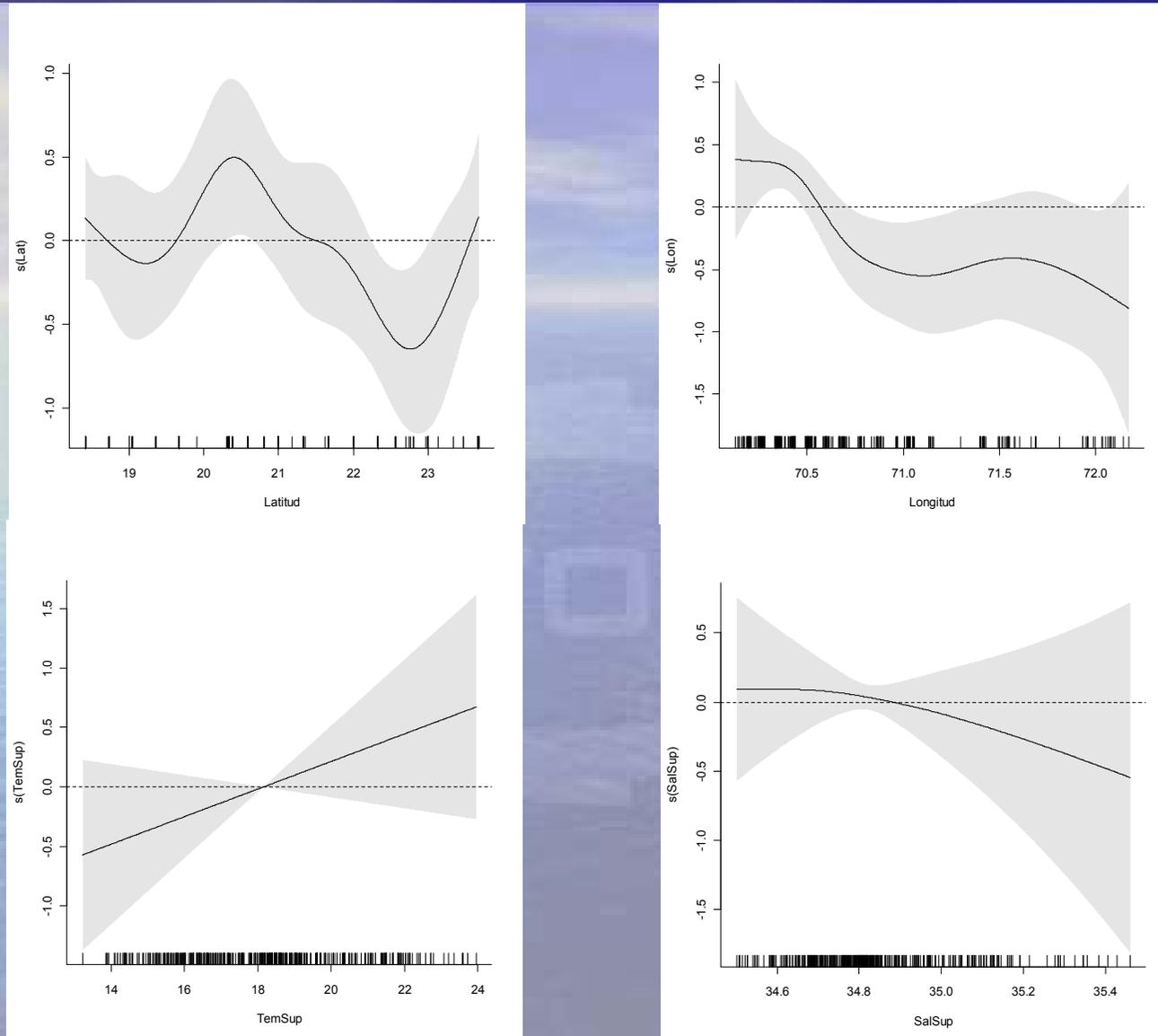


Figura 6. Efectos de los predictores latitud (Lat), longitud (Lon), temperatura (TSM) y salinidad (Sal) superficial sobre la variable densidad de larvas.

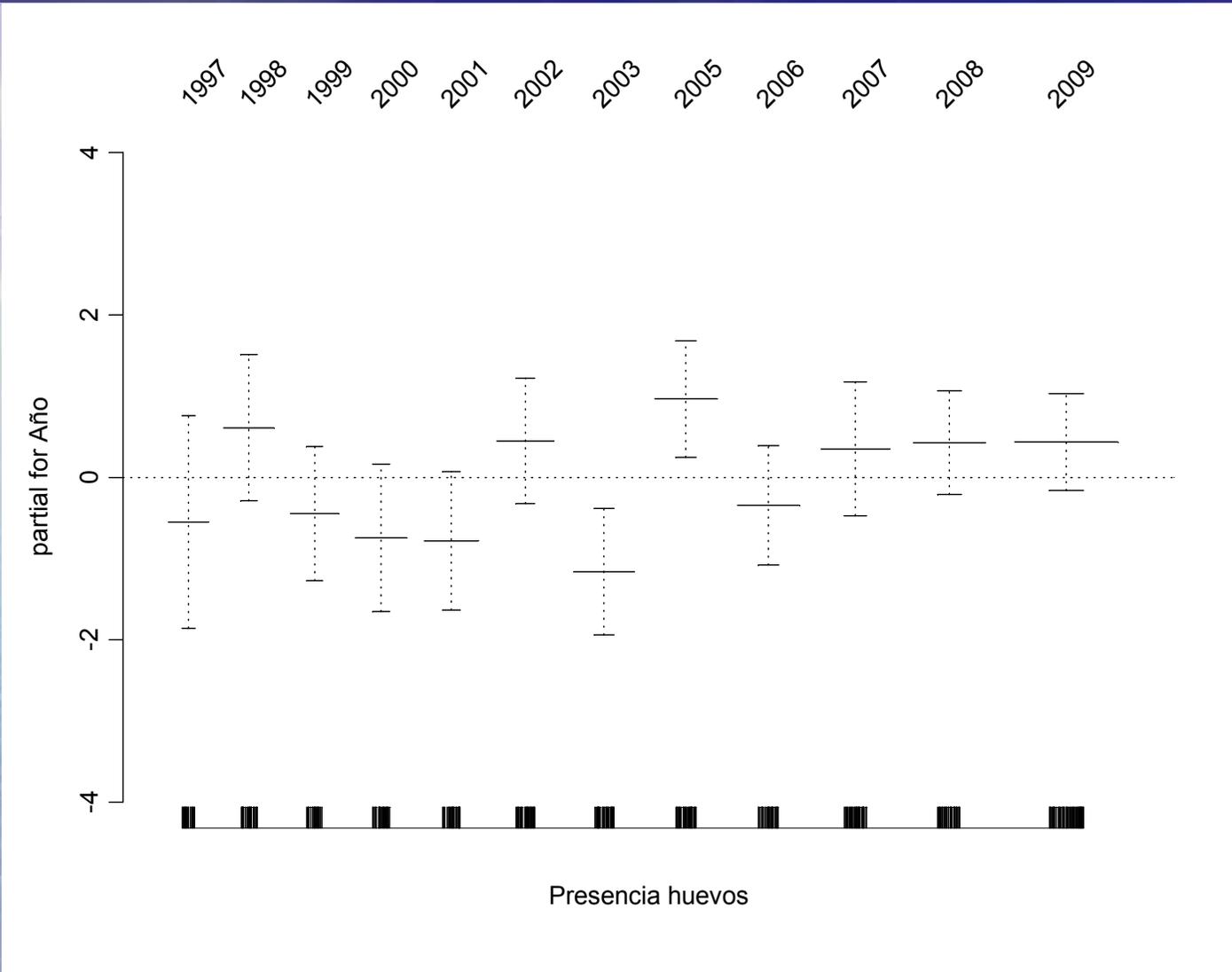


Figura 7. Tendencias de los índices por crucero (obtenidos a través de los GAMs) de la presencia de huevos. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza.

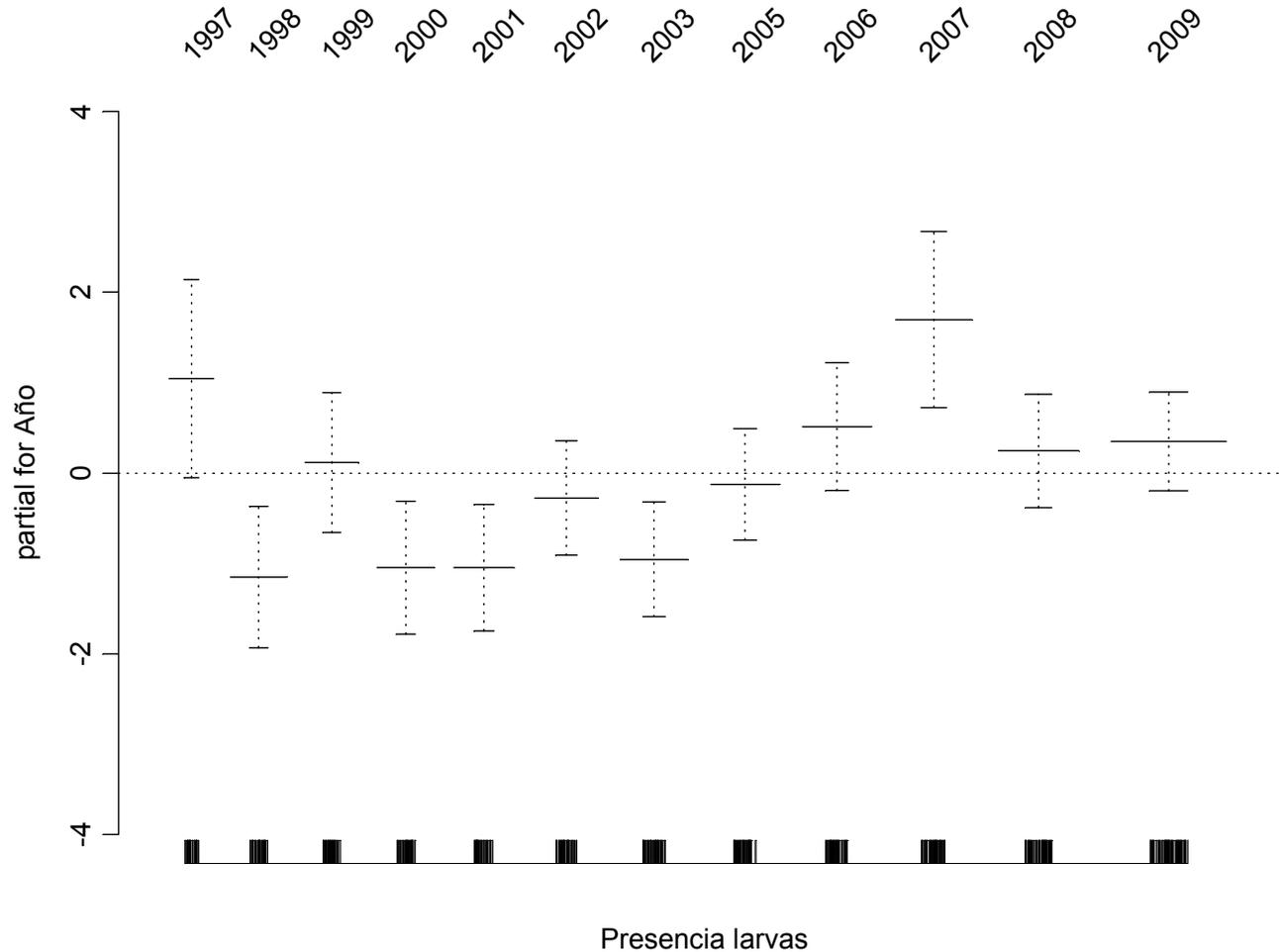


Figura 8. Tendencias de los índices por crucero (obtenidos a través de los GAMs) de la presencia de larvas. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza.

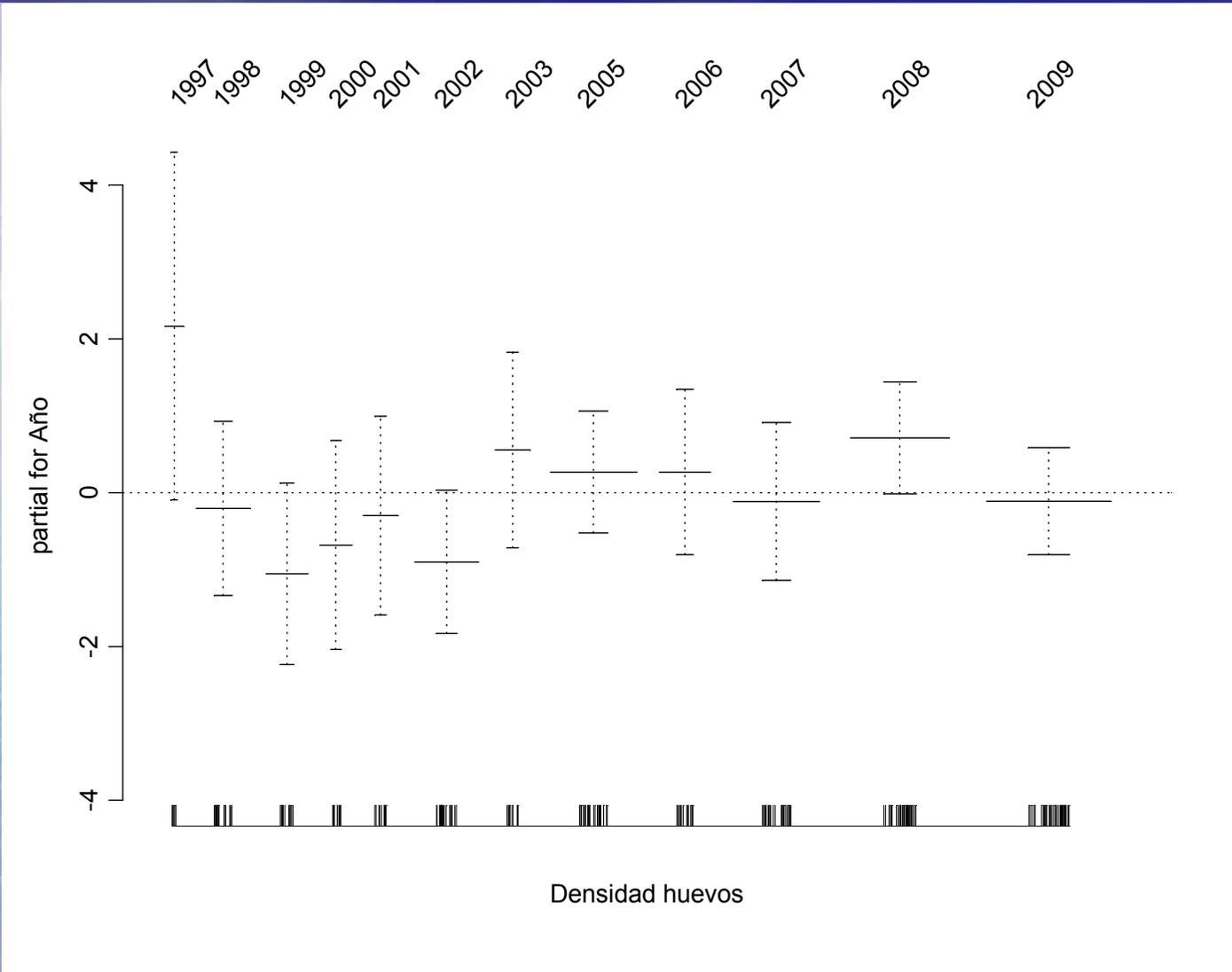


Figura 9. Tendencias de los índices por crucero (obtenidos a través de los GAMs) de la densidad de huevos. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza.

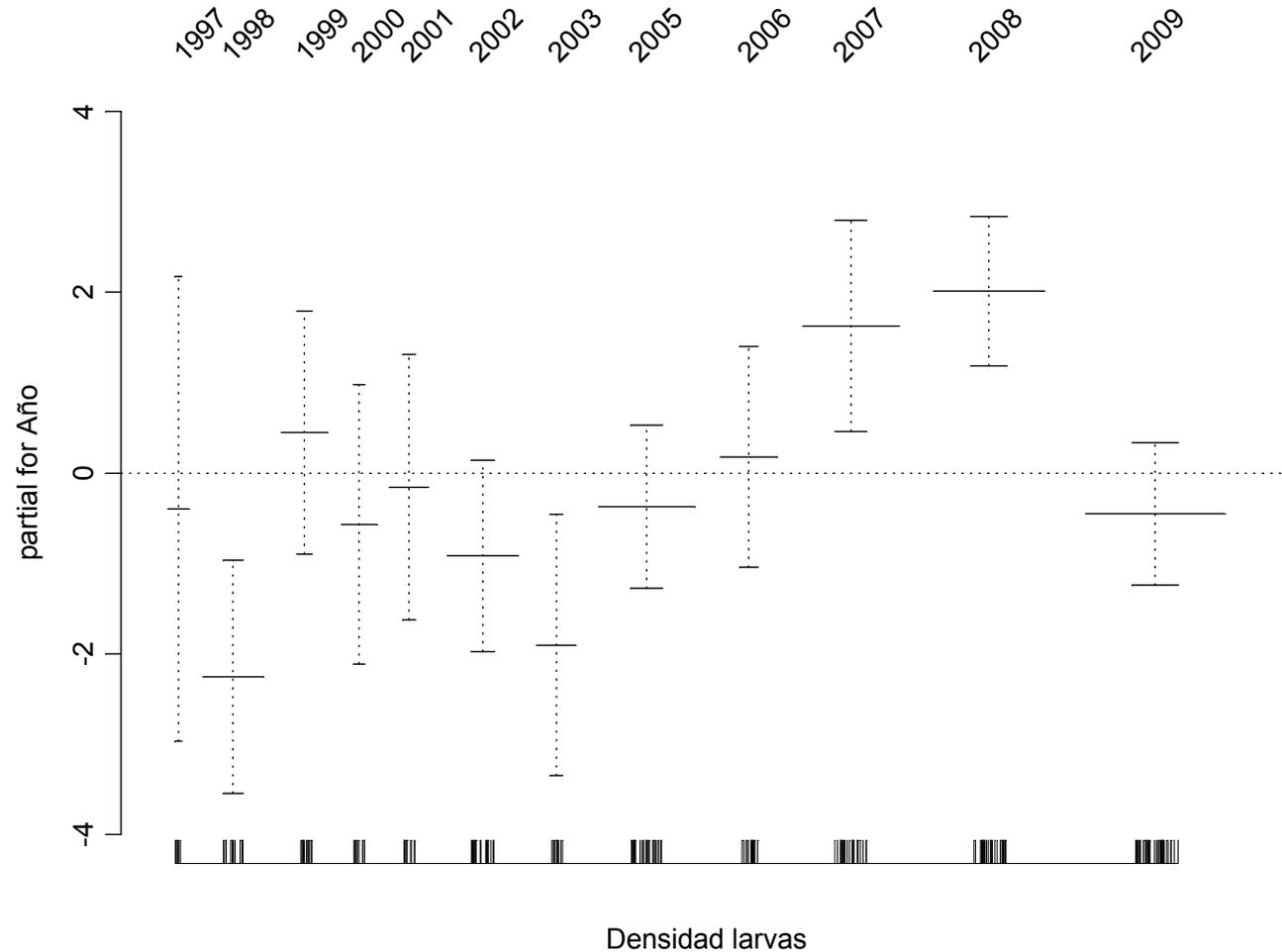


Figura 8. Tendencias de los índices por crucero (obtenidos a través de los GAMs) de la densidad de larvas. Líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza.

Método

- Modelos Aditivos Generalizados (GAM)
- Variables y Covariables
- Supuestos Distribucionales

- Modelar la relación entre variables oceanográficas y la distribución de huevos y larvas.
- Naturaleza no lineal de los predictores.
- Definición:

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

$\eta = g(*)$: Función de enlace, $y \sim$ F.E., x_k k-ésima covariable,
 β_0 intercepto y $S_k(*)$ es una función de suavizamiento.

- **Variables a modelar:**

Presencia (huevos/larvas)

Densidad (número/10 m²)

- **Covariables del modelo:**

Localización (Latitud, Longitud)

Oceanográficas (Salinidad, Temperatura)

Factor Estacional (12 Cruceros)

- **Presencia**

\sim : Binomial

η : logit = $\log(p/(1-p))$

- **Densidad** (número/10 m²)

\sim : Lognormal ($p > 0,1$)

η : Identidad

Modelamiento Huevos

- Presencia
- Densidad

Modelamiento Larvas

- Presencia
- Densidad

Conclusiones

1. El uso de GAM dejó en evidencia la relación no lineal entre algunos de los factores de localización y oceanográficos y la presencia y densidad de huevos y larvas de anchoveta en la zona norte del país.
2. Los modelos propuestos son capaces de explicar una fracción de la variabilidad en los datos.

(continuación)

El efecto de la funciones suavizadas indican:

3. Si bien el desove se produce en todo el rango latitudinal analizado, el área norte y centro presentarían condiciones más favorable para la presencia en mayores densidades de huevos y larvas.
4. Se confirma claramente es que éste es un proceso costero, longitudes localizadas al este de los 71° W tienen un impacto positivo gradual sobre la presencia y la densidad de huevos y larvas.

(continuación)

En cuanto a las condiciones oceanográficas:

5. En cuanto a las condiciones oceanográficas, éstas resultaron ser significativas sólo en el modelamiento de la presencia de huevos o larvas
6. Temperaturas entre los 16° y 20° C favorecieron la presencia de huevos de anchoveta.
7. Salinidades inferiores a los 34,8 psu ejercen un efecto positivo sobre la presencia de larvas.

(continuación)

8. El análisis integrado de los cruceros estacionales, indica que las mayores probabilidades de éxito de encontrar huevos y larvas de anchoveta correspondieron a los últimos tres años, con diferencias no significativas en las densidades de huevos y con una disminución en el último año en las densidades de larva.

Presentación Nutrientes
Taller FIP N° 2009-38



“Monitoreo de las Condiciones Bio-Oceanográficas entre la XV Y IV Regiones, Año 2009”.

Concentración y Distribución Espacial de Nutrientes.

Liliana Herrera C. Edgardo Santander P.
Jeannelle Jaque B.

FIP 2009-38

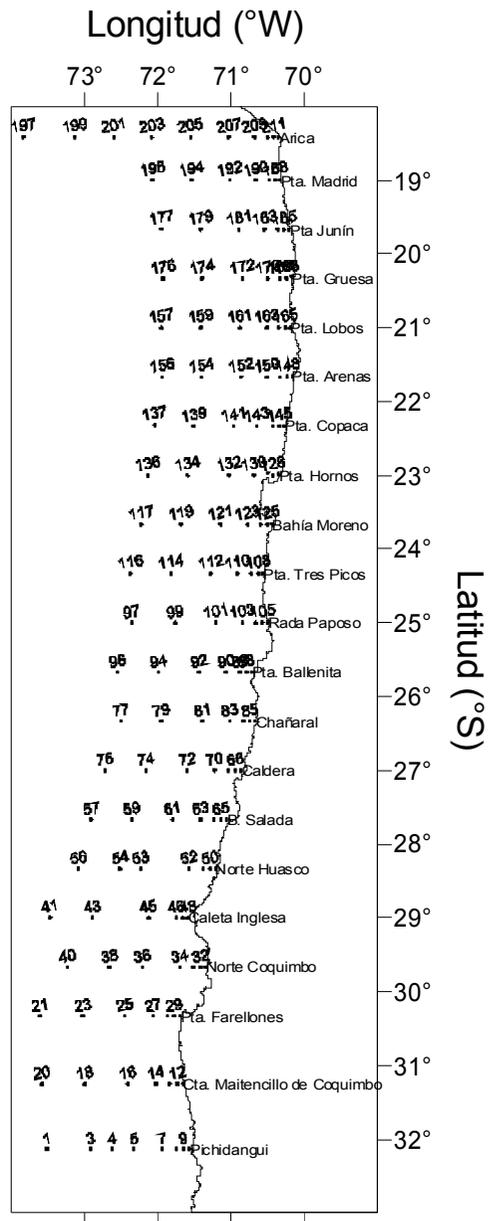


OBJETIVOS

- Caracterizar la distribución espacial de nutrientes entre la XV y IV regiones.
 - Amonio, nitrito, nitrato, fosfato y silicato.
 - Variabilidad horizontal, latitudinal y longitudinal.
 - Variabilidad vertical.



MATERIAL Y METODOS



✓ 18°25'S - 32°08'S, 05-29 octubre de 2009.

✓ 21 transectas, estaciones 1-100 mn, Arica 200 mn.

✓ Muestras 0, 10, 25, 50, 75, 100 y 200 m.



Analisis de Muestras e Información

- Amonio a bordo (Holmes *et al.*, 1999; Parsons *et al.*, 1984).
- Nitrito, nitrato, fosfato y silicato laboratorio (Grasshoff *et al.*, 1999; Parsons *et al.*, 1984).
- Análisis distribución horizontal.
- Distribución vertical examinada en secciones transversales de transectas con focos de alta concentración.
- Análisis de Varianza No Paramétrico: Prueba de Kruskal-Wallis.

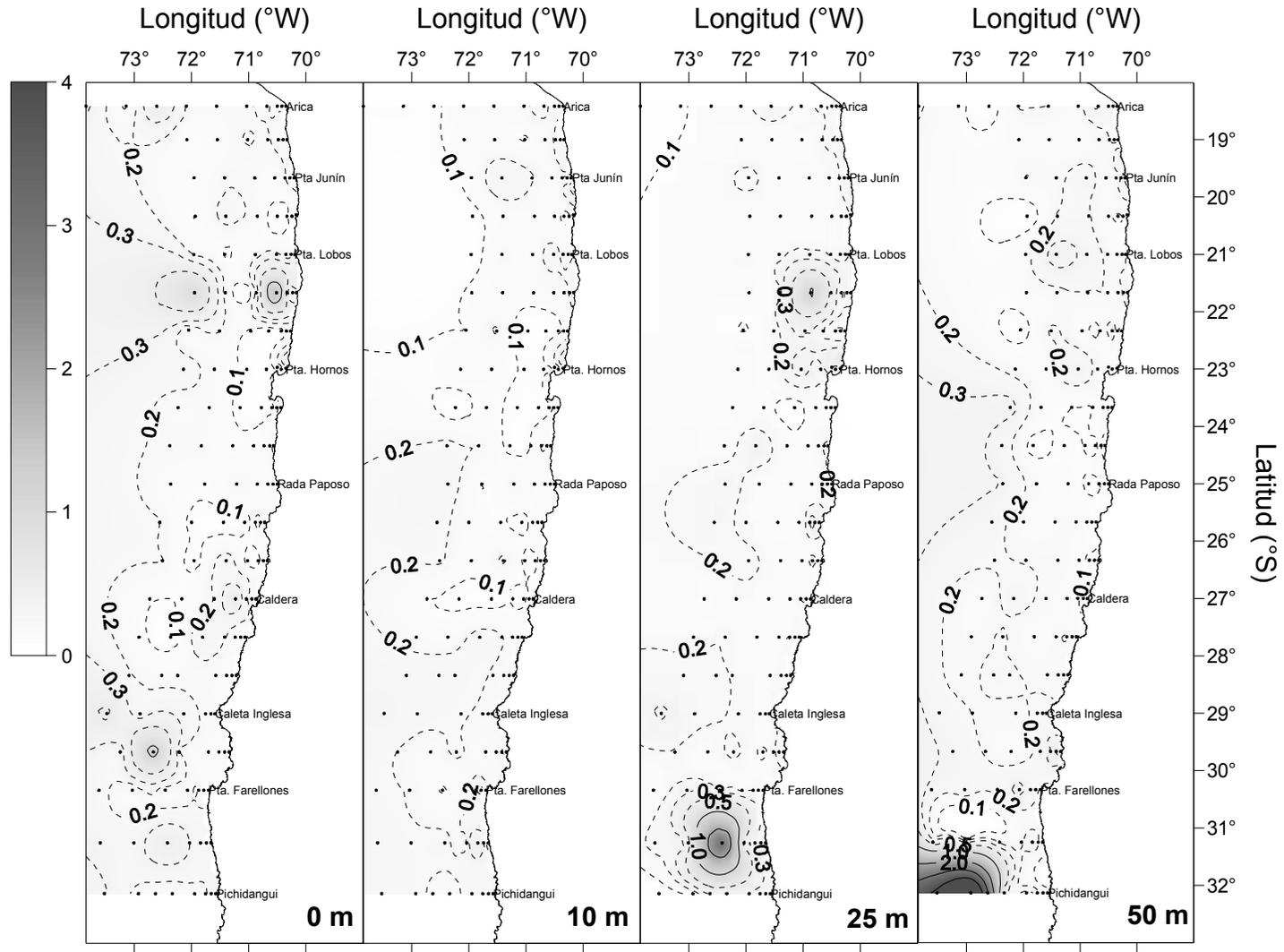


RESULTADOS

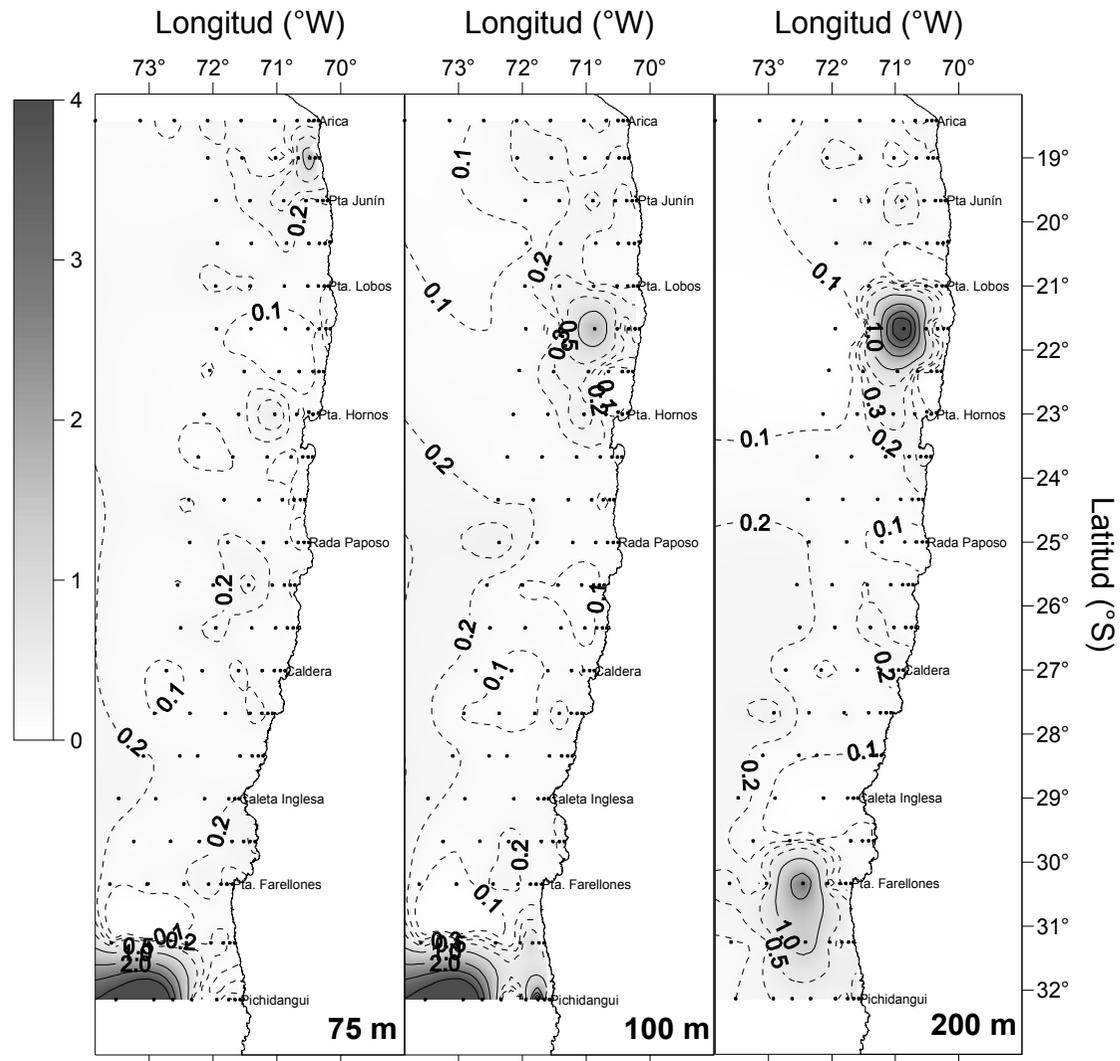


AMONIO

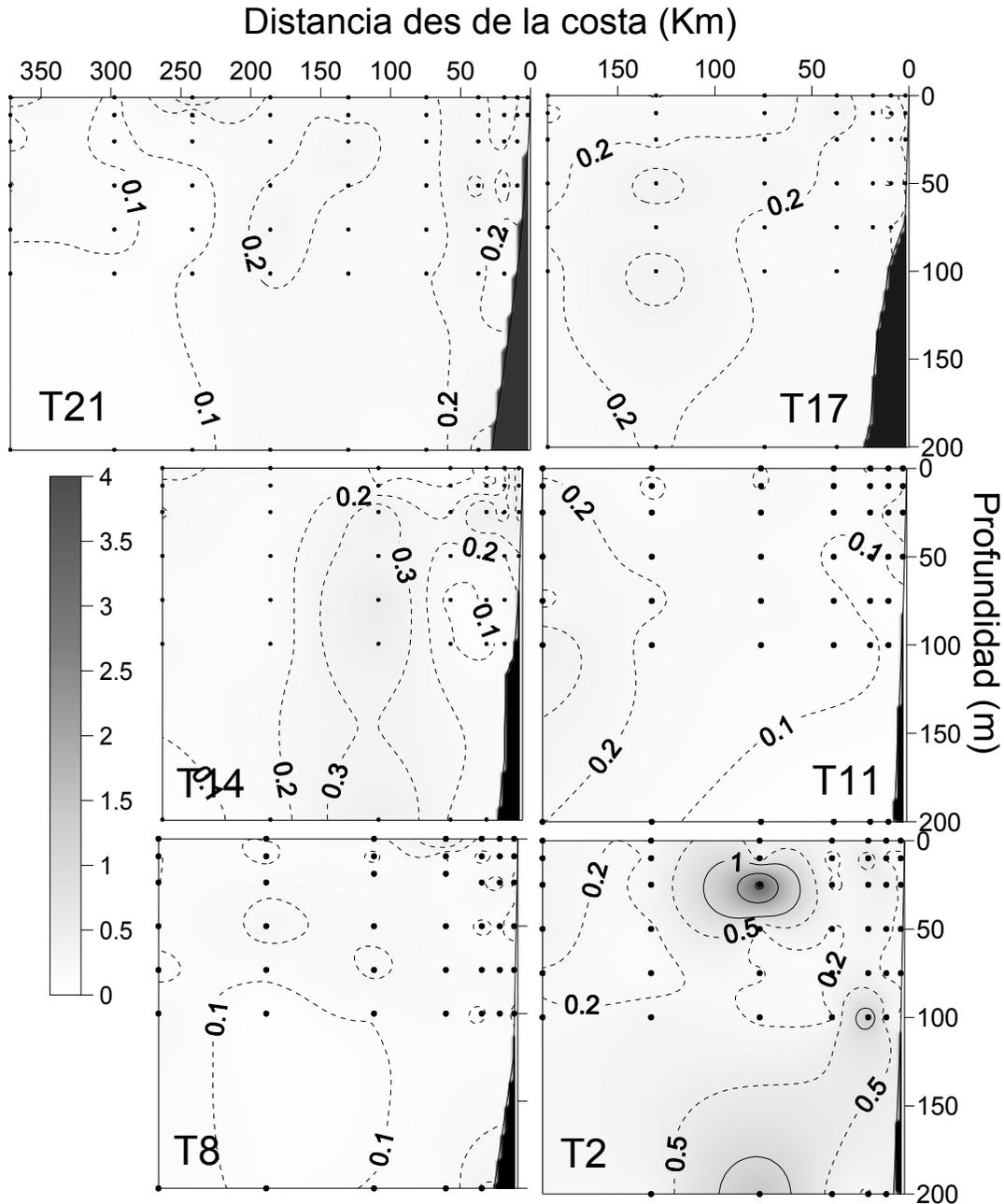
- Rango: 0,003 - 6,964 μM .
- Dominancia de bajos valores ($\sim 0,2 \mu\text{M}$) en toda el área de estudio.
- Altas concentraciones focos muy localizadas desde Punta Arenas ($21^{\circ}40'S$) al sur, y desde los 50 m de profundidad.



Distribución horizontal de amonio (μM) para los estratos de 0, 10, 25 y 50 m de profundidad.



Distribución horizontal de amonio (μM) para los estratos de 75, 100 y 200 m de profundidad.



Distribución vertical de Amonio (μM).

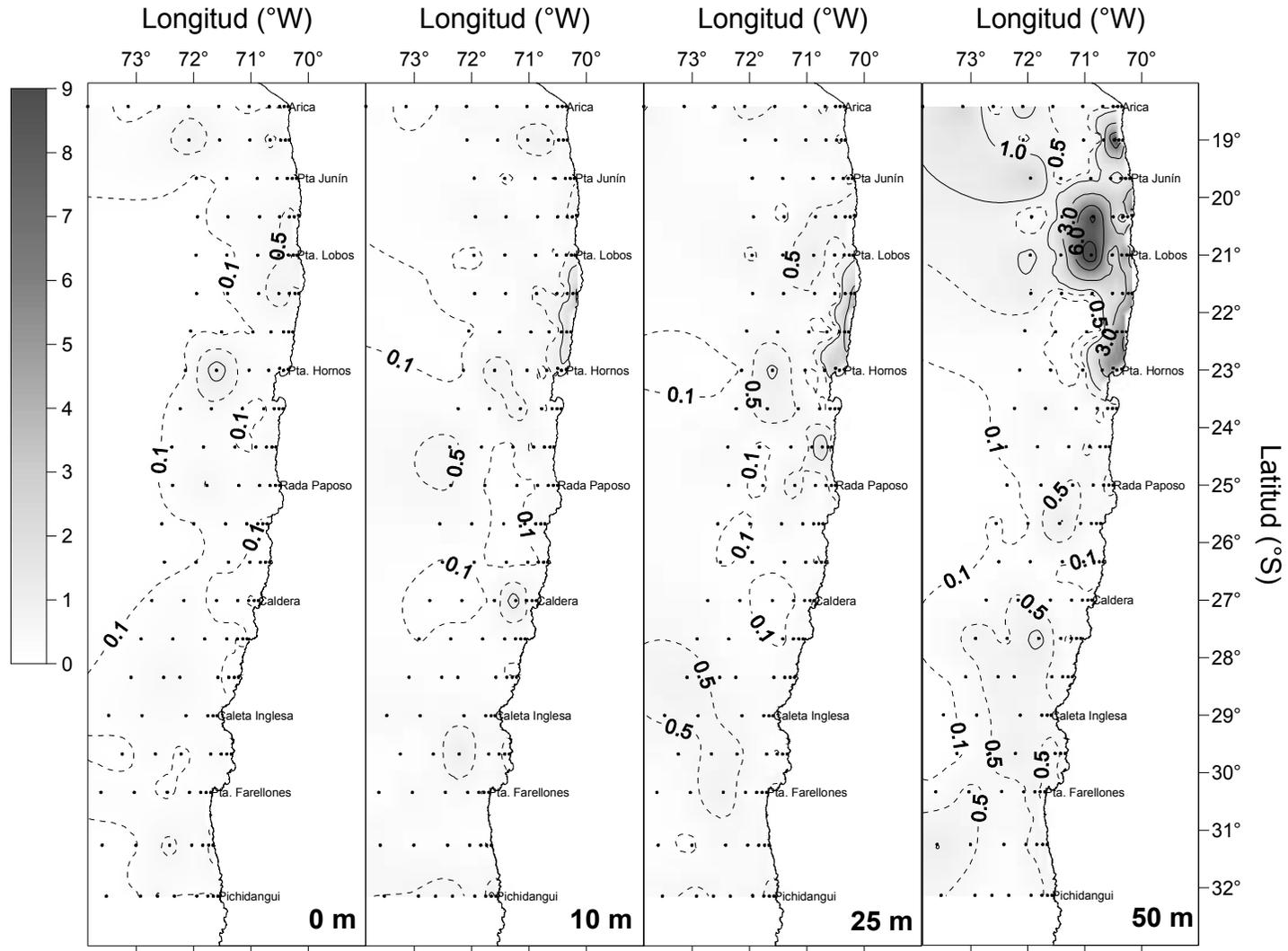
Donde:

T21, transecta Arica,
T20, transecta Punta Lobos;
T14, transecta Punta Hornos;
T11, transecta Rada Paposo;
T8, transecta Caldera;
T2, transecta Cta. Maitencillos de Coquimbo

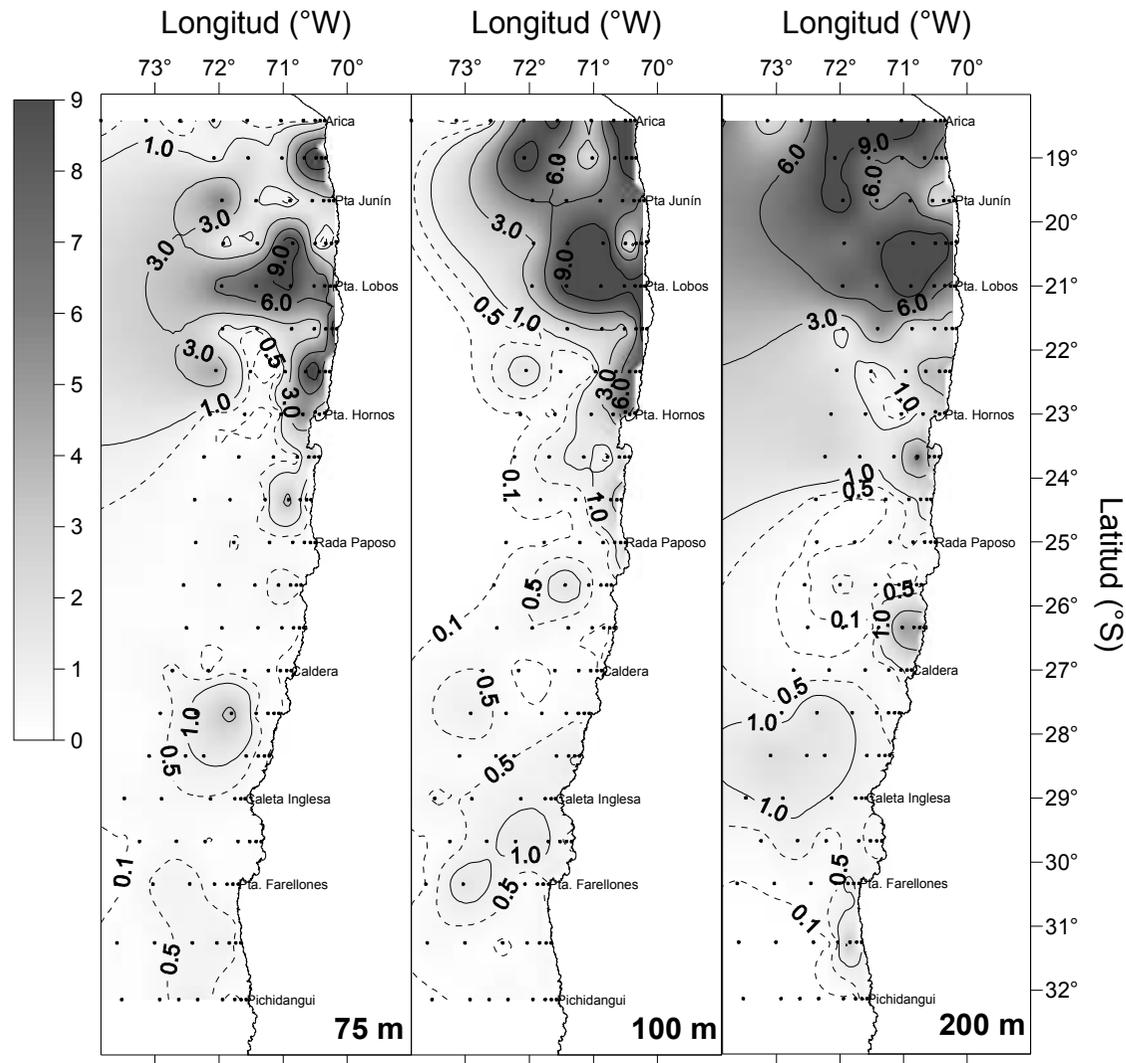


NITRITO

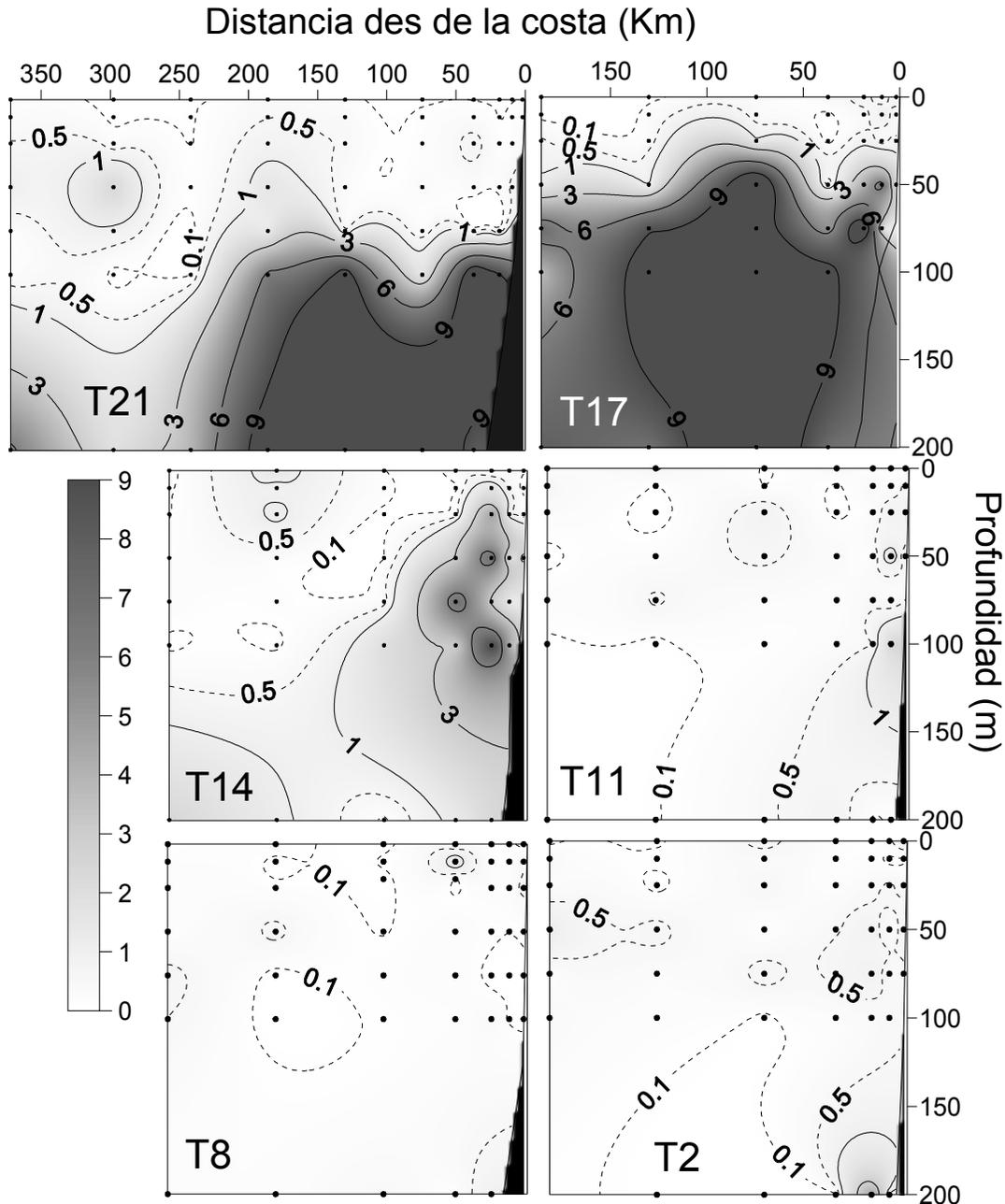
- Rango: 0,0 - 12,84 μM .
- En general este nutriente estuvo caracterizado por presentar bajos valores ($<0,5 \mu\text{M}$) entre 0 y 25 m de profundidad.
- Altas concentraciones localizadas entre Arica ($18^{\circ}25'S$) y Punta Hornos ($23^{\circ}00'S$), y desde los 50 m de profundidad.



Distribución horizontal de nitrito (μ M) para los estratos de 0, 10, 25 y 50 m de profundidad.



Distribución horizontal de nitrito (μM) para los estratos de 75, 100 y 200 m de profundidad.



Distribución vertical de Nitrito (μM).

Donde:

T21, transecta Arica,

T20, transecta Punta Lobos;

T14, transecta Punta Hornos;

T11, transecta Rada Papos;

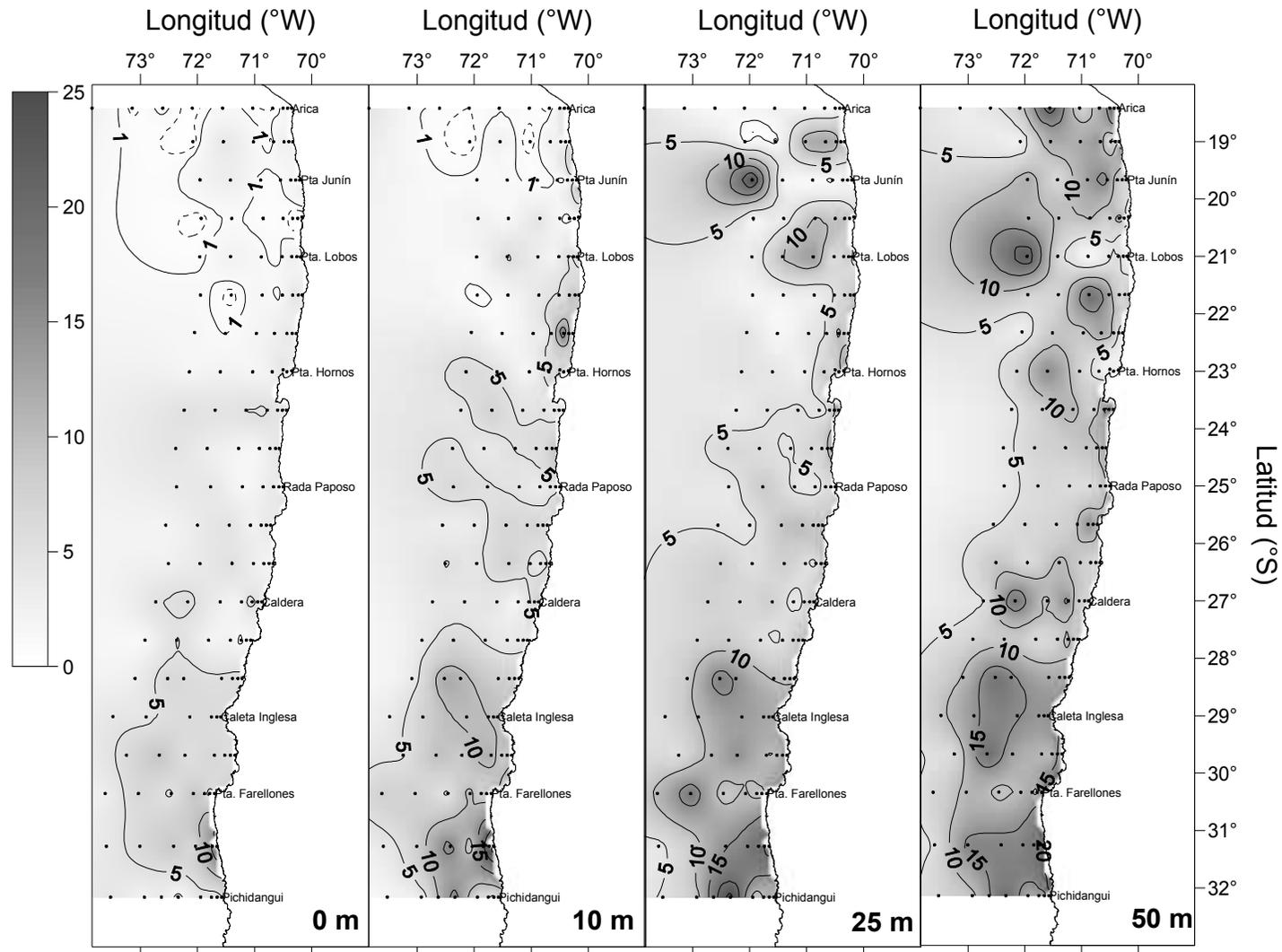
T8, transecta Caldera;

T2, transecta Cta.

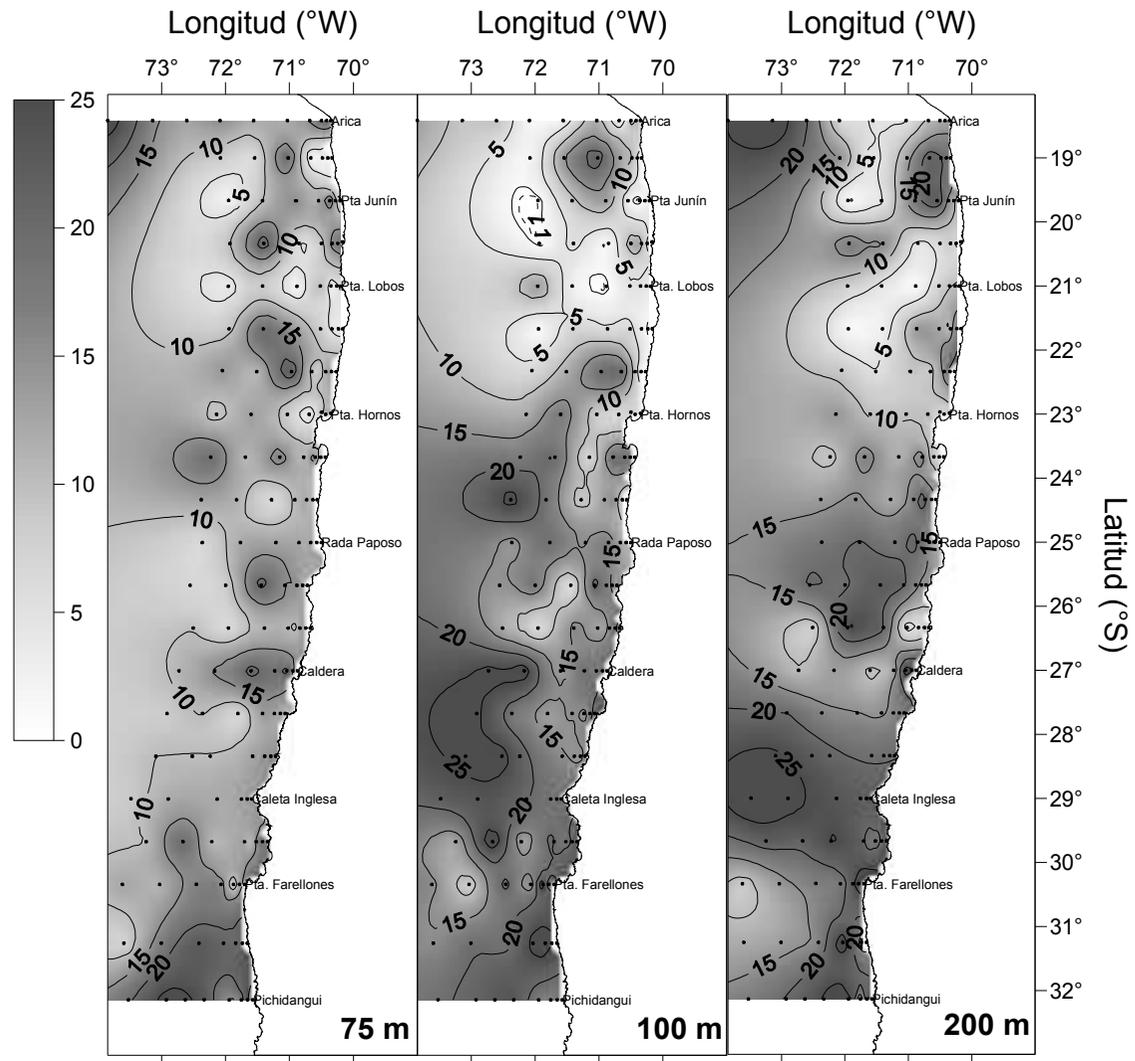
Maitencillos de Coquimbo.



- NITRATO
- Rango: 0,0 – 30,44 μM .
- En general este nutriente estuvo caracterizado por exhibir un aumento con la profundidad y a lo largo de un gradiente latitudinal de norte a sur.



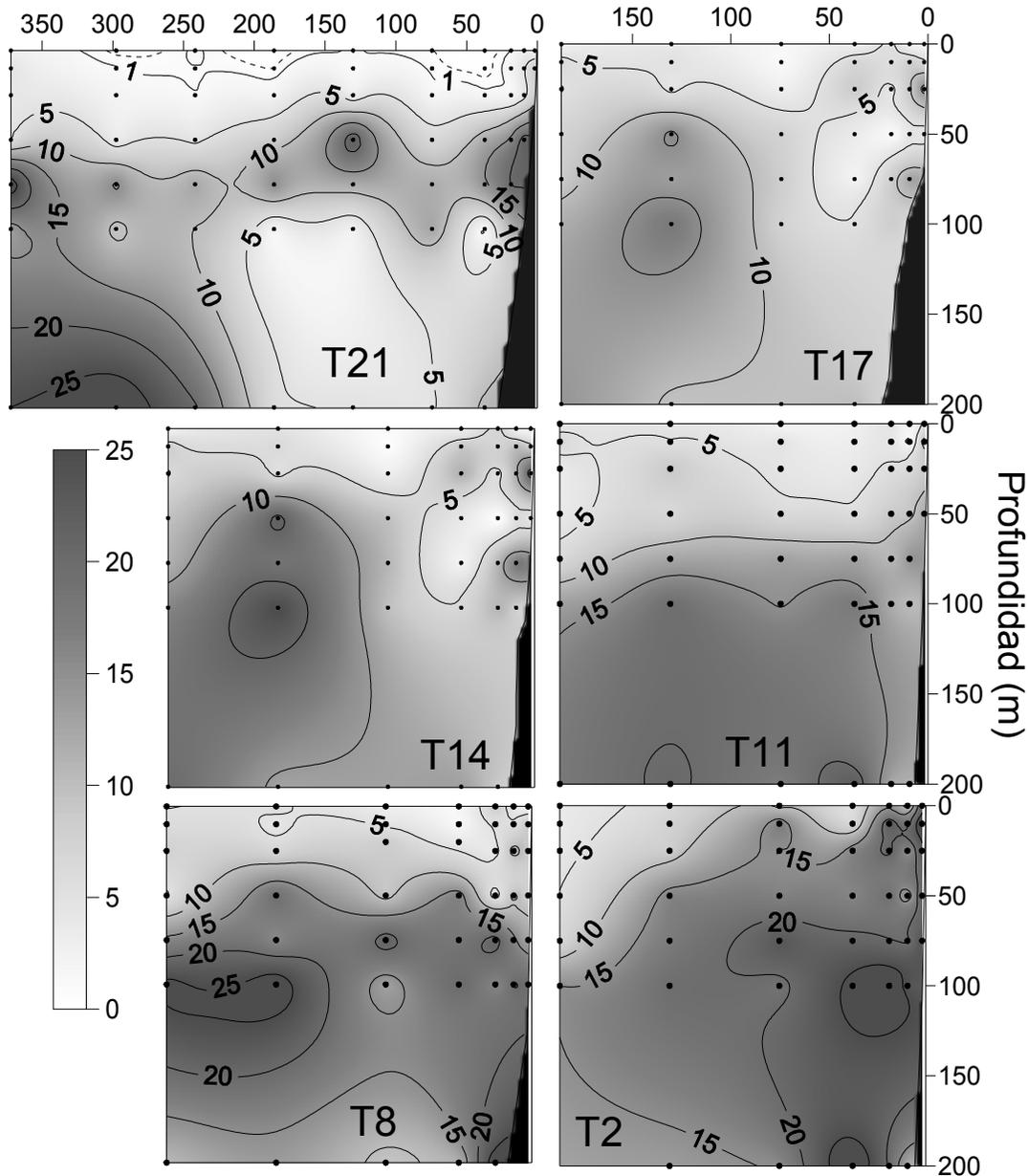
Distribución horizontal de nitrato (μM) para los estratos de 0, 10, 25 y 50 m de profundidad.



Distribución horizontal de nitrato (μM) para los estratos de 75, 100 y 200 m de profundidad.



Distancia des de la costa (Km)



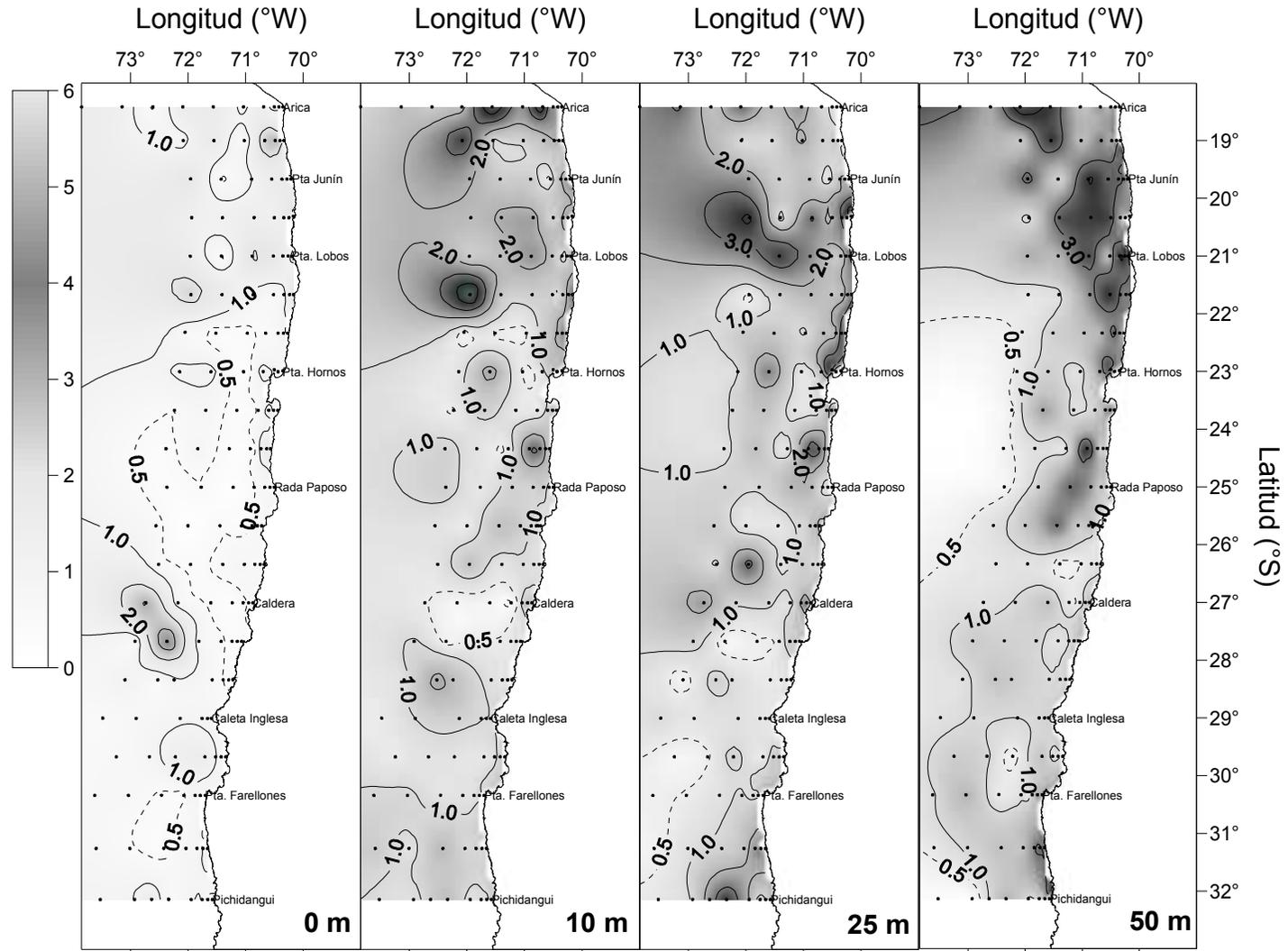
Distribución vertical de Nitrato (μM).

Donde:

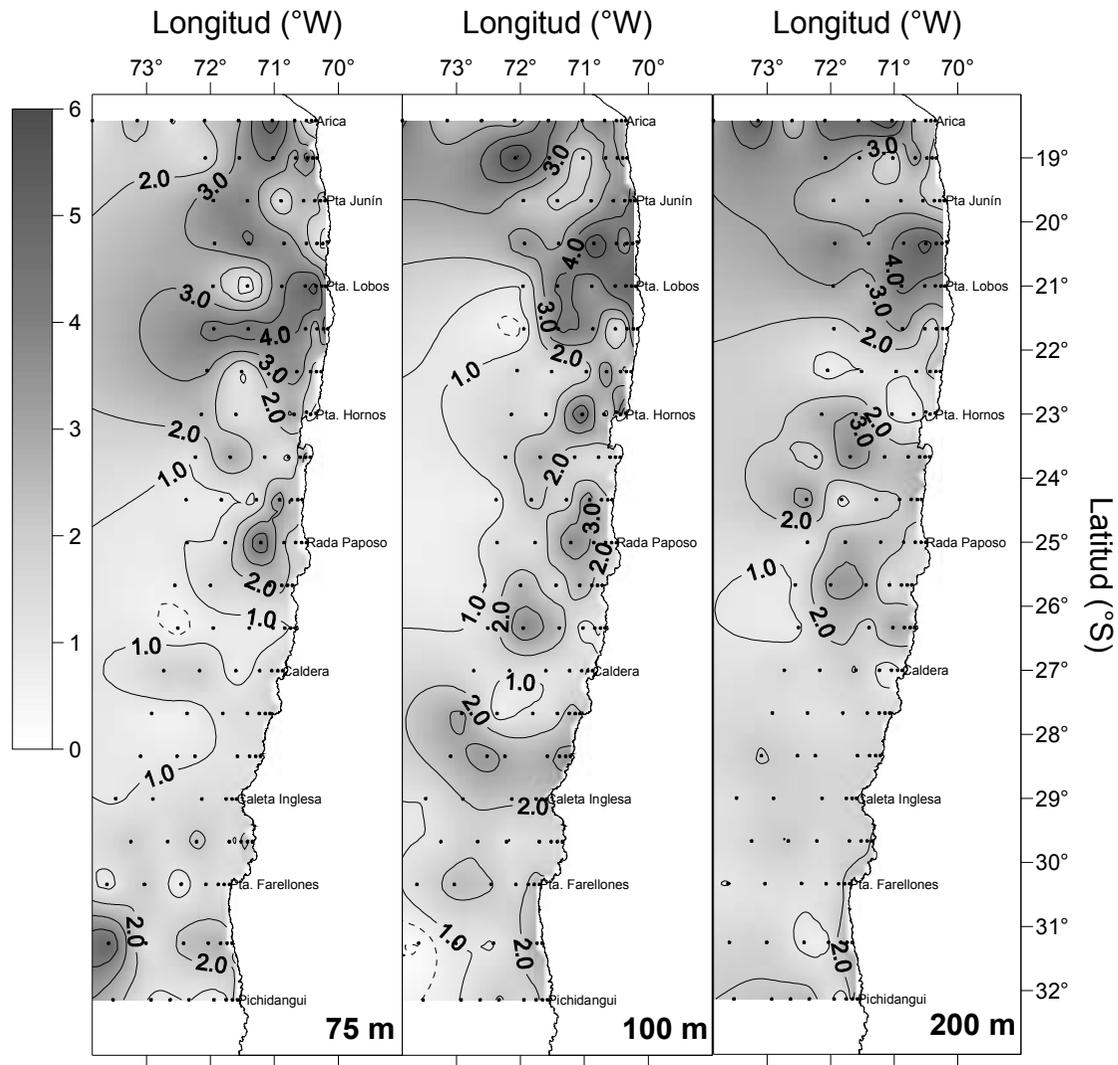
- T21, transecta Arica,
- T20, transecta Punta Lobos;
- T14, transecta Punta Hornos;
- T11, transecta Rada Paposos;
- T8, transecta Caldera;
- T2, transecta Cta. Maitencillos de Coquimbo.



- FOSFATO
- Rango: 0,0 – 6,35 μM .
- En general este nutriente estuvo caracterizado por exhibir un aumento con la profundidad y una disminución a lo largo de un gradiente latitudinal norte-sur.



Distribución horizontal de fosfato (μM) para los estratos de 0, 10, 25 y 50 m de profundidad.



Distribución horizontal de fosfato (μM) para los estratos de 75, 100 y 200 m de profundidad.

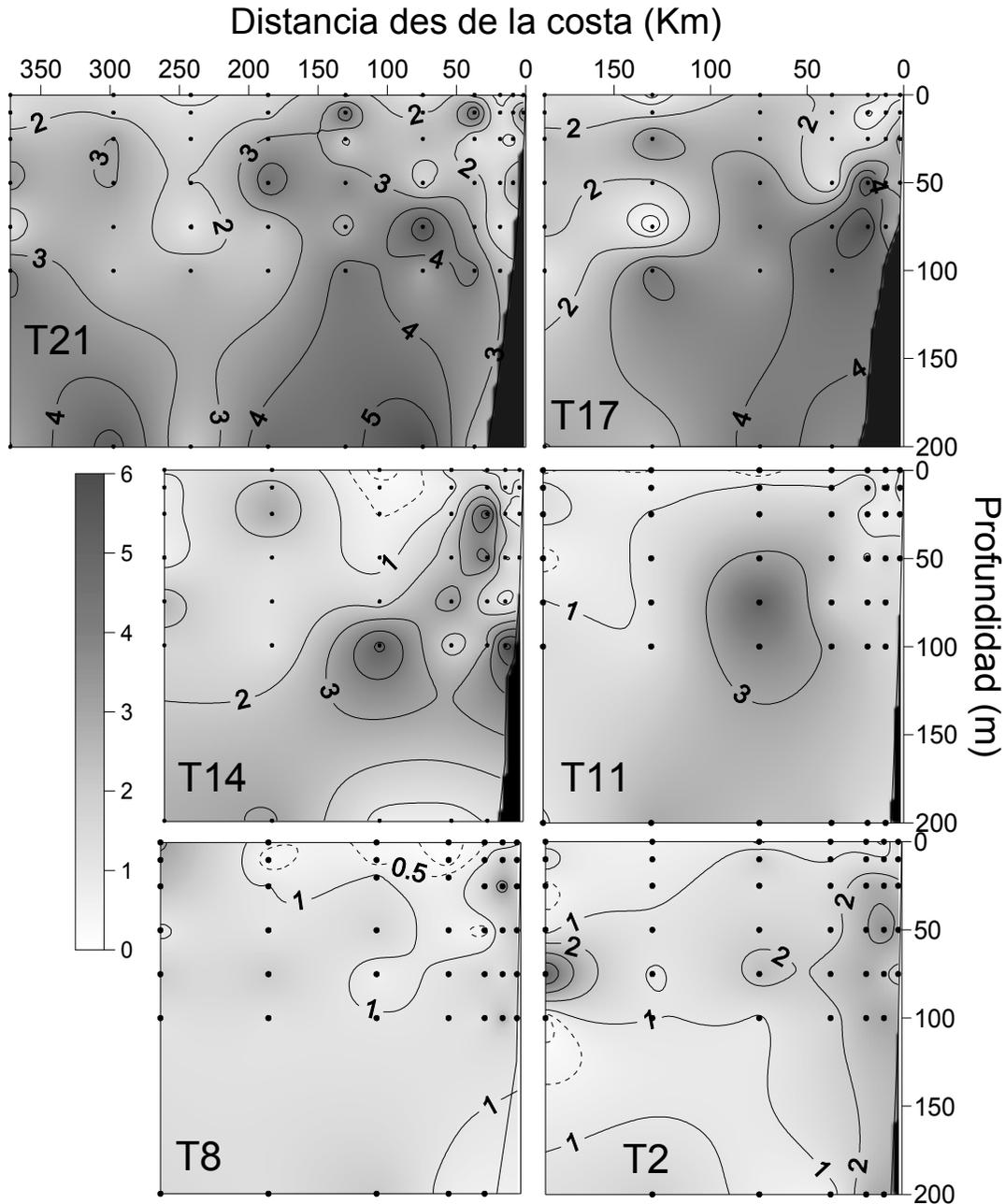
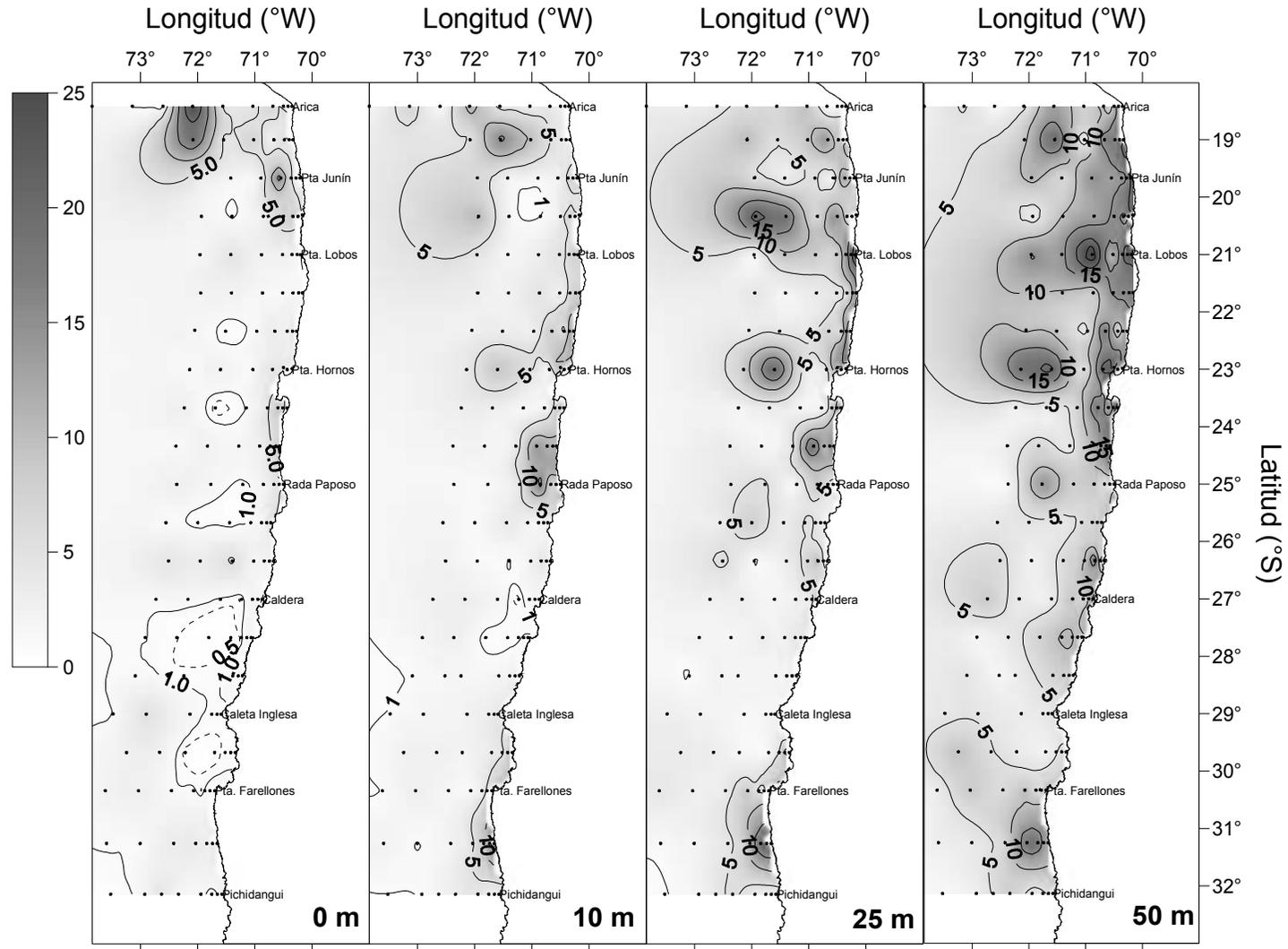


Figura 12. Distribución vertical de Fosfato (μM).

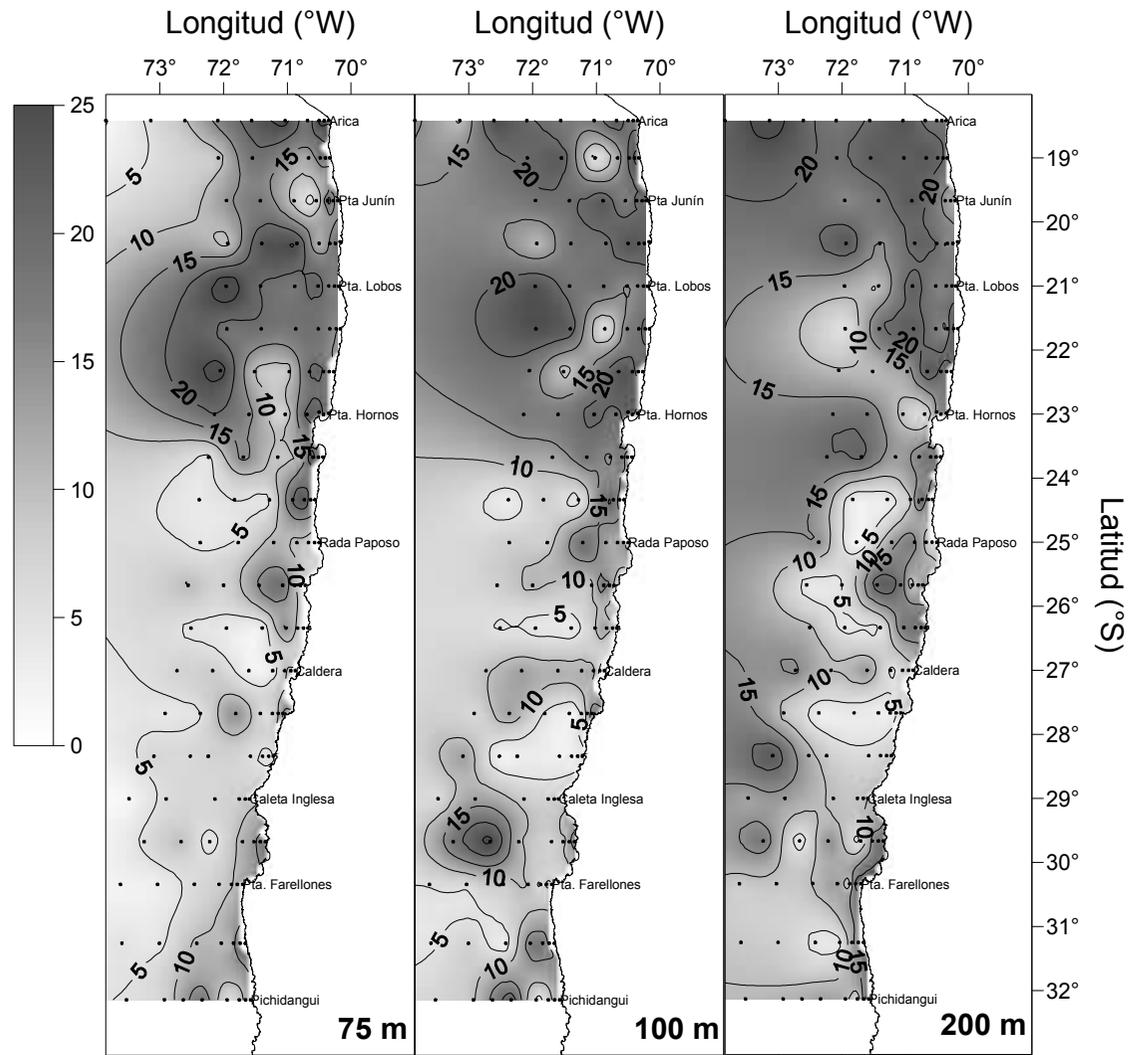
Donde:
T21, transecta Arica,
T2, transecta Punta Lobos;
T14, transecta Punta Hornos;
T11, transecta Rada Paposos;
T8, transecta Caldera;
T2, transecta Cta. Maitencillos de Coquimbo.



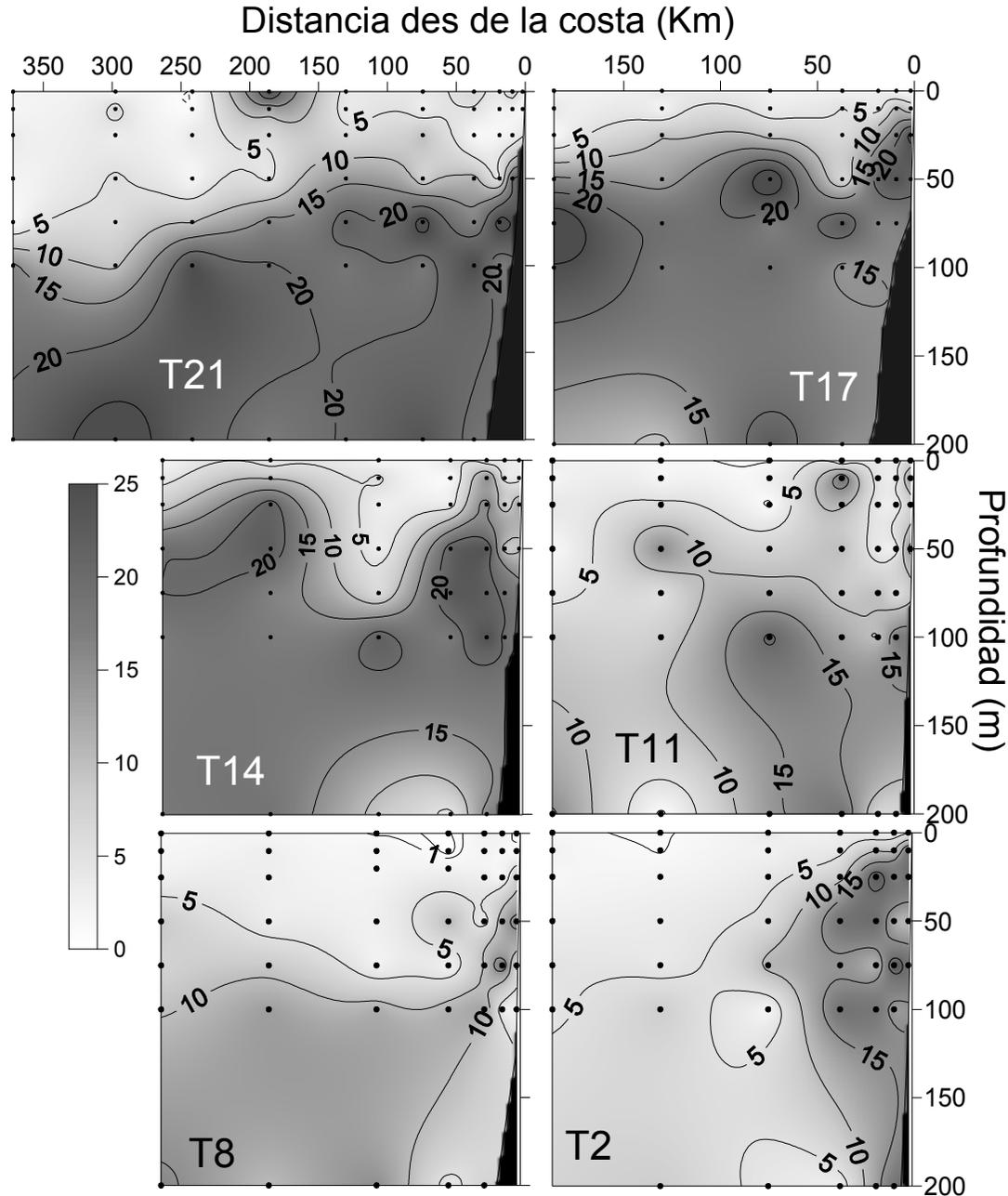
- SILICATO
- Rango: 0,0 – 29,78 μM .
- La distribución de este nutriente reveló, además de un incremento con la profundidad, la presencia de un gradiente norte-sur caracterizado por la disminución de las concentraciones.



Distribución horizontal de silicato (μM) para los estratos de 0, 10, 25 y 50 m de profundidad.



Distribución horizontal de silicato (μM) para los estratos de 75, 100 y 200 m de profundidad.



Distribución vertical de Silicato (μM).

Donde:

T21, transecta Arica,
T2, transecta Punta Lobos;
T14, transecta Punta Hornos;
T11, transecta Rada Paposo;
T8, transecta Caldera;
T2, transecta Cta. Maitencillos de Coquimbo.



Análisis de Varianza: Diferencias entre campaña del 2008 y 2009.

Estrato	Area Total			Zona Norte		Zona Sur	
		KWt	P-valor	KWt	P-valor	KWt	P-valor
Superficial	NH4	7.33	0.007	0.67	0.414	36.15	0.000
	NO2	2.64	0.104	3.66	0.056	27.38	0.000
	NO3	0.08	0.773	0.41	0.520	2.25	0.134
	PO4	33.90	0.000	6.49	0.011	39.28	0.000
	SO4	16.29	0.000	36.15	0.000	1.41	0.235
50m	NH4	1.34	0.247	40.33	0.000	24.76	0.000
	NO2	0.49	0.482	2.36	0.124	1.08	0.300
	NO3	0.65	0.420	0.36	0.550	3.34	0.068
	PO4	9.28	0.002	1.70	0.192	13.63	0.000
	SO4	40.33	0.000	24.76	0.000	24.23	0.000
200m	NH4	24.23	0.000	12.93	0.000	25.98	0.000
	NO2	3.21	0.073	3.84	0.050	1.68	0.195
	NO3	0.09	0.767	2.97	0.085	7.40	0.007
	PO4	14.83	0.000	0.95	0.329	25.81	0.000
	SO4	12.93	0.000	25.98	0.000	0.97	0.325



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- La descripción del contenido de sales inorgánicas permite claramente establecer zonas con diferentes características.
- La Zona Norte (Arica - Bahía Moreno)
- La Zona Sur (Caldera – Pichidangui)
- Nitrito, fosfato y silicato, mostraron mayores concentraciones que la zona norte, en las capas más profundas de la columna de agua analizada.
- El nitrato rompe esta tendencia debido a la presencia de un marcado mínimo (déficit), el cual coincidió espacialmente con altos valores de nitrito.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- Al igual que el 2008, en el actual el nitrógeno inorgánico disuelto mostró estar constituido en una gran fracción por las sales de nitrato, en tanto que amonio y nitrito se encontraron en concentraciones bajas.
- El amonio se detectó solo en dos zonas con niveles importantes, tendencia similar a la observada en el 2008, con algunos matices en ambos cruceros se detectaron en las zonas norte y sur núcleos con mayores valores.
- Este patrón observado en la distribución del amonio pareciera ser considerado normal, ya que por un lado, corresponde al estado más reducido del nitrógeno inorgánico, depende fuertemente de reacciones químicas naturales, y es consumido preferentemente por los microorganismos autótrofos y heterótrofos.



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- El nitrito se caracterizó por presentar los mayores niveles en el margen costero y en los estratos más profundos de la región norte se detectaron niveles cercanos a $12 \mu\text{M}$, lo cual es una característica del Pacífico Sur Oriental, donde esta máxima secundaria de nitrito se asocia un mínimo relativo de nitrato (Silva et al., 2009; Silva, 1987; Sharp, 1983).
- Los mayores valores de nitrito y menores de nitrato son un claro indicio de desnitrificación (Altabet et al., 2002; Ward et al 2009).
- La desnitrificación ocurre esencialmente en condiciones anoxicas, lo cual está claramente relacionado a la presencia de la zona de mínimos de oxígeno (ZMO) que es la marca del borde del Pacífico Sur Oriental (Silva et al., 2009).
- Debemos agregar el efecto de las masas de aguas el cual tiene un claro efecto en la distribución de los elementos inorgánicos como se ha sido demostrado por Silva et al (2009).



DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- Tanto el fósforo inorgánico disuelto, representado por el ion ortofosfato (Pilson, 1997) y el silicato presentaron un patrón de distribución muy similar al detectado en el crucero del 2008.
- Ambos nutrientes mostraron una mayor concentración en la zona norte del área de estudio, y en los estratos más profundos (bajo los 50 m de profundidad).
- Ambos marcaron muy bien, a través de su distribución vertical, el ascenso de agua producto de los eventos de surgencia costera.



CONCLUSIONES

- Las concentraciones de los nutrientes fueron concordantes con información previamente obtenida en la zona.
- La distribución vertical reveló la presencia del típico gradiente caracterizado por el aumento de los valores con la profundidad.
- La distribución horizontal exhibió diferencias latitudinales que pueden asociarse a los procesos de surgencia y a la presencia de la OMZ en el norte del área de estudio, y a las características de la componente autotrófica en el sector sur.

Presentación Oceanográfica
Taller FIP N° 2009-38

Monitoreo de las condiciones bio - oceanográficas entre la XV y IV regiones, año 2009

FIP 2009-38

Condiciones oceanográficas

Hernán Reyes
Milena Pizarro

Instituto de Fomento Pesquero

Información del proyecto FIP 2009-38

Crucero oceanográfico:

- Primavera : 6 al 29 de octubre de 2009

en : Informe avance y prefinal

Muestreo mensual en estaciones fijas

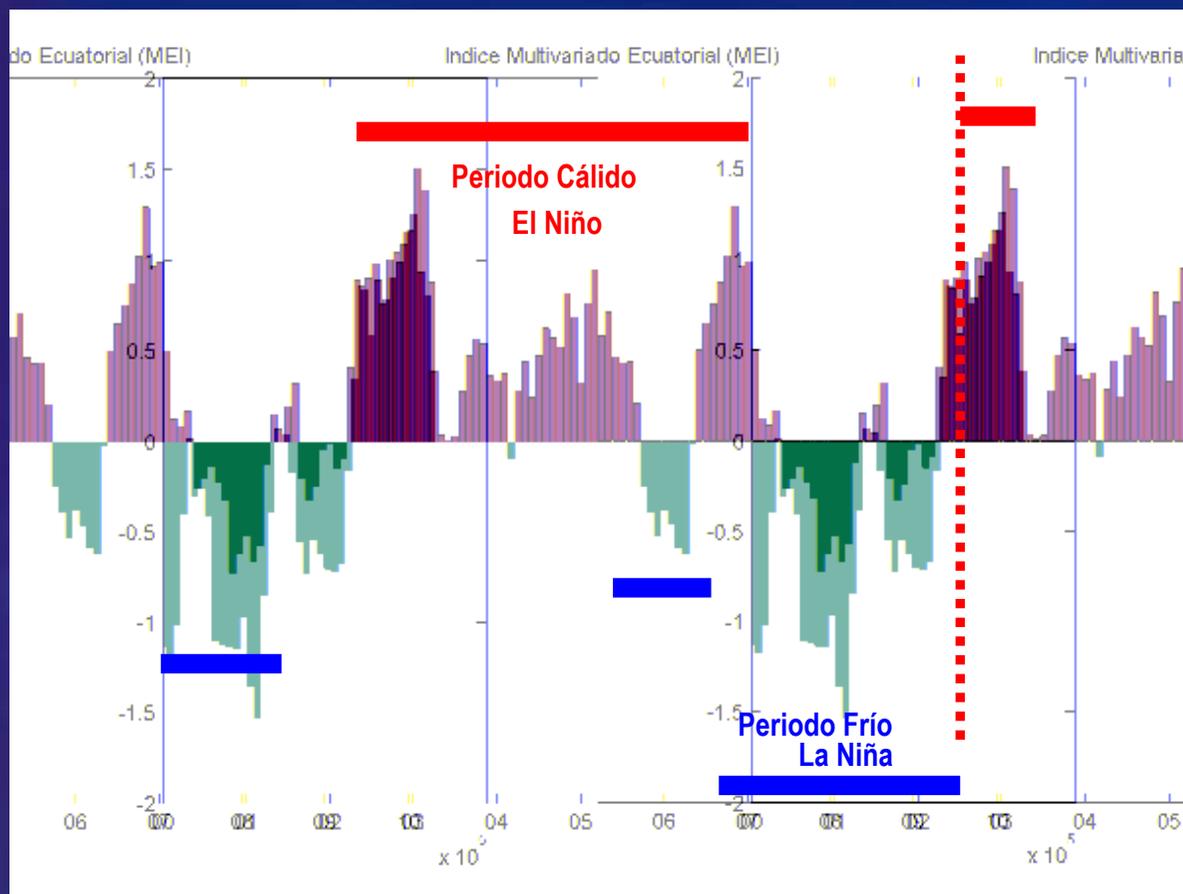
- variables oceanográficas en estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones (agosto 2009 a junio 2010)
- Información regional (Pacífico ecuatorial) (NOAA)
- Cruceros en la zona (RECLAN XI-II)

en : Boletín mensual publicado en internet por FIP e IFOP y también en informe prefinal.

Temario de la presentación

- Información regional (Pacífico ecuatorial) (NOAA)
- Crucero oceanográfico: Principales resultados
- Estaciones fijas Arica, Iquique y Mejillones series de tiempo
- Conclusiones

Marco ambiental Regional : Índice Ecuatorial Multivariado



-2008 y 2009: periodo frío

-Abril 2009 : condición neutra con tendencia cálida

-Julio 2009 : El Niño

MEI Combina:
 Presión a nivel del Mar,
 Componente Zonal y Meridional del viento,
 TSM, Temperatura superficial del aire
 Fracción total de nubosidad

Figura 2. Valores históricos del índice multivariado Ecuatorial entre el periodo enero 2000 – abril 2010 (Fuente: Earth system research Laboratory (<http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/>)).

Marco ambiental Regional : Serie de ATSM en sectores Niño

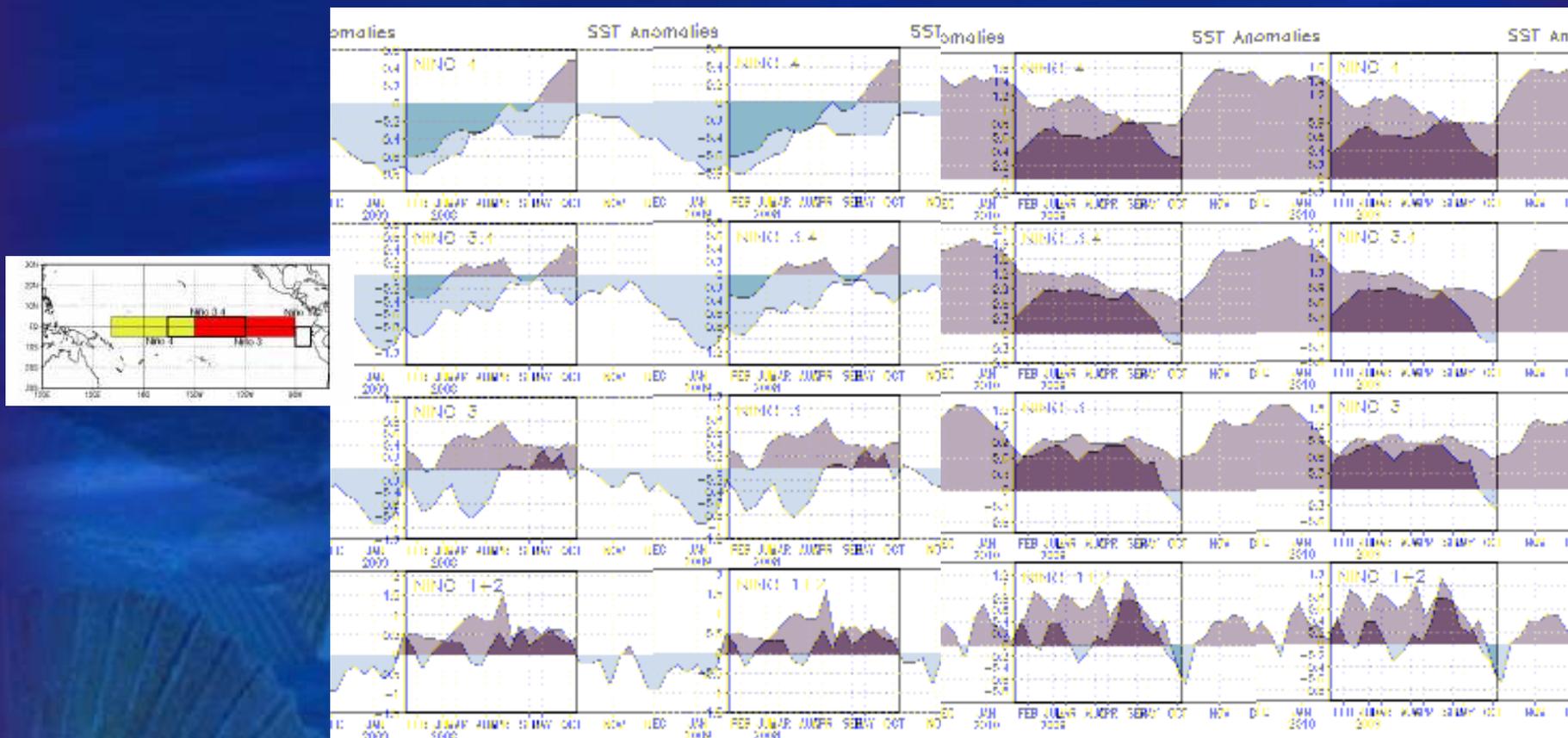


Figura 1. Mapa indicando las diferentes regiones de El Niño en el Océano Pacífico y serie de tiempo de anomalía de la Temperatura Superficial del mar (°C) de cada una de ellas en los periodos junio 2008 a mayo 2009 y de junio 2009 a mayo 2010 (note que las escalas para los gráficos son distintas). Las anomalías están computadas respecto al periodo 1971-2000. Fuente: CPC/NCEP - NOAA)

Marco ambiental Regional : Serie de ATSM en sectores Niño

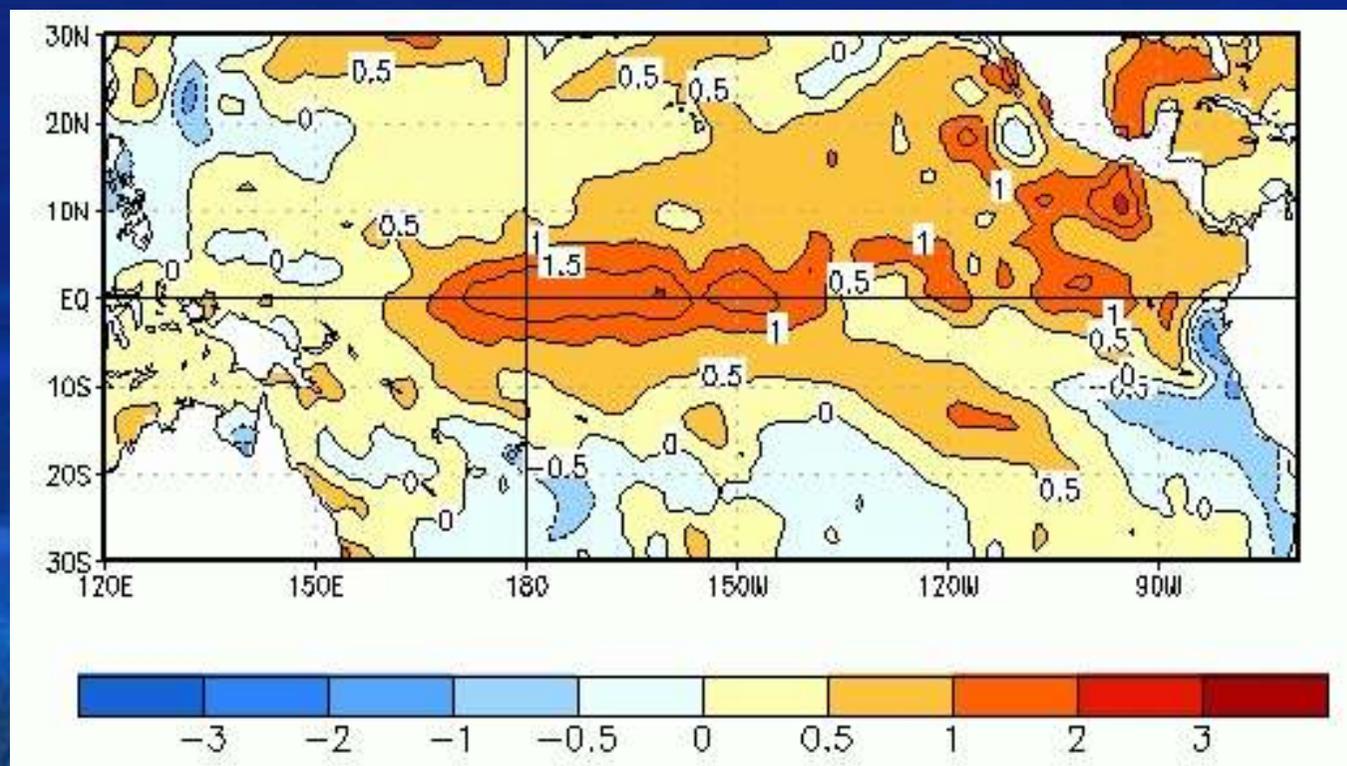


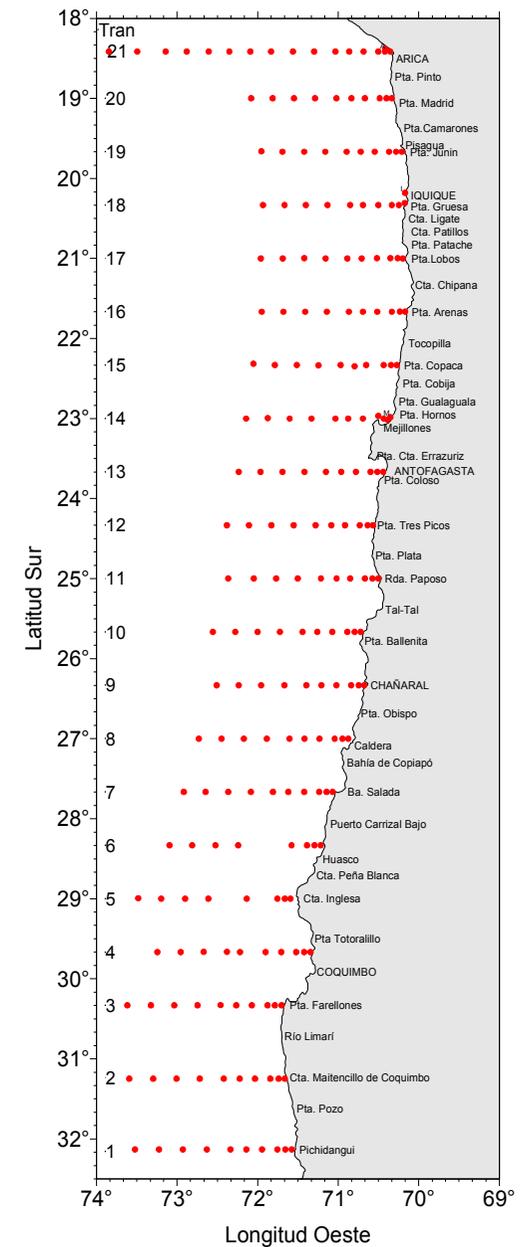
Figura 3. Anomalía de temperatura superficial promedio entre las fechas del 4 y 31 de octubre de 2009 en Océano Pacífico (fuente: Earth System Research Laboratory).

Crucero Oceanográfico

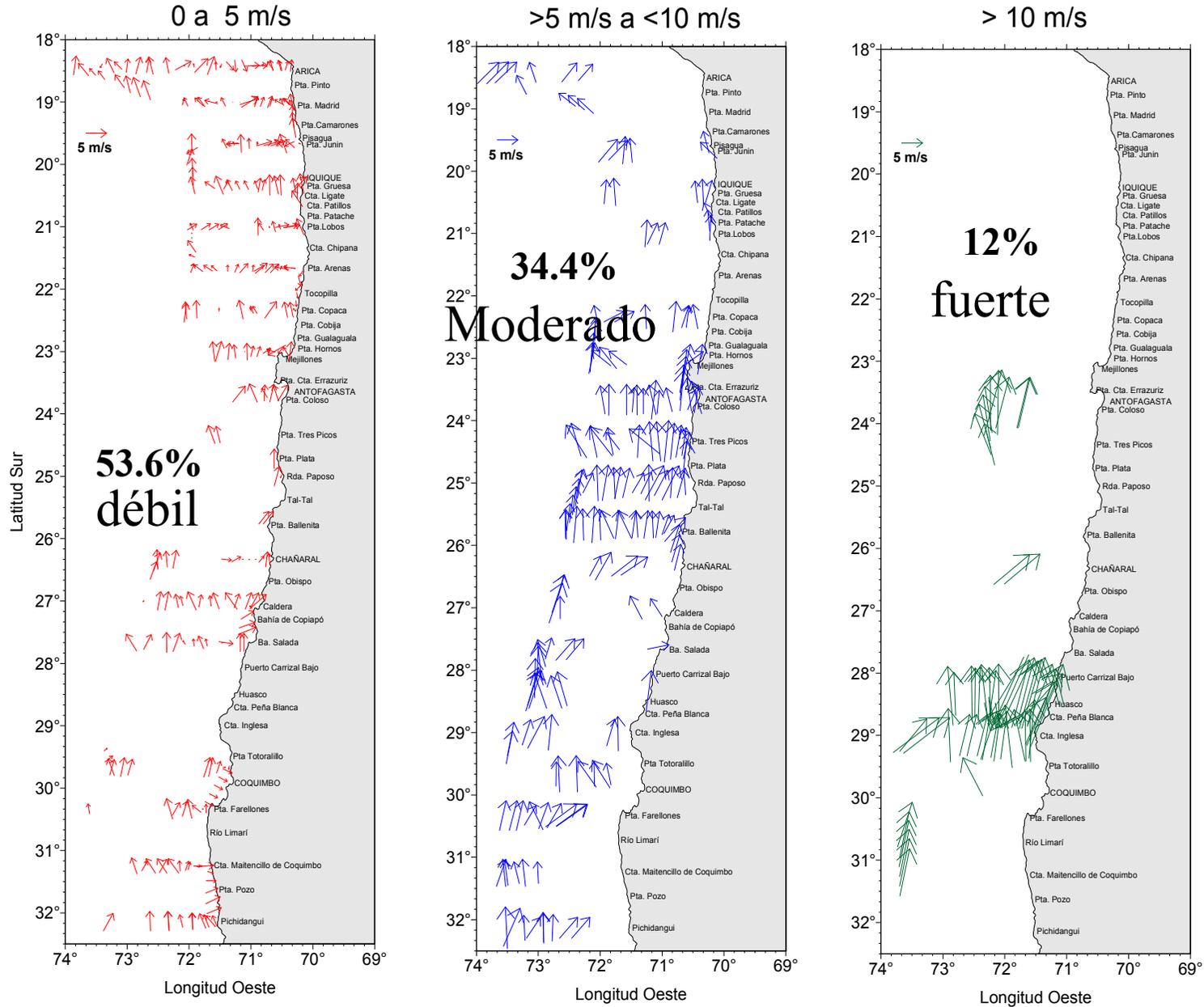
Area de estudio

Muestreo

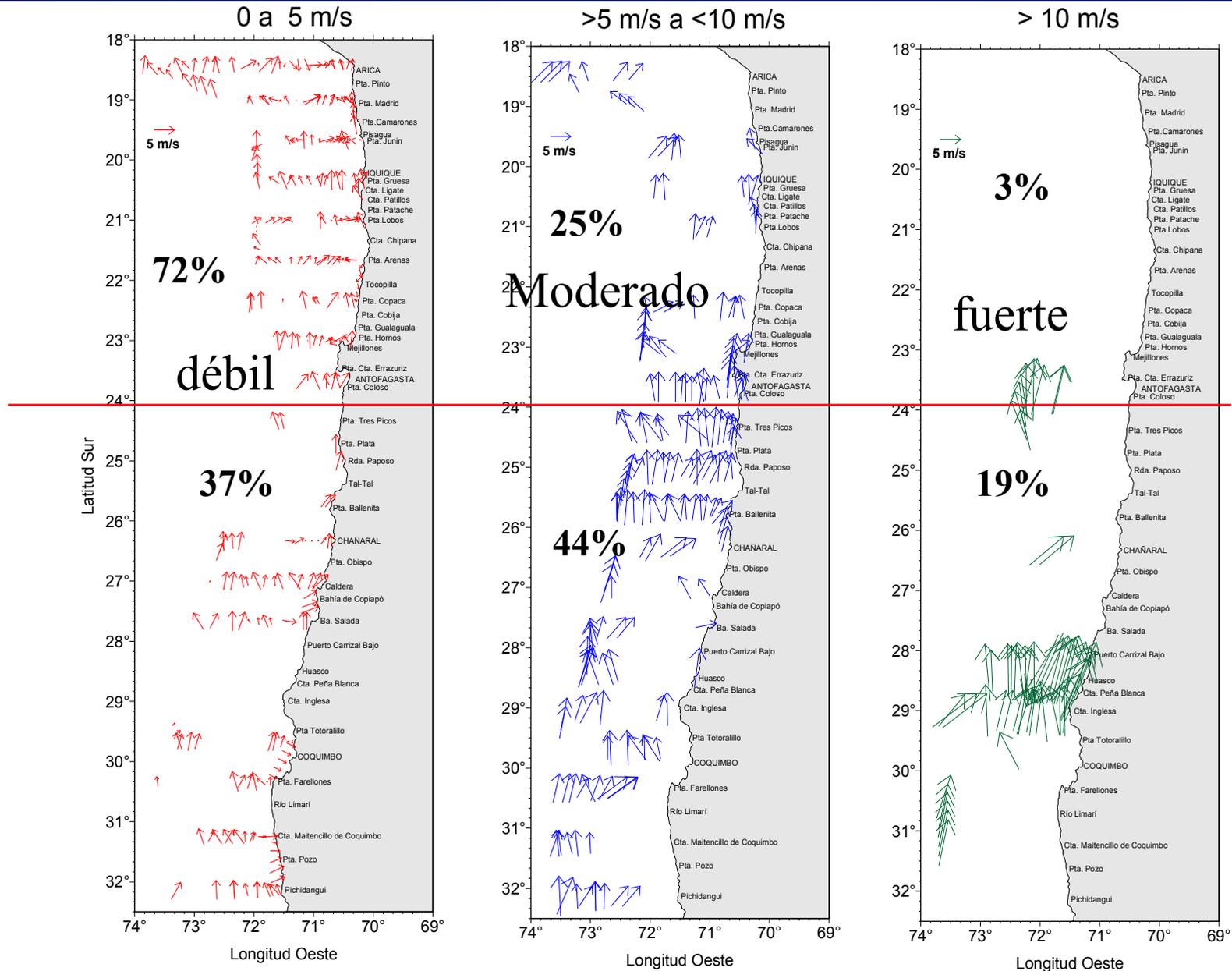
- 212 estaciones
- 21 transectas
- 10 estaciones por transecta
- 1 a 100 mn
- 1 a 200 mn en Arica



Viento : magnitud y dirección



Viento : magnitud y dirección

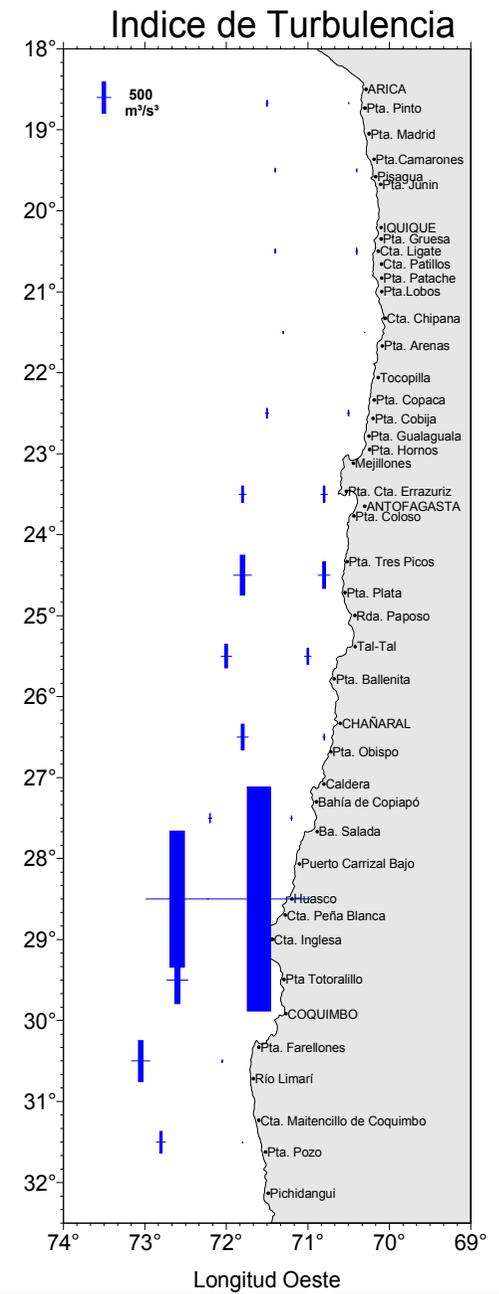
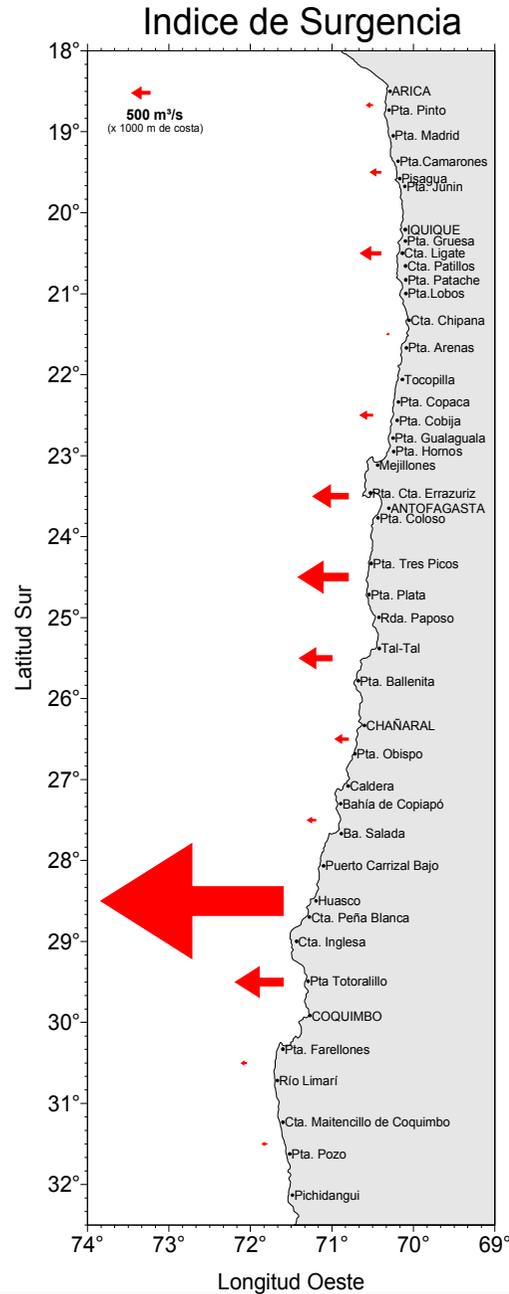


Viento : Índice de surgencia y turbulencia

Intensidad baja o débil

Intensidad Intermedia

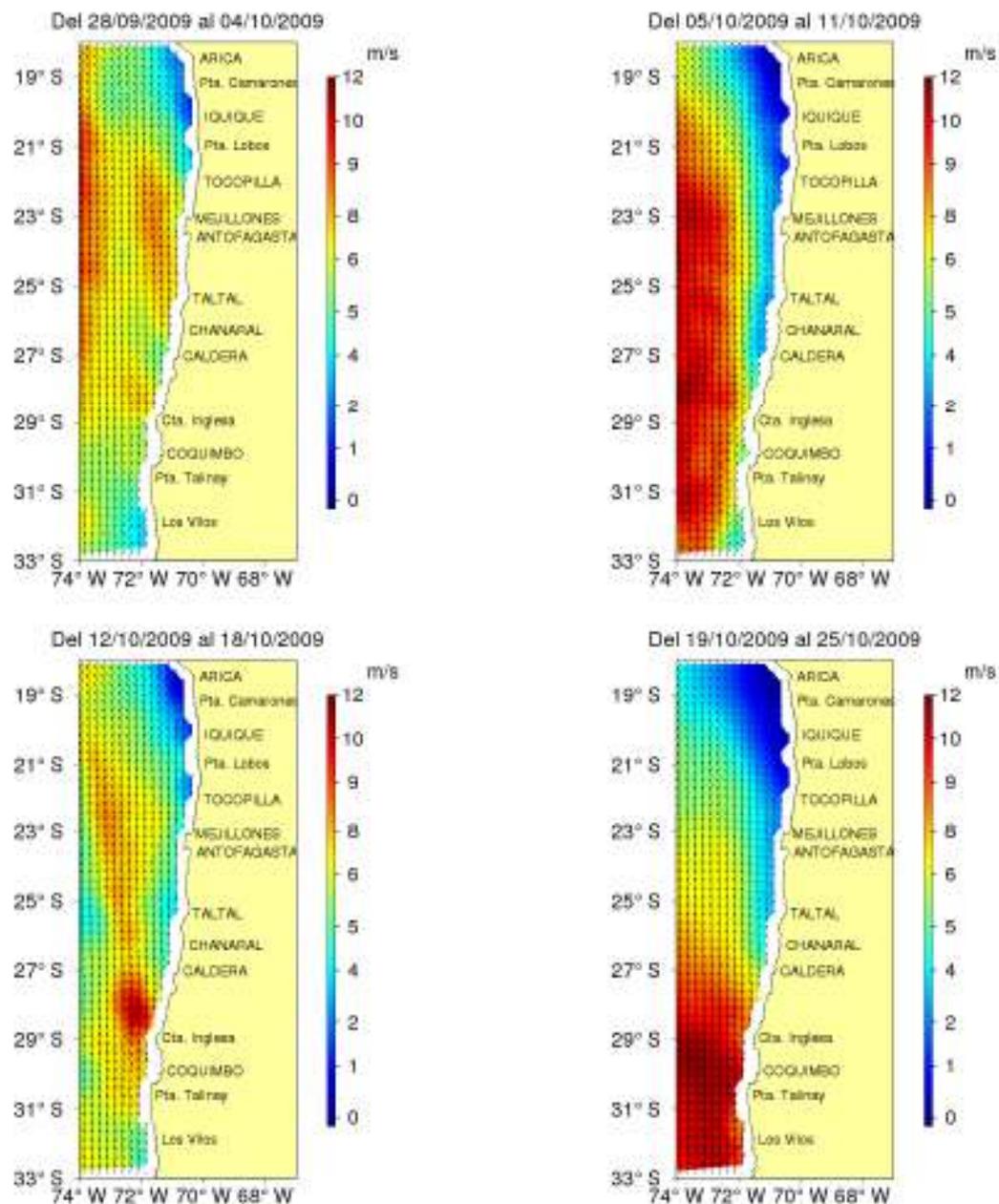
Intensidad alta



Viento : magnitud y dirección

Viento: satelital

Figura sat04. Intensidad del viento (m/s) y velocidad del viento (m/s) proveniente de imágenes satelitales Quikscat y que representan promedios semanales



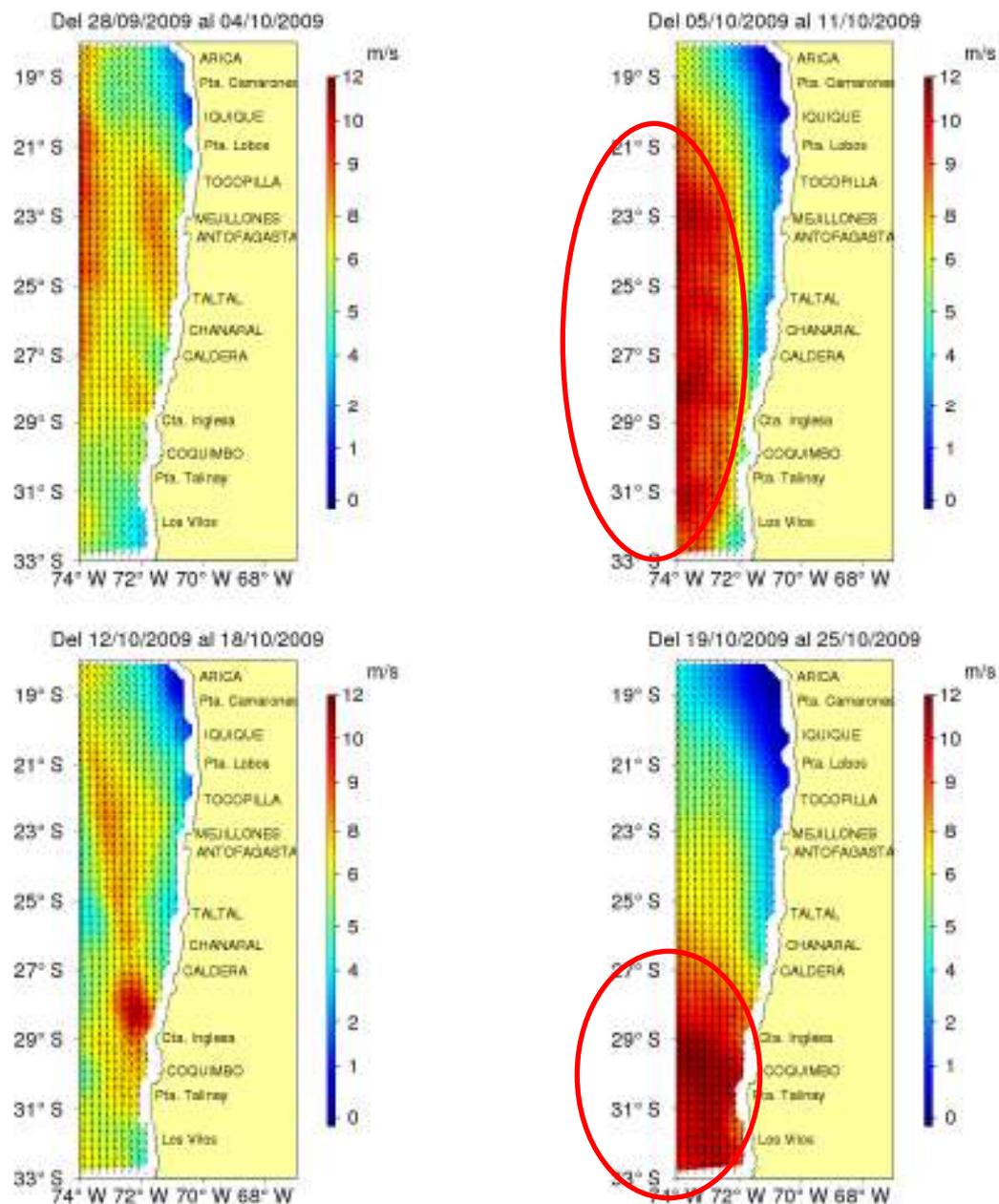
Viento : magnitud y dirección

-Gradiente norte sur

-Intensidad variable

- Predominio de viento con componente sur

Figura sat04. Intensidad del viento (m/s) y velocidad del viento (m/s) proveniente de imágenes satelitales Quikscat y que representan promedios semanales



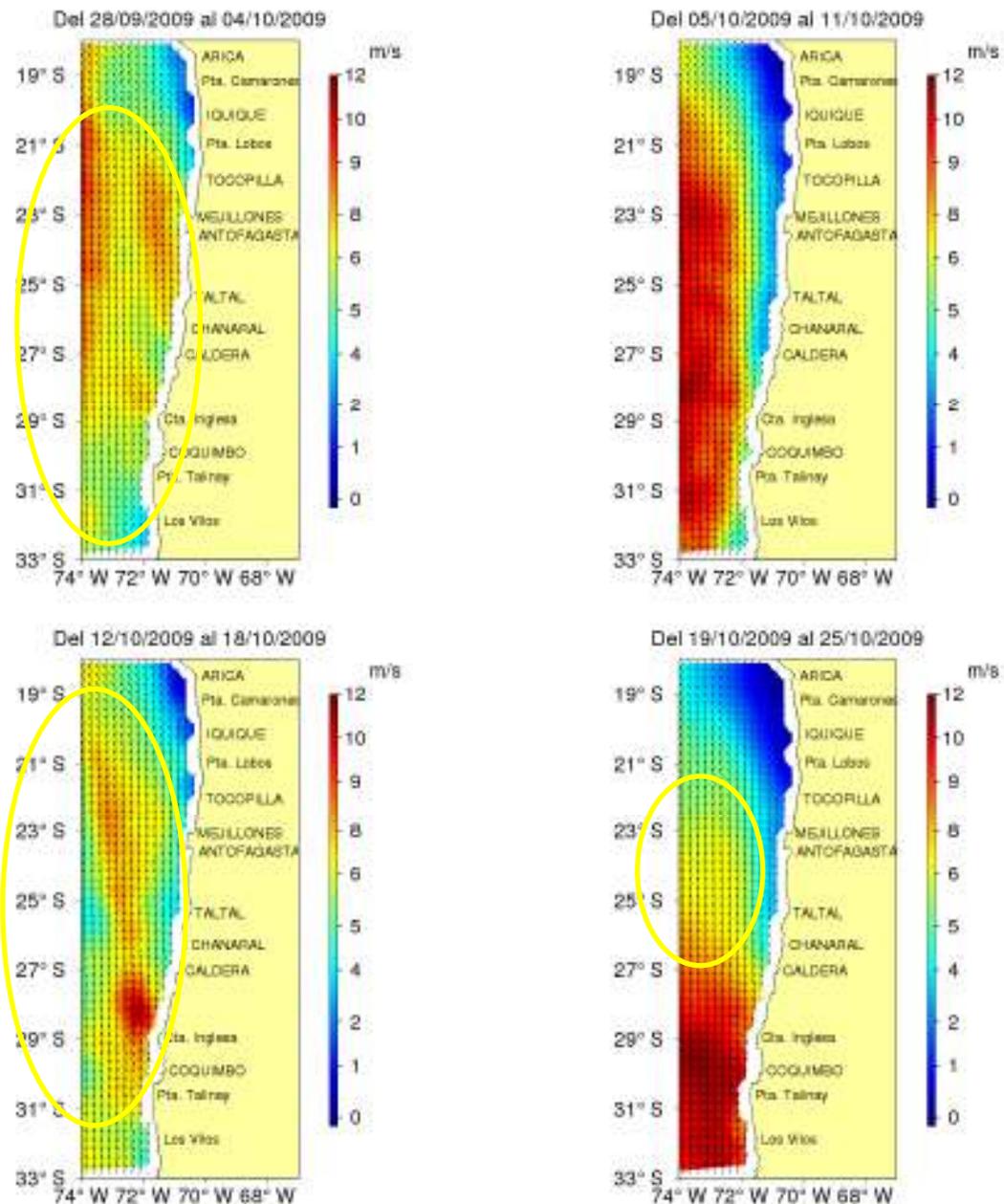
Viento : magnitud y dirección

-Gradiente norte sur

-Intensidad variable

- Predominio de viento con componente sur

Figura sat04. Intensidad del viento (m/s) y velocidad del viento (m/s) proveniente de imágenes satelitales Quikscat y que representan promedios semanales



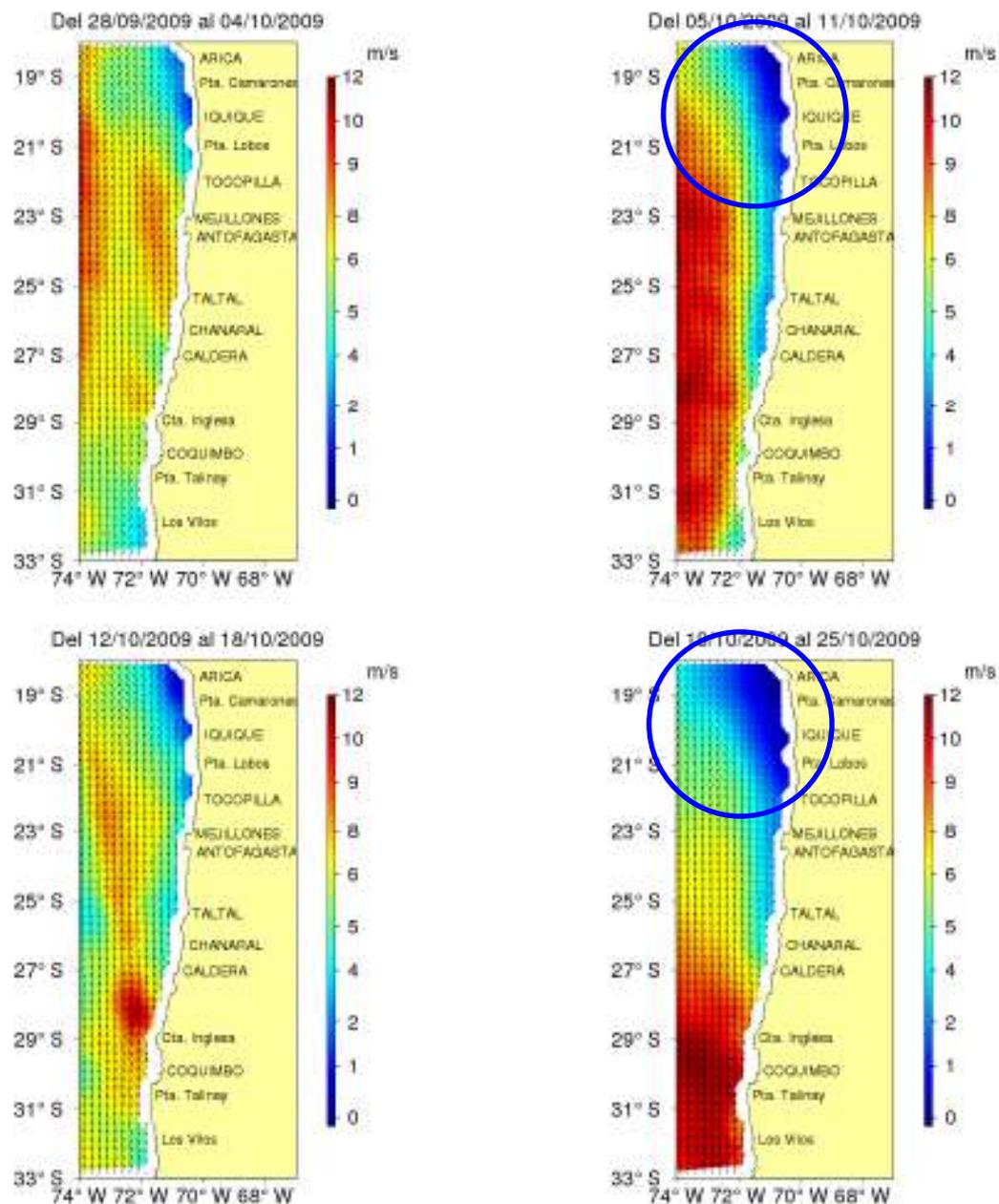
Viento : magnitud y dirección

-Gradiente norte sur

-Intensidad variable

- Predominio de viento con componente sur

Figura sat04. Intensidad del viento (m/s) y velocidad del viento (m/s) proveniente de imágenes satelitales Quikscat y que representan promedios semanales

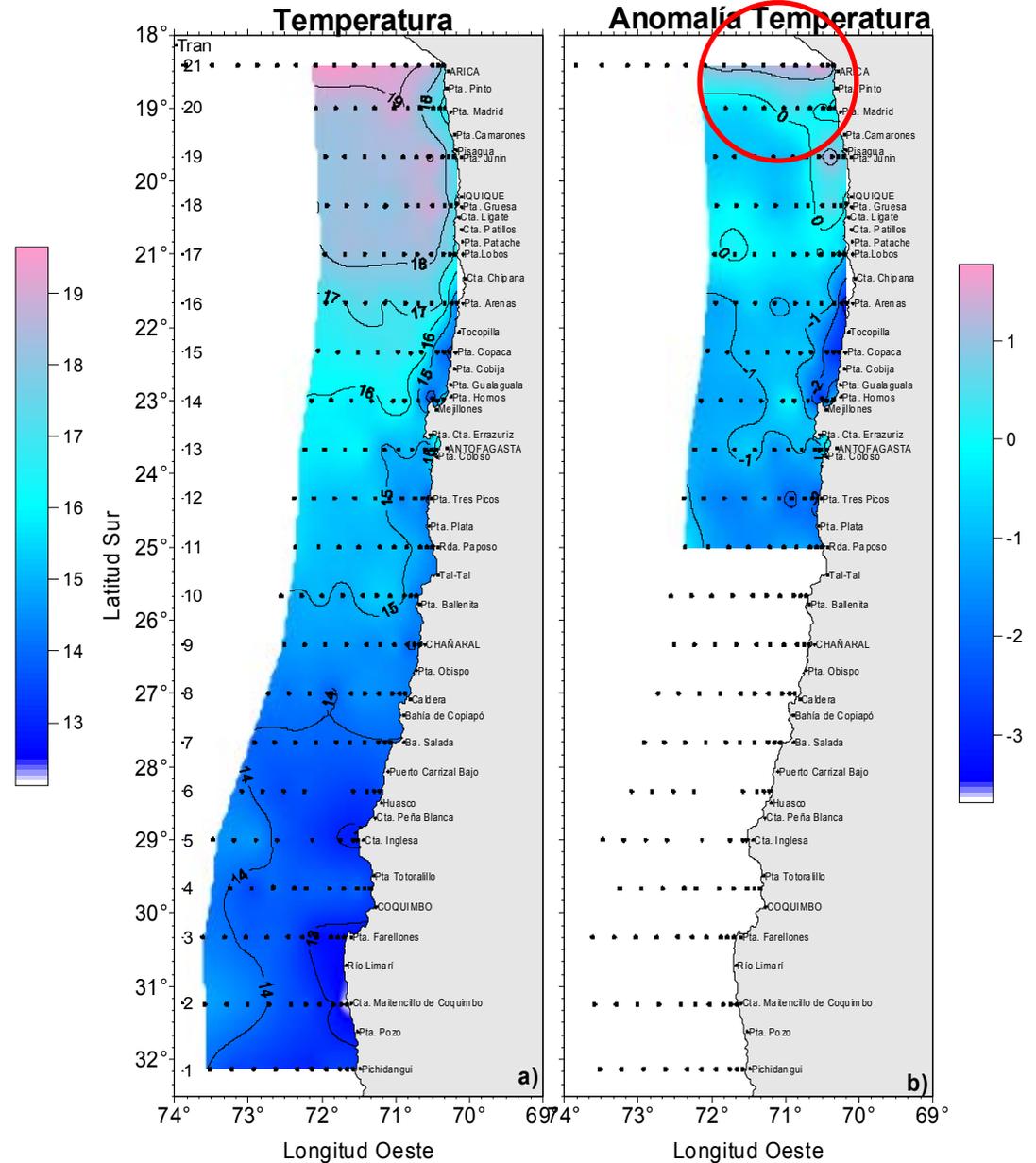


Condiciones superficiales

-ATSM + Arica

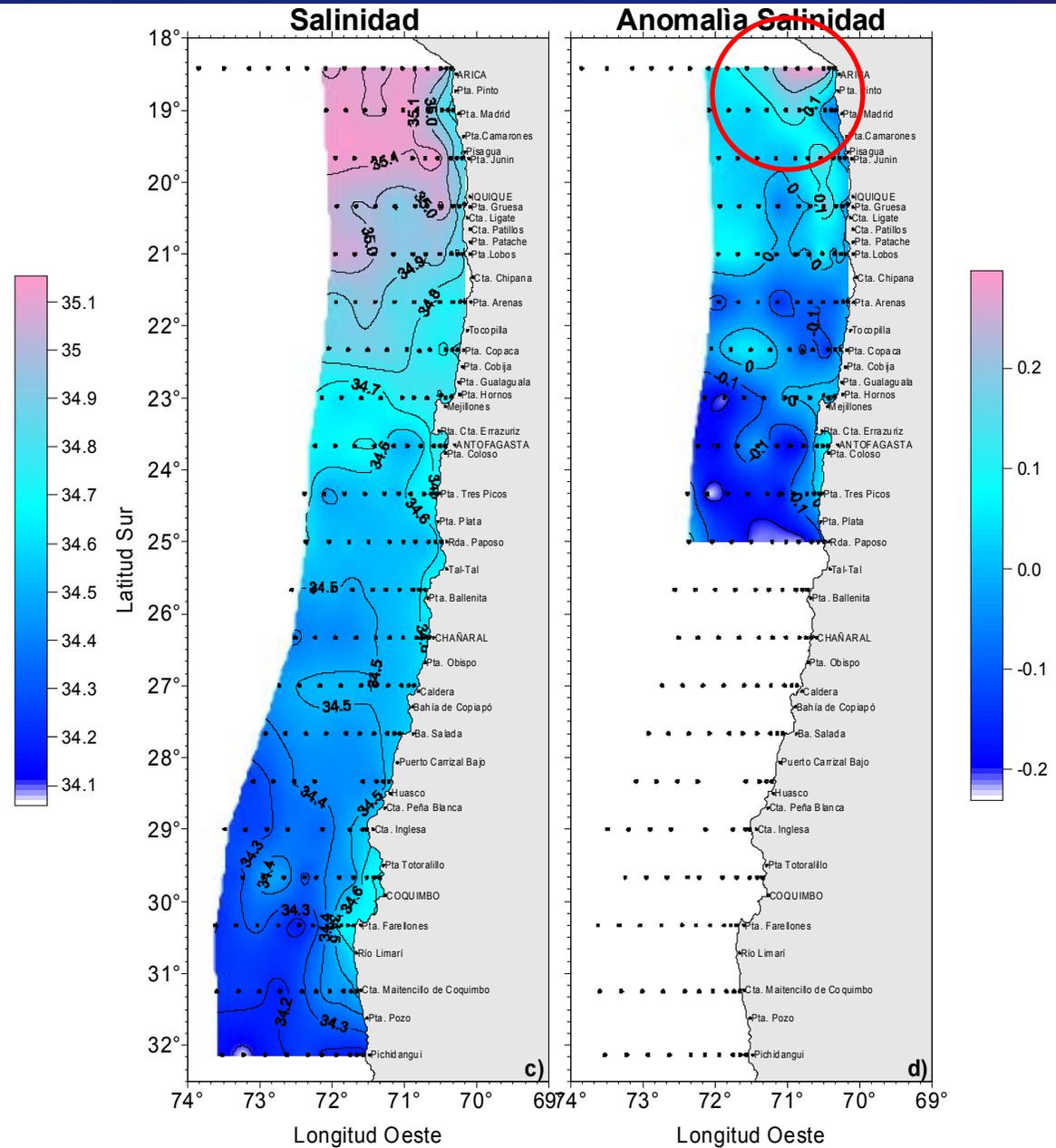
-ATSM – resto zona norte

- ATSM neutra desde Punta Ballenita al sur



Condiciones superficiaales

- ASSM + Arica
- ASSM – resto zona norte
- ASSM neutra desde Punta Ballenita al sur



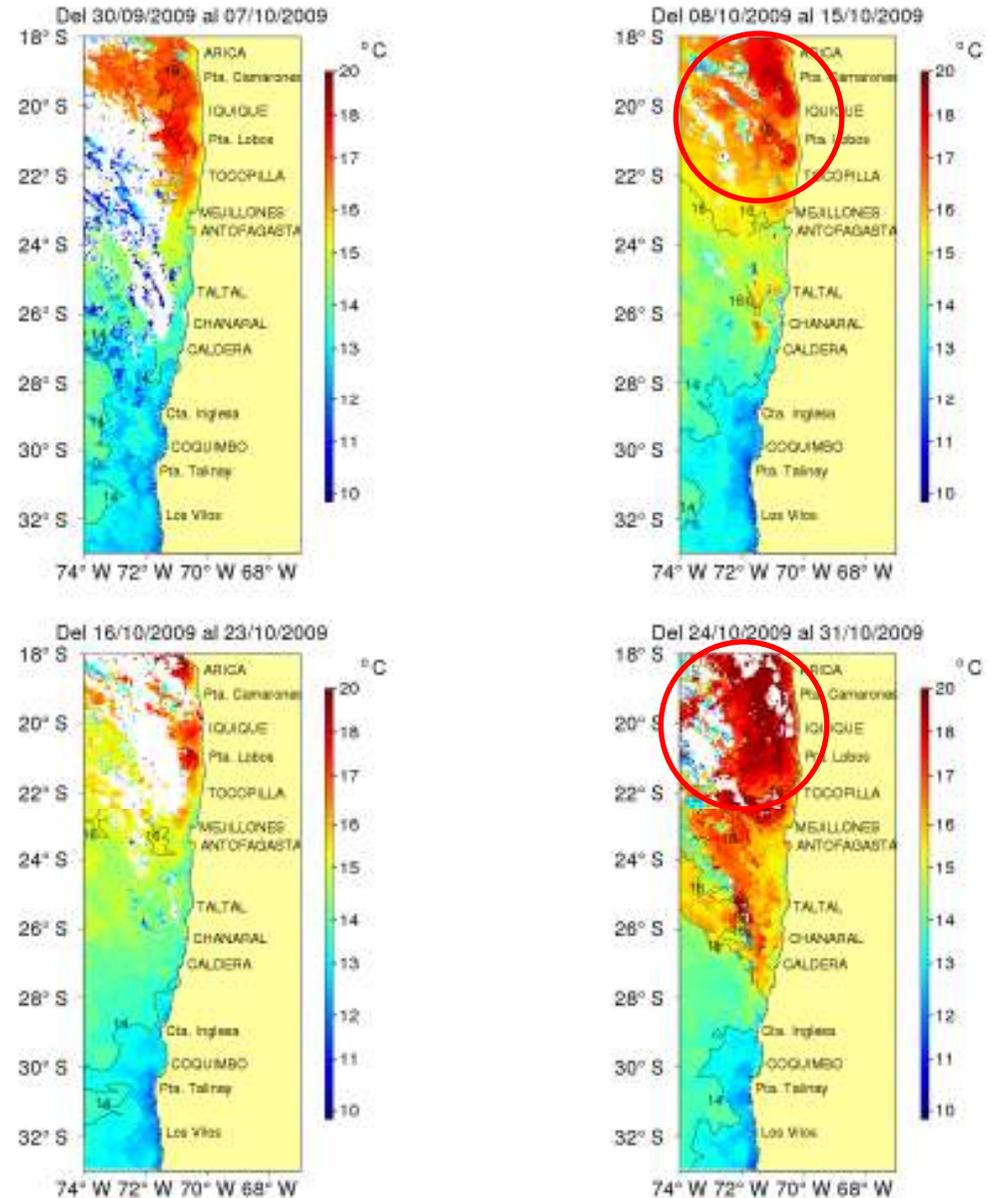
Condiciones superficiales

- Franja de agua fría en la costa

- Mayor surgencia en el área de Coquimbo

- Entrada de AST en área Norte

Figura sat01. Temperatura superficial del mar (°C) de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente a promedios semanales

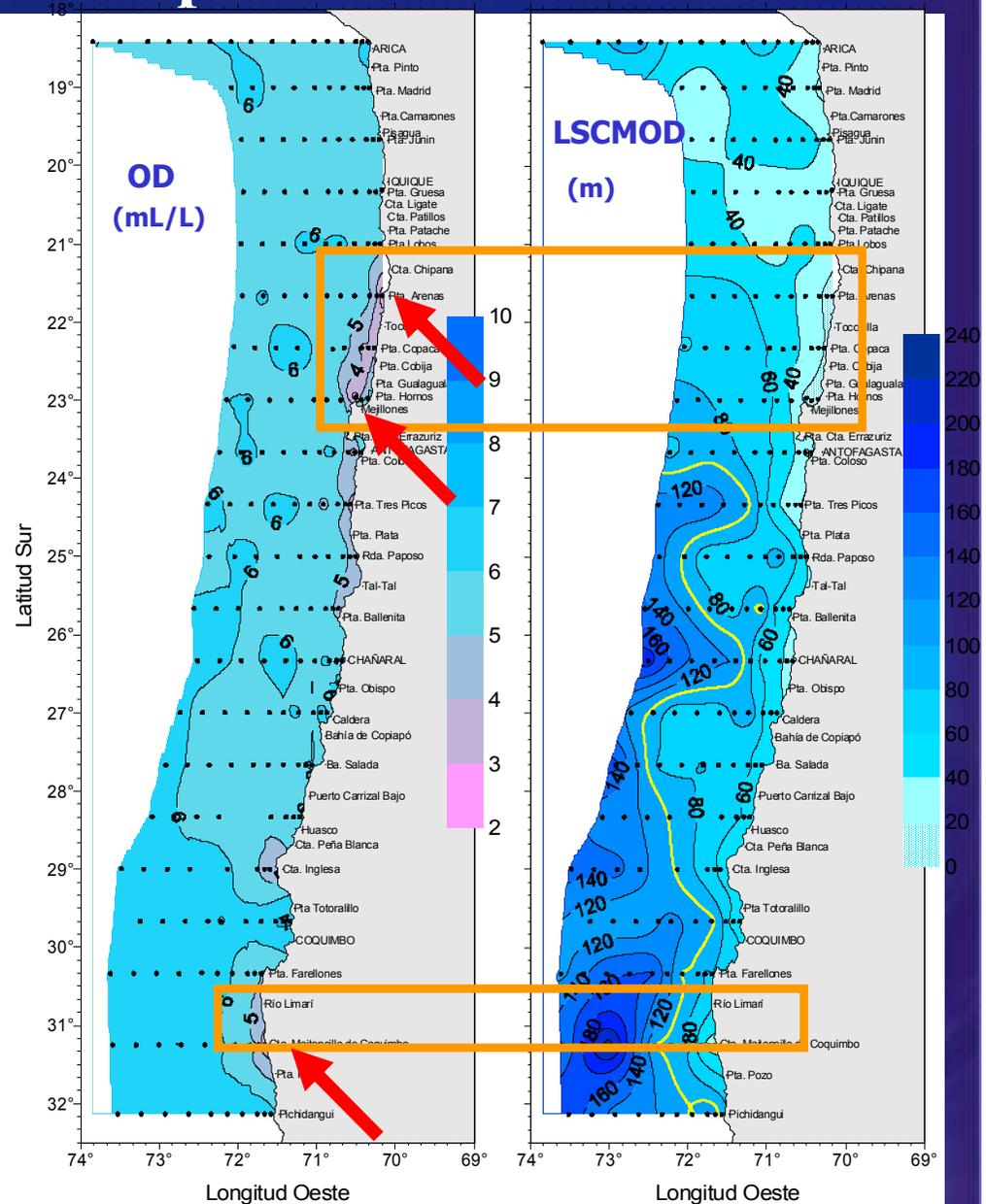


Condiciones superficiaales

- Sectores de surgencia intensa marcados por bajo OD

- También un bajo nivel de la profundidad del LSCMOD

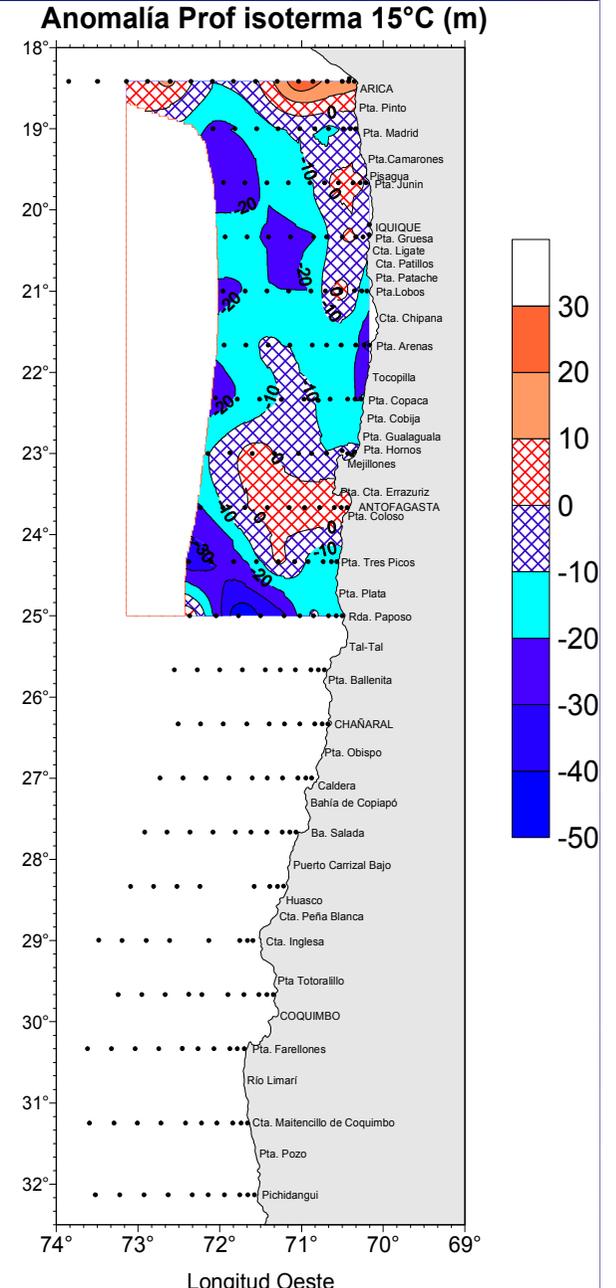
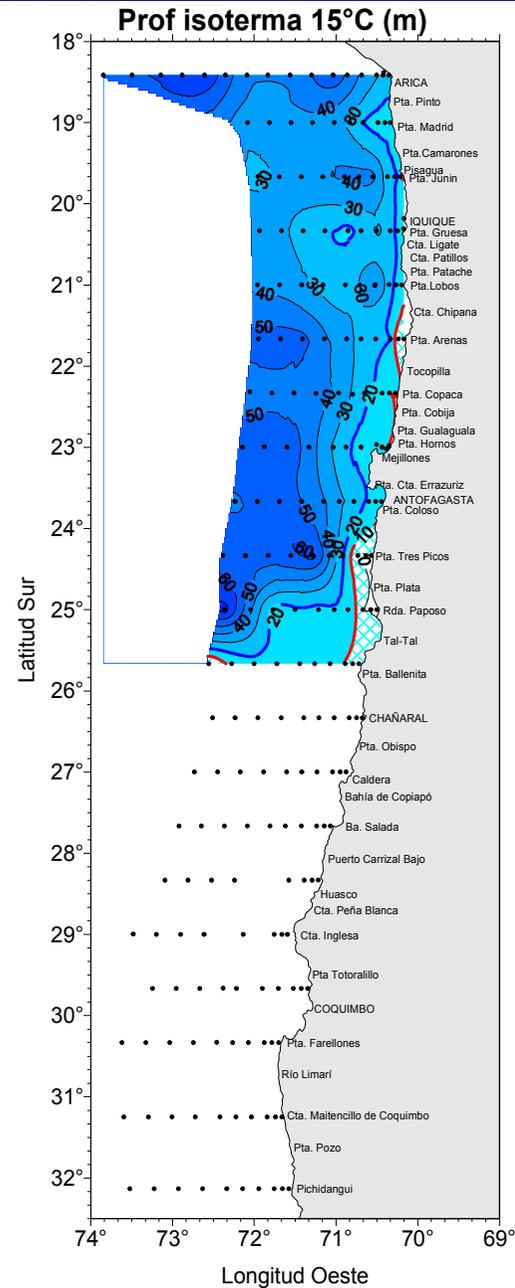
Los niveles más profundos del LSCMOD están asociados a la circulación de mesoescala

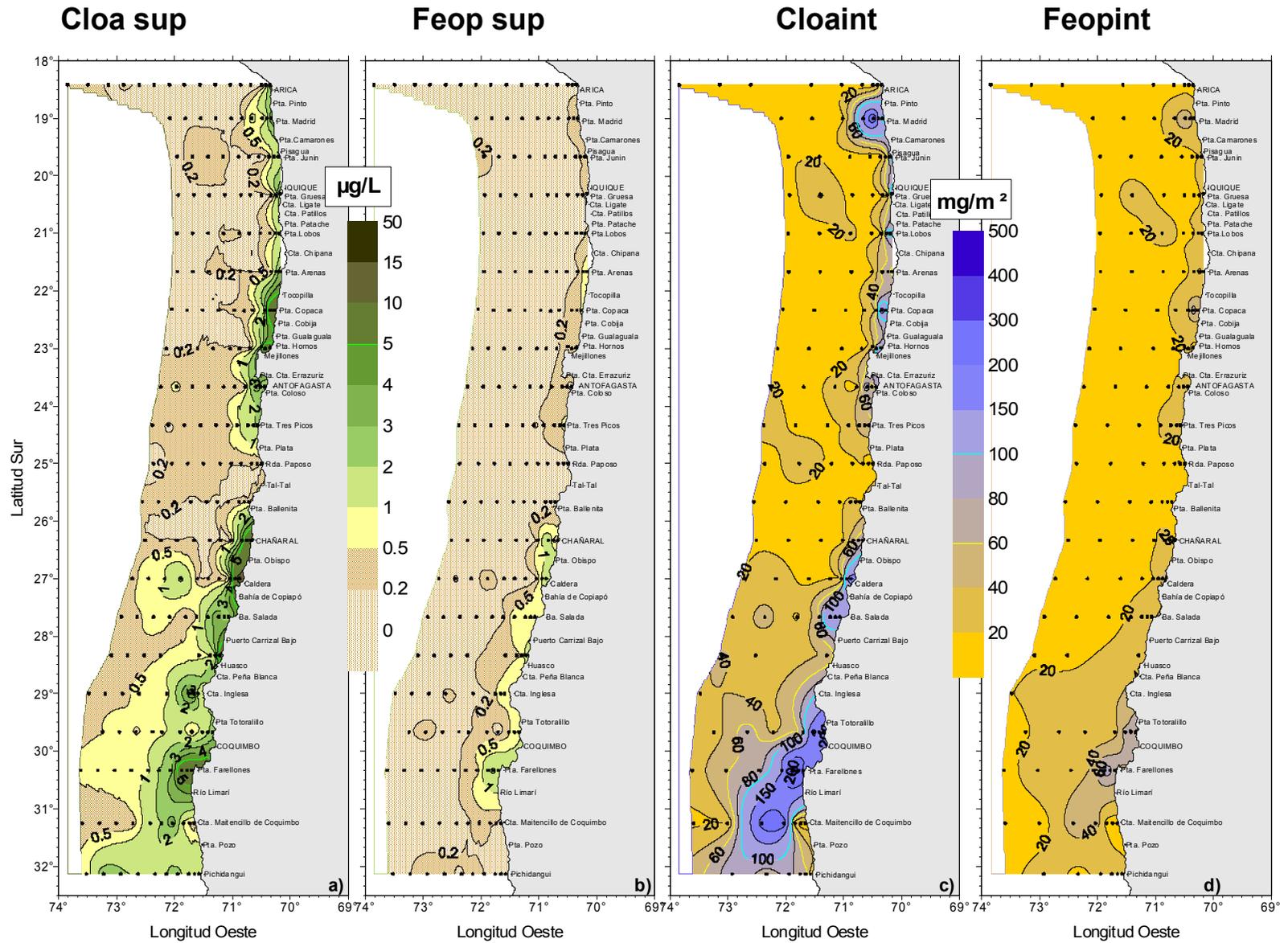


Condiciones subsuperficiales

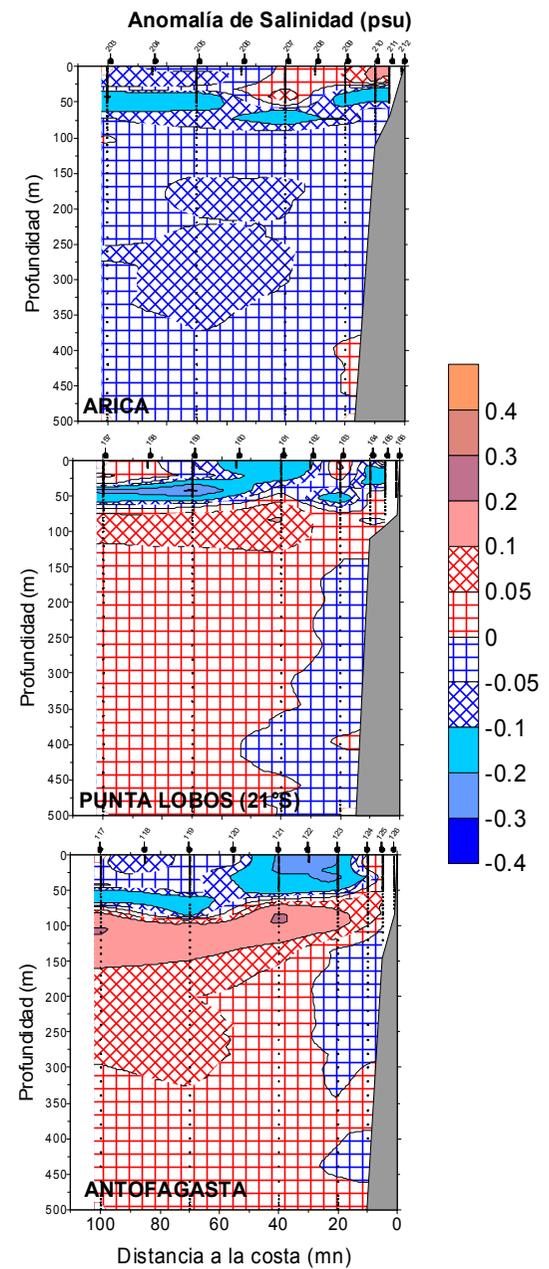
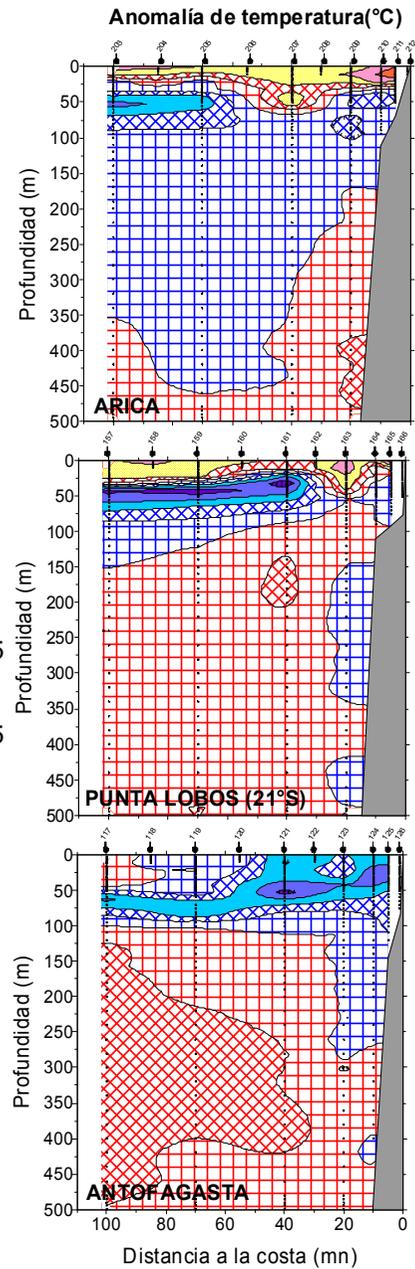
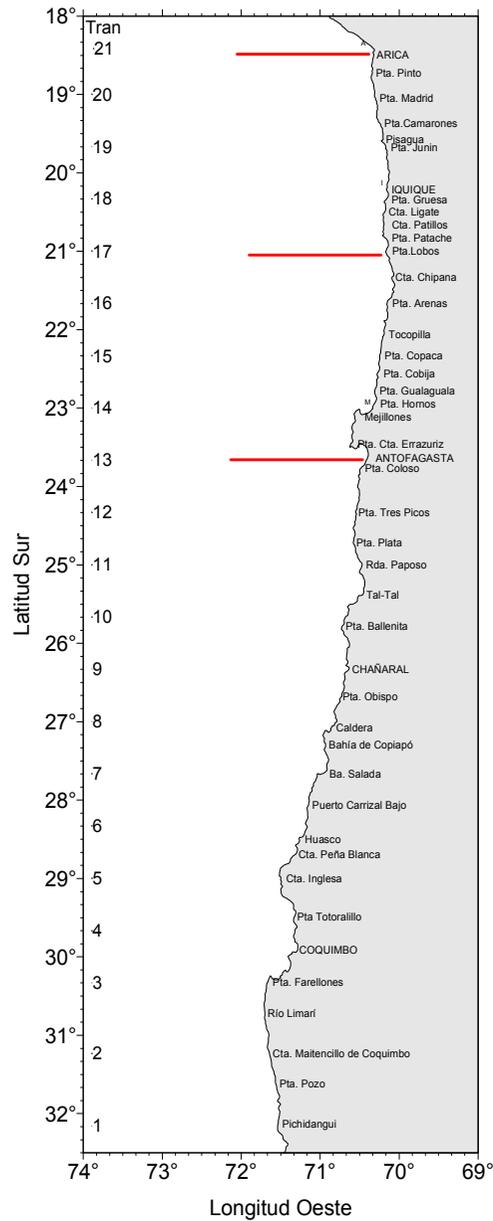
-Anomalías
neutras o
negativas señalan
una condición
normal a fría en la
zona norte.

Condición cálida:
entonces
anomalías
positivas
significativas (>10
m)



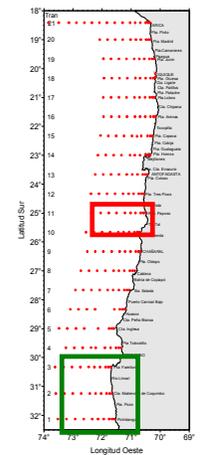
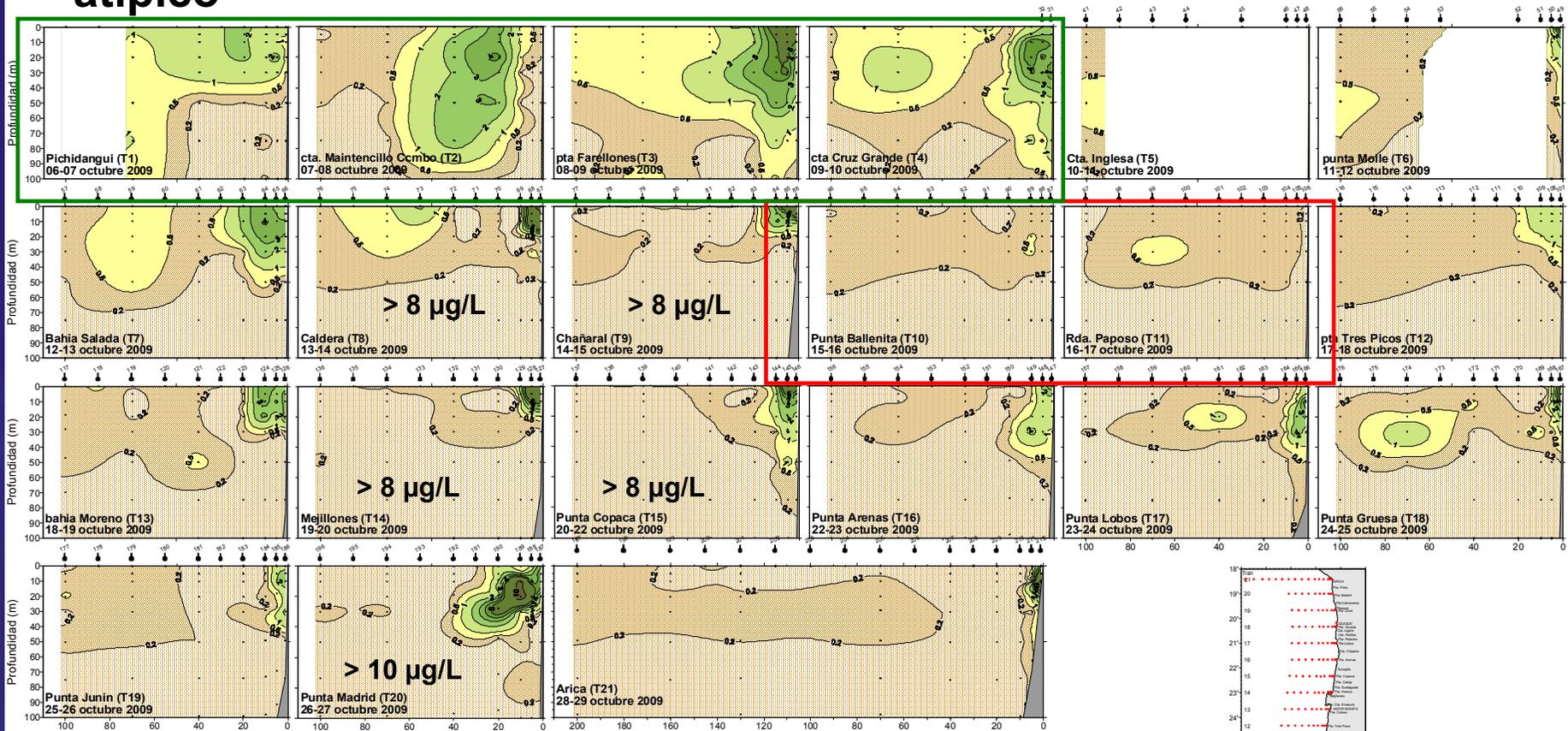


Condiciones subsuperficiales



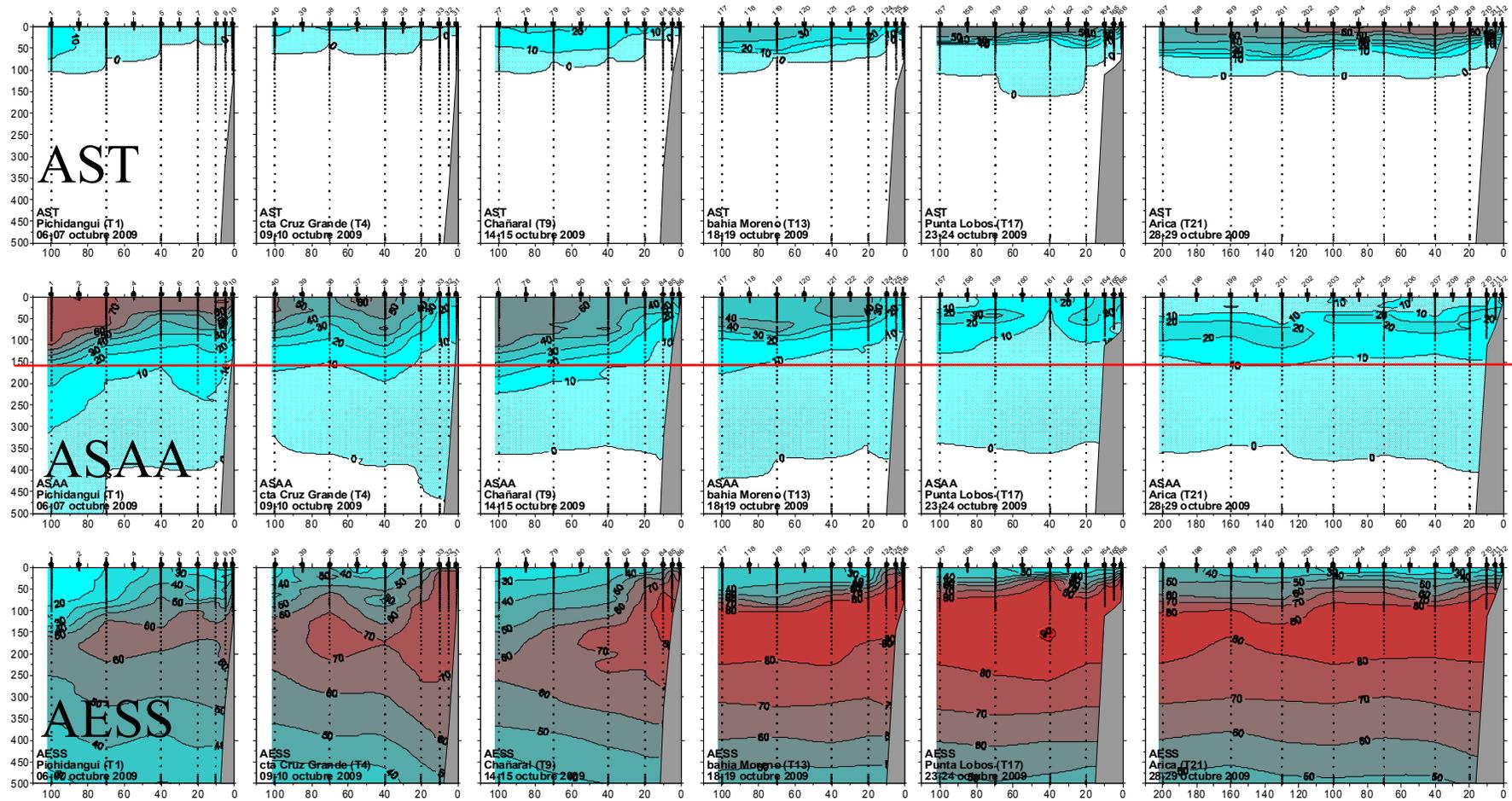
Distribución vertical de clorofila-a 2009

atipico



tipico

Masas de agua



Periodo junio 2009-junio 2010

Serie de TSM satelital

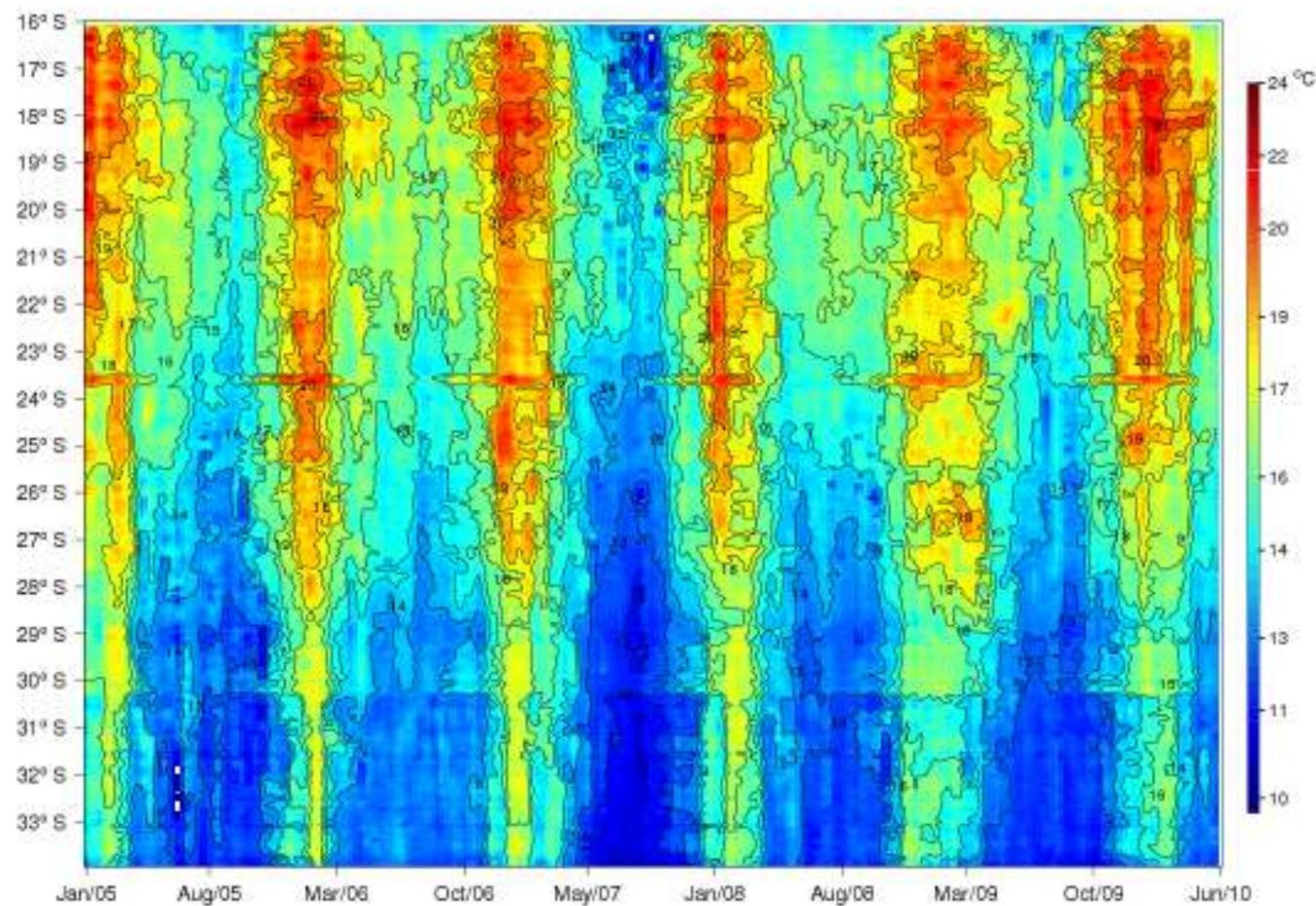


Figura s1-tsm. Monitoreo de la Temperatura Superficial del Mar (°C) semanal en la banda costera (~20 km) de la zona norte de Chile (16°-34°S), durante el periodo 2005-2010 (Fuente: Ocean Color Web, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).

Serie de Cloa satelital

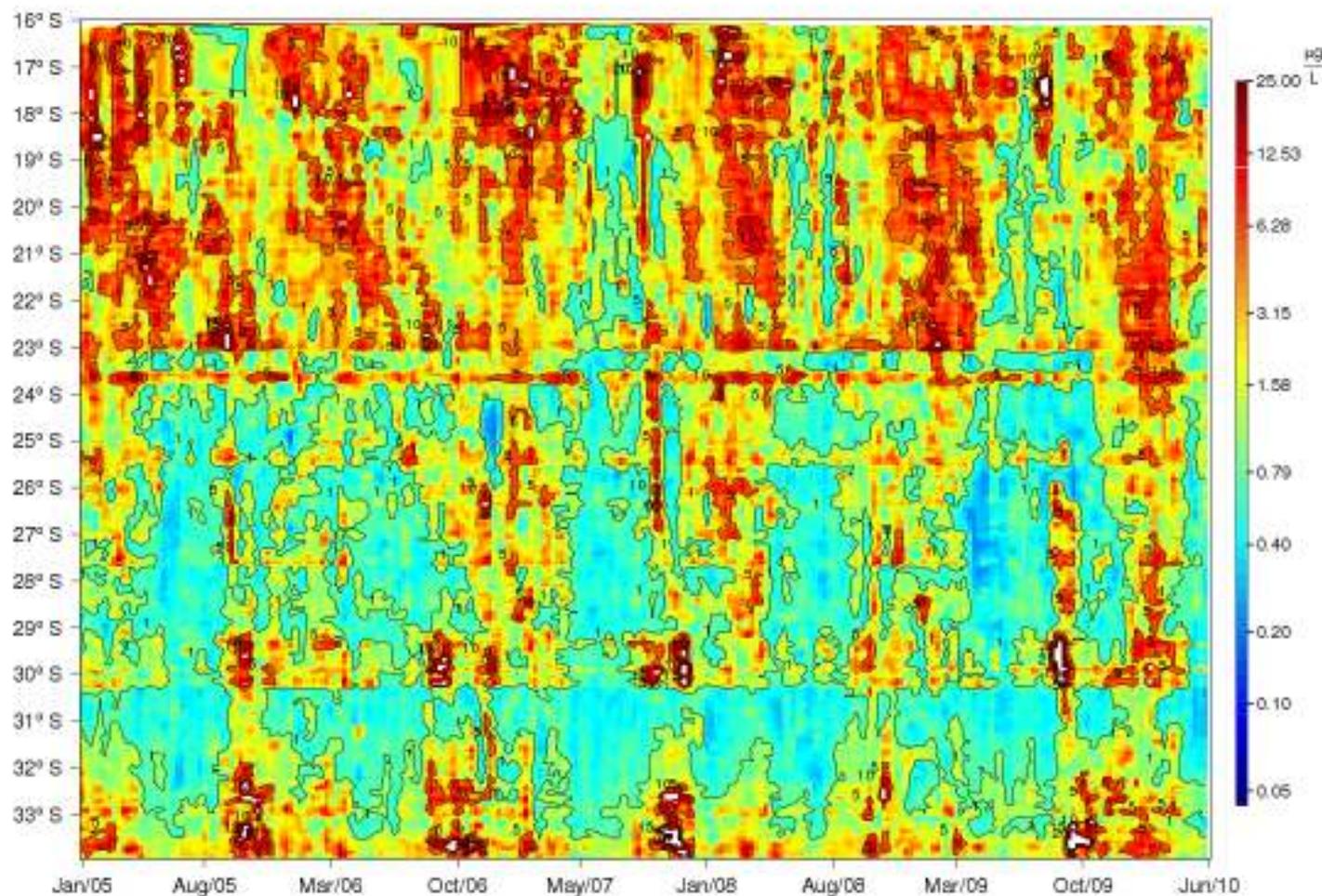


Figura s2-cloa. Monitoreo de la Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) semanal en la banda costera ($\sim 20\text{km}$) de la zona norte de Chile ($16^\circ\text{-}34^\circ\text{S}$), durante el periodo 2005-2010 (Fuente: Ocean Color Web, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).

Arica

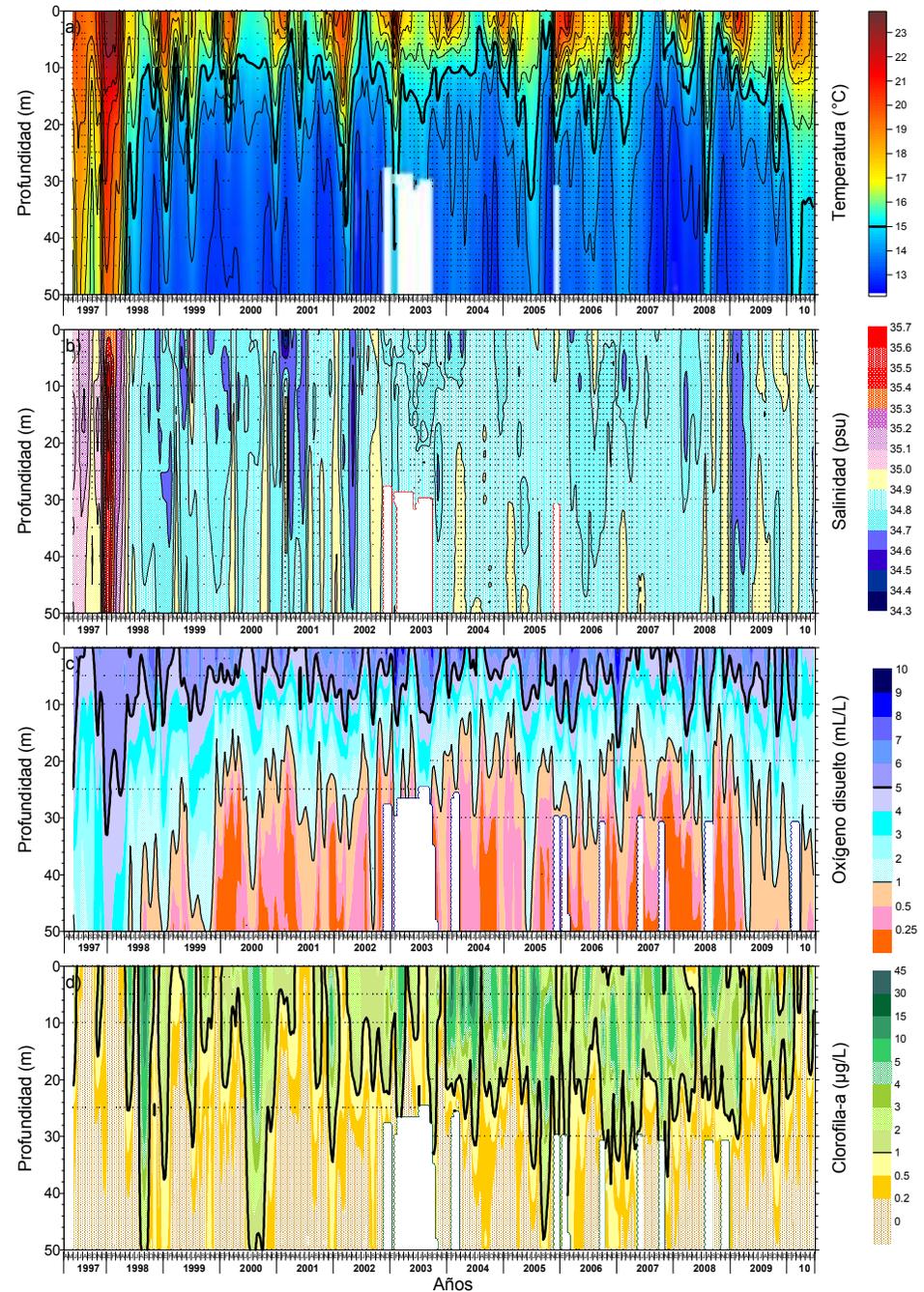
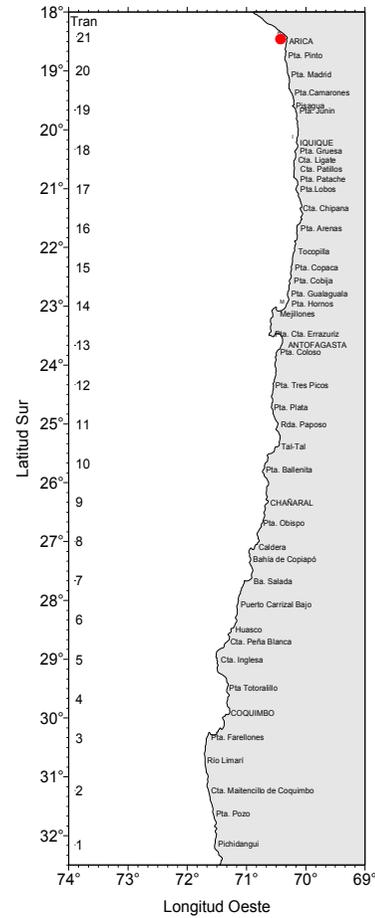


Figura F1. Variabilidad temporal de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) oxígeno disuelto (mL/L) y d) clorofila-a (µg/L), en la estación costera de Arica. Mayo 1997 - Junio 2010.

Iquique

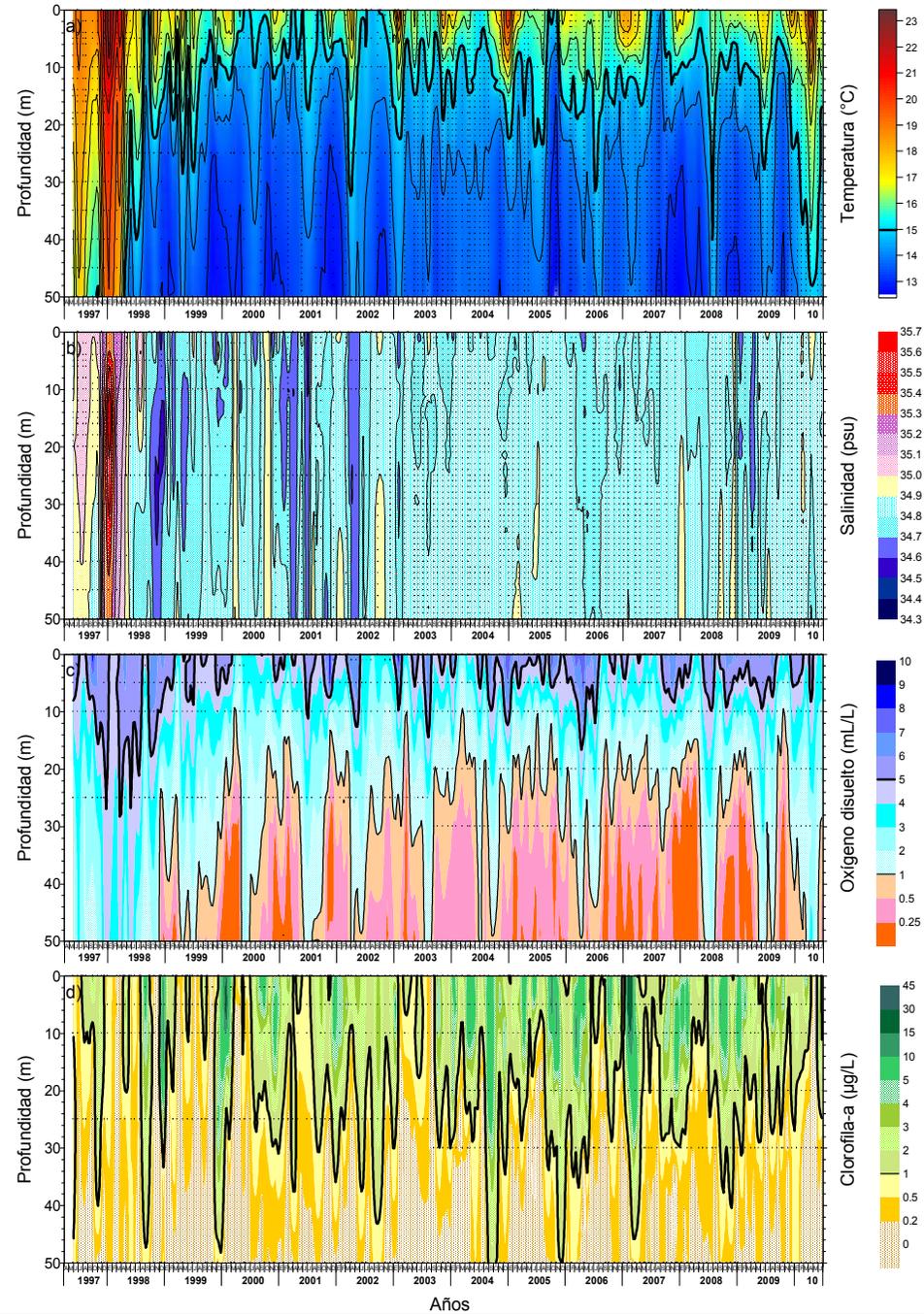
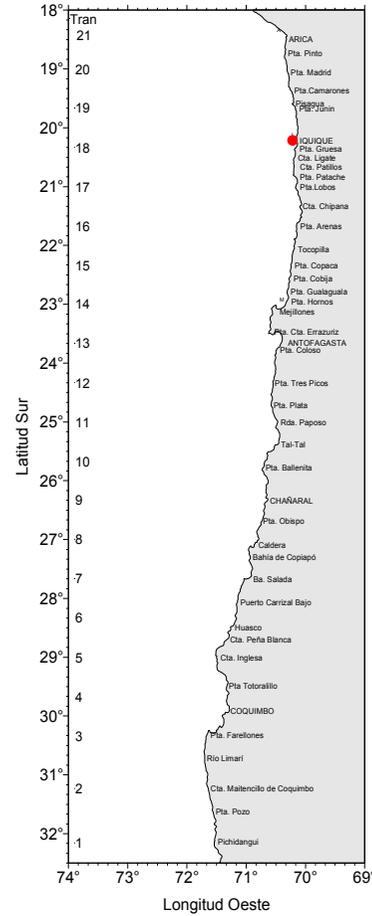


Figura F1. Variabilidad temporal de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) oxígeno disuelto (mL/L) y d) clorofila-a (µg/L), en la estación costera de Iquique. Mayo 1997 - Junio 2010.

Mejillones

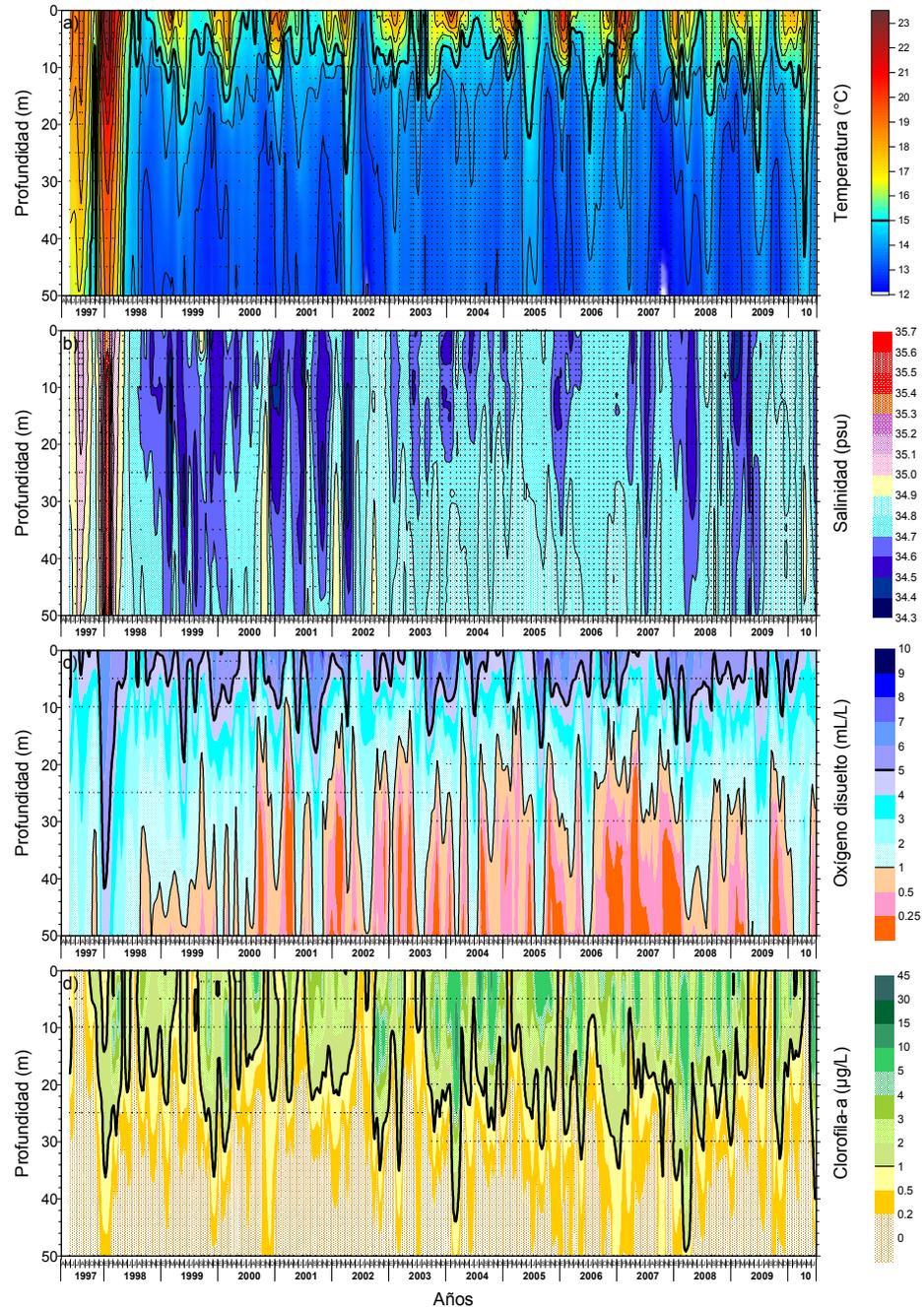
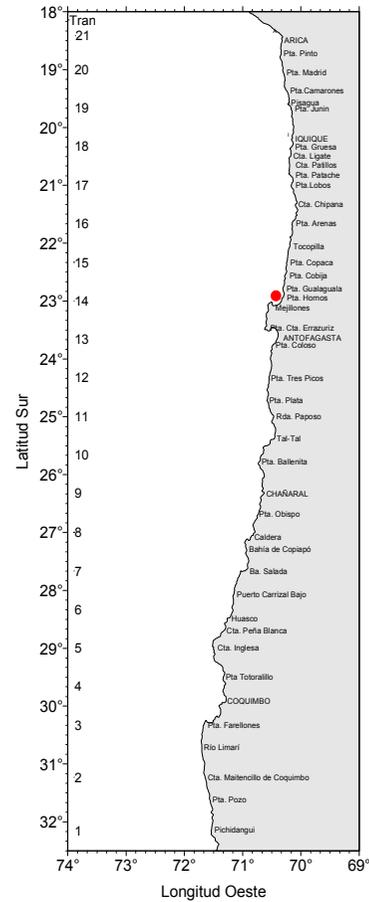


Figura F1. Variabilidad temporal de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) oxígeno disuelto (mL/L) y d) clorofila-a (µg/L), en la estación costera de Mejillones. Mayo 1997 - Junio 2010.

Conclusiones principales

1) Sistema ecuatorial

- se desarrolló un **evento cálido “El Niño”** entre junio de 2009 y mayo de 2010.

Conclusiones principales

2) Octubre de 2009: periodo del crucero

- se presenta una banda costera de **surgencia** prácticamente en **toda la zona** de intensidad moderada a **débil** y fue **más activo** al sur de **Huasco** y alrededor de bahía de **Coquimbo**.
- A pesar de haber **bajas intensidades de viento** en la mitad norte de la zona hubo **procesos de afloramiento** que afectaron la distribución de las variables en superficie y en la vertical.
- Hubo una **condición de normalidad en la zona norte y ligeramente fría y de baja salinidad** al sur de Antofagasta.
- Frente a **Arica** se registraron **anomalías positivas** significativas en temperatura y salinidad asociadas a una entrada de agua Subtropical por **condiciones locales** de viento.
- La distribución de **altas concentraciones de clorofila** durante el crucero es consistente con el **activo proceso de surgencia** desde Antofagasta al sur.
- Al **norte de Antofagasta**, las concentraciones de **cloa** fueron también altas pero sólo pegadas a la costa.

Conclusiones principales

3) Periodo julio 2009-junio 2010

-El área costera de **Arica** registró una condición **cálida** entre **Octubre de 2009 y junio 2010**, con un **pico de intensidad en enero-febrero** y siendo ésta la de **mayor intensidad** de las tres localidades fijas.

El área costera de **Iquique** registró una **condición cálida** entre **diciembre de 2009 y junio 2010** con un **pico en febrero-marzo**, alcanzando ésta una **intensidad intermedia** de las tres localidades fijas.

El área costera de **Mejillones** tuvo una **condición cálida** entre marzo y mayo de 2010 con un **pico en marzo-abril**, con la más **baja intensidad** de las tres localidades fijas.

La **condición cálida** observada entre **Arica y los 24°S** durante el verano 2010 fue la **más intensa** ocurrida en la zona después de El Niño 1997-98.

- Durante el **trimestre enero-marzo de 2010** se registraron **menores concentraciones de clorofila** entre los **18° y 24°S** como consecuencia de la condición cálida.

A N E X O 4

Base de datos corregida
Proyecto FIP N° 2009-38



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO
Sección Ediciones y Producción
Blanco 839, Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile
www.ifop.cl



www.ifop.cl