

**PROYECTO  
INFORME FINAL  
PROYECTO FIP N°2006-12**

**“MONITOREO DE LAS CONDICIONES BIO-OCEANOGRÁFICAS EN LA VIII  
REGIÓN, AÑO 2006”**

**REQUIRENTE**

---

CONSEJO DE INVESTIGACION PESQUERA, CIP

**EJECUTOR**

---

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION  
CENTRO DE INVESTIGACION OCEANOGRAFICA  
DEL PACIFICO SUR ORIENTAL, COPAS

## **JEFE DE PROYECTO**

---

Dra. Laura Farías: Jefe de proyecto, coordinación general, Producción nueva y regenerada, Variables ambientales

## **INVESTIGADORES**

---

Dr. Leonardo Castro : Ictioplancton (U de Concepción)

Dr. Giovani Daneri: Producción primaria (U del Mar)

Dr. Rubén Escribano: Meso- y macro-zooplancton (U de Concepción)

Dr. Humberto González: Flujos verticales, microplancton (U Austral de Chile)

Dra. Carmen Morales: Nano- y pico-plancton, y clorofila-a in situ (U de Concepción)

Dr. Oscar Pizarro: Oceanografía Física, data satelital, data meteorológica (U de Concepción)

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto FIP 2006-12 representa una continuidad de un sistema de observación espacio- temporal de las condiciones bio-oceanográficas de la Octava Región, iniciada en Julio de 2004 y continuados en forma consecutiva a través de los proyectos FIP “Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas de la VIII Región”. En este informe se reporta la data obtenida en este proyecto (agosto 2006-junio 2007) FIP 2006-12 y se discute la variabilidad temporal observada en la ventana de tiempo 2004-2007. Cabe señalar que metodología usada ha sido consistente a través de todos los años de estudio en los que se ha trabajado sobre la base de un modelo ecosistémico, compuesto por comunidades que ocupan distintos metabolismos y niveles tróficos y que interactúan con el ambiente natural (físico-químico) y bien definido en sus variaciones espaciales y temporales.

Desde el punto de vista de la variabilidad espacial a meso-escala, (observada a través de un crucero de primavera (octubre 2006), se observa la formación de plumas de surgencia y filamentos, con altas concentraciones de clorofila, que generan una alta heterogeneidad espacial. No obstante, se observa un patrón general consistente en altas concentraciones de clorofila-a total ( $>2 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la franja costera (especialmente entre el interior del Golfo de Arauco y la terraza del Itata), concentraciones intermedias ( $1 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la zona adyacente a la plataforma continental (desde frente al Golfo de Arauco hasta el límite norte del área de estudio), y concentraciones uniformemente bajas ( $<1 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la zona oceánica adyacente.

En general, la contribución de clorofila-a en las distintas fracciones de tamaño durante el crucero indican que la mayor proporción ( $>50\%$ ) estuvo dominada por la fracción nanoplanctónica ( $<20$  y  $>3 \mu\text{m}$ ), tanto en la zona costera como en la oceánica y que ambas fracciones están concentradas en el estrato más superficial (0-30m). Esta distribución coincide con la distribución del micro- (diatomeas) y nanoplacton autotrófico, comunidades que están explicando la mayor parte de la biomasa fitoplanctónica y COP.

El microzooplacton (representados por tintínidos y dinoflagelados), presentó una distribución y abundancia inversa a la distribución de diatomeas, concentrándose preferentemente en el sector oceánico y en el estrato superficial. La distribución espacial de la biomasa del meso- y macrozooplancton (representada por copépodos de pequeño tamaño) mostró una agregación principal frente al sector de Bahía Coliumo ( $36^{\circ}30' \text{ S}$ ) en la parte central de la región, dentro de la franja costera (primeras 20 mn) y esencialmente en la capa de 0-50 m. Huevos y larvas de anchoveta, sardina común y mote presentaron distribuciones similares, caracterizada por mayores abundancias en la zona costera sobre la plataforma continental. Huevos de merluza se encontraron sobre la plataforma continental, así como alejadas de ésta, patrón ya observado en el año 2004. No se observaron huevos larvas de jurel.

El hecho que las abundancia y biomasa de los principales comunidades (a excepción del microzooplancton) estén asociadas a las aguas más salinas, frías, pobres en oxígeno y ricas en nitrato, sugiere el importante efecto de la surgencia costera sobre la franja más costera y pone de manifiesto la interacción de estas comunidades a través de la mayor disponibilidad de alimento partiendo desde el primer nivel trófico (productores primarios). Al efecto de las surgencias en la zona costera se le suma el efecto de los rasgos batimétricos del área (i.e., un 9.2% del área total subyace sobre la isobata de los 200 m de profundidad y el 14.7% sobre la isobata de los 1000 m), lo que podría indicar, además, un intenso acoplamiento pelágico-bentónico que conlleva a un mayor reciclaje de nutrientes

regenerados que pueden difundir hacia la columna de agua, dejando a disposición una mayor cantidad de nutrientes regenerados que pueden ser canalizados hacia comunidades autotróficas.

Desde el punto de vista de la variabilidad temporal, los resultados bio-oceanográficos obtenidos a través de la serie de tiempo (St. 18 plataforma continental y st. 40 talud continental) permiten concluir la existencia de una fuerte estacionalidad en los eventos de surgencia costera, con índices de leves a fuertes durante el periodo de primavera-verano. Las variables oceanográficas en conjunto muestran que la fuerte estacionalidad se manifiesta en un período estival térmicamente estratificado, con mayor salinidad, una capa de mínimo oxígeno somera y mayor disponibilidad de nutrientes, en contraste a un invierno con una columna termalmente homogénea, mayor oxigenación y aguas de muy baja salinidad.

La biomasa fitoplanctónica también muestra esta variación estacional presentándose máximas concentraciones de clorofila durante el período de surgencia y una comunidad de diatomeas que parece explicar en gran medida la biomasa fitoplanctónica. El meso y macrozooplacton presentaron sus máximas biomásas hacia finales del verano, mientras que los organismos menores (pico, nano y micropactónico) no responden claramente a este patrón estacional. El ictioplacton, representado por estadios tempranos de 3 especies de recursos de la zona; anchoveta, sardina y merluza común, mostró altas abundancias en la primavera temprana consistente con los principales periodos de desove de estos recursos.

En general, y al igual que con el patrón espacial observado en el crucero de primavera, temporalmente la comunidad biológica parece responder al patrón estacional dado por las surgencias y que podría ser explicado como un control *bottom up* de la comunidad planctónica. Sin embargo, la existencia de organismos menores que no responden ni temporal ni espacial a las fluctuaciones físico-químicas asociadas a la surgencia también pone en evidencia la existencia del funcionamiento de una trama trófica microbiana menos estudiada.

Las condiciones generales, océano-climáticas muestran eventos de baja frecuencia (e.g., ciclo ENSO) desde mayo del 2006 en adelante en que se observaron anomalías positivas de la temperatura superficial en el Pacífico ecuatorial (región el Niño 3,4). Estas condiciones habrían generado ondas ecuatoriales tipo Kelvin cuya propagación e influencia se detecta a través de anomalías en el nivel del mar en diferentes puntos de la costa Chilena (incluida la zona central). En la ventana de la variabilidad interanual, se observan diferencias en las abundancias de los distintos niveles tróficos, desde la biomasa fitoplanctónica hasta los niveles superiores, pero que no están en sincronía entre niveles (i.e., durante el periodo 2006-2007 se encontró una mayor abundancia de ictioplancton y meso y macro-zooplancton respecto a años anteriores, pero no así en las abundancias de productores primarios). Si bien no es posible establecer relaciones causales en este tipo de variabilidad, el esfuerzo de investigación asociado a este tipo de monitoreo entrega aportes sobre las potenciales causas de variación de los recursos en esta región. Consecuentemente, resulta altamente conveniente mantener este tipo de estudios de condiciones bio-oceanográficas para captar toda la variabilidad del ecosistema de la zona que ya se conoce repercute en los recursos pesqueros de la Octava Región.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>4</b>
<b>INDICE DE CONTENIDOS</b>	<b>6</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>8</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>17</b>
<b>1.1. OBJETIVO GENERAL</b>	<b>20</b>
<b>1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>20</b>
<b>2. METODOS</b>	<b>21</b>
2.1 Objetivo específico 1	25
2.1.1 Diseño y estrategia de muestro	25
2.1.2. Métodos de muestreo	26
2.1.3. Métodos de análisis de muestras y registros	26
2.2. Objetivo específico 2	27
2.2.1. Diseño y estrategia de muestreo	29
2.2.2. Métodos de muestreo	29
2.2.3. Métodos de análisis de muestras	30
2.3. Objetivo específico 3	31
2.3.1. Diseño y estrategia de muestreo	31
2.3.2. Métodos de muestreo	32
2.3.3. Metodos de análisis de muestras e información	32
2.4. Objetivo 4	33
2.4.1. Diseño y estrategia de muestreo	33
2.4.2. Métodos de análisis de muestras	35
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>36</b>
3.1. Variabilidad espacial de variables oceanográficas	36
3.1.1. Condiciones meteorológicas imperantes durante la primavera de 2006	37
3.1.2. Variabilidad espacial de las variables hidrográficas y oceanográficas: análisis a través de las secciones horizontales	40
3.1.3. Distribución espacial de las variables hidrográficas y oceanográficas: análisis a través de las secciones verticales por transecta.	61
3.1.4. Variabilidad espacial longitudinal: análisis a través de las secciones meridionales.	71
3.1.5. Masas de agua y diagramas T-S.	75
3.1.6. Mediciones de Radiación (PAR)	77
3.2. Distribución espacial de variables bio-oceanográficas durante primavera de 2006.	81
3.2.1. Biomasa fitoplactónica.	81
3.2.2. Abundancia, biomasa y distribución de picoplancton.	85
3.2.3. Abundancia y distribución de nanoplancton.	89
3.2.4. Abundancia y distribución de microplacton	92
3.2.5. Abundancia y distribución de larvas nauplii de mesozooplancton	99
6	
3.2.6. Abundancia, biomasa y distribución de mesozooplancton y macrozooplancton	99

3.2.7. Abundancia y distribución de ictioplacton	<b>108</b>
3.3. Procesos biogeoquímicos durante primavera de 2006.	<b>113</b>
3.3.1. Abundancia y distribución de carbono orgánico particulado en la columna de agua, durante el crucero FIP 2006.	<b>113</b>
3.3.2. Distribución del carbono orgánico particulado integrado de la columna de agua	<b>114</b>
3.3.3. Biomasa y distribución de carbono pellet fecales de zooplancton	<b>115</b>
3.4. Variabilidad temporal de las condiciones bio-oceanográficas.	<b>117</b>
3.4.1. Variabilidad temporal en las condiciones meteorológicas.	<b>117</b>
3.4.2. Variabilidad temporal en las condiciones físico-químicas: Estación ST18	<b>123</b>
3.4.3. Variabilidad temporal en el componente planctónico: Estación ST18	<b>131</b>
3.4.4. Variabilidad temporal en las condiciones bio-oceanográficas: Estación ST40	<b>154</b>
3.5. Variabilidad temporal en los procesos biogeoquímicos.	<b>161</b>
3.5.1. Variabilidad temporal en la producción primaria y respiración Comunitaria	<b>161</b>
3.5.2. Variación temporal de la distribución vertical de carbono orgánico particulado.	<b>162</b>
3.5.3. Variación temporal en el flujo vertical de material particulado	<b>162</b>
<b>4. DISCUSION</b>	<b>165</b>
4.1. Variabilidad espacial en las condiciones bioceanográficas durante la primavera 2006 (Octubre 2006).	<b>165</b>
4.2. Variabilidad temporal de las condiciones oceanográficas de la región de Chile Central	<b>176</b>
<b>5. REFERENCIAS</b>	<b>179</b>
<b>6. ANEXOS</b>	<b>188</b>
Anexo I:Data report FIP-2006 (CTD). (Formato digital, CD)	
Anexo II:Data Físico Química crucero Primavera -2006. (Formato digital, CD)	
Anexo III:Data Biológica crucero Primavera – 2006. (Formato digital, CD)	
Anexo IV:Data Temporal Físico-Química ST18 desde agosto 2006 a junio 2007. (Formato digital, CD)	
Anexo V:Data Temporal Biológica ST18 desde agosto a junio 2007. (Formato digital, CD)	

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.2.1. Información resumen de las estaciones oceanográficas y bio-oceanográficas.	28
Tabla 3.1.1. Estadística básica del campo de viento durante el periodo de muestreo. Crucero FIP.	38
Tabla 3.1.2. Estadística básica y rangos de concentración y asociados a la medición de nutrientes Crucero MOBIOBIO 2006.	54
Tabla 3.1.3. Coeficientes de atenuación ( $k$ ) y profundidad de penetración de la luz PAR ( $Z_{1\%}$ ). Los coeficientes $k_1$ y $k_2$ se obtuvieron del análisis de regresión entre la intensidad de la luz ( $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ ) y la profundidad $Z_{1\%}$ corresponden a las obtenidas usando $k_1$ .	79
Tabla 3.2.1. Principales taxa del mesozooplankton y macrozooplankton encontrados durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción en la capa de 0-200 m.	101
Tabla 3.2.2. Regresión múltiple paso-a-paso para determinar la asociación entre variables ambientales y taxa del zooplankton encontrados en la capa de 0-200 m, durante la primavera de 2006 frente a Concepción.	108
Tabla 3.4.1. Estadística básica de los vientos registrados durante el período 01 de julio de 2006 al 30 de junio de 2007.	118
Tabla 3.4.2. Estadística básica de los vientos registrados durante el período agosto 2004 al 30 de junio de 2007.	121
Tabla 3.4.3. Estadística básica de distribución vertical de oxígeno disuelto y nutrientes en la columna de agua durante la serie de tiempo estación ST18 (agosto 2006 al 30 de junio de 2007).	125
Tabla 4.1.1. Anomalías de la temperatura en la región Niño3,4 calculadas sobre el período base 1970-2000 y filtradas con un promedio móvil de 3 puntos. Los números en azul indican periodos fríos y los números en rojo periodos cálidos (ver texto para detalles de la definición de los periodos).	169

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.1. Modelo conceptual de los procesos y componentes a estudiar. Aut= Autotrófica. = P=picoplancton, N=nanoplancton, M=microplancton, Clo-a = clorofila-a autotrófica.	22
Figura 2.1.2. Esquema de obtención y recopilación de la información durante el Estudio	24
Figura 2.1.3. Disposición de las estaciones de estudio y trayecto realizado durante el crucero de primavera FIP-2006.	25
Figura 2.2.4. Fotografía tomada al momento de izar la red de zooplancton Tucker en una de las estaciones de estudio.	30
Figura 2.4.5. Foto de Incubadores solares <i>on deck</i> usados para incubar muestras de producción primaria.	34
Figura 2.4.6. Foto de las trampas de sedimento utilizada durante la recolección de material particulado.	34
Figura 3.1.1. Posición geográfica de las estaciones oceanográficas realizadas durante el crucero MOBIOBIO, entre el 18 al 27 de octubre de 2006.	37
Figura 3.1.2. Rosa de los vientos donde se muestra la dominancia de los vientos del sector sur-oeste.	38
Figura 3.1.3. Campo vectorial del viento superficial derivado del satélite QUICKSCAT para el período del crucero MOBIOBIO 2006.	39
Figura 3.1.4. Componente norte y magnitud de la velocidad del viento entre el 16 y el 28 de octubre de 2006. La información fue obtenida de una estación meteorológica costera ubicada al sur de la bahía de Coliumo.	40
Figura 3.1.5. Batimetría de la zona de estudio.	41
Figura 3.1.6. Imágenes satelitales de clorofila superficial diaria (a:23-Oct-2006, b: 25 Oct-2006 y c: 28-Oct-2006).	42
Figura 3.1.7a. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	43
Figura 3.1.7b. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 10 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	44
Figura 3.1.7c. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 30 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	45
Figura 3.1.7d. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 50 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	45
Figura 3.1.7e. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 100 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	46
Figura 3.1.7f. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 200 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	46
Figura 3.1.7g. Transporte de Ekman calculado desde series diarias de viento satelital QUICKSCAT para tres posiciones cercanas a la costa, centradas a 35° 45'S, 36° 45'S y 37° 45'S, durante octubre de 2006. Los valores corresponden a transporte de volumen en $m^3s^{-1}$ por 1000 m de costa.	47
Figura 3.1.8a. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	48
Figura 3.1.8b. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 10 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	48

Figura 3.1.8c. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 30 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	50
Figura 3.1.8d. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 50 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	50
Figura 3.1.8e. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 100 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	51
Figura 3.1.8f. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 200 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	51
Figura 3.1.9a. Distribución horizontal de densidad ( $\text{Kg/m}^3$ ) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	52
Figura 3.1.9b. Distribución horizontal de densidad ( $\text{Kg/m}^3$ ) a 10 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	53
Figura 3.1.10. Distribución horizontal de oxígenos a distintas profundidades superficiales, crucero MOBIOBIO 2006.	55
Figura 3.1.11a. Distribución horizontal de nutrientes superficiales a diferentes profundidades, crucero MOBIOBIO 2006 (a: $\text{NO}_3$ , b: $\text{NO}_2$ , c: $\text{PO}_4$ y d: Si).	57
Figura 3.1.11b. Distribución horizontal de nutrientes a 10 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	58
Figura 3.1.11c. Distribución horizontal de nutrientes a 30dB, crucero MOBIOBIO 2006.	59
Figura 3.1.11d. Distribución horizontal de nutrientes a 50 dB, crucero MOBIOBIO 2006.	60
Figura 3.1.12a Distribución vertical de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) salinidad (psu), c) densidad ( $\text{Kg/m}^3$ ) y d) oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ), transecta 1 ( $35^{\circ}30'$ S), crucero MOBIOBIO 2006.	62
Figura 3.1.12b. Distribución vertical de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) salinidad (psu), c) densidad ( $\text{Kg/m}^3$ ) y d) oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ), transecta 2 ( $36^{\circ}00'$ S), crucero MOBIOBIO 2006.	63
Figura 3.1.12c. Distribución de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) salinidad (psu), c) densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) y d) oxígeno disuelto ( $\text{ml/L}$ ), transecta 3 ( $36^{\circ}30'$ S), crucero MOBIOBIO 2006.	64
Figura 3.1.12d. Distribución vertical de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) salinidad (psu), c) densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) y d) oxígeno disuelto ( $\text{ml/L}$ ), transecta 4 ( $37^{\circ}00'$ S), crucero MOBIOBIO 2006.	66
Figura 3.1.12e. Distribución vertical de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) salinidad (psu), c) densidad ( $\text{Kg/m}^3$ ) y d) oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ), transecta 5 ( $37^{\circ}30'$ S), crucero MOBIOBIO 2006.	67
Figura 3.1.13a. Distribución vertical de a) oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ) b) nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) c) nitrito ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) d) fosfato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) y e) silicatos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), transecta 1 ( $35^{\circ}30'$ S), crucero MOBIOBIO 2006.	68
Figura 3.1.13b. Distribución vertical de a) oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ) b) nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) c) nitrito ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) d) fosfato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) y e) silicatos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ),	69

transecta 3 (36°30' S), crucero MOBIOBIO 2006.

- Figura 3.1.13c. Distribución vertical de a) oxígeno disuelto (mL/L) b) nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) c) nitrito ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) d) fosfato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) y e) silicatos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), transecta 5 (37°30' S), crucero MOBIOBIO 2006. 70
- Figura 3.1.14. Distribución vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad (psu) y densidad ( $\text{Kg/m}^3$ ) de transectas longitudinales: oceánica (76° 42'S, izquierda), intermedia (75° 00'S, centro) y costera (derecha). Crucero MOBIOBIO 2006. 72
- Figura 3.1.15a. Distribución vertical de nitrato, nitrito, fosfato y silicatos en transectas longitudinales: costeras (20 mn panel izquierdo) y 40 mn (panel derecho) Crucero MOBIOBIO 2006. 73
- Figura 3.1.15b. Distribución vertical de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), nitrito ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), fosfato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) y silicatos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) en transectas longitudinales: oceánica a 75 mn (panel izquierdo) y 200 mn (panel derecho). Crucero MOBIOBIO 2006. 74
- Figura 3.1.16. Diagramas T-S para las distintas transectas realizadas durante el crucero MOBIOBIO 2006. Las líneas curvas al interior de cada diagrama representan curvas de igual sigma-t. 76
- Figura 3.1.17. Profundidad de la isopicna de  $26.5 \text{ kg m}^{-3}$ . 77
- Figura 3.1.18. Ubicación de las estaciones usadas para el cálculo de la profundidad de penetración de la luz ( $Z_{1\%}$ ) 79
- Figura 3.1.19. Perfiles de radiación PAR ( $\mu\text{E/m}^2\text{s}$ ) versus profundidad para diferentes estaciones de muestreo con CTD. Los puntos y los círculos corresponden a los valores utilizados y eliminados respectivamente en el análisis de regresión. Los diferentes k se refieren a las pendientes de las rectas ajustadas mediante mínimos cuadrados. 80
- Figura 3.2.1. Distribución superficial de clorofila-a durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Panel superior: clorofila-a total; panel intermedio: clorofila-a fracción  $<20 \mu\text{m}$ ; panel inferior: clorofila-a fracción  $<3 \mu\text{m}$ . 82
- Figura 3.2.2. Distribución vertical de clorofila-a durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Transectas longitudinales (arriba norte, sur abajo) para clorofila-a total (paneles a la izquierda) y fracción  $<20 \mu\text{m}$  (paneles a la derecha). 83
- Figura 3.2.3. Distribución de clorofila-a integrada (0-35 m) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Panel superior: clorofila-a total; panel intermedio: clorofila-a fracción  $<20 \mu\text{m}$ ; panel inferior: clorofila-a fracción  $<3 \mu\text{m}$ . 84
- Figura 3.2.4. Distribución superficial de la abundancia de picoplancton ( $\cdot 10^3 \text{ células mL}^{-1}$ ) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Panel superior: PPH picoplancton heterótrofo; panel inferior: PPA picoplancton autótrofo. 86

Figura 3.2.5. Distribución vertical de picoplancton ( $10^3$ células $\text{mL}^{-1}$ ) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Transectas longitudinales (1 a 5) de la abundancia de heterótrofos (paneles izquierda) y autótrofos (paneles derecha).	88
Figura 3.2.6. Distribución superficial de nanoplancton (células $\text{mL}^{-1}$ ) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Panel superior: nanoflagelados autótrofos; panel inferior: nanoplancton heterótrofo.	90
Figura 3.2.7. Distribución vertical de nanoplancton ( $\cdot 10^3$ células $\text{mL}^{-1}$ ) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006): transectas longitudinales (1 a 5) para abundancia de heterótrofos (paneles izquierda) y autótrofos (paneles derecha).	91
Figura 3.2.8. Abundancia integrada ( $\text{m}^{-2} \times 10^5$ ) de diatomeas totales y los géneros más abundantes.	93
Figura 3.2.9. Abundancia integrada ( $\text{m}^{-2} \times 10^5$ ) de diatomeas del género <i>Chaetoceros</i> y sus principales especies.	95
Figura 3.2.10. Abundancia integrada ( $\text{m}^{-2} \times 10^5$ ) de tintínidos y sus principales géneros.	96
Figura 3.2.11. Abundancia integrada ( $\text{m}^{-2} \times 10^5$ ) de dinoflagelados tecados totales y sus principales géneros.	98
Figura 3.2.12. Abundancia de nauplii de crustáceos ( $\text{ind. m}^{-2} \times 10^3$ ) integrada a 20 m de profundidad.	99
Figura 3.2.13. Distribución espacial de la biomasa del zooplancton, expresada en mg C, integrada para 3 estratos: 0-200 m (panel superior), 0-50 m (panel medio), y > 50 m (panel inferior), durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.	102
Figura 3.2.14. Distribución espacial de los taxa del zooplancton, Copepoda, Polichaeta y Apendicularia, expresados en individuos $\text{m}^{-3}$ , encontrados en la capa de 0-200 m durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.	103
Figura 3.2.15. Distribución espacial de los taxa del zooplancton, Amphipoda, larvas zoeas y Euphausiacea, expresados en individuos $\text{m}^{-3}$ , encontrados en la capa de 0-200 m durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.	104
Figura 3.2.16. Distribución espacial de las especies dominantes de copépodos, <i>Paracalanus parvus</i> , <i>Oithona</i> spp. y <i>Oncaea conifera</i> , expresados en individuos $\text{m}^{-3}$ , encontrados en la capa de 0-200 m durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.	106
Figura 3.2.17. Distribución espacial de las especies dominantes de copépodos, <i>Acartia tonsa</i> , <i>Calanus chilensis</i> y <i>Calanoides patagoniensis</i> , expresados en individuos $\text{m}^{-3}$ , encontrados en la capa de 0-200 m durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.	107
Figura 3.2.18. Distribución espacial de la abundancia de a) huevos y b) larvas de anchoveta <i>Engraulis ringens</i> , correspondiente al estrato de 50 – 0 m, y c) de larvas de anchoveta en el estrato 50-200m.	109

Figura 3.2.19. Distribución espacial de la abundancia de a) huevos y b) larvas de sardina común <i>Strangomera bentincki</i> , correspondiente al estrato de 0- 50 m, y c) de larvas en el estrato 50-100m.	110
Figura 3.2.20. Distribución espacial de la abundancia de a) huevos y b) larvas de merluza común <i>Merluccius gayi</i> , correspondiente al estrato de 50 – 0 m, y de c) huevos y d) larvas en el estrato 50-200m.	111
Figura 3.2.21. Distribución espacial de la abundancia de a) huevos y b) larvas de mote común <i>Normanichthys crockeri</i> , correspondiente al estrato de 50 – 0 m, y de c) larvas en el estrato 50-200	112
Figura 3.3.1. Carbono orgánico particulado obtenido en perfiles verticales durante el crucero FIP 2006.	113
Figura 3.3.2. Concentraciones superficiales de POC en la columna de agua.	114
Figura 3.3.3. Distribución espacial de carbono orgánico particulado (COP) gr C m <sup>-2</sup> integrado a 20 m de profundidad.	114
Figura 3.3.4. Biomasa integrada (mgC m <sup>-2</sup> ) de pellet fecales de zooplancton de la columna de agua y la contribución de los principales grupos del zooplancton.	116
Figura 3.4.1. Rosa de los vientos del período julio 2006 a junio de 2007.	118
Figura 3.4.2. Datos meteorológicos entre el 01 de julio de 2006 y el 30 de junio de 2007, registrados en el sector de Coliumo.	119
Figura 3.4.3. PAR acumulado diariamente entre el 01 de julio de 2006 y el 30 de junio de 2007, registrados en el sector de Coliumo.	119
Figura 3.4.4. Rosa de los vientos del período agosto 2004 al 30 de junio de 2007.	121
Figura 3.4.5. Datos meteorológicos entre septiembre de 2004 y el 30 de junio de 2007, registrados en el sector de Coliumo.	122
Figura 3.4.6. PAR acumulado diariamente del 17 de agosto 2004 al 30 de junio de 2007.	122
Figura 3.4.7. Temperatura superficial del mar y su anomalía de julio de 2006 al 30 de junio de 2007. Serie registrada en la Estación de Biología Marina de la Universidad de Concepción, Dichato, Bahía de Coliumo.	123
Figura 3.4.8. Distribución temporal de los perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, Fluorescencia y PAR en la estación 18: julio 2006 a junio de 2007.	126
Figura. 3.4.9. Distribución temporal de nutrientes $\mu\text{mol L}^{-1}$ en la estación ST18. Período anual: agosto 2006 - junio 2007. Panel superior: nitrato; panel intermedio: nitrito, amonio; panel inferior: silicato.	127
Figura 3.4.10 Temperatura superficial del mar y su anomalía de julio de 2004 al 30 de junio de 2007. Serie registrada en la Estación de Biología Marina de la Universidad de Concepción, Dichato, Bahía de Coliumo.	128
Figura 3.4.11. Evolución temporal de los perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fluorescencia y PAR en la estación ST18: julio 2004 a junio de 2007.	129

Figura 3.4.12 Distribución temporal de nutrientes ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Período interanual I: julio 2004 - Junio 2007. Panel superior: nitrato; panel intermedio: nitrito, amonio; panel inferior: silicato	130
Figura 3.4.13. Distribución temporal de clorofila-a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Período anual: agosto 2006 - junio 2007. Panel superior: clorofila-a total; panel intermedio: fracción $<20 \mu\text{m}$ ; panel inferior: fracción $<3 \mu\text{m}$ .	132
Figura 3.4.14. Distribución temporal de feopigmentos ( $\text{mg m}^{-3}$ ) en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Período anual: Agosto 2006 - Junio 2007. Panel superior: total; panel intermedio: fracción $<20 \mu\text{m}$ ; panel inferior: fracción $<3 \mu\text{m}$ .	134
Figura 3.4.15. Variación interanual de la biomasa fotosintética en la estación ST18: julio 2004 a junio 2007. Panel superior: total; panel intermedio: fracción $<20 \mu\text{m}$ ; panel inferior: fracción $<3 \mu\text{m}$ .	135
Figura 3.4.16. Distribución mensual de la abundancia de los principales componentes en el picoplancton ( $<3 \mu\text{m}$ ), en $10^3 \text{ células mL}^{-1}$ , en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Periodo anual: agosto 2006- junio 2007 Panel superior: abundancia total de pico-autótrofos, incluyendo procariontes (cianobacterias) y fito-eucariontes; panel inferior: abundancia total de bacterioplancton, incluyendo Bacteria y Archaea.	137
Figura 3.4.17. Distribución mensual de la abundancia de los principales componentes en el picoplancton ( $<3 \mu\text{m}$ ), en $10^3 \text{ células mL}^{-1}$ , en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Periodo anual: julio 2004 - junio 2007. Panel superior: abundancia total de pico-autótrofos, incluyendo procariontes (cianobacterias) y fito-eucariontes; panel inferior: abundancia total de bacterioplancton, incluyendo Bacteria y Archaea.	138
Figura 3.4.18. Distribución mensual de la abundancia de los principales componentes en el nanoplancton ( $<20 \text{ y } >3 \mu\text{m}$ ), en $10^3 \text{ células mL}^{-1}$ , en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Periodo anual: agosto 2006 - junio 2007. Panel superior: abundancia total de nano-autótrofos, predominantemente de flagelados; panel inferior: abundancia total de nano-heterótrofos, predominantemente de flagelados.	140
Figura 3.4.19. Distribución mensual de la abundancia de los principales componentes en el nanoplancton ( $<20 \text{ y } >3 \mu\text{m}$ ), en $10^3 \text{ células mL}^{-1}$ , en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Periodo anual: julio 2004 - junio 2007. Panel superior: abundancia total de nano-autótrofos, predominantemente de flagelados; panel inferior: abundancia total de nano-heterótrofos, predominantemente de flagelados.	141
Figura 3.4.20. Distribución vertical de abundancia de diatomeas totales ( $\text{células L}^{-1} \times 10^5$ ) en la estación ST18 frente a Concepción. Período agosto 2006-junio 2007.	143
Figura 3.4.21. Distribución temporal en la abundancia total integrada ( $\text{células m}^{-2} \times 10^9$ ) de diatomeas y sus principales géneros en la estación ST18 frente a	144

Concepción. Período agosto 2006-junio 2007.	
Figura 3.4.22. Distribución temporal de la abundancia total integrada (células m <sup>-2</sup> x 10 <sup>6</sup> ) de las principales especies del género <i>Chaetoceros</i> en la estación ST18 frente a Concepción.	145
Figura 3.4.23. Serie de tiempo de biomasa zooplanctónica expresada en carbono para el período agosto 2004 a junio de 2007 en estación ST18, frente a Concepción. Se muestra la biomasa integrada en la columna de agua 0-80 m (A), en el estrato 80-50 m (B), y en el estrato 0-50 m (C).	147
Figura 3.4.24. Distribución temporal en la composición del meso y macrozooplancton durante agosto del 2004 a junio del 2007 en la estación ST18 frente a Concepción.	148
Figura 3.4.25. Distribución temporal en la composición específica del meso y macrozooplancton durante agosto del 2004 a junio del 2007 en la estación ST18 frente a Concepción.	149
Figura 3.4.26. Distribución temporal de abundancia de huevos y larvas de anchoveta ( <i>Engraulis ringens</i> ) (ind. /100 m <sup>3</sup> ) en la estación ST18. Período julio 2004 y junio 2006.	150
Figura 3.4.27. Distribución temporal de la abundancia de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de sardina común ( <i>Strangomera bentincki</i> ) (ind. /100 m <sup>3</sup> ) entre julio 2004 y junio 2006, en la estación ST18.	151
Figura 3.4.28. Distribución temporal de abundancia de huevos y larvas de merluza común ( <i>Merluccius gayi</i> ) (ind. /100 m <sup>3</sup> ) en la estación ST18. Período julio 2004 y junio 2006.	152
Figura 3.4.29. Distribución temporal de abundancia de huevos y larvas de mote ( <i>Normanichthys crockeri</i> ) (ind. /100 m <sup>3</sup> ) en la estación ST18. Período julio 2004 y junio 2006.	153
Figura 3.4.30. Variación temporal en la distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fluorescencia en la estación ST40 desde agosto 2006 al 12 de junio de 2007.	155
Figura 3.4.31. Perfiles de oxígeno disuelto, y nutrientes en la estación ST40, agosto 2006 y octubre 2006.	156
Figura 3.4.32. Variación temporal de la distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fluorescencia en la estación ST40, desde junio 2004 hasta junio de 2007.	158
Figura 3.4.33. Variación temporal de la distribución vertical de oxígeno disuelto y nutrientes (nitrato, nitrito, amonio, fosfato y silicatos) en la estación ST40, desde junio 2004 hasta junio de 2007.	159
Figura 3.4.34. Perfiles verticales de clorofila y feopigmentos durante agosto 2006 (panel superior) y octubre del 2006 (panel inferior).	160
Figura 3.5.1. Variabilidad temporal de la tasa de Producción Primaria bruta (PP), Respiración Comunitaria (RC) y razón PP/RC en la estación ST18. La línea punteada roja indica el inicio del actual período de estudio.	161

Figura 3.4.2. Variación temporal de la concentración de carbono orgánico particulado (COP; µgC L <sup>-1</sup> ) en la columna de agua de la estación ST18 frente a	162
---	-----

Concepción.

- Figura 3.5.3. (Panel superior) Flujo vertical de materia orgánica (MO), litogénica (ML) y carbono orgánico particulado (COP) ( $\text{gr m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) y (Panel inferior) flujo vertical de clorofila-a y feopigmentos ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) estimado con trampas de sedimento a 50 m de profundidad entre agosto 2006 y mayo 2007 en la estación ST18. La línea vertical corresponde a la desviación estándar ( $n=3$ ). 163
- Figura 3.5.4. (Panel superior) Flujo de carbono fecal producido por diversos grupos del zooplancton ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) y (Panel inferior) flujo de carbono de diatomeas, dinoflagelados y ciliados ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) estimado con trampas de sedimento a 50 m de profundidad entre agosto 2006 y mayo 2007 en la estación ST18. 164
- Figura 4.2.1. (a) Regiones del Pacífico ecuatorial utilizadas comúnmente para evaluar la evolución del ENOS. (b) Anomalías de la temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) en las regiones Niño 4 ( $150^{\circ}\text{W} - 160^{\circ}\text{E}$ ), Niño 3.4 ( $170^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$ ), Niño 3 ( $150^{\circ}\text{W} - 90^{\circ}\text{W}$ ) y Niño 1+2. 170
- Figura 4.2.2. Gráficos longitud-tiempo a lo largo del Pacífico ecuatorial. (a) Anomalías del viento zonal (positivas hacia el este), (b) anomalías de la profundidad de la isoterma de  $20^{\circ}\text{C}$  (representativa de la profundidad de la termoclina), (c) anomalías de la TSM y (d) anomalías de la temperatura promedio en los primeros 300 m de profundidad. Las líneas segmentadas en (b) ilustran la propagación de las anomalías asociadas a ondas ecuatoriales de Kelvin. 171
- Figura 4.2.3. Fluctuaciones de la termoclina en el pacífico ecuatorial oriental. Información obtenida de la boya TAO ubicada sobre el ecuador a  $95^{\circ}\text{W}$  (información obtenida del proyecto TAO/NOAA 173
- Figura 4.2.4. Nivel del mar observado en diferentes estaciones mareográficas a lo largo de la costa de Chile. Las líneas inclinadas sugieren ondas atrapadas a la costa asociadas a ondas ecuatoriales de Kelvin. 174

## 1. INTRODUCCION

Las Corrientes del borde oriental, entre ellas el sistema de corrientes de Humboldt en la costa Occidental Sudamericana son unas de las áreas más productivas del océano mundial debido a procesos de surgencia costera asociados a aguas subsuperficiales (AESS) de origen ecuatorial (Strub et al., 1998). Las AESS, caracterizadas por transportar aguas frías, de altas salinidades, bajo contenido de oxígeno ( $<1 \text{ ml L}^{-1}$ ), y altas concentraciones de nutrientes del orden de  $25 \mu\text{M}$  (Brandhorst, 1971; Silva, 1983), provendrían de una zona ubicada en la zona ecuatorial de Pacífico Oriental ( $8^\circ\text{S}$ ) desde donde es transportada hacia el sur por la Contra-corriente de Chile-Perú o Corriente de Gunther (Silva y Neshyba, 1979).

Para las costa Chilena han sido identificados y descritos diversos sistemas de surgencia costera (Brandhorst, 1971; Arcos y Wilson, 1984; Fonseca y Farías, 1987), los cuales son originado principalmente por la coacción que ejercen vientos del Sur y Sudoeste sobre los estratos más superficiales del océano (surgencia costera tipo Ekman). Según la intensidad del viento, la topografía del fondo (Brandhorst, 1971) y otras condiciones oceanográficas asociadas principalmente al forzamiento remoto (e.g., ondas atrapadas a la costa, ENSO- El Niño; Shaffer et al., 1997; 1999), la parte superior de las AESS surgen a lo largo de la costa chilena, exponiendo a la superficie aguas frías, ricas en nutrientes y pobres en oxígeno.

Una de las áreas de surgencia de la costa Chilena es la de plataforma continental de Chile central, una de las más productivas, pero menos comprendidas y estudiadas. La zona central de Chile tiene una serie de características que la hacen única dentro de los ecosistemas de surgencia del borde oriental. A saber: 1.- La más ancha plataforma continental de Chile (60 mn), bordeada por dos profundos cañones submarinos: El Bio Bio y El Itata (Sobrazo, 1998), 2.- Desarrolla una importante surgencia estacional durante primavera verano (Arcos y Navarro, 1986; Peterson et al., 1988) 3.- Recibe aportes significantes de agua dulces proveniente de una de los ríos más caudalosos de Chile, “El Bio Bio” (Faúndez et al., 2001) , 4.- Posee una serie de bahías de diferentes dimensiones (e.g. Bahía Concepcion, Bahía San Vicente, Bahía Coliumo), donde se concentra gran parte de la población e industria Chilena, entre ellas la pesquera (Ahumada, 1989).

Las consecuencias más notables del proceso de surgencia costera en la zona central de Chile radican en: 1.- La fertilización de la capa fótica, la que puede sustentar un gran desarrollo fitoplanctónico con un evidente impacto en los subsiguientes eslabones tróficos (i.e., concentra las mayores pesquerías del mundo, comparable al sistema de Perú. La mayor productividad pesquera es atribuida a la mayor eficiencia del ecosistema al convertir la producción primaria en biomasa pesquera (Barber & Smith, 1981; Lluch-Belda et al., 1989). Los argumentos de tal eficiencia están siendo debatidos y los argumentos dados dicen relación con cadenas alimenticias más reducidas (Ryther, 1969; Cushing, 1989). No se ha podido explicar la extrema variabilidad temporal que existe en tasas de producción primaria encontrada durante el período de surgencia costera del orden de  $0.16$  a  $20 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Fossing et al., 1995; Daneri et al., 1997; 2000; Farías et al., 2004), ni tampoco como se genera una tasa de producción biológica tan alta como  $10 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , una de las mayores

registradas en la literatura científica. Cubillos et al. (1998) estimaron que para sostener tal biomasa pesquera en la zona centro sur de Chile se necesita una producción primaria requerida de al menos  $1,6 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , la cual debería sostenerse todo el año o duplicarse en el período primavera-verano.

La marcada diferencia en los niveles de producción sugiere que existen una serie de peculiaridades en el sistema que favorecen el desarrollo de diferentes situaciones, donde el concepto clásico de transporte Ekman, inducido por el patrón local de vientos puede ser substancialmente modificado. Se reconoce que no sólo la fertilización de la capa superficial explica la alta producción biológica, sino el efecto combinado de distintos procesos advectivos, turbulentos y biológicos (Margalef, 1978; Mann & Lazier, 1991) que determinan que cada sistema de surgencia sea único en términos de su productividad, aunque sus grados de fertilización sean similares.

Existe distintas hipótesis asociadas a los procesos físicos y la dinámica oceanográfica de la región costera de centro-sur de Chile que explicarían en cierta medida la alta producción biológica del área; parte de la cual ha sido relacionada con el desarrollo de giros antihorarios a mesoescala sobre la plataforma continental que determinarían un zona de retención de nutrientes y un preferencial desarrollo larval (Cáceres & Arcos, 1991; Arcos et al., 1996). Esta hipótesis estaría en conjunción con las características de circulación que permiten una mayor retención de larvas de peces y fitoplancton sobre el borde costero. Otra y aún más reciente explicación, ha sido la modulación que ejercen las ondas atrapadas a la costa sobre la termoclina, las cuales dependiendo de su fase producen un acercamiento o profundización de la misma respecto a la superficie (Pizarro, 1999; Shaffer et al., 1997; 1999). Debe incluirse la posible interacción de la topografía de la plataforma continental, la más extensa de la costa Chilena, con estas ondas de baja frecuencia, las que produciría una disipación de su energía (Hormazabal, et al., 2001; 2004), incrementando la entropía del sistema.

Desde el punto de vista biológico, la estructura de la trama trófica tiene una influencia directa sobre el flujo de energía y el reciclaje de carbono en el sistema, y por lo tanto en el destino de carbono hacia niveles superiores como los peces (Legendre & Rivkin, 2005). Al respecto, la trama trófica clásica y/o microbiana ha sido el punto de discusión sobre el destino del carbono de origen autotrófico (primario). En sistemas de surgencia costera se ha asumido como mecanismo preponderante que la transferencia de C canalizada por organismos como diatomeas hacia niveles superiores y la exportación hacia sedimento como pellet fecales (Ryther, 1969); no obstante hay cada vez mas evidencia que la canalización de la energía y el carbono a través de la trama trófica microbiana (Azam et al., 1983), juega un rol fundamental en ecosistemas altamente productivos como la surgencia costera. Esto ha sido corroborado en el área de estudio (VIII región) y será discutido a la luz de los resultados obtenidos en el presente trabajo (Cuevas et al., 2004; Vargas et al., 2007; Bottjer & Morales, en prensa).

Los recursos pesqueros de la Octava Región<sup>1</sup> han sufrido fuertes fluctuaciones en abundancia a través de los años (e.g., Arcos et al., 2001, Castro et al., 2002), parte de estas fluctuaciones han sido asociadas al ciclo ENSO. La ausencia de información bio-

oceanográfica sistematizada de la zona impide establecer la relación entre los cambios del ambiente y las variaciones en tamaño de los stocks de estos recursos. Fluctuaciones asociadas a ciclos ENOS sobre las poblaciones de peces pelágicos han sido observadas históricamente, como por ejemplo la catastrófica reducción observada en las costas del Perú, y en cierta medida en el norte de Chile, durante el Niño 1982 (Arntz & Fahrback, 1996). No obstante, no se cuenta con una adecuada serie de tiempo que explique los orígenes de las mencionadas fluctuaciones. En tal sentido, desde el año 2004, el Consejo de Investigación Pesquera, ha estimado conveniente desarrollar una línea de investigación bio-oceanográfica para la VIII Región (i.e., Escribano et al., 2005; Daneri et al., 2006), que permita establecer una línea bases de parámetros ambientales, así como patrones de variabilidad y tendencias.

En el presente informe se presenta información, análisis e interpretación de la data, tanto de carácter espacial como temporal, colectada en durante el año 2006-2007 (agosto 2006-julio 2007) en la VIII región, en el marco del proyecto: “Monitores de las condiciones bio-oceanográficas de la VIII región”. Además, dada la ventana temporal de recolección y análisis de la data, de la cual ya se dispone desde Julio 2004 hasta Julio 2007, se presenta un análisis de variabilidad temporal de la información bio-oceanográfica a frecuencia interanual, extrapolándola a un estudio de eventos episódicos y de tendencia.

## **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar la variabilidad espacial y temporal de las condiciones y procesos bio-oceanográficos frente a la VIII Región.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Determinar la distribución espacial, a nivel de meso-escala (km), de las variables bio-oceanográficas temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, biomasa del fitoplancton y penetración de la luz, en la zona de estudio, durante el período de primavera, en la estructura vertical de 0 a 200 m de profundidad.
2. Determinar la abundancia, distribución espacial y composición del plancton, incluyendo el macrozooplancton, ictioplancton, mesozooplancton, microplancton, nanoplancton y picoplancton en la zona de estudio durante un período de primavera y su asociación con las variables bio-oceanográficas indicadas en 1.
3. Desarrollar una serie de tiempo de frecuencia mensual de las variables señaladas en los objetivos específicos 1 y 2., en estaciones seleccionadas, dentro de la zona de estudio.
4. Estimar las siguientes tasas biológicas: producción primaria, respiración comunitaria del plancton, flujo vertical de material particulado (acoplamiento pelágico-bentónico) y su variabilidad mensual en estaciones seleccionadas de la zona de estudio.

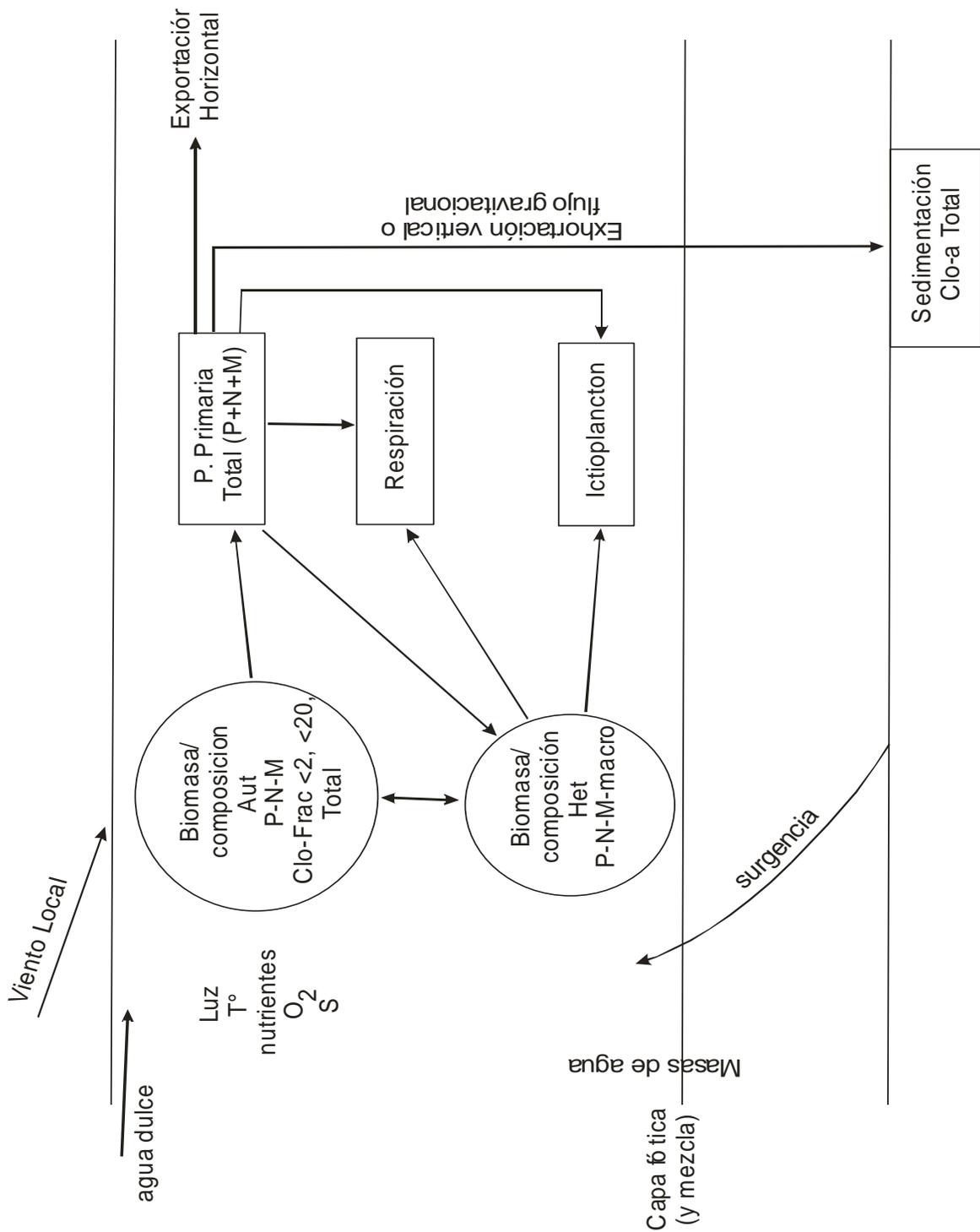
## 2. METODOS

Para dar cumplimiento al objetivo general del presente proyecto, i.e.: *“Caracterizar la variabilidad espacial y temporal de las condiciones y procesos bio-oceanográficos frente a la VIII Región:*

A escala espacial se llevó a cabo un crucero en el período de primavera (Octubre de 2006), teniendo una duración estimada de 10 días. En el crucero se muestrearon 45 estaciones oceanográficas distribuidas en 5 transectas a las latitudes de 35°30'S, 36°00'S, 36°30'S, 37°00'S, 37°30'S, con 10 estaciones por transecta: 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150 y 200 mn. De las estaciones muestreadas, a todas se les realizó un perfil de CTDO-F-PAR hasta 1000 m de profundidad; y a la mitad de las estaciones, de carácter bio-oceanográfico, se realizó un perfilamiento de CTD-OF-PAR, junto con muestreo de la columna de agua a profundidades discretas hasta los 500 m de profundidad.

A escala temporal se realizaron muestreos mensuales y estacionales en dos estaciones localizadas sobre la plataforma y el talud continental, respectivamente. Al respecto, se muestreó una estación costera, ubicada a 18 mn sobre la plataforma continental en la terraza del Itata (Estación ST18 localizada a 36°30,8' S - 73°07.7' W). Esta estación posee una profundidad aproximada de 90 m y está afecta a impactos locales directos de los procesos que ocurren en la plataforma interna, incluyendo las bahías aledañas. Por otro lado, se monitoreó una estación localizada a 40 mn de la costa sobre el talud continental (Estación ST40). Las coordenadas de esta estación son 36°20' S - 73°44' W y posee una profundidad de 1000 m. Este punto representa la variabilidad de las condiciones en la zona de transición costera-oceánica de la zona (zona del talud continental). No se pudo completar el muestreo a la estación ST 40 con la frecuencia estacional-trimestral durante Agosto 2006 a Julio 2007, así solo se cuentan con dos perfiles completos de la columna de agua en Agosto y Octubre del 2006. Esta diferencia en la frecuencia de muestreo de debió a problemas meteorológicos y climáticos que afectaron la zona durante las fechas estimativas de muestreo entre noviembre 2006 a julio 2007.

Desde el punto de vista conceptual, el equipo científico multidisciplinario del presente proyecto, ha trabajado sobre la base de un modelo ecosistémico de distintas comunidades que ocupan distintos metabolismos y niveles tróficos (ver modelo conceptual Fig. 2.1.1). En este modelo se destacan las variables y procesos físicos-químicos y biológicos y su conexión en el ambiente natural, así como las escalas temporales y espaciales en que ellos ocurren. La premisa fundamental de dicho modelo es que los componentes autotróficos y heterotróficos, así como los procesos y factores que los regulan, constituyen la base biológica que determina en último término la producción biológica de niveles tróficos superiores y, por ende, la producción pesquera de la región.

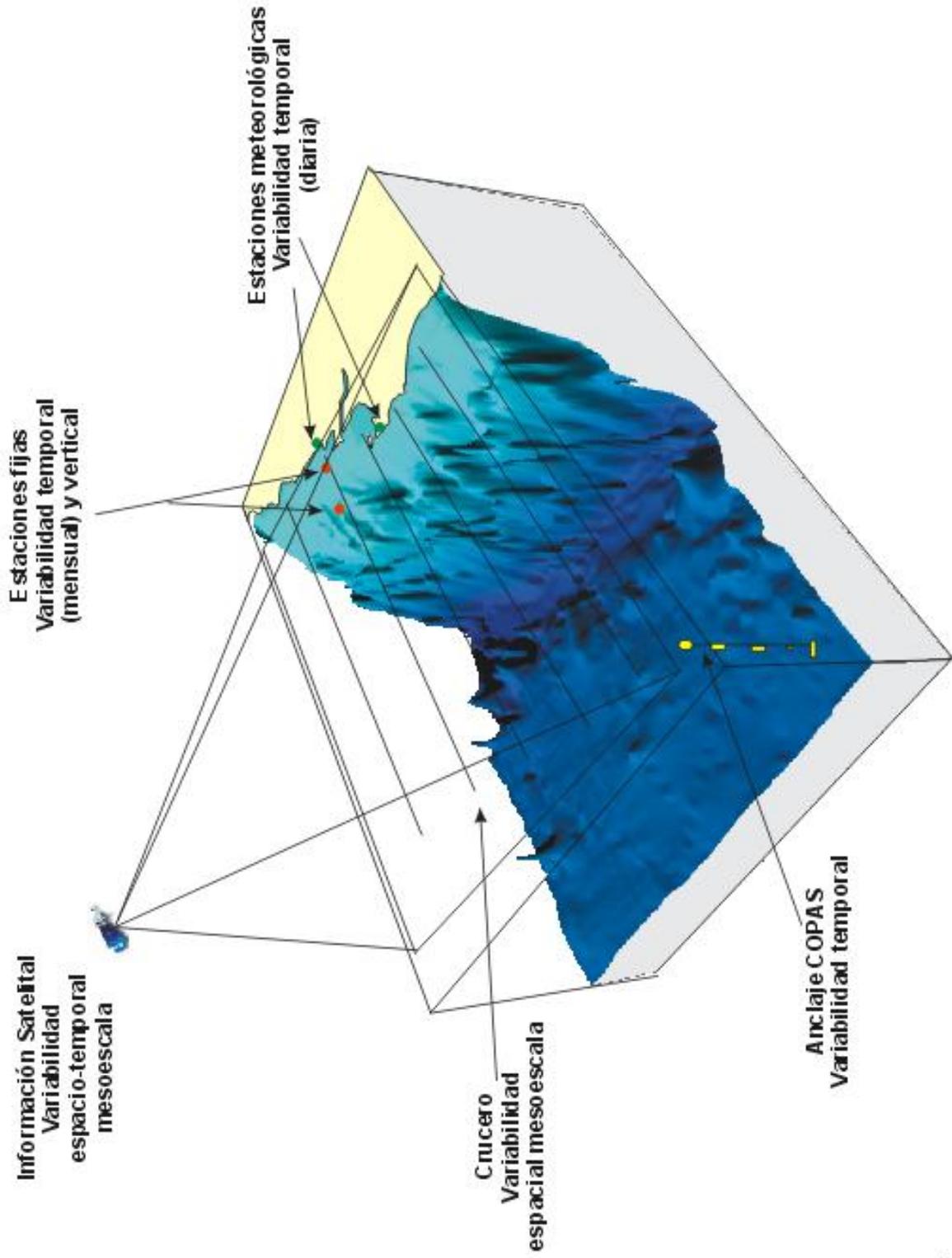


**Figura 2.1.1.** Modelo conceptual de los procesos y componentes a estudiar. Aut. = autotrófica, P=picoplancton, N=nanoplancton, M=microplancton, Clo-a = clorofila-a

Desde el punto de vista operacional, este proyecto representa un estudio integrado del sistema y requirió adoptar diversas aproximaciones metodológicas integradas para la zona de estudio (35-38° S). Para ello se contó con recursos y actividades que permitan cubrir varias escalas espaciales y temporales, tratando de maximizar la información a obtener y optimizar la resolución de las variables a medir y estimar. Este enfoque incluye:

- 1) Estudios de variabilidad espacial a partir de crucero oceanográfico; en esta aproximación de campo se hicieron mediciones continuas con distintos sensores y discretas, la cuales fueron posteriormente analizadas en el laboratorio.
- 2) Esta información de terreno fue complementada con información satelital sobre temperatura superficial (TSM: serie de la NOAA, con AVHRR), clorofila-a superficial (sensor SeaWiFS: SeaWiFS OC-4 clorofila con procedimientos NASA), velocidad del viento (QuikSCAT) y nivel del mar (mareógrafos SHOA). Datos horarios de vientos costeros fueron aportados por una estación meteorológica ubicada en el sector de Coliumo, aledaño a Dichato.
- 3) Monitoreos bio-oceanográficos en escalas mensual y estacional sobre estaciones fijas, en la plataforma y en el talud continental
- 4) Mediciones experimentales *in situ* y *on deck* para estimar producción primaria y respiración comunitaria
- 5) Mediciones *in situ* de algunos procesos biogeoceanográficos como sedimentación de material orgánico.

La Figura 2.1.2 resume en forma ilustrada el modelo operacional del estudio.



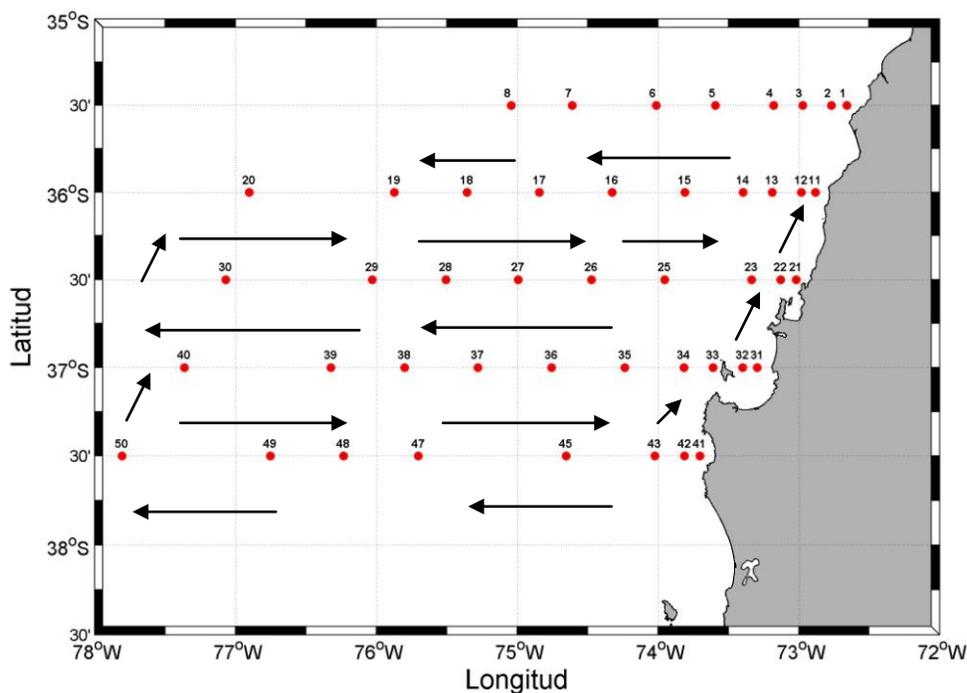
**Figura .2.1.2.** Esquema de obtención y recopilación de la información durante el estudio

El diseño y estrategia de muestreo, así como los métodos de muestreo y análisis por objetivo específico son:

**2.1. Objetivo específico 1:** *Determinar la distribución espacial, a nivel de meso-escala (km), de las variables bio-oceanográficas temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, biomasa del fitoplancton y penetración de la luz, en la zona de estudio, durante el período de primavera, en la estructura vertical de 0 a 200 m de profundidad.*

### 2.1.1 Diseño y estrategia de muestreo.

En el crucero se muestrearon 45 estaciones oceanográficas distribuidas en 5 transectas entre las latitudes de 35°30'S, 36°00'S, 36°30'S, 37°00'S, 37°30'S, con 10 estaciones por transecta: a 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150 y 200 mn. El crucero partió del puerto de Talcahuano y se dirigió a la transecta más austral, para continuar hacia el norte (ver circuito) recalando en el puerto base (i.e., Valparaíso) (ver Figura 2.3). Este recorrido permitió navegar a favor de los vientos de la región (S y SO) y hacer más efectivo el trabajo en las estaciones programadas.



**Figura 2.1.3.** Disposición de las estaciones de estudio y trayecto realizado durante el crucero de primavera FIP-2006.

Las estaciones fueron divididas en estaciones Oceanográficas y Bio-oceanográficas de acuerdo al tipo de mediciones realizadas en cada una de ellas. En todas las estaciones (45 en total) se realizó un lance oceanográfico hasta un máximo de 1000 m (dependiendo de la profundidad de cada estación) donde se midieron variables continuas como temperatura, conductividad, oxígeno, fluorescencia y luz PAR. En la mitad de las estaciones o estaciones bio-oceanográficas, además de las variables oceanográficas en continuo, se midieron además entre los 0 y 200 m, variables discretas físico-químicas y biológicas (ver objetivo 2) y procesos biogeoquímicos como producción primaria, respiración y flujo de material orgánico (ver objetivo 4).

### **2.1.2. Métodos de muestreo**

En todas las estaciones de estudio ( $n = 45$ ) se realizó un muestreo vertical con un equipo Roseta-CTDO-fluorescencia, equipado con botellas Niskin de 10 L y sensor de luz PAR (Radiación foto-sintéticamente activa). Las variables medidas en forma continua en la columna de agua fueron: perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fluorescencia y luz hasta los 1000 m, o hasta 10 m desde el fondo dependiendo de la profundidad de la estación. Desde las botellas Niskin se obtuvieron muestras de agua entre 8-12 profundidades, dependiendo de la profundidad de la columna de agua muestreada. Las muestras de agua provenientes de las botellas Niskin se utilizaron para mediciones discretas de oxígeno disuelto y salinidad (para verificar y corregir las mediciones de los sensores del CTDO). De profundidades seleccionadas en la columna de agua, se obtuvieron volúmenes discretos de agua para mediciones de nutrientes esenciales para la actividad biológica y que incluye nitrato, nitrito, fosfato y silicato. Además, se realizaron mediciones de biomasa del fitoplancton a la forma de clorofila-a fraccionada en 3 clases de tamaño que representen las fracciones pico-, nano-, y micro-planctónicas: clorofila-a total,  $< 20 \mu\text{m}$  y  $< 3 \mu\text{m}$ . Cabe destacar que, a diferencia del año pasado, se realizó mediciones de clorofila, nutrientes y oxígeno superficial en todas las estaciones de estudio.

### **2.1.3. Métodos de análisis de muestras y registros**

Para las mediciones de salinidad (conductividad), temperatura, oxígeno y presión se usó un CTD SBE 25, el cual será calibrado en forma previa y posterior al crucero en el laboratorio de Calibración de CTD de la Universidad de Concepción. La información proveniente del CTDO-Fluorescencia-PAR fue procesada para corregir efectos de alineamiento de sensores, velocidad de descenso y aplicación de filtros, y los datos finales promediados a un “bin” de 1 m.

**Análisis de salinidad:** Las muestras de agua para salinidad fueron llevadas al laboratorio en envases de vidrio selladas herméticamente para posterior análisis en salinómetro GIDLINE de laboratorio, equipo existente en el Laboratorio de Calibración del PROFCE en la UdeC.

**Análisis de oxígeno disuelto:** La determinación de oxígeno disuelto se realizó a partir del método de Winkler modificado por Carpenter (1965), usando un sistema de titulación automática (AULOX) desarrollado en laboratorios del PROFCE, con la cooperación del Instituto Oceanográfico Scripps. El método está disponible para mediciones de niveles de oxígeno disuelto entre 0 y 400  $\mu\text{mol Kg}^{-1}$  y tiene una precisión de 0.05 %. El método de Winkler básicamente consiste en producir una serie de reacciones químicas que liberan iones de yodo equivalentes al oxígeno disuelto en la muestra de agua de mar. Los iones de yodo presentan una alta absorbancia de luz en una banda centrada a una longitud de onda de 350nm. AULOX, reproduce el método de titulación de Winkler para la determinación de oxígeno disuelto.

**Análisis de nutrientes:** La determinación de los nutrientes nitrato, nitrito, fosfato y silicato, fueron analizados mediante técnicas de espectrofotometría. La determinación de nitrato está basado en el método de Strickland et al., (1984). El nitrato es reducido a nitrito usando una columna de Cd-Cu. El nitrito producido reacciona con sulfamida en una solución ácida y el compuesto diazo resultante en presencia de N-(1-Naptil) etilendiamina forma un compuesto azo fuertemente coloreado. Para determinación de ortofostato reactivo se empleó la metodología propuesta por Grasshoff et al. (1983). La muestra de agua de mar conteniendo fosfato reacciona con un reactivo compuesto de molibdato de amonio-ácido ascórbico y tartrato de antimonio potasio, resultando en un complejo coloreado. El método utilizado en la determinación de silicato está descrito en UNESCO (1983) y se basa en la reacción que se produce entre los compuestos solubles de silicio en aguas naturales y molibdato de amonio, que llevan a la formación del ácido  $\beta$ -silicomolíbico de color amarillo. Este complejo es luego reducido, cambiando a un complejo de color azul, mediante la utilización de ácido oxálico y ácido ascórbico.

**Biomasa fitoplanctónica:** se usó el procedimiento estándar para determinar clorofila total (Parsons et al. 1984) Las muestras de agua se recolectaron en bidones oscuros de 1-2 L para filtración inmediata. Para clorofila-a total se utilizaron filtros GF/F (tamaño poro ca. 0,7  $\mu\text{m}$ ). Clorofila-a < 20  $\mu\text{m}$  se contuvo por filtración con un tamiz de 20  $\mu\text{m}$ , submuestra que fue luego filtrada sobre filtros GF/F. A su vez, la submuestra de clorofila-a < 3  $\mu\text{m}$  obtenida fue filtrada por filtros GF/F. Los filtros fueron preservados en nitrógeno líquido para análisis posterior. En el laboratorio la clorofila-a fue extraída por 24 h en acetona 90% y luego leída mediante fluorómetros (Turner Design TD-700).

**2.2. Objetivo específico 2:** *Determinar la abundancia, distribución espacial y composición del plancton, incluyendo el macrozooplancton, ictioplancton, mesozooplancton, microplancton, nanoplancton y picoplancton de la zona de estudio durante un período de primavera y su asociación con las variables bio-oceanográficas indicadas en 1.*

**Tabla 2.2.1.** Localización y información resumen de las estaciones de CTD.

Estación	Lance	Fecha	Hora	Latitud (°W)	Longitud (°S)	z-CTD (m)	z-Sonda (m)	Tipo Estación
E01	007	26-10-2006	00:20	35°30.0'	72°39.6'	31	40	Bio-oceanog
E02	032	26-10-2006	01:30	35°30.0'	72°46.1'	53	60	CTDO-F
E03	033	26-10-2006	03:40	35°30.0'	72°58.4'	153	160	Bio-oceanog
E04	034	26-10-2006	05:20	35°30.0'	73°10.7'	1148	1480	CTDO-F
E05	036	26-10-2006	09:45	35°30.0'	73°35.4'	828	2730	Bio-oceanog
E06	037	26-10-2006	15:55	35°30.0'	74°06.0'	1126	4980	CTDO-F
E07	038	26-10-2006	20:05	35°30.0'	74°36.6'	855	4270	Bio-oceanog
E08	040	27-10-2006	00:15	35°30.0'	75°07.4'	1046	4075	CTDO-F
E11	006	25-10-2006	20:00	36°00.0'	72°52.9'	120	158	Bio-oceanog
E12	005	25-10-2006	18:15	36°00.0'	72°58.9'	265	280	CTDO-F
E13	004	25-10-2006	14:30	36°00.0'	73°11.4'	344	380	Bio-oceanog
E14	003	25-10-2006	12:30	36°00.0'	73°23.8'	185	211	CTDO-F
E15	002	25-10-2006	07:25	36°00.0'	73°48.5'	729	3000	Bio-oceanog
E16	001	25-10-2006	02:17	36°00.0'	74°19.4'	741	4915	CTDO-F
E17	000	24-10-2006	02:15	36°00.0'	74°50.4'	777	4220	Bio-oceanog
E18	031	24-10-2006	17:50	36°00.0'	75°21.3'	1099	3970	CTDO-F
E19	030	24-10-2006	13:35	36°00.0'	75°52.2'	808	4000	CTDO-F
E20	029	24-10-2006	06:15	36°00.0'	76°54.0'	826	4100	Bio-oceanog
E21	008	21-10-2006	21:55	36°30.0'	73°01.1'	50	54	Bio-oceanog
E22	009	21-10-2006	22:50	36°30.0'	73°07.7'	79	90	CTDO-F
E23	011	22-10-2006	01:01	36°30.0'	73°20.1'	104	119	Bio-oceanog
E25	018	22-10-2006	20:15	36°30.0'	73°57.2'	821	2466	Bio-oceanog
E26	019	22-10-2006	00:15	36°30.0'	74°28.4'	1167	4830	CTDO-F
E27	020	23-10-2006	06:15	36°30.0'	74°59.5'	823	4250	Bio-oceanog
E28	021	23-10-2006	10:40	36°30.0'	75°30.4'	847	4030	CTDO_F
E29	022	23-10-2006	15:45	36°30.0'	76°01.7'	807	4120	CTDO-F
E30	027	24-10-2006	00:56	36°30.0'	77°04.1'	608	4060	Bio-oceanog
E31	007	21-10-2006	17:30	37°00.0'	73°17.6'	54	59	Bio-oceanog
E32	006	21-10-2006	16:15	37°00.0'	73°23.9'	66	73	CTDO-F
E33	005	21-10-2006	13:40	37°00.0'	73°36.5'	65	73	Bio-oceanog
E34	004	21-10-2006	12:10	37°00.0'	73°48.9'	454	500	CTDO-F
E35	003	21-10-2006	08:25	37°00.0'	74°14.0'	812	3154	Bio-oceanog
E36	000	21-10-2006	02:33	37°00.0'	74°45.3'	805	4690	CTDO-F
E37	003	20-10-2006	23:14	37°00.0'	75°16.7'	802	4212	Bio-oceanog
E38	002	20-10-2006	18:30	37°00.0'	75°48.0'	796	3416	CTDO-F
E39	001	20-10-2006	14:07	37°00.0'	76°19.3'	803	3920	CTDO-F
E40	000	20-10-2006	07:20	37°00.0'	77°21.8'	833	4033	Bio-oceanog
E41	002	18-10-2006	08:15	37°30.0'	73°42.1'	60	84	Bio-oceanog
E42	004	18-10-2006	10:06	37°30.0'	73°48.6'	219	232	CTDO-F
E43	007	18-10-2006	14:30	37°30.0'	74°01.4'	803	1510	Bio-oceanog
E45	010	19-10-2006	00:35	37°30.0'	74°39.0'	762	4740	Bio-oceanog
E47	013	19-10-2006	09:50	37°30.0'	75°42.0'	756	4187	Bio-oceanog
E48	016	19-10-2006	14:45	37°30.0'	76°13.9'	777	4130	CTDO-F
E49	017	19-10-2006	17:18	37°30.0'	76°45.1'	748	4191	CTDO-F
E50	019	20-10-2006	01:15	37°30.0'	77°48.3'	802	4120	Bio-oceanog

Estaciones Bio-oceanográficas: Oxígeno, Nutrientes, Clorofilas, Feopigmentos, CTD, Fito-Pico-Nano-Micro-Meso-Macro-Ictioplancton, Carbono orgánico Particulado.

### **2.2.1. Diseño y estrategia de muestreo**

Para cumplir con este objetivo se utilizó dos sistemas de muestreo en todas las estaciones bio-oceanográficas indicadas en la Tabla 2.1. Para la obtención de muestra biológicas destinadas al análisis de las distintas comunidades biológicas se realizó un botelleo oceanográfico o lances con distintos tipos de redes. El número de lances en las estaciones bio-oceanográficas dependió del volumen requerido para las variables discretas. Posterior al lance de roseta se trabajó, con botelleo manual para coleccionar muestras de micro-zooplankton y posteriormente con red Tucker o WP2 (en el caso que las condiciones de viento fueran mayores a los 25 nudos por hora) para colección de macro-zooplankton e ictioplankton.

### **2.2.2. Métodos de muestreo biológicos.**

Los componentes picoplankton y nanoplankton se muestrearon desde las botellas Niskin de 10 L provenientes de la Roseta, en al menos 3 profundidades en el estrato superior de 100 m. En estas mismas profundidades se obtuvieron muestras adicionales con botellas oceanográficas de 10 L para coleccionar microplankton. Las muestras de picoplankton (1350  $\mu$ l de muestra) fueron almacenadas en crioviales y fijadas (paraformaldehído 1% conc. final) en un termo de nitrógeno líquido y una vez arribadas al laboratorio, fueron transferidas a un refrigerador a  $-80^{\circ}\text{C}$ . Las muestras de nanoplankton (2 muestras de 50 ml c/u) se coleccionaron en tubos de centrifuga y fijadas (glutaraldehído 2% y lugol 2%, conc. finales), mantenidas en frío ( $4-6^{\circ}\text{C}$ ) y oscuridad hasta su análisis. Para esta fracción microplanktonica se aplicó dos procedimientos durante el muestreo, uno general para microplankton y otro específico para fitoplankton en el tamaño micro-planctónico. Estas muestras fueron filtradas a bordo a través de un tamiz de 23  $\mu\text{m}$ . Los organismos retenidos en el tamiz fueron concentrados hasta un volumen final de aproximadamente 100 ml, guardados en frascos plásticos y preservados con formalina 2%. En el segundo caso, las muestras para micro-fitoplankton sin tamizar (250 ml) fueron almacenadas en frascos plásticos y preservados con Lugol 2%.

Las muestras para macro-zooplankton, mesozooplankton e ictioplankton provinieron desde lances oblicuos estratificados de red Tucker Trawl de 1  $\text{m}^2$  de diámetro de boca, equipada con malla de 200  $\mu\text{m}$  y flujómetro digital calibrado General Oceanics (Figura 2.4). Los estratos de muestreo correspondieron a 0-50 m y 50-200 m. El estrato superior de 0-50 m represento la capa de agua fótica, oxigenada y de mezcla, donde se espera que se concentre el zooplankton epi-pelágico y larvas y huevos de peces, mientras que el estrato subsuperficial de 50-200 m representa el hábitat de especies bajo la termoclina y eventualmente asociados a la ZMO o a su límite superior. La red Tucker Trawl realiza un muestreo integrado de 0-200 m y luego los dos estratos, manteniendo una velocidad cercana a los 2 nudos, lo cual minimiza errores de muestreo asociados al escape al arte, por parte del macrozooplankton (eufáusidos) y de larvas de peces en estado avanzado de desarrollo.

Las muestras de zooplancton fueron inmediatamente fraccionadas a bordo para preservación de una fracción en nitrógeno líquido de material fresco. El resto de la muestra será fijado en formalina al 5% neutralizada a un pH=7 con tetraborato de sodio.



**Figura 2.2.4.** Fotografía tomada al momento de izar la red de zooplancton Tucker en una de las estaciones de estudio.

### 2.2.3. Métodos de análisis de muestras biológicas

**Picoplancton:** La cuantificación del picoplancton (Cianobacterias -*Synechococcus* y *Prochlorococcus*- y bacterias heterótrofas) se realizó por medio de citometría de flujo. Las abundancias de cada componente fueron analizadas automáticamente en base a su tamaño y fluorescencia, para obtener estimaciones de abundancia. Para los cálculos de biomasa se utilizaron factores de conversión disponibles en la literatura especializada (Kana & Glibert 1987; Lee & Fuhrman 1987; Campbell et al. 1994).

**Nanoplancton:** El análisis de flagelados autótrofos y heterótrofos en agua de mar se realizó utilizando un microscopio de epifluorescencia (2 equipos disponibles por COPAS) y los fluorocromos DAPI (4,6-diamidino-2-fenilindol) y Proflavina (3-6-diamidino-acridina hemi-sulfato). Estos métodos fueron descritos por Porter & Feig (1980) y Hass (1982) respectivamente. Esta metodología es apropiada para medir organismos en el rango de 2-20  $\mu\text{m}$  (flagelados, dinoflagelados, ciliados) en zonas costeras y oceánicas. Los microorganismos fueron preservados, teñidos, concentrados sobre un filtro de membrana (0,8  $\mu\text{m}$ ) y diferenciados entre autótrofos, heterótrofos o mixotróficos por medio de la autofluorescencia de los pigmentos fotosintéticos. Con DAPI los microorganismos presentan una fluorescencia blanca azulada, mientras que con Proflavina su fluorescencia es verde. Los organismos autótrofos fueron visualizados con un color rojo al excitar la clorofila al utilizar ambos fluorocromos. Calculada la abundancia, la biomasa se obtuvo en base a registros fotográficos para determinar volumen celular (Chrzanowski & Simek 1990), desde donde se aplica un factor de conversión de 220  $\text{fgC } \mu\text{m}^{-3}$  de acuerdo con lo propuesto por Børsheim y Bratbak (1987).

**Microplancton:** En el laboratorio estas muestras fueron analizadas a nivel de grupos y géneros dominantes, usando un microscopio invertido con cámaras de sedimentación, mediante el método de Utermöhl (1958). Los individuos de algunos grupos dominantes provistos de cubiertas minerales u orgánicas (ej. tintínidos) fueron además medidos para calcular su volumen de acuerdo a formas geométricas definidas y así estimar la biomasa (como carbono) de esta fracción (Edler 1979).

**Mesoplancton y macroplancton:** En el laboratorio, la muestra congelada de zooplancton fue filtrada sobre filtro GF/F muflado y pre-pesado, y secada a 60 °C por 24 h. Se obtuvo así el peso seco de la muestra. Desde esta muestra previamente pesada se obtuvo una sub-muestra de cerca de 10 mg para análisis posterior de carbono total mediante espectrofotometría de masa. La información de biomasa fue expresada en peso seco y unidades de carbono y nitrógeno por metro cúbico, integrada por metro cuadrado. La fracción de muestra fijada en formalina fue analizada para composición de especies de mesozooplancton (200-1000 µm) y macrozooplancton (>1000 µm). La abundancia de los grupos y especies dominantes fue expresada por metro cúbico y metro cuadrado.

**Ictioplancton:** El análisis de la composición y abundancia de los huevos y larvas de peces se realizó sobre las muestras fijadas en formalina (como en el caso anterior). Para ello, primeramente se separaron todos los huevos y larvas de peces presentes bajo lupa, y luego se identificaron y enumeraron por especies, con énfasis en las especies-recursos de la zona, tales como merluza, anchoveta, sardina común y otras.

**2.3. Objetivo específico 3.** *Desarrollar una serie de tiempo de frecuencia mensual de las variables señaladas en los objetivos específicos 4.1 y 4.2., en estaciones seleccionadas, dentro de la zona de estudio.*

### **2.3.1. Diseño y estrategia de muestreo**

Para estudiar la variabilidad temporal de las condiciones bio-oceanográficas se utilizaron dos estaciones de muestreo que cubrieron diferentes escalas de tiempo. En una escala de muestreo mensual, se muestreó una estación costera, ubicada a 18 mn sobre la plataforma continental en la terraza del Itata. Ella está indicada en la Figura 2 (Estación ST18) y se localiza a 36°30,8' S - 73°07,7' W. Este punto posee una profundidad aproximada de 90 m. Esta estación está afecta a impactos locales directos de los procesos que ocurren en la plataforma interna, incluyendo las bahías aledañas. La terraza del Itata en general representa el área de mayores y más extensas concentraciones de alimento (como clorofila-a) para grupos planctónicos, en comparación con áreas adyacentes.

Una segunda estación de muestreo se monitoreó sobre una escala estacional (cada 3 meses) en un punto localizado a 40 mn de la costa sobre el talud continental (Estación ST40). Las coordenadas de esta estación son 36°20' S - 73°44' W y posee una profundidad de 1000 m. Este punto representa la variabilidad de las condiciones en la zona de transición costera-oceánica de la zona y donde es aún posible detectar altas concentraciones de plancton (como clorofila-a).

La Estación ST18 y la Estación ST40 constituyen puntos de muestreo de un estudio en serie de tiempo del Centro COPAS, de manera tal que ya se posee información previa de 3 años de muestreo en las escalas de tiempo señaladas. El análisis de tal información indica que la estación ST18 refleja de manera apropiada la variabilidad bio-oceanográfica estacional e intra-estacional, especialmente referida al forzamiento ejercido por la surgencia costera en la zona. La Estación ST40, por otra parte, muestra una mayor independencia de los procesos de surgencia costera y refleja una mayor estabilidad en la escala intra-estacional, no obstante se denota con claridad la señal estacional reflejando los procesos oceánicos de mayor escala.

### **2.3.2. Métodos de muestreo**

En las estaciones señaladas se realizaron perfiles de CTDO-Fluorescencia-PAR. En la estación ST18 el equipo perfiló hasta los 80 m, para obtener muestras de agua a 12 profundidades. Desde las botellas Niskin se obtuvieron muestras para salinidad, concentraciones de oxígeno disuelto, nutrientes, y abundancia y biomasa (clorofila-a medida y carbono estimado) de los componentes del microplancton, nanoplancton y picoplancton. Además, se realizaron muestreos a 5 profundidades con botellas de 30 L para estimar abundancia y composición de microplancton, que requiere de mayores volúmenes para un análisis apropiado. En forma adicional, se incluyó el análisis directo de carbono orgánico particulado (COP), para 5 profundidades, definidas según perfiles de oxígeno y fluorescencia. Estas últimas variables entregaron información adicional valiosa sobre los procesos biológicamente mediados para una mejor interpretación de resultados.

Para el estudio del ictioplancton, mesozooplancton y macrozooplancton, se realizaron un lance de red Tucker Trawl (descrita previamente) para muestrear los estratos 0-50 m y 50-80 m.

En la Estación ST40 los perfiles CTDO-fluorescencia-PAR fueron obtenidos hasta los 750 m y los niveles para muestreo de agua correspondieron a 16 profundidades. En estas 16 profundidades se obtuvieron muestras para las mismas variables indicadas para la Estación ST18. El muestreo en esta estación se realizará con lances de red Tucker Trawl para los estratos 600-400, 400-200 y 200-0 m. Cabe señalar que el estudio de una estación fija de muestreo intensivo para el estudio de procesos biogeoquímicos (estación denominada 40) se realizó durante el crucero oceanográfico de primavera. El tiempo de trabajo en esta estación fue de 12 h y se realizó el día 22 de octubre durante el tránsito hacia estaciones consecutivas. i.e., st. 23, y st. 24.

### 2.3.3. Método de análisis de muestras e información

Los métodos de análisis de muestras para todas las variables son los mismos indicados para los Objetivos específicos 1 y 2. La información proveniente de ambas estaciones es mantenida en una base de datos que se actualizará mensualmente y constituirá la base del boletín oceanográfico mensual. Las variables en estudio fueron procesadas y analizadas con métodos de estudios de series de tiempo. Estableciéndose las eventuales correlaciones y correspondencia entre variables del ambiente físico y químico y variables biológicas.

**2.4. Objetivo específico 4:** *Estimar las siguientes tasas biológicas: producción primaria, respiración comunitaria del plancton, flujo vertical de material particulado en una estación destinada a procesos oceanográficos.*

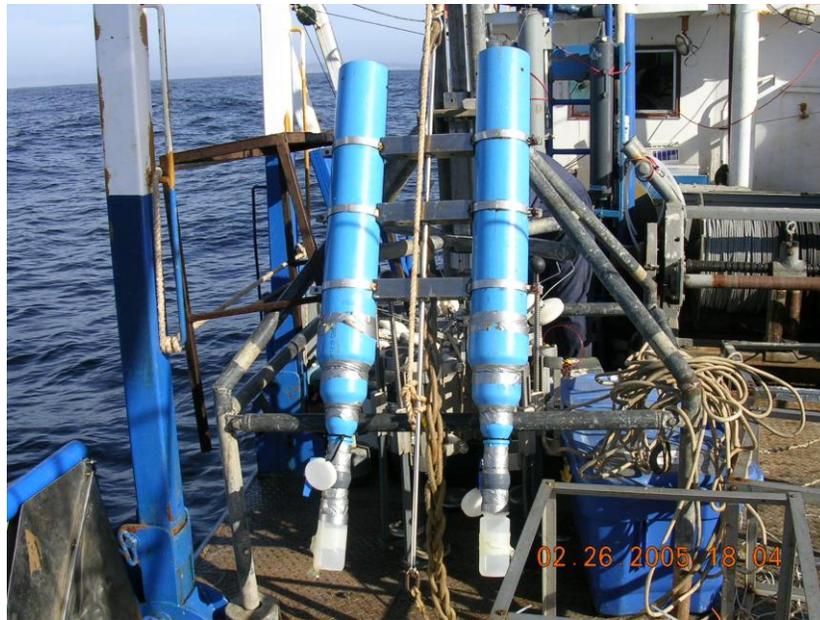
#### 2.4.1. Diseño y estrategia de muestreo

En algunas estaciones de muestreo (Estaciones 41, 45, 50, 37, 35, 31, 25, 30, 15, 11 y 5) y en la estación de procesos (denominada estación ST40 en la serie de tiempo COPAS), se realizaron mediciones para las tasas de producción primaria bruta (PPB), respiración comunitaria del plancton (RC). Los métodos aplicados consistieron en estimaciones *on deck* de cambios en: 1.- La concentración de oxígeno disuelto y 2.- asimilación de carbono. De una profundidad seleccionada en función de el máximo de fluorescencia se obtuvieron 15 submuestras, las cuales fueron incubadas en botellas de borosilicato de 125 ml de capacidad nominal en un sistema de curvas P vs. I., donde se estimó la PPB y la PPN. En forma simultánea a la incubación para PPB y RC, se instaló en el agua una trampa de sedimentos boyante o al deriva (ver Figura 4), para recolectar material particulado que está siendo exportado desde la zona fótica a la cual será acoplada al sistema de incubación para PPB y RC.

Paralelamente, a las estimaciones de PPB, se estimaron tasas de producción primaria neta en las estaciones que se detallan en la Tabla 1-1, en un sistema de incubación *on deck* (Figura 1.5) a partir de técnicas con  $^{13}\text{C}/^{15}\text{N}$  (Slawyk & Raimbault, 1995; 1998), para medir procesos asimilativos de carbono y nitrógeno, incluyendo producción primaria neta, producción nueva (i.e., aquellas sostenida por el aportes de  $\text{NO}_3^-$  advectados hacia la zona fótica) y producción regenerada (i.e., la proporción de fijación de C sustentada por la regeneración de  $\text{NH}_4^+$  en la zona fótica). Cada uno de los términos de esta producción autotrófica es fundamental para la comprensión del funcionamiento trófico de los ecosistemas marino. El flujo vertical de material particulado fue estimado mediante trampas de sedimento cilíndricas pareadas de  $122\text{ cm}^2$  de área de colecta y una razón alto: diámetro de 8,3. Las trampas permanecieron en el agua por más 12 horas (Fig 1.6) En estas muestras se estimaron los flujos de, sestón, materia orgánica total y fracción litogénica. Además, se estimaron los flujos de material biológico como microplancton (diatomeas, tintínidos, nauplii de crustáceos) y detritus (pellet fecales de zooplancton).



**Figura 2.4.5.** Foto de Incubadores solares *on deck* usados para incubar muestras de producción primaria.



**Figura 2.4.6.** Foto de las trampas de sedimento utilizada durante la recolección de material particulado.

#### 2.4.2. Métodos de medición y análisis.

Para estimar tasas de Productividad Primaria Bruta (PPB) del fitoplancton y tasas de Respiración de la Comunitaria (RC), la cantidad de oxígeno producida por fotosíntesis y la cantidad de oxígeno consumida por respiración, se utilizó la técnica de las botellas claras y oscuras, con 5 réplicas para cada tiempo final y 5 réplicas para el tiempo inicial. Las concentraciones de oxígeno disuelto en las botellas fue estimado utilizando una versión semi-automática del método Winkler (Williams & Jenkinson 1982, Knap et al. 1993) basado en un detector fotométrico de punto final, un Dosimat Metrohom 665 de 5 ml de capacidad y un registrador Cole Parmer. Los valores de tasas de PP y RC, integrados en la columna de agua, fueron calculados a partir de las diferencias de las concentraciones de oxígeno entre los distintos tratamientos:

*Producción Primaria Bruta: [O2] botellas claras - [O2] botellas oscuras*  
*Respiración Comunitaria: [O2] botellas ceros - [O2] botellas oscuras*

Los valores de Producción Primaria son convertidos a valores de producción de carbono utilizando un coeficiente fotosintético de 1,25 mientras que las tasas de utilización de oxígeno fueron convertidas a carbono orgánico utilizando un coeficiente de respiración de 1,0 (Daneri et al. 2000).

Las tasas de producción primaria neta fueron medidas utilizando el isótopo estable  $^{13}\text{C}$  en su forma  $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$ . Esta técnica está basada en la asimilación biológica de carbono marcado  $^{13}\text{C}$  por organismos foto-autótrofos y su posterior detección por medio de espectrometría de masas en el compartimiento orgánico particulado. El cálculo de asimilación de carbono ( $\text{mg C.m}^{-3}.\text{t}^{-1}$ ) se obtuvo mediante la ecuación:

$$\rho DI^{13}\text{C} = \left[ \frac{(\%R_{POC} - 1.112) * \left( \frac{POC * 1000}{T * V_f} \right)}{\%R_{DIC}} \right] * \frac{12}{1000}$$

donde:

$V_f$  : Volumen filtrado

POC : cantidad de carbono orgánico particulado recuperado y analizado por espectrometría de masa ( $\mu\text{g}$ )

$\%R_{DIC}$  : exceso de enriquecimiento ( $^{13}\text{C}$ ) después de inoculación (tiempo T0).

$\%R_{POC}$  : Enriquecimiento en carbono-13 en el filtro después de incubación.

T: Tiempo de incubación

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Variabilidad espacial de variables bio-oceanográficas

Con el objeto de: “Determinar la distribución espacial, a nivel de meso-escala (km), de las variables bio-oceanográficas temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes, biomasa del fitoplancton y penetración de la luz, en la zona de estudio, durante el período de primavera, en la estructura vertical de 0 a 200 m de profundidad; se realizó un crucero oceanográfico durante 16 al 28 de octubre de 2006. La zona de estudio estuvo comprendida entre los 35°30,0' y 37°30,0' Lat. S y 72°39,6' y 77°48,3' Long. O, cubriendo un área de 90.000 km<sup>2</sup>,

La posición de las estaciones de estudio se muestra en la Figura 3.1.1, mientras que las características de muestreo así como las variables medidas en cada una de las estaciones son indicadas en la Tabla 2.2.1. Cabe destacar que existieron dos tipos de estaciones: las estaciones oceanográficas, de las cuales se reportan y analizan variables de índole hidrográficas (variables físico- químicas como temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto) que dan cuenta de la naturaleza físico-química del ambiente.

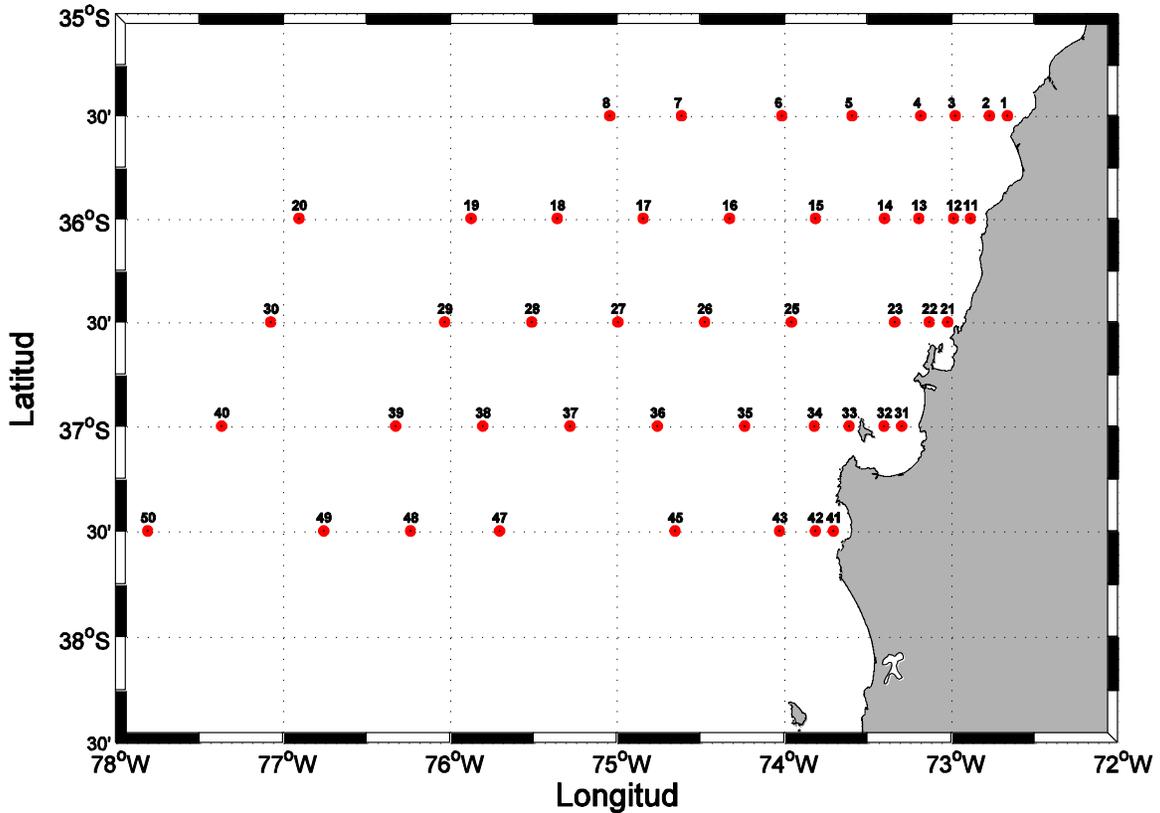
En las estaciones bio-oceanográficas se midieron y analizaron además variables químicas y biológicas como nutrientes (nitrato, nitrito, fosfato y silicatos) y biomasa fitoplactónica que dan cuenta del estatus trófico del sistema. En dichas estaciones se informa abundancia, biomasa y distribución de las comunidades biológicas analizadas por estructura de tamaños y en algunos casos por tipo de metabolismo (ver sección 3.2)

La zona de estudio, está gobernada por un amplio espectro de fluctuaciones tanto de alta como baja frecuencia, forzadas por procesos tanto de origen local (vientos) como remoto (océano ecuatorial). Entre la gran diversidad de patrones y estructuras que se pueden observar a meso- escala (10 - 500 km), se encuentran meandros, filamentos y eddies de meso-escala, estructuras que son capaces de inyectar nutrientes hacia la capa fótica (Alvarez-Salgado 2007; Benitez-Nelson et al., 2007), pudiendo modificar la estructura trófica del sistema estudiado.

Por otro lado, del área total estudiada, un 9.2% subyace sobre la isobata de los 200 m de profundidad y el 14.7% sobre la isobata de los 1000 m de profundidad, mientras que el área restante (85.3%) se encuentra por encima de los 1000 m de profundidad. A pesar de la pequeño porcentaje de superficie de la zona de estudio cuya columna de agua toma contacto con los sedimentos, un intenso acoplamiento pelágico-bentónico conlleva a un mayor reciclaje de nutrientes regenerados, los cuales pueden difundir hacia la agua de fondo, dejando a disposición una mayor cantidad de nutrientes regenerados que pueden ser canalizados hacia tramas tróficas foto o quimio-sintéticas.

### 3.1.1. Condiciones meteorológicas imperantes durante la primavera de 2006.

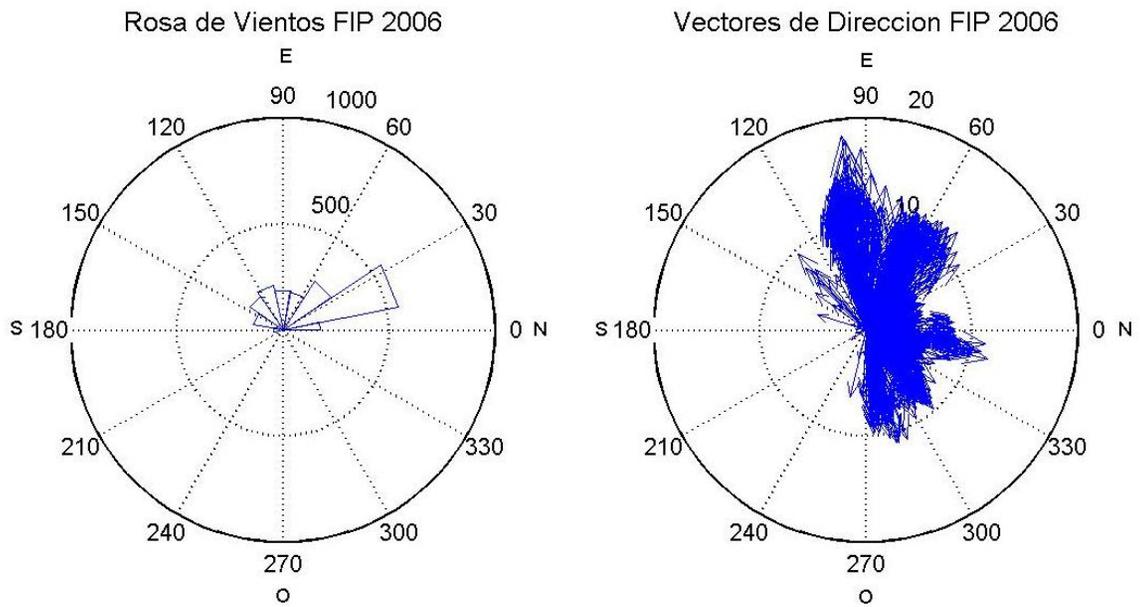
Dentro de la variabilidad espacio-temporal observada en el campo de vientos de la zona de estudio obtenidos a partir del satélite Quikscat, se puede observar la dominancia de vientos del sector Sur y Suroeste (dirección Nor-Noreste) particularmente en la franja costera asociada a las 100 mn de la costa (Figura 3.1.3) a excepción de los días 23 y 23 de octubre y 26 y 27 de octubre, donde se observó una dominancia de vientos desde el sector N. La Figura 3.1.3 muestra los campos vectoriales de viento en la zona de estudio a través del tiempo. Las velocidades del viento durante el periodo estudiado fluctuaron entre  $0,2$  y  $18,4$   $m\ s^{-1}$ . Los parámetros estadísticos del vector de viento (incluyendo su componente U y V) se muestran en la Tabla 3.1.1.



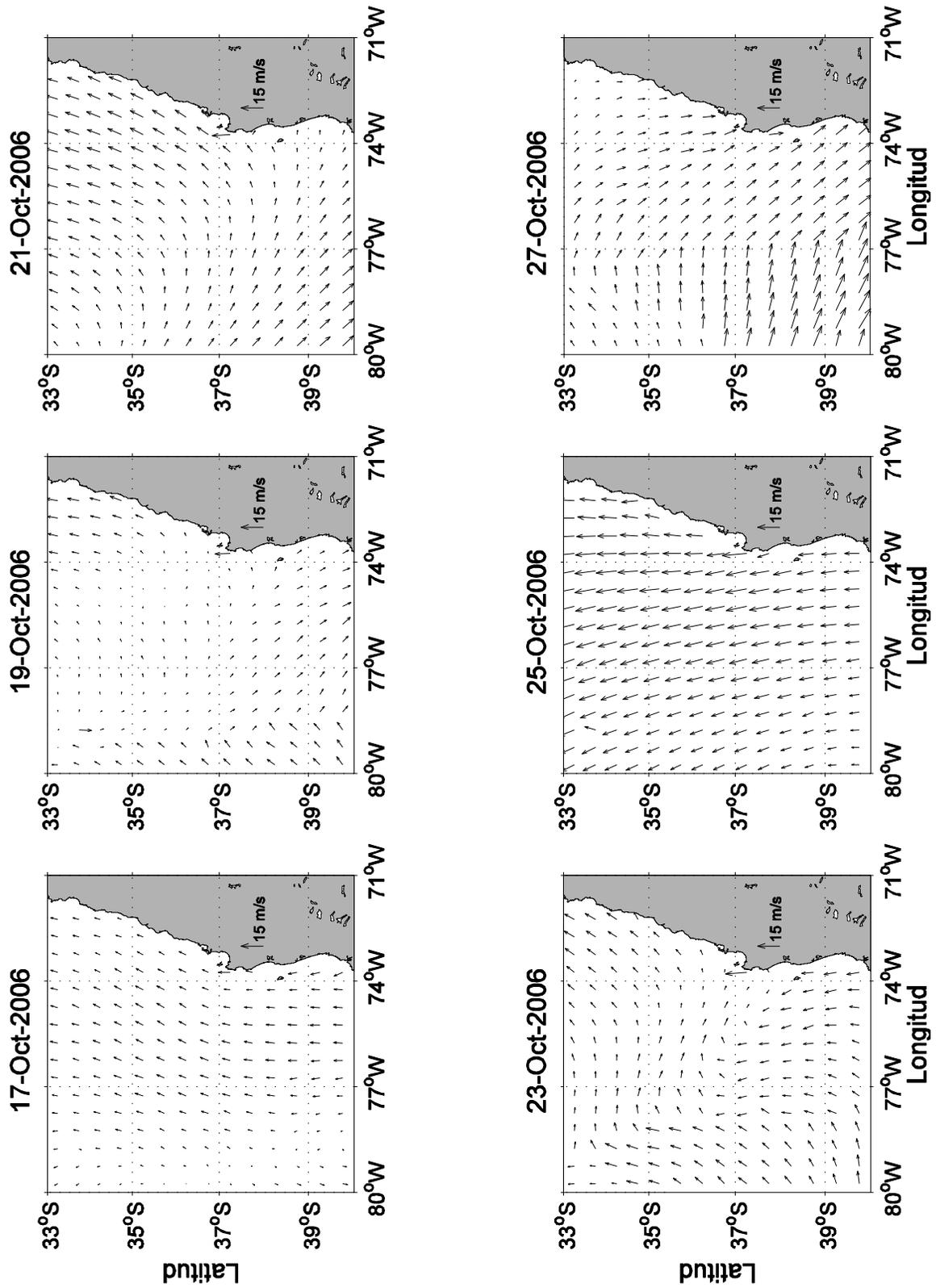
**Figura 3.1.1.** Posición geográfica de las estaciones oceanográficas realizadas durante el crucero MOBIOBIO, entre el 18 al 27 de octubre de 2006.

**Tabla 3.1.1.** Estadística básica del campo de viento durante el periodo de muestreo.

Estadística Básica					
N° datos	Variable	Min	Max	Media	Std
1961	Mag (m/s)	0.2	18.4	6.4	3.3
1961	Comp U	-6.4	11.5	2.6	2.7
1961	Comp V	-10.6	18.3	2.7	5.6

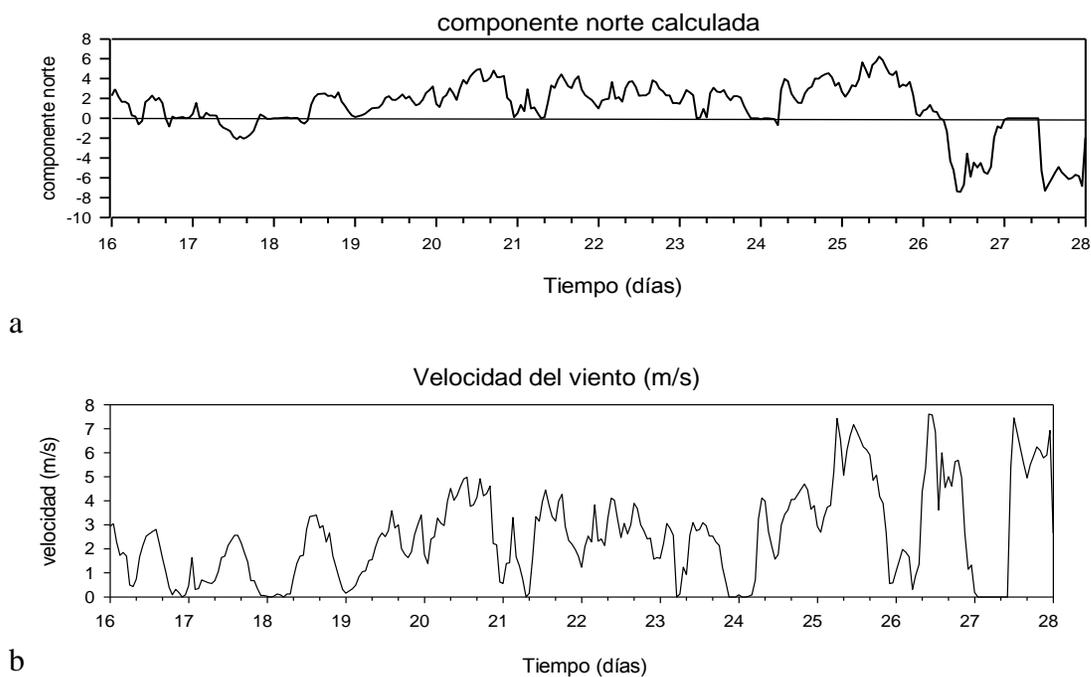


**Figura 3.1.2.** Rosa de los vientos donde se muestra la dominancia de los vientos del sector sur-oeste.



**Figura 3.1.3.** Campo vectorial del viento superficial derivado del satélite QUICKSCAT para el período del crucero MOBIOBIO 2006.

A su vez, de los datos meteorológicos obtenidos por la estación costera de Dichato durante el crucero de MOBIOBIO 2006, se corrobora la dominancia de la frecuencia de vientos del sector norte en casi la totalidad de periodo estudiado (Figura 3.1.4b panel superior) con una velocidad promedio de 4 m s<sup>-1</sup> (Figura 3.1.4b).



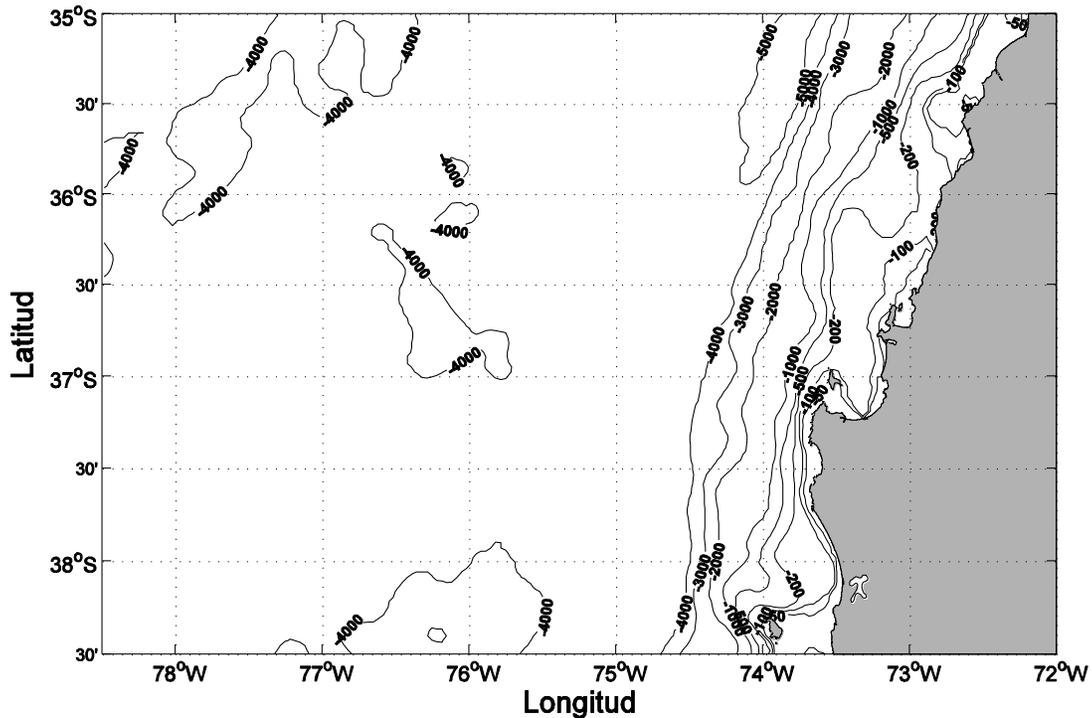
**Figura 3.1.4.** Componente norte y magnitud de la velocidad del viento entre el 16 y el 28 de octubre de 2006. La información fue obtenida de una estación meteorológica costera ubicada al sur de la bahía de Coliumo.

### 3.1.2. Variabilidad espacial de las variables hidrográficas y oceanográficas: análisis a través de las secciones horizontales.

La Figura 3.1.1 muestra la posición de las estaciones oceanográficas realizadas durante el crucero. Los gráficos de los perfiles de las diferentes variables correspondientes a cada estación y una lista de las variables a profundidades estándares se presentan en el Anexo I (Data Report).

En ocasiones anteriores hemos presentado una breve descripción de la batimetría, que repetiremos aquí para la consistencia del presente informe. La batimetría en la zona de estudio se caracteriza por presentar una amplia plataforma continental, particularmente entre 36° S y 37° S, pero su ancho es muy variable, con la presencia de cañones submarinos, como el cañón del río Bío-Bío e importantes rasgos en la línea de costa, como el Golfo de Arauco (Figura 3.1.5). En general, la línea de costa y la topografía de la plataforma continental es bastante más compleja que los rasgos de la zona norte y centro de Chile.

Por otra parte, solo en la parte norte de la zona de estudio las profundidades oceánicas exceden 5.000 m marcando el límite sur de la fosa submarina de Chile Perú.



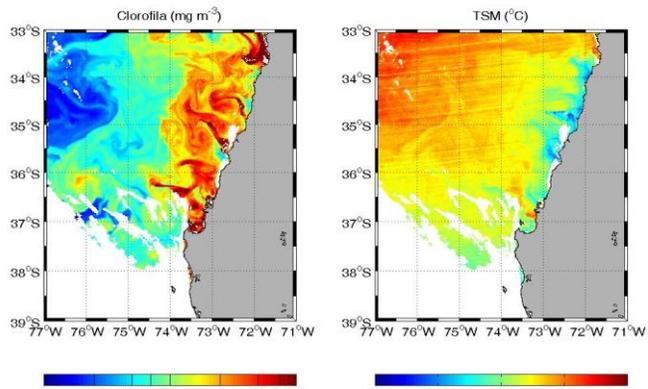
**Figura 3.1.5.** Batimetría de la zona de estudio. Profundidades en metros

### **Temperatura superficial del mar y concentración de clorofila observada mediante satélites**

Las imágenes satelitales de clorofila diaria (Figura 3.1.6 a, b y c) ponen de manifiesto eventos de alta productividad primaria asociadas a altas biomásas fitoplanctónica de hasta  $10 \text{ mg Chl-a m}^{-3}$  los días 23 y 25 de octubre, decreciendo hacia el final del crucero (28 de octubre). Estos valores de biomasa fitoplanctónica expresan condiciones eutróficas extremas.

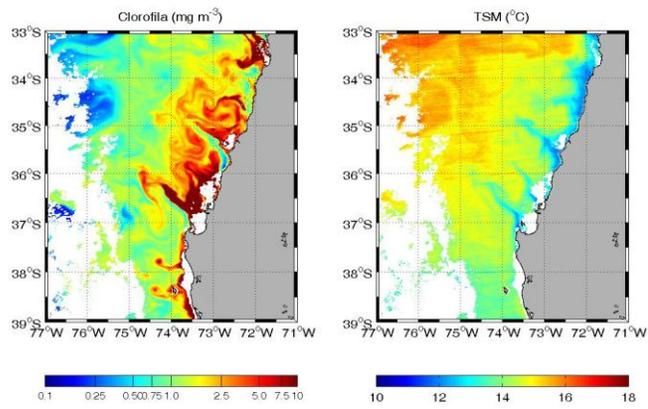
Los patrones de distribución espacial de biomasa fitoplanctónica, muestran altas biomásas en asociada a la franja costera comprendida entre los 75 y 100 mn de la costa observándose la formación de plumas y giros de alta concentración extendiéndose mar afuera. En base a las imágenes de temperatura superficial del mar (TSM) (Figura 3.1.6b) se puede observar eventos de aforamiento de aguas frías, en tres centros de surgencia: Pta. Lavapie, Pta. Tumbes y Pta. Nurgurue, ya anteriormente descritos, como centro de afloramiento costeros por (Cáceres & Arcos, 1991; Sobarzo, 1998).

23-Oct-2006



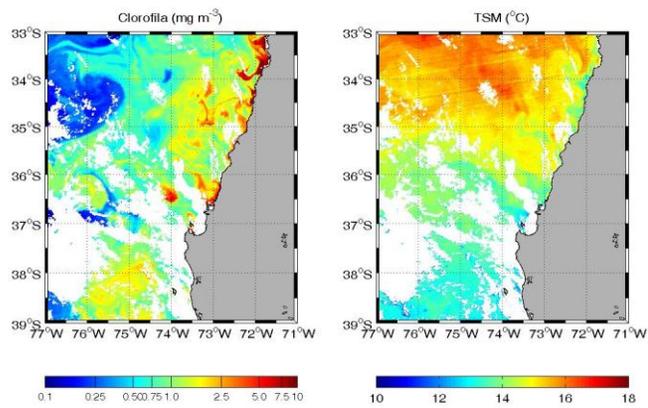
a

25-Oct-2006



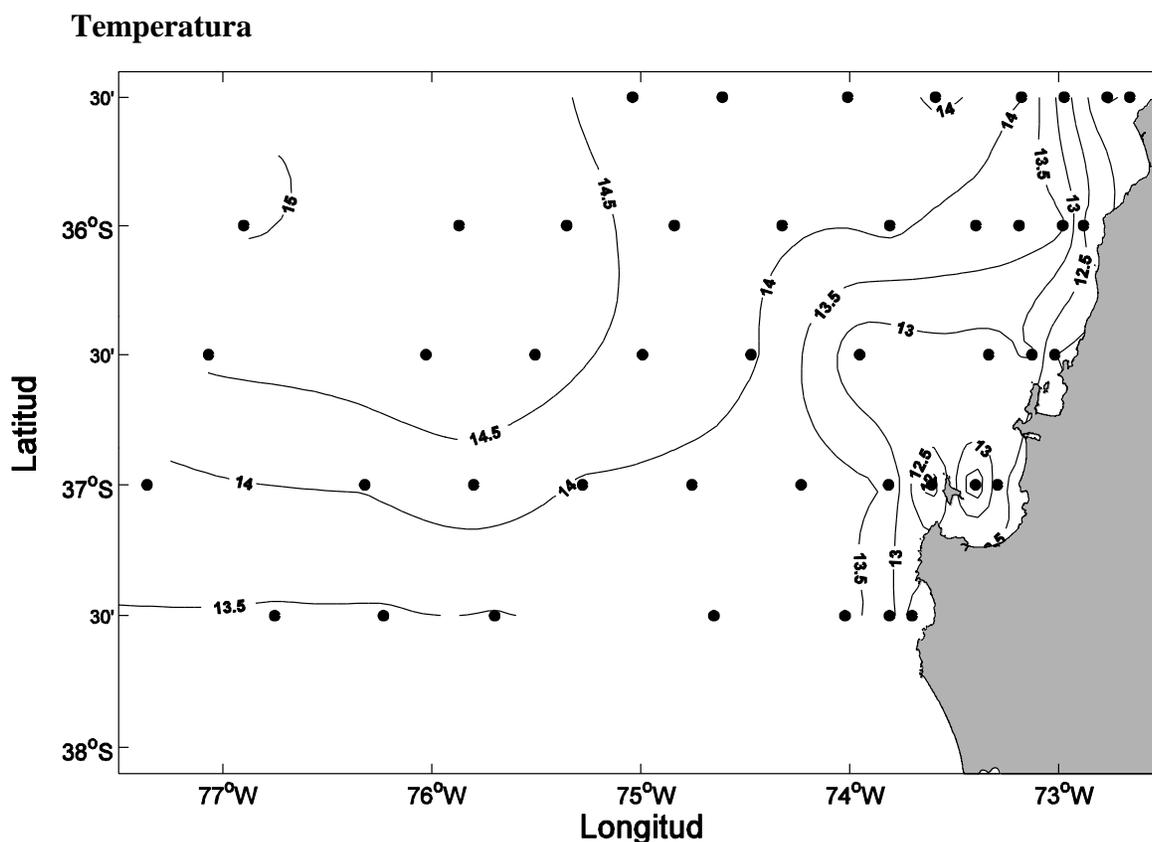
b

28-Oct-2006



c

**Figura 3.1.6.** Imágenes satelitales de clorofila superficial diaria (a:23-Oct-2006, b: 25 Oct-2006 y c: 28-Oct-2006).



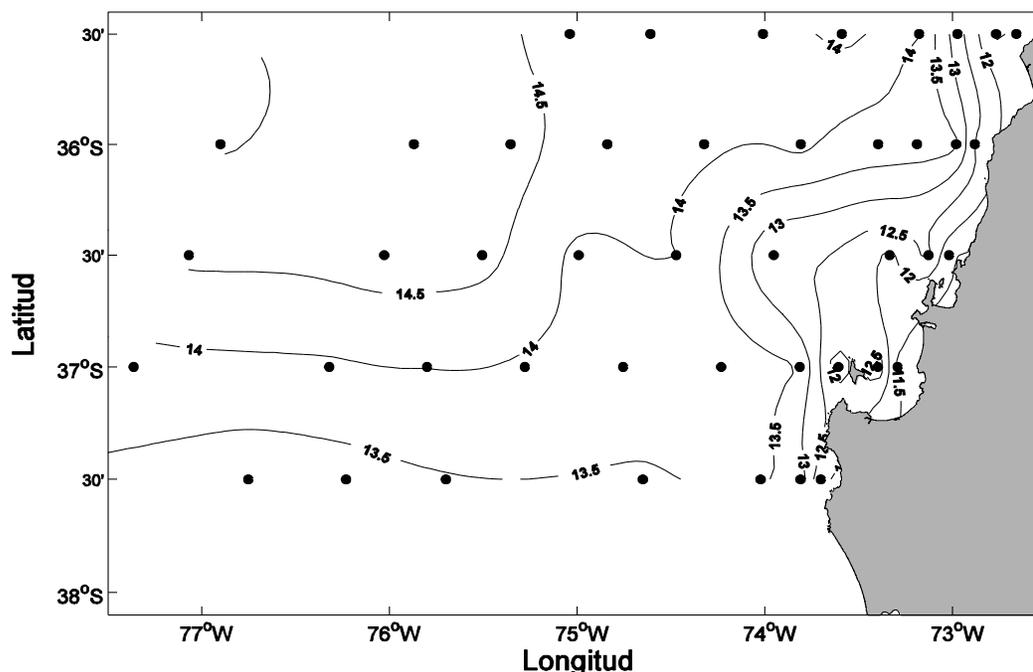
**Figura 3.1.7a.** Distribución horizontal de temperatura (°C) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2006.

La Figura 3.1.7a muestra la distribución de temperatura del mar a 5 db (aproximadamente 5 m de profundidad). Se prefirió usar 5 db en lugar de la temperatura superficial ya que las condiciones del mar no siempre permiten obtener buenos datos superficiales con CTD. Como es usual para la estación de surgencia, la temperatura cerca de la superficie decrece hacia la costa, desde valores mayores a 14°C hasta valores inferiores a 13°C. En la parte oceánica, al oeste de 75°W, existe un gradiente predominantemente meridional donde los valores decrecen desde ~15°C en la parte norte a 13.5°C en el borde sur de la zona de estudio. La figura 3.1.7 b, c, d, f, muestran respectivamente la distribución horizontal de temperatura en los 10, 30, 50, 100 y 200 dB.

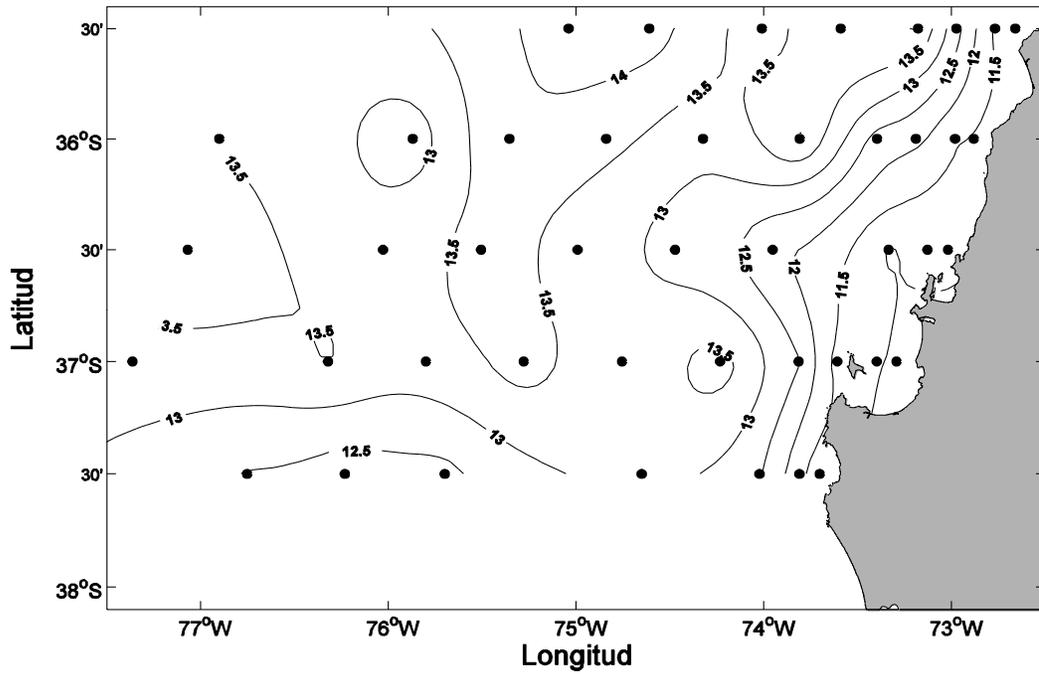
Los bajos valores de temperatura superficial observados cerca de la costa son consistentes con la surgencia de aguas frías asociada a un transporte de Ekman superficial hacia fuera de la costa sugerido por la información de viento satelital Figura 3.1.7g y por los datos costeros de viento. Estos además son consistentes con la información de TSM mostrada por las imágenes satelitales. Tanto el gradiente de temperatura hacia fuera de la costa como el gradiente meridional observado en la zona oceánica durante el crucero, se ajustan a los gradientes observados en los datos de TSM satelital.

Los datos satelitales muestran una gran estructura espacial con filamentos de agua fría que se extienden hacia fuera de la costa. Estas estructuras no pueden ser reproducidas adecuadamente por la menor resolución de los datos del crucero. Sin embargo, estos últimos sugiere la presencia de una pluma de agua fría que se aleja de la costa cerca de los 36° 30'S, consistente con lo observado en la imagen satelital del 25 de octubre. Aunque una comparación directa entre ambos conjuntos de datos es difícil, dada la diferente cobertura espacio-temporal, es posible observar cualitativamente una buena correspondencia. A partir de los datos del crucero es posible identificar la isoterma de 13.5°C como el límite exterior del frente de surgencia. Este frente tiende a alinearse paralelo a la costa, pero se extiende hacia fuera cerca de 36.5°S. Este rasgo ha sido observado en los cruceros previos y en general, se reconoce como un rasgo típico de la región durante la estación de surgencia. Dentro del frente de surgencia, se observan valores de gradientes horizontales de temperatura cercanos a 1° C por 15 km ( $7 \times 10^{-2}$  °C km<sup>-1</sup>) o 1° C por 20 km ( $5 \times 10^{-2}$  °C km<sup>-1</sup>). En algunos puntos cercanos a la costa este valor puede ser aún mayor. En la zona oceánica el gradiente, principalmente orientado en una dirección meridional, es aproximadamente de 1° C por 110 km.

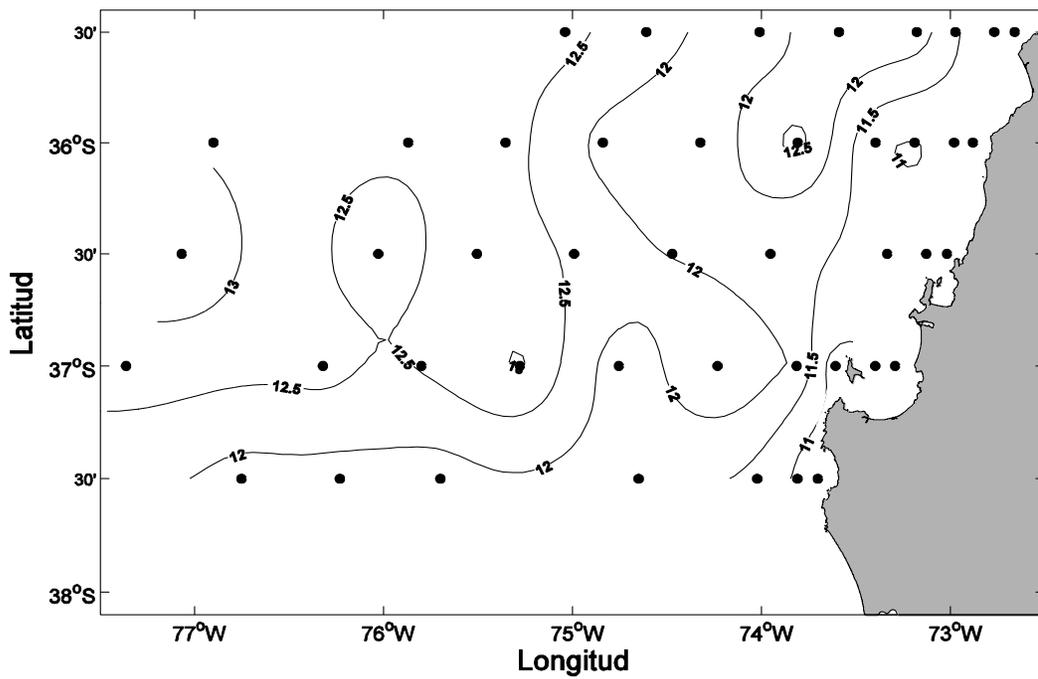
Además, para comparar con otras variables se presentan los campos de temperatura a 10, 30, 50, 100 y 200 db. Bajo los 50 db los gradientes cercanos a la costa dejan de ser tan pronunciados como los observados cerca de la superficie y aparecen estructuras mayores en la región oceánica (Figuras 3.1.7e y 3.1.7.f note que la frecuencia de los contornos es diferente). Estas estructuras, asociadas a la presencia de la termoclina pueden ser identificadas con mayor claridad en las secciones o transectas verticales mostradas más adelante.



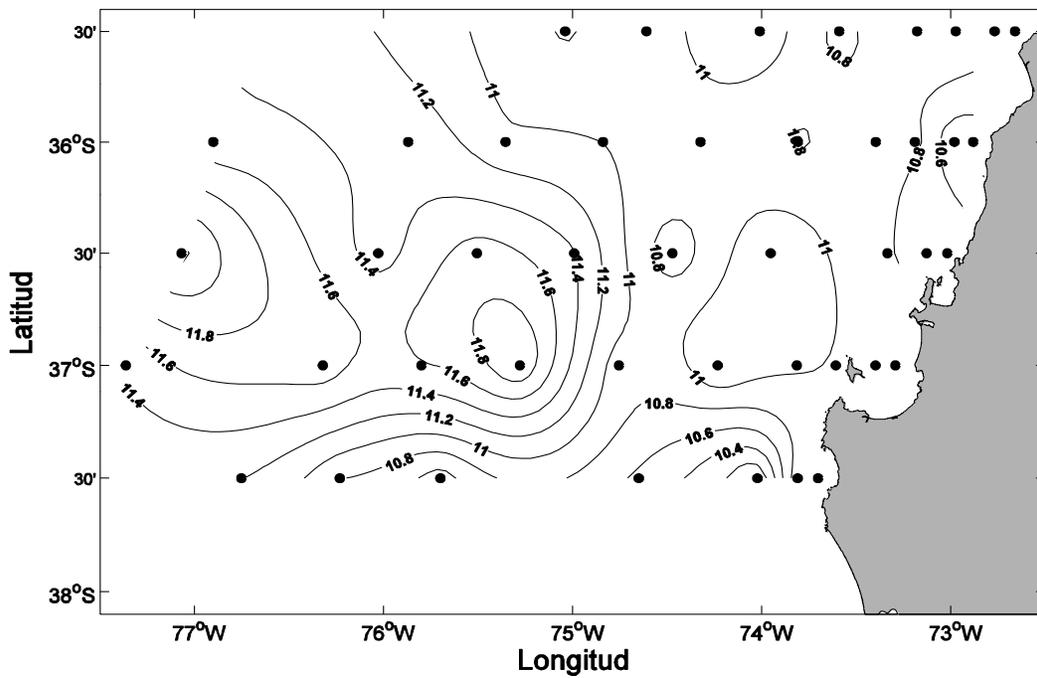
**Figura 3.1.7b.** Distribución horizontal de temperatura (°C) a 10 dB, crucero MOBIOBIO 2006.



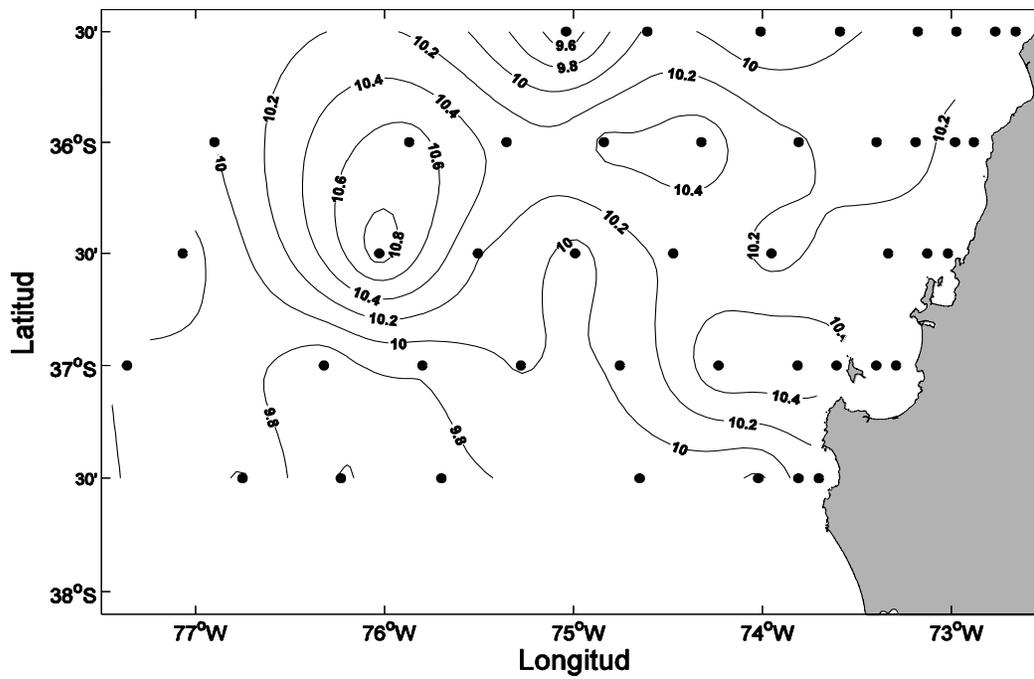
**Figura 3.1.7c.** Distribución horizontal de temperatura (°C) a 30 dB, crucero MOBIOBIO 2006.



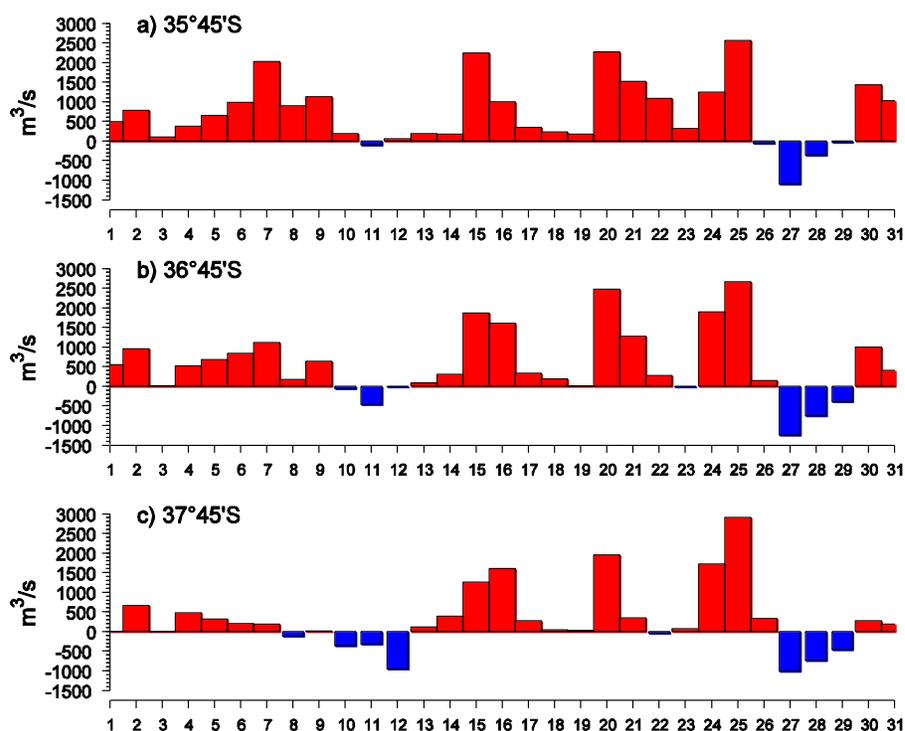
**Figura 3.1.7d.** Distribución horizontal de temperatura (°C) a 50 dB, crucero MOBIOBIO 2006.



**Figura 3.1.7e.** Distribución horizontal de temperatura (°C) a 100 dB, crucero MOBIOBIO 2006.



**Figura 3.1.7f.** Distribución horizontal de temperatura (°C) a 200 dB, crucero MOBIOBIO 2006.

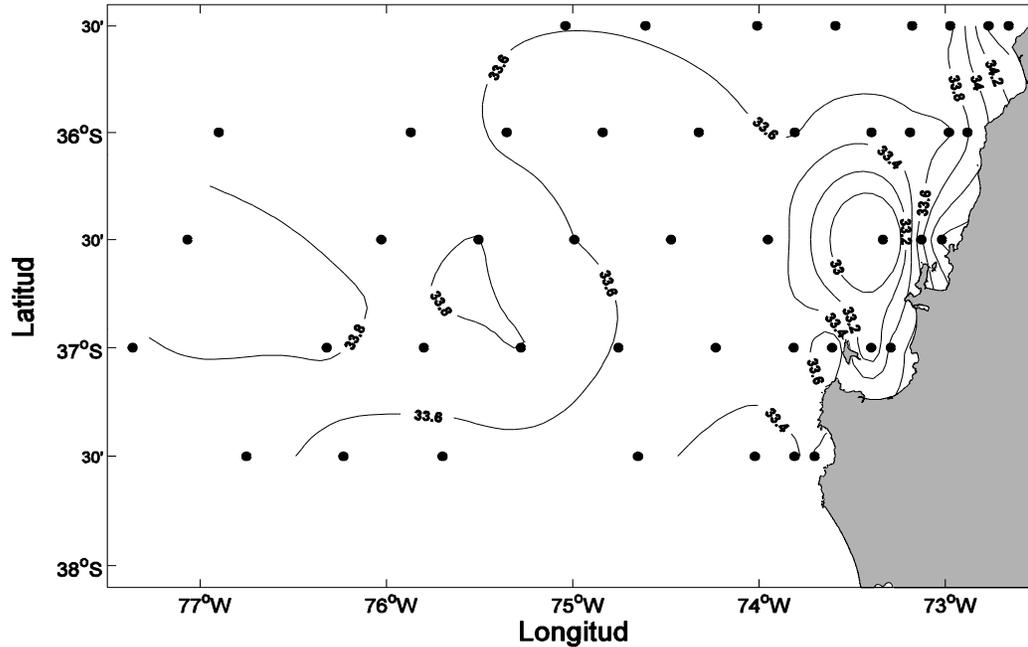


**Figura 3.1.7g.** Transporte de Ekman calculado desde series diarias de viento satelital QUICKSCAT para tres posiciones cercanas a la costa, centradas a 35° 45'S, 36° 45'S y 37° 45'S, durante octubre de 2006. Los valores corresponden a transporte de volumen en  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  por 1000 m de costa. El signo fue invertido, así valores positivos indican transporte favorable a la surgencia.

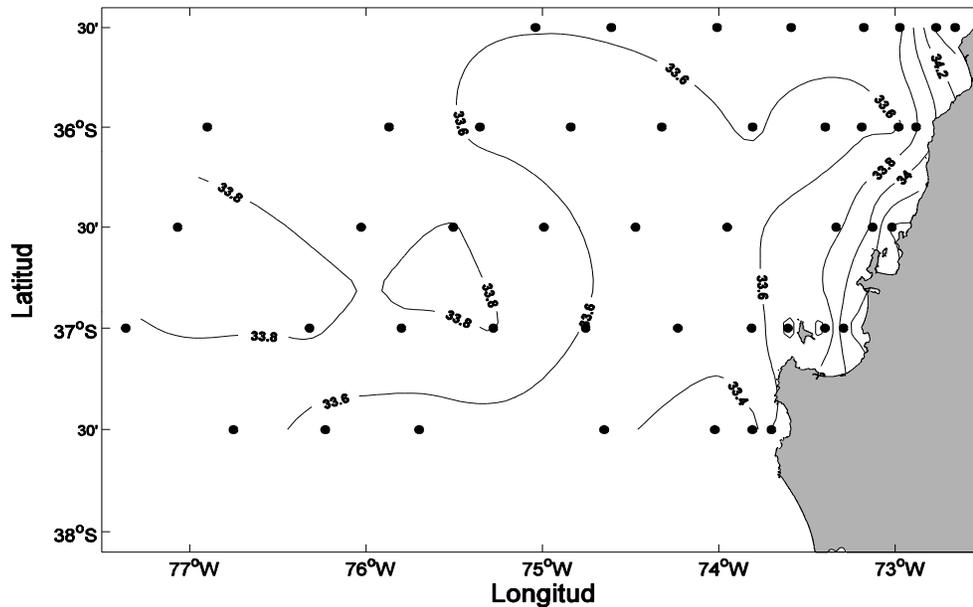
## Salinidad

La salinidad a 5 db varía entre 33.0 y 33.8 aproximadamente (Figura 3.1.8a). En la zona oceánica predominan valores cercanos a 33.6. Los valores más bajos se ubican aproximadamente al oeste de la bahía de Concepción. Desde esta bahía, siguiendo la línea de costa, se extiende hacia el norte una franja de valores ligeramente mayores (33.8) reflejando, probablemente, el efecto de la surgencia. Es común observar en la región valores cercanos o inferiores a 33 que se extienden desde la parte sur de la zona de estudio hacia el norte, pero cerca de la costa la surgencia mantiene valores más altos de salinidad. Sin embargo, a 5 db, la distribución de salinidad no se relaciona directamente a los valores de temperatura, y podría estar reflejando un aporte local de agua dulce. A 10 db (aproximadamente 10 m de profundidad) la distribución de salinidad muestra un marcado incremento hacia la costa reflejando más claramente el efecto de la surgencia sobre las aguas de la plataforma continental (Figura 3.1.8b). Esta crea un pequeño frente de salinidad, aunque débil, es claramente reconocible sobre la base de la escala espacial del crucero.

La presencia de este frente salino es consistente con el frente de temperatura observado a la misma profundidad o nivel de presión). Los valores mayores de salinidad, localizados cerca de la costa a 10 db, al igual que los valores bajos de temperatura, darían cuenta de la presencia de aguas de surgencia, sobre la plataforma continental al norte del Golfo de Arauco.



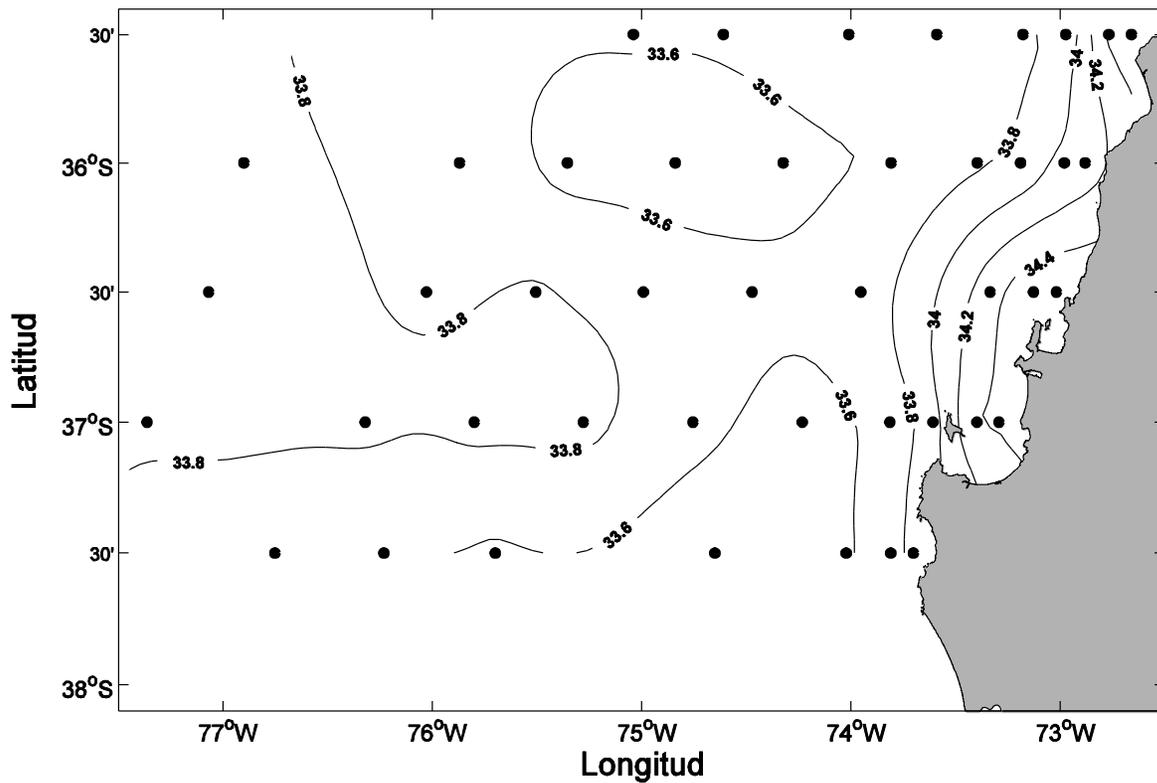
**Figura 3.1.8a.** Distribución horizontal de salinidad (psu) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2006.



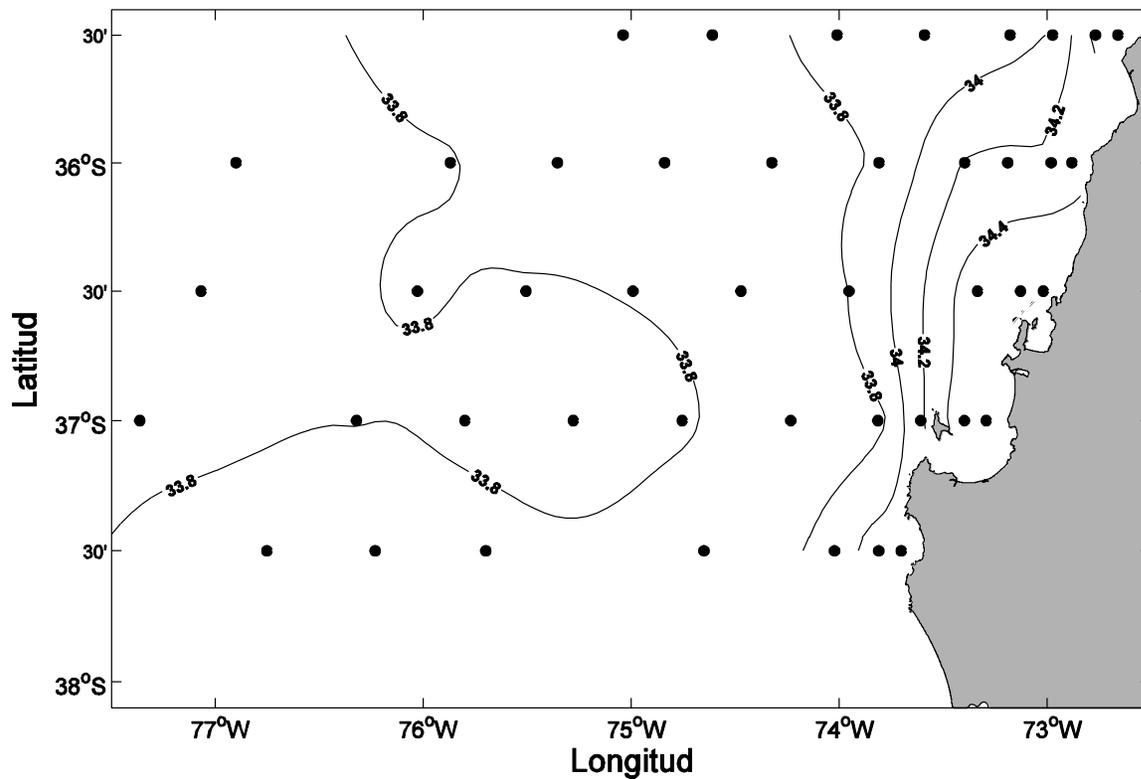
**Figura 3.1.8b.** Distribución horizontal de salinidad (psu) a 10 dB, crucero MOBIOBIO 2006.

Al igual que para las otras variables, se presentan secciones de salinidad a 30, 50, 100 y 200 m de profundidad (Figura 3.1.8 c, d, e, f, respectivamente). A medida que aumenta la presión, entre 5 db y 100 db, el frente salino que se extiende meridionalmente se aleja de la costa. Bajo los 10 db La salinidad crece monótonicamente hacia la costa hasta los 200 db, donde la distribución de salinidad es mucho más homogénea que la observada en las capas superiores. La posición del frente salino observado sobre los 100 db está relacionada con el hundimiento de la haloclina a medida que aumenta la distancia desde la costa.

Por otra parte, es interesante notar la presencia de un núcleo salino centrado aproximadamente en  $36^{\circ}30'S$  y  $76^{\circ}W$ . Este núcleo coincide con un núcleo de mayor temperatura observado a mayor profundidad (ver distribución de temperatura a 200 db). La presencia de este núcleo podría relacionarse con un vórtice anticiclónico que estaría profundizando la termoclina. Sin embargo, la salinidad en la región tiende a aumentar con la profundidad entre 0 y 300 m, luego un hundimiento de la haloclina (asociado al hundimiento de la termoclina) debería producir una disminución de la salinidad, contrario a lo observado. Por otra parte, la distribución de densidad presenta un máximo relativo en esta posición (ver más adelante) consistente con el aumento de la salinidad y contrario al aumento de la temperatura. Aunque la distribución de temperatura evidencia claramente la presencia de un vórtice anticiclónico bajo los 100 db, es necesario interpretar estos resultados con precaución. Esto se discutirá con mayor detalle en el contexto de las secciones verticales.



**Figura 3.1.8c.** Distribución horizontal de salinidad (psu) a 30 dB, crucero MOBIOBIO 2006.



**Figura 3.1.8d.** Distribución horizontal de salinidad (psu) a 50 dB, crucero MOBIOBIO2006.

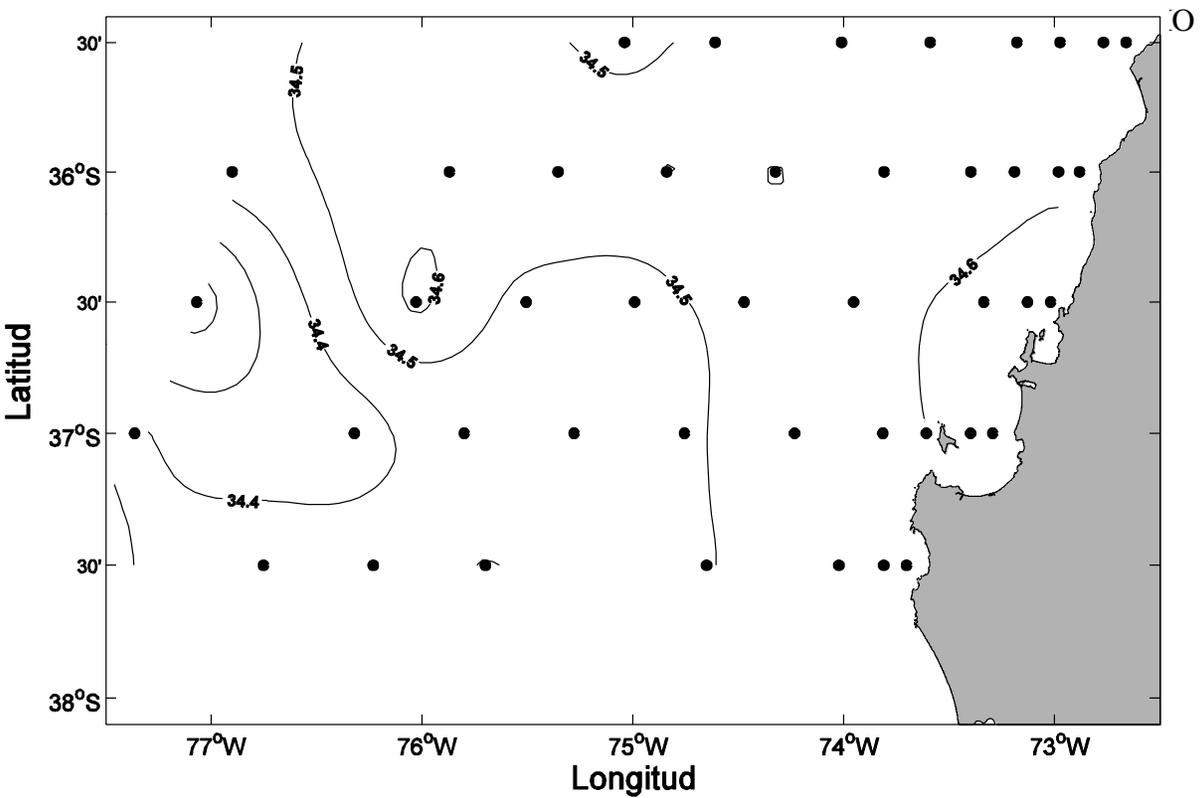
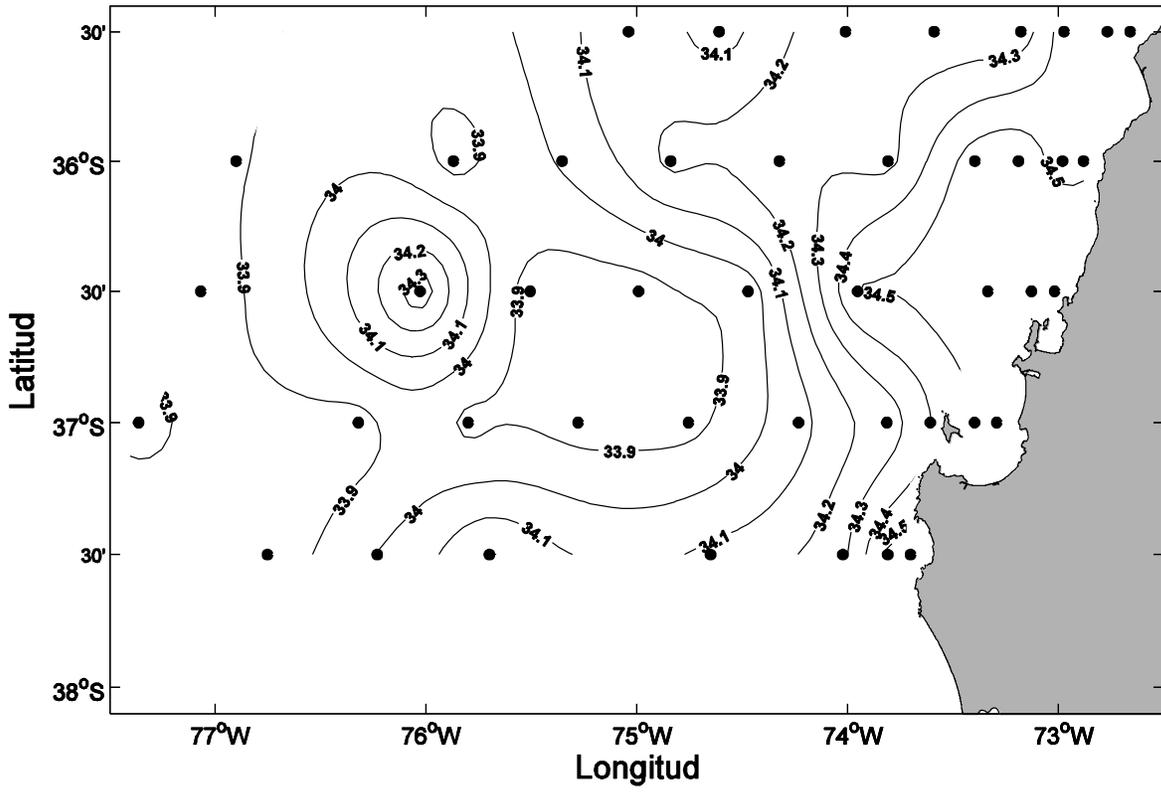
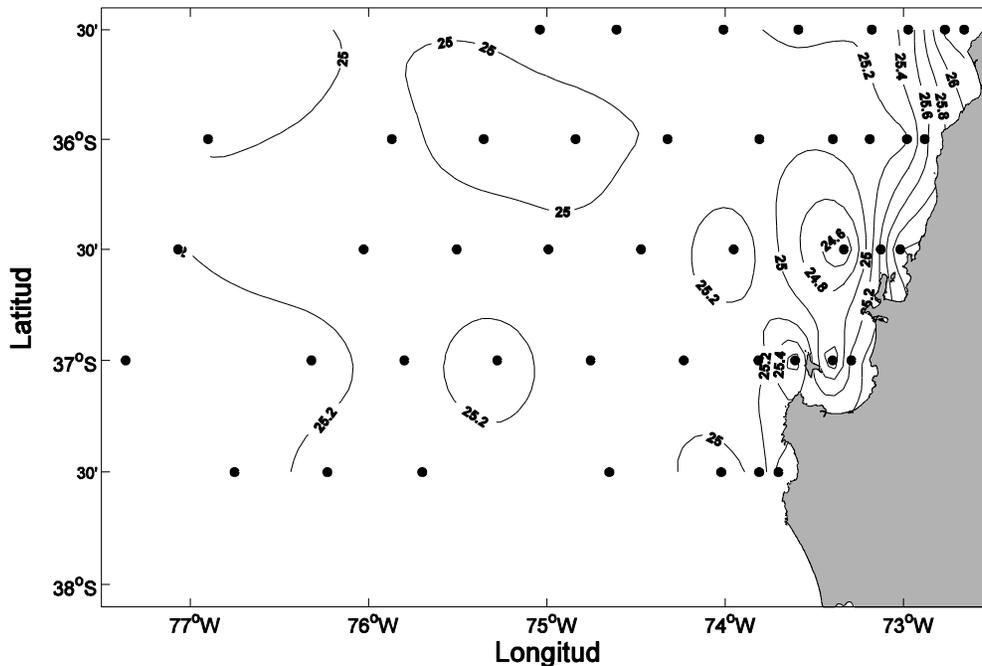


Figura 3.1.8f. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 200 dB, crucero MOBIOBIO 2006.

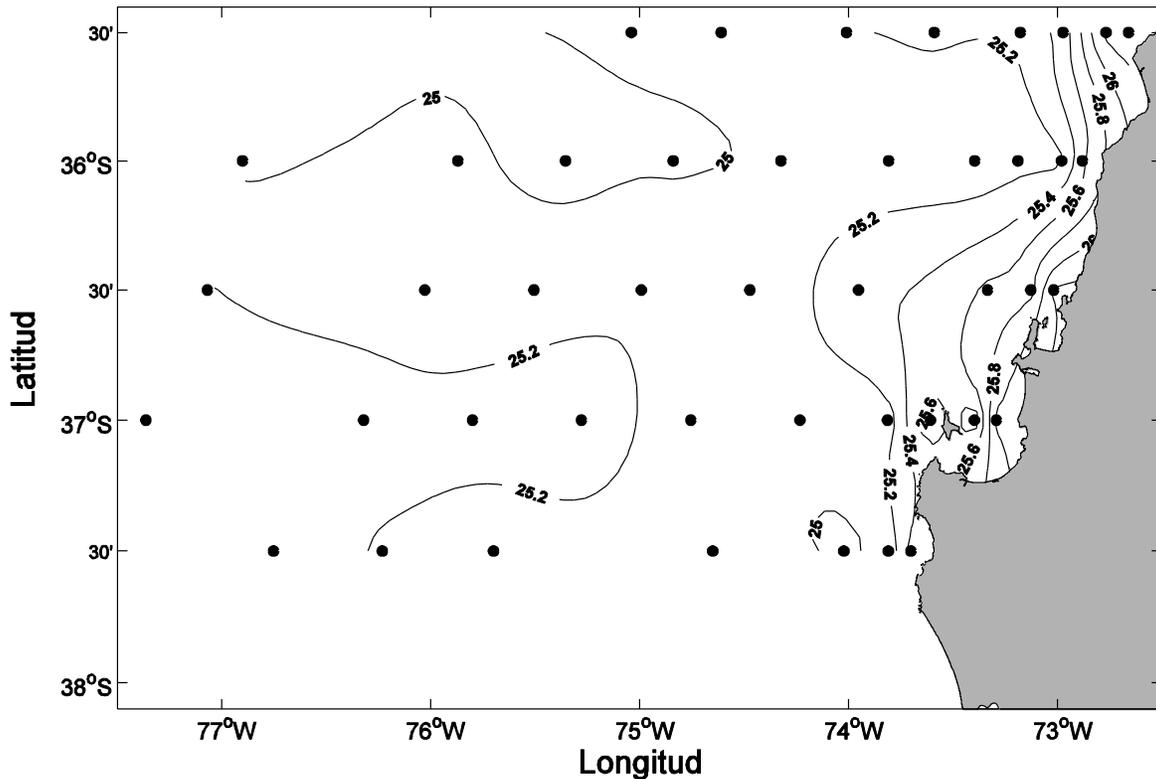
## Densidad

Como es usual la densidad cerca de superficie se representa como  $\sigma_t$ , en el entendido que los valores se refieren a densidad en  $\text{kg m}^{-3} - 1000 \text{ kg m}^{-3}$ . En la región oceánica, al oeste de  $74.5^\circ \text{ W}$ , la densidad superficial (medida a 5 db) tiende a aumentar hacia el sur consistente con el decrecimiento de la temperatura (Figura 3.1.9a). La figura muestra también una tendencia de la densidad a aumentar hacia la costa, en acuerdo con las aguas más salinas y frías que llegan a superficie debido a la surgencia. Sin embargo, al norte del Golfo de Arauco hay un núcleo significativo de agua menos densa que está directamente relacionado con el núcleo de agua de menor salinidad descrito anteriormente. Esto provoca un importante frente superficial de densidad ubicado al lado oriental del núcleo, el cual se extiende a lo largo de la costa, hacia el norte de la Bahía de Concepción. Las Figuras 3.1.9 b, c, d, e, f muestran sucesivamente la distribución horizontal de densidad a 10, 30, 50, 100 y 200 db. A 10 db, en concordancia con lo observado en la distribución de salinidad, el núcleo de agua de baja densidad no está presente. La densidad refleja así la presencia de aguas más frías y salinas (y por tanto más densas) cerca de la costa. Valores de hasta  $1026 \text{ kg m}^{-3}$  son observados junto a la costa, contrastando con los valores de  $1025.2 \text{ kg m}^{-3}$  observados en la región oceánica. El frente de densidad observado cerca de superficie, se observa consistentemente hasta 50 db. Sin embargo la distribución a 100 db muestra mayores variaciones, consistente con la profundidad de la pycnoclina en la zona de estudio. Note finalmente que la densidad a 200 db es bastante homogénea. Este nivel de presión está por debajo de la ubicación de la pycnoclina superior y a esta profundidad (200 db) las isopícnas tienden a distribuirse preferentemente en forma horizontal. Este rasgo puede verse más claramente en las transectas verticales y será comentado más adelante en ese contexto.



**Figura 3.1.9a.** Distribución horizontal de densidad ( $\text{Kg/m}^3$ ) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2006.

Como se mencionó anteriormente, la distribución de densidad a 10 db (Figura 3.1.9b) muestra un máximo relativo con valores mayores a  $1026.1 \text{ kg m}^{-3}$  centrado en  $36.5^\circ \text{ W}$  y  $76^\circ \text{ W}$ . Este nivel de presión se ubica cercano al límite superior de la termoclina superficial en la zona oceánica. Hacia la costa, el desplazamiento de la termoclina hacia la superficie se ve claramente reflejando en el gradiente de densidad presente al este de  $\sim 75^\circ \text{ W}$ .



**Figura 3.1.9b.** Distribución horizontal de densidad ( $\text{Kg/m}^3$ ) a 10 dB, crucero MOBIOBIO 2006.

En resumen, la distribución de densidad a diferentes profundidades, al igual que la salinidad, presenta importantes gradientes cerca de la costa. Este gradiente refleja la posición de la pycnoclina a diferentes profundidades. Cuando la pycnoclina cruza un nivel de presión, a medida que disminuye su profundidad hacia la costa, genera un gradiente horizontal a ese nivel. De esta manera, es posible interpretar el frente superficial (o frente de surgencia) como la región donde la parte superior de la termoclina intercepta la superficie del mar.

## Oxígeno.

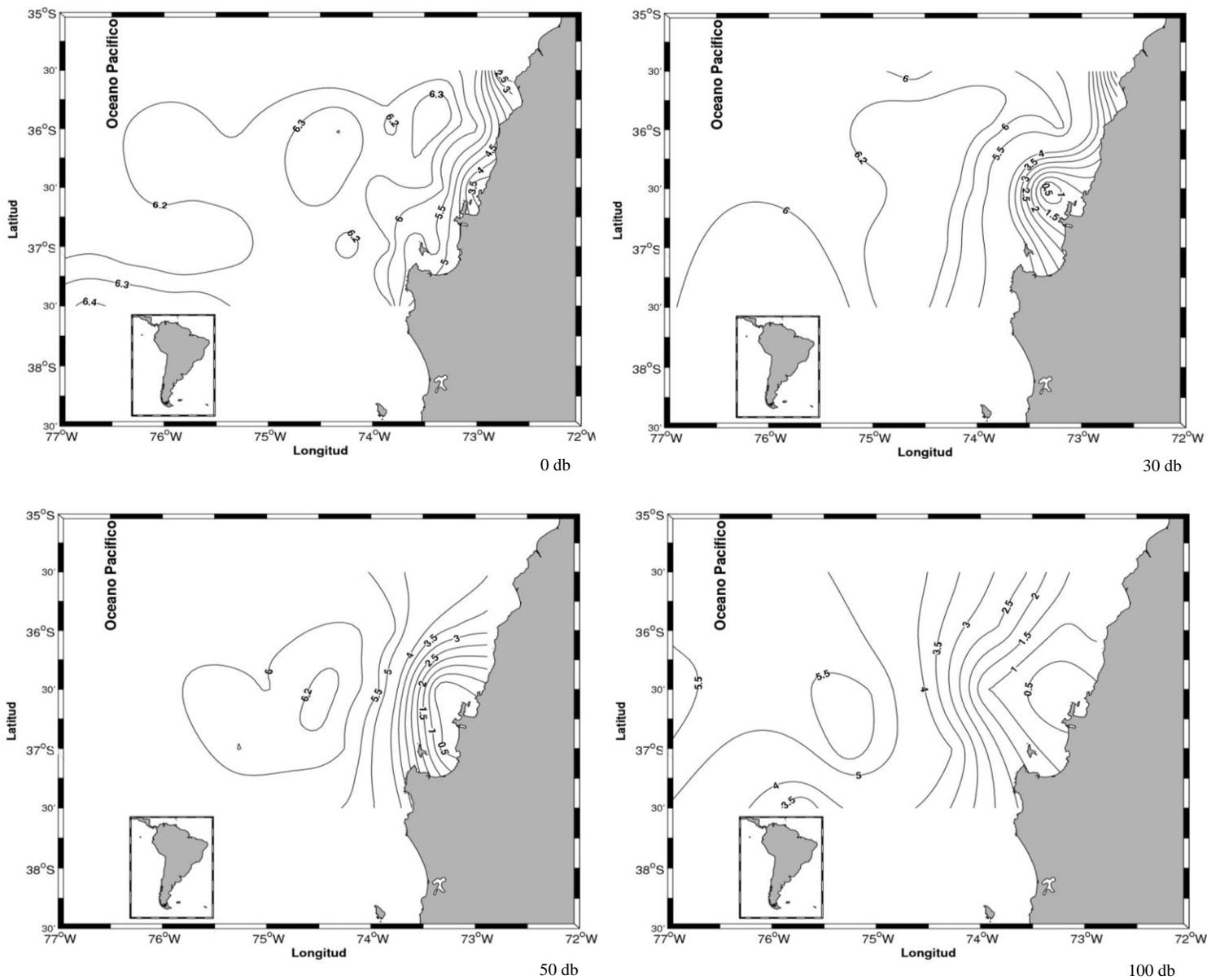
La distribución superficial de oxígeno muestra valores bajos cercanos a 2,5 y 3,5 mL L<sup>-1</sup>. en el sector cercano a la costa y incrementándose hacia el sector oceánico (ca. 6,2 mL L<sup>-1</sup>.) A partir de 30 m de profundidad las concentraciones en el borde costero son menores a 0.5 ml L<sup>-1</sup>. El área cubierta por aguas de bajo contenido de O<sub>2</sub> aumenta a mayores profundidades. Luego, a 100 metros de profundidad el área cubierta por las bajas concentraciones de O<sub>2</sub> es considerablemente mayor que a 30 m de profundidad.

En el Golfo de Arauco la capa de mínima de oxígeno parece no llegar hasta los sedimentos, a diferencia de la zona de la bahía de Concepción y fuera de ella, en donde las bajas concentraciones de oxígeno se observan hasta 100 m de profundidad.

Zonalmente, las concentraciones de O<sub>2</sub> aumentan hacia fuera de la costa en toda la columna de agua (hasta 6.2 mL L<sup>-1</sup> en superficie y 5.5 mL L<sup>-1</sup> a 100m de profundidad), al igual que cuando nos alejamos de la zona de Concepción de forma longitudinal. Sin embargo, y como se esperaría, las concentraciones de O<sub>2</sub> observadas a 100 m de profundidad a lo largo de la costa son bastante menores que las hacia fuera de la costa (entre 1 y 1.5 mL L<sup>-1</sup>), debido al efecto de la surgencia costera.

**Tabla 3.1.2.** Estadística básica y rangos de concentración y asociados a la medición de nutrientes Crucero MOBIOBIO 2006.

Estadística Básica	Variable				
	Oxígeno	Nitrato	Nitrito	Fosfato	Sílice
<b>Media</b>	4.47	14.5	0.15	1.21	7.21
<b>Error típico</b>	0.14	0.83	0.013	0.06	0.5
<b>Mediana</b>	5.56	11.1	0.07	0.9	3.8
<b>Moda</b>	6.14	0.1	0.07	0.26	1.2
<b>Desviación estándar</b>	2.13	12.64	0.19	0.92	7.56
<b>Varianza</b>	4.52	159.67	0.036	0.84	56.9
<b>Rango</b>	6.51	42	1.7	2.85	26.4
<b>Mínimo</b>	0.006	0	0.01	0.03	0.1
<b>Máximo</b>	6.52	42	1.71	2.88	26.5
<b>Nivel de Conf (95.0%)</b>	0.28	1.64	0.03	0.12	0.98

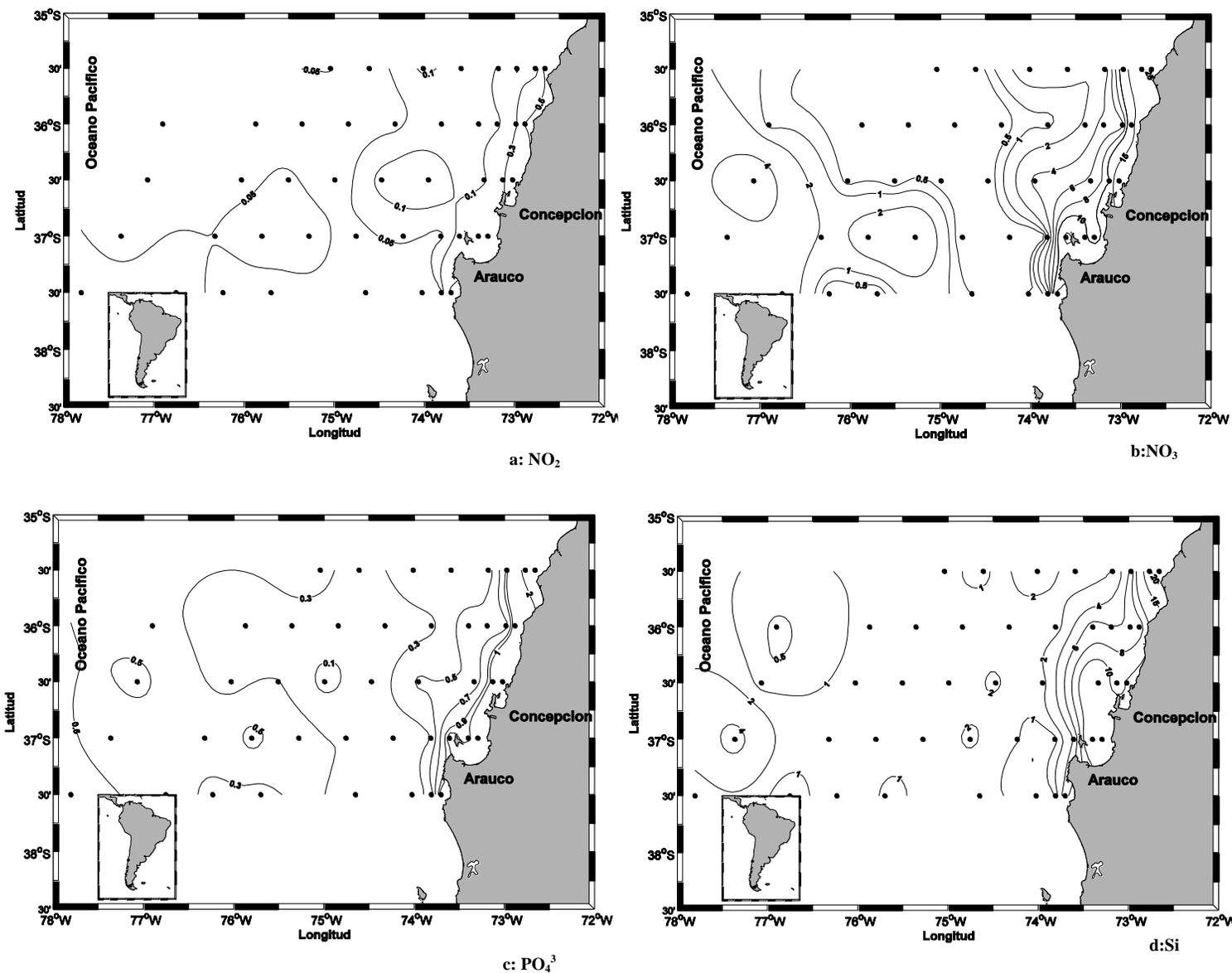


**Figura 3.1.10.** Distribución horizontal de oxígeno disuelto a: 0 db, 30 db, 50 db y 100 db, Crucero MOBIOBIO 2006.

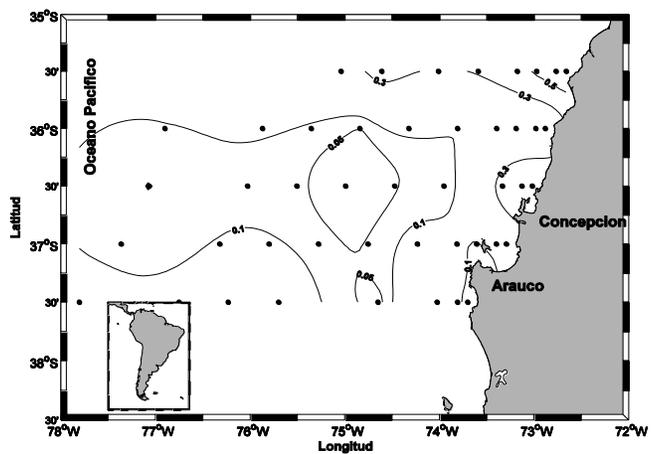
## Nutrientes

La distribución de nutrientes en superficie (capa fótica) reflejan la tasa en la cual los nutrientes puede ser advectados desde aguas sub-superficiales versus el consumo de estos por productores primarios. La figura Figura 3.1.11 a muestran un gran variabilidad horizontal, en el área de estudio, en los niveles de nutrientes como el nitrato, fosfato y silicato, siendo el nitrito, un nutriente nitrogenado que se comporta como traza ( $< 0.5 \mu\text{mol L}^{-1}$ ). Los rangos de concentración y estadísticos básicos asociados a la medición de nutrientes se muestran en la Tabla 3.1.2 Altos niveles de nutrientes en la superficies con concentración extremadamente altas de nitrato (hasta  $25 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), fosfatos ( $1.5\text{-}2 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) y silicatos ( $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) son encontrados en estaciones cercanos a la costa; estos altos niveles de nutrientes se encuentran en bahías semi-cerradas y en el golfo de Arauco. En general se observa una alta disponibilidad de estos nutrientes a otros niveles superficiales (10, 30, 50m), indicando un advección de nutrientes hacia las capas superficiales por eventos de surgencia costera. La distribución de temperatura superficial y oxígeno disuelto corroboran el efecto de la advección vertical por surgencia costera, situación muy marcada sobre la banda más costera (menor a 20 mm de la costa) Luego se observa un zona de alto gradiente (disminución de las concentraciones hacia mas la zona oceánica) en un banda asociada desde la plataforma al talud continental. Dicho gradiente o distribución de isolíneas es más marcado a la latitud de los  $36^{\circ}30'$  (donde la plataforma continental se hace más extensa. Con rangos de concentración de nutrientes fluctúan de  $25$  a  $6 \mu\text{mol L}^{-1}$  para el nitrato, de  $2$  a  $0.5 \mu\text{mol L}^{-1}$  para el fosfato y de  $15$  a  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$ . En la zona oceánica los nutrientes permanecen por debajo del  $2$ ,  $0.3$  y  $2$ . En general los nutrientes permanecen en relación Redfieldiana (i.e. N:P: 16).

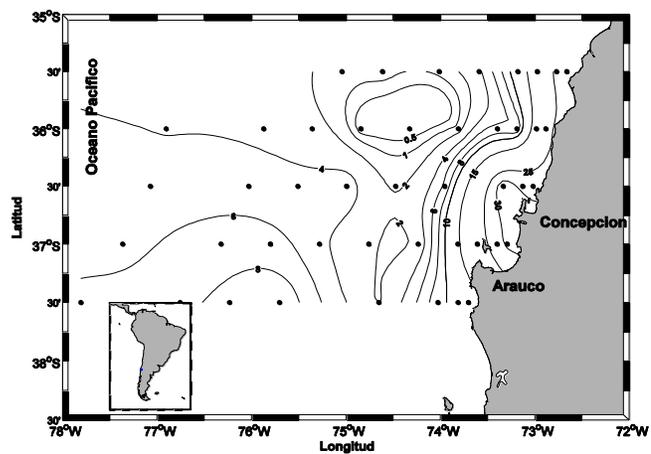
La distribución de nutrientes a 10 m 30 de profundidad muestran en general los mismos patrones de distribución y altos niveles en la costa y disminución hacia las estaciones oceánicas, pero con gradientes menos marcados, en la zona de transición costera. A los 50 m de profundidad (profundidad por debajo de la zona fótica y la capa de mezcla), la distribución horizontal del nutrientes (Figura 3.1.11b) muestra aún altos niveles de nutrientes. Los altos niveles podrían estar la presencia de AESS que son las que alimentan por advección vertical la capa superficial. Destaca la alta disponibilidad de nutrientes en toda la columna de agua.



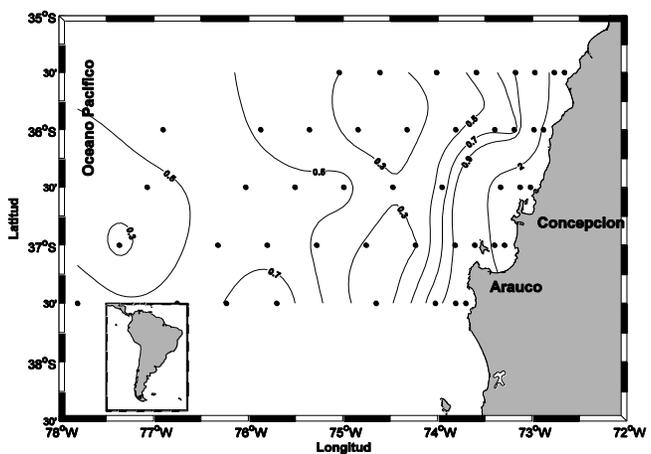
**Figura 3.1.11a.** Distribución horizontal de nutrientes superficiales, crucero MOBIOBIO 2006 (a: NO<sub>3</sub>, b:NO<sub>2</sub>, c:PO<sub>4</sub> y d:Si).



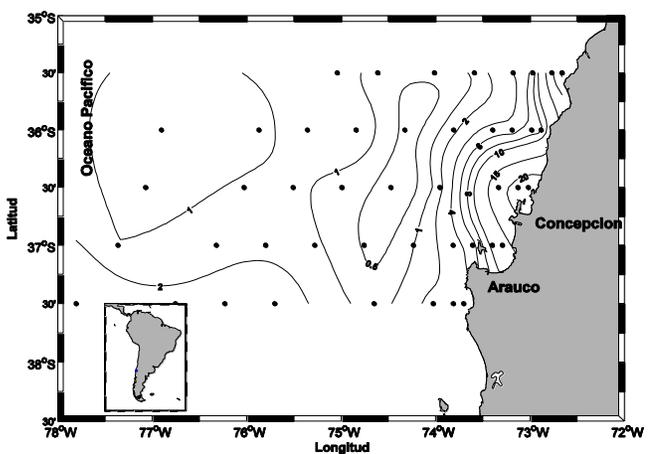
a:  $\text{NO}_2$



b:  $\text{NO}_3$

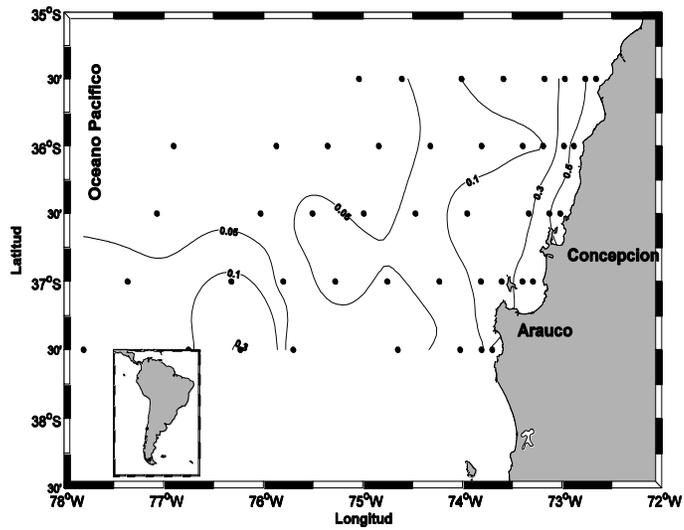


c:  $\text{PO}_4^3$

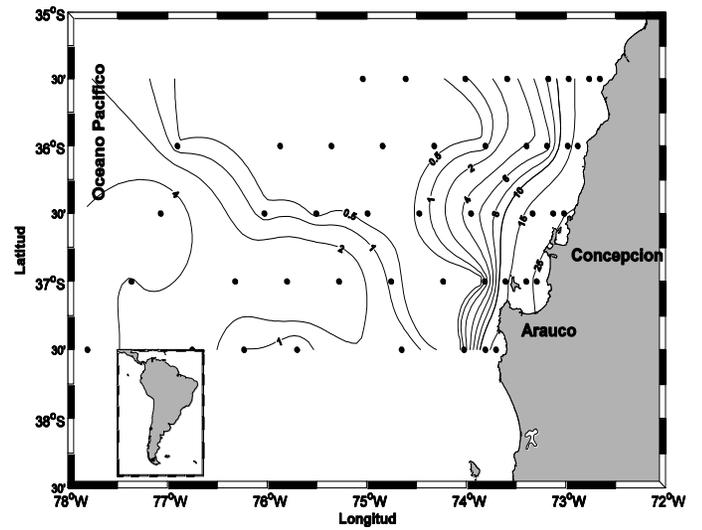


d: Si

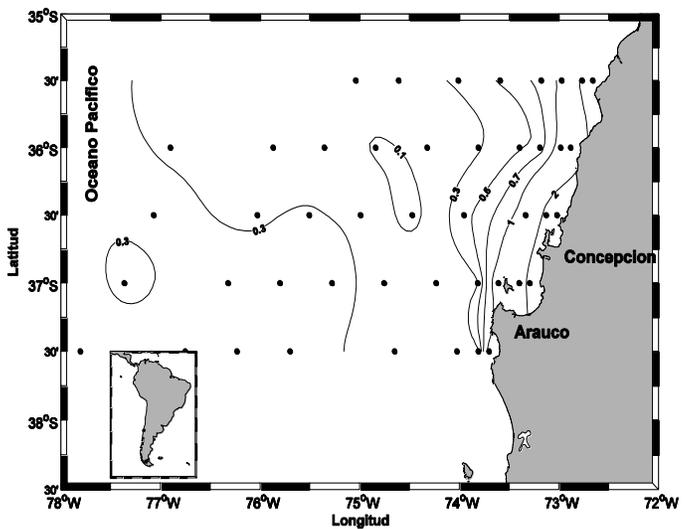
Figura 3.1.11b. Distribución horizontal de nutrientes a 10 dB, crucero MOBIOBIO 2006.



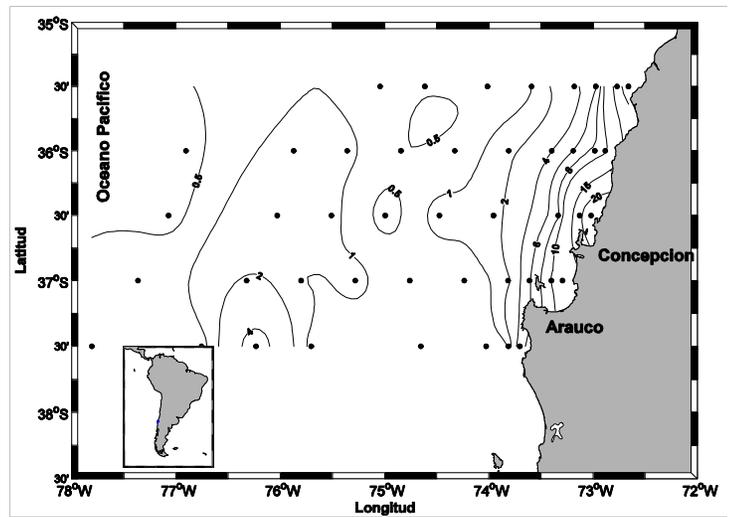
a:  $\text{NO}_2$



b:  $\text{NO}_3$

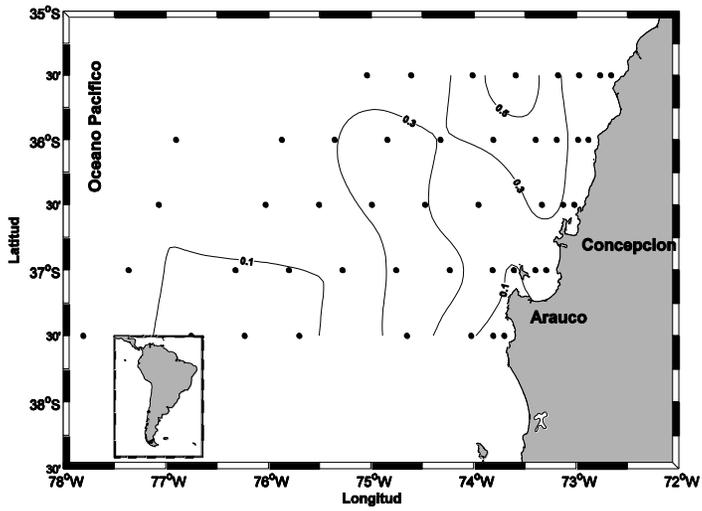


c:  $\text{PO}_4^3$

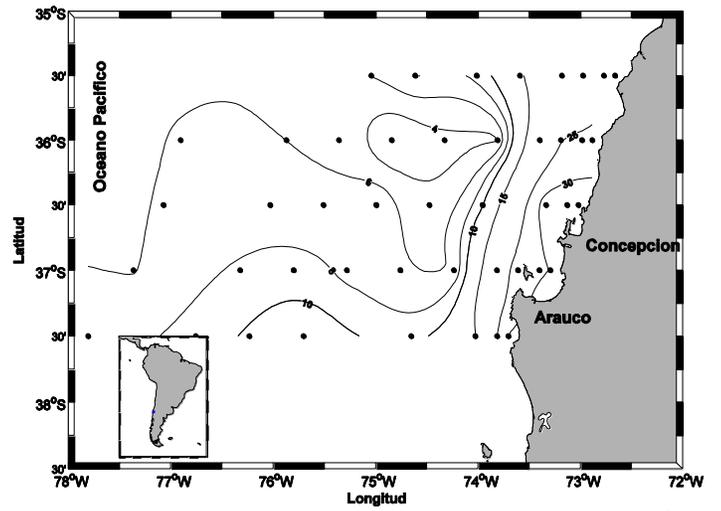


d: Si

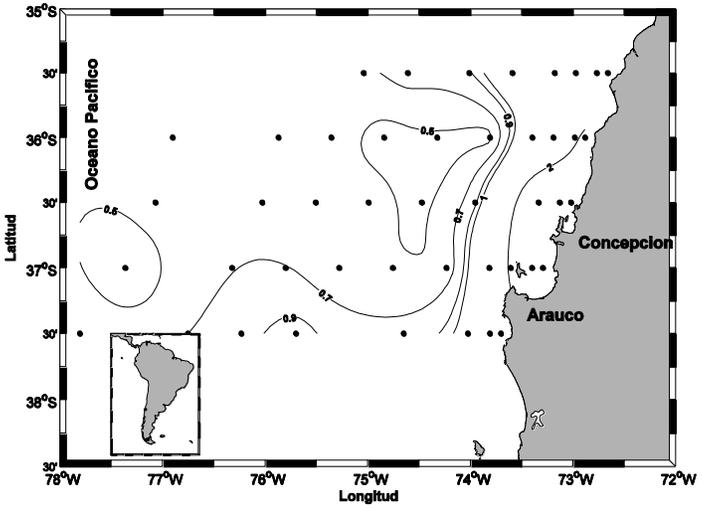
Figura 3.1.11.c. Distribución horizontal de nutrientes a 30dB, crucero MOBIOBIO 2006.



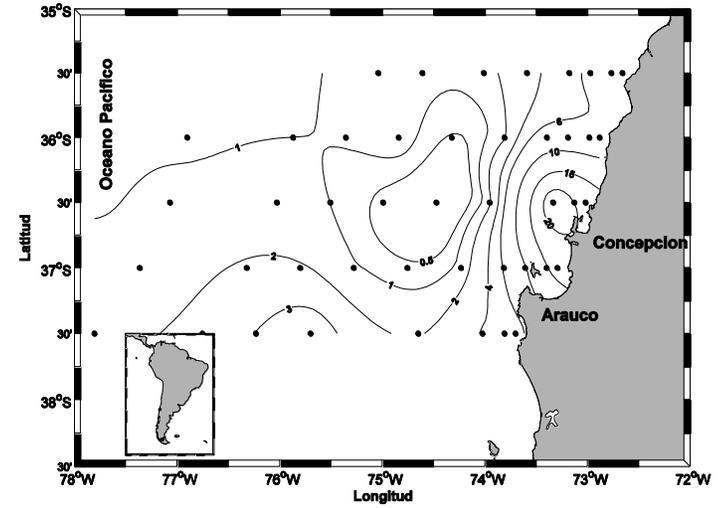
a: NO<sub>2</sub>



b: NO<sub>3</sub>



c: PO<sub>4</sub><sup>3</sup>



d: Si

Figura 3.1.11.d. Distribución horizontal de nutrientes a 50 dB, crucero MOBIOBIO 2006.

### **3.1.3. Distribución espacial de las variables hidrográficas y oceanográficas: análisis a través de las secciones verticales por transecta.**

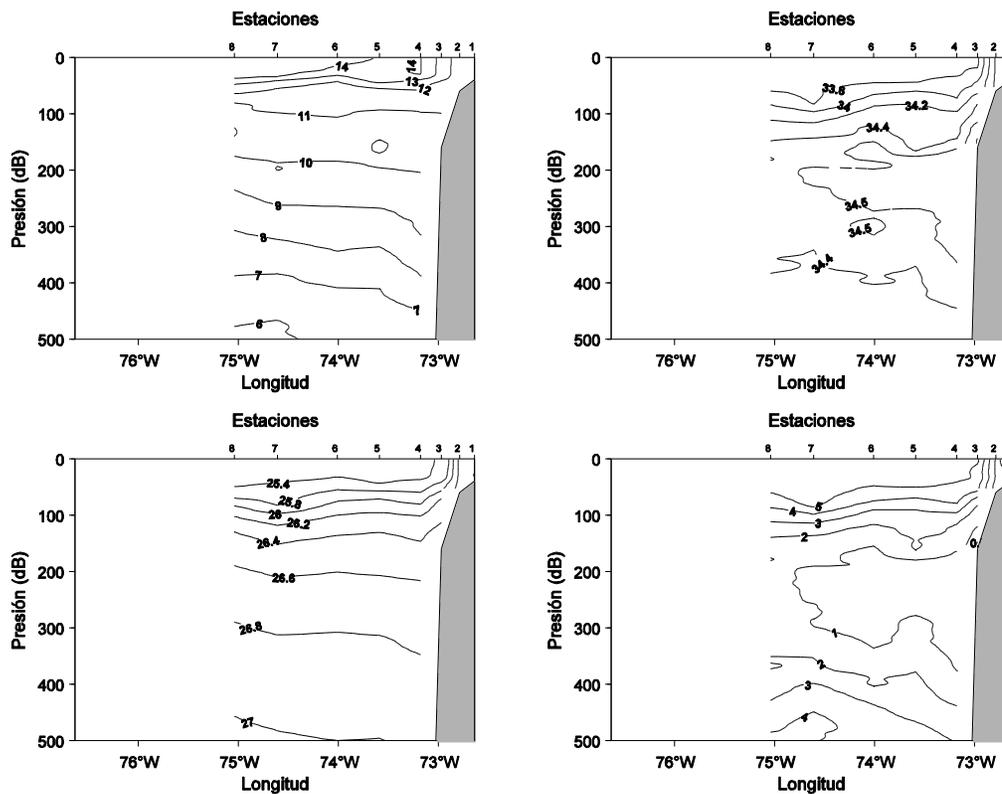
Durante el crucero realizado en octubre de 2006 se realizaron 5 transectas centradas en 35°30'S, 36°S, 36°30'S, 37°S y 37°30'S. Cada una ocupó una sección que se extendía aproximadamente desde la costa (~50-150 m de profundidad) hasta ~200 millas náuticas. La sección ubicada más al norte solo cubrió distancia menor, con la estación más oceánica ubicada cerca de los 75°W (Figura 3.1.1).

A continuación se describen las principales características de la distribución de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno observada en cada una de estas transectas. Sin embargo, como hay un conjunto de rasgos que son similares en las distintas transectas, estos serán comentados brevemente a continuación. Durante primavera la región es dominada por vientos favorables a la surgencia (Figura 3.1.2 y Figura 3.1.3) que generan una respuesta característica en el océano. Al igual que la distribución superficial de las distintas variables, las secciones verticales dan cuenta de este proceso. Un rasgo destacable es la inclinación hacia la superficie de la picnoclina (al igual que la haloclina y oxiclina) cerca de la costa. En general, en todas la transectas la picnoclina tiende a ser más somera a medida que disminuye la distancia de la costa, sin embargo, en las secciones centradas en 35°30'S y 37°S la picnoclina, haloclina y oxiclina, se doblan abruptamente hacia la superficie cerca del quiebre de la plataforma continental, generando un importante frente que se extiende sobre la plataforma. Este frente puede ser reconocido en las distribuciones horizontales de salinidad y oxígeno a 10 y 30 db presentadas en la sección anterior. En todas las transectas, fuera de la plataforma continental, la parte superior de la picnoclina tiende a ubicarse por debajo de la termoclina superior. La primera puede identificarse con el rango de densidades entre 25.8 y 26.4 kg.m<sup>-3</sup> y la segunda por temperaturas entre 14 y 12°C. La haloclina y la oxiclina, identificadas en las figuras por rangos de salinidad de 33.8-34.4 y de oxígeno entre 5 y 2 ml L<sup>-1</sup> respectivamente, se ubican aproximadamente en la misma profundidad de la picnoclina. Durante el periodo del crucero, la picnoclina está asociada principalmente a la presencia de la haloclina. La ubicación del la haloclina, por debajo de la termoclina, ha sido también observado en los cruceros anteriores del proyecto en la región durante primavera.

Uno de los rasgos más notable de las secciones está dado por el núcleo de agua de mayor salinidad (> 34.5) y bajo contenido de oxígeno (< 1 ml L<sup>-1</sup>) que se ubica entre 200 y 300 db de presión aproximadamente. El núcleo es más intenso cerca del talud y debido a la surgencia el límite superior es mucho más somero cerca de la costa. Este núcleo se identifica con la masa de Aguas Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y puede ser claramente reconocido en todas las transectas. Aguas con estas características son transportadas a lo largo del talud por la Corriente Subsuperficial Peru-Chile y se han observado tan al sur como 45°S (Silva, 1983). Estas aguas están estrechamente vinculadas a la surgencia a lo largo de la costa de Chile, y sus propiedades son, a su vez, modificadas por la mezcla y por distintos procesos biogeoquímicos que tienen lugar a lo largo de la costa.

### Transecta 1 (35°30'S)

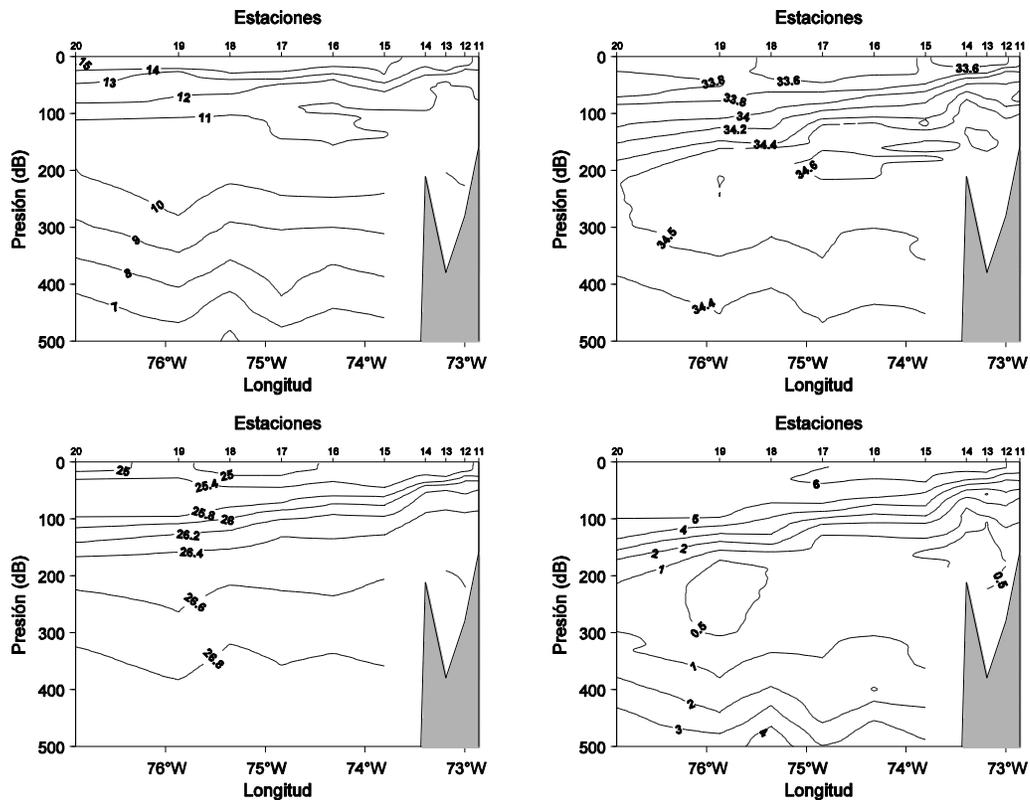
La transecta 1 corresponde a la transecta ubicada al extremo norte de la zona de estudio. Ella se extiende solo hasta los 75° 07' W (Figura. 3.1.12a), por las malas condiciones del mar, se suspendieron las estaciones más oceánicas. En esta sección, la termoclina principal tiende a aumentar ligeramente su profundidad hacia la costa, como lo muestran las isotermas entre 10 y 7°C. Una inclinación similar es observada en las isopícnas bajo los 200 m. En contraste, la parte superior de la pícnoclina tiende a reducir su profundidad. Cambios en la inclinación de las isopícnas se relacionan a gradientes verticales de velocidad geostrofica. El aumento de la profundidad de las isopícnas hacia la costa observado bajo los 200 m estaría relacionado con una corriente baroclínica hacia el sur, mientras que la inclinación opuesta cerca de la superficie se asocia a una corriente hacia el norte. Esta distribución es típica de una condición promedio para zonas de surgencia, en estas comúnmente se observa una corriente hacia el ecuador en superficie y un flujo subsuperficial hacia el polo. Sin embargo, cambios temporales de relativamente alta frecuencia (periodos que van desde algunos días a varias semanas o meses) pueden introducir importantes modificaciones, difíciles de interpretar directamente sobre la base de datos de un crucero.



**Figura 3.1.12a** Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad ( $\text{Kg/m}^3$ ) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 1 (35°30' S), crucero MOBIOBIO 2006.

## Transecta 2 (36° S)

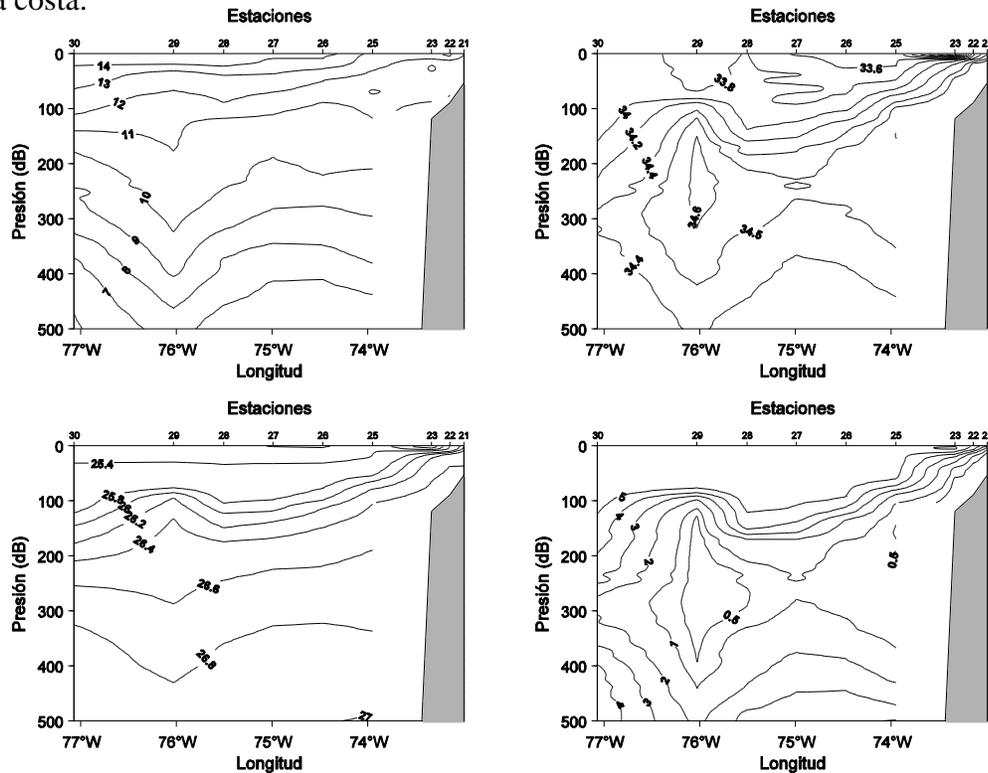
Además de los rasgos comunes descritos anteriormente, en esta transecta es interesante notar las oscilaciones que presentan las isotermas entre 7 y 10° C localizadas bajo los 200 metros de profundidad, aproximadamente en la región oceánica (Figura. 3.1.12b). Estas oscilaciones son también observadas en las isopícnas de 26.6 y 26.8 kg m<sup>-3</sup> ubicadas en los mismos niveles de presión que las isotermas mencionadas. Probablemente su efecto se extiende a mayores profundidades, fuera del dominio de muestreo del presente crucero. Estas fluctuaciones están comúnmente relacionadas con fenómenos transitorios de mesoescala como vórtices o filamentos de surgencia. Note que el mínimo relativo de las isopícnas de 26.6 y 26.8 kg m<sup>-3</sup> cerca de 76°W coincide con un núcleo de agua de bajo oxígeno (<0.5 ml L<sup>-1</sup>) y mayor salinidad (>34.5), reflejando la presencia de aguas ubicadas típicamente sobre el talud a más de 250 km de la costa. Se piensa que vórtices de mesoescala pueden transportar agua desde regiones costeras hacia mar abierto. Aunque estas observaciones no son una prueba de ello, al menos son consistentes con esta idea.



**Figura 3.1.12b.** Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (Kg/m<sup>3</sup>) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 2 (36°00' S), crucero MOBIOBIO 2006.

### Transecta 3 (36° 30'S)

Las perturbaciones en las isotermas e isopicnas mencionadas en la descripción de la transecta anterior aparecen con mayor amplitud en esta transecta (Figura 3.1.12c). La longitud del máximo de profundidad se ubica casi a una misma longitud, sugiriendo que es un mismo rasgo (¿vórtice?) que abarca ambas transectas, extendiéndose meridionalmente más de 50 km. En esta transecta las isotermas bajo ~200 m se profundizan más de 100 m, mientras que la termoclina superior tiende a elevarse ligeramente. Este fenómeno es claramente visible en el gráfico de densidad. Mientras las isopicnas de 26.6 y 26.8 kg m<sup>-3</sup> se hunden alcanzando su mayor profundidad cerca de 76°W las isopicnas de menor densidad se desplazan hacia la superficie. El gran hundimiento de las isotermas muestra que las aguas cálidas se han desplazado gran distancia hacia abajo. Esto es posible porque el agua cálida es también más salina que el agua más profunda (note que las isohalinas se hunden notablemente, produciendo anomalías positivas de salinidad), reduciendo así el impacto sobre las perturbaciones en la densidad, aunque las anomalías de densidad son importantes, el desplazamiento de las isopicnas es menos dramático que el de las isotermas. Al igual que en la transecta anterior, justo en la posición donde las isopicnas alcanzan una mayor perturbación (36° 30'S, 76°W), se ubica un núcleo de agua salina y de bajo oxígeno. Es notable la magnitud de la perturbación observada en esta transecta, particularmente en la estación 29, en ella el oxígeno cae a 0.3 ml L<sup>-1</sup>, a 150 m de profundidad. Valores similares son típicos en zonas costeras y sobre el talud, pero esta estación se encuentra a más de 300 km de la costa.



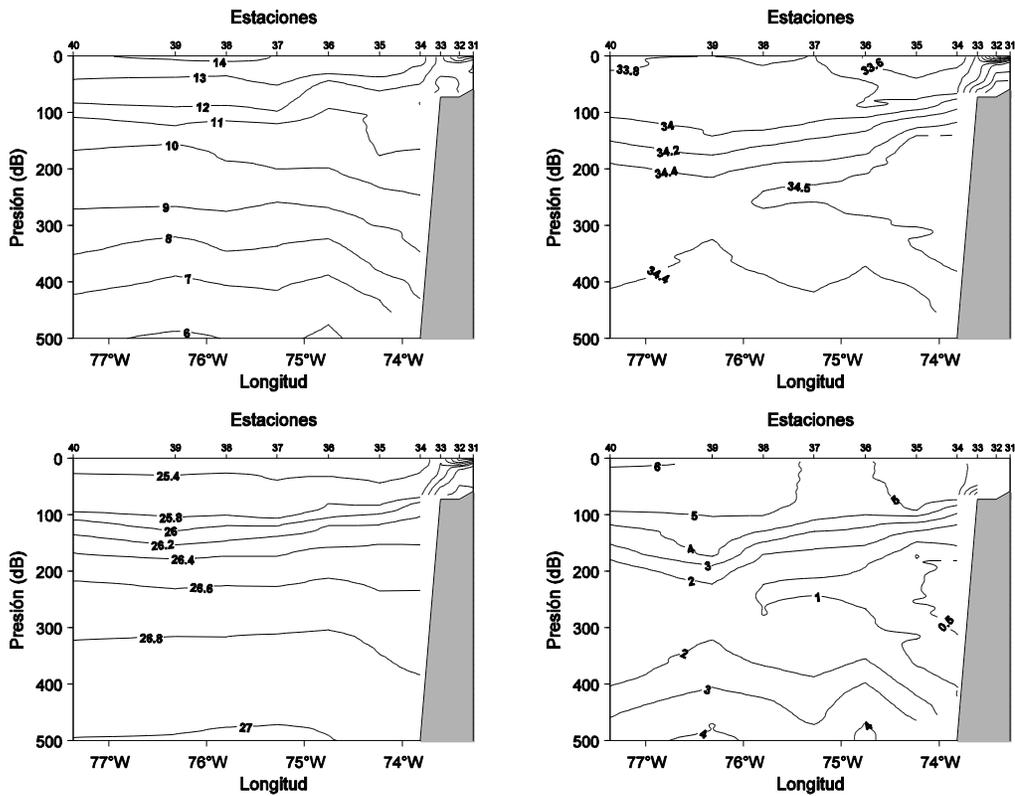
**Figura 3.1.12c.** Distribución de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m<sup>3</sup>) y d) oxígeno disuelto (ml/L), transecta 3 (36°30' S), crucero MOBIOBIO 2006.

Es interesante comparar esta transecta con las distribuciones de las distintas variables por niveles de presión presentadas en la sección anterior. Particularmente las distribuciones de salinidad, densidad y oxígeno a 100 db. Aunque esta característica es sobresaliente, en cruceros anteriores se han observado perturbaciones similares y podrían ser comunes durante la primavera.

Dinámicamente, es relevante analizar la distribución de las isopicnas en esta transecta, ya que los gradientes zonales (es decir gradientes este-oeste) de presión asociados a esta distribución de densidad observados en la región mas profunda, bajo los ~200 m, tienden a ser compensados por gradientes opuestos en la piconclina, ubicada sobre los 200 m de profundidad. Esta compensación tiende a producir flujos baroclinos con máximos subsuperficiales que son relevantes para la distribución de otras propiedades. La distribución de altura dinámica en superficie (referida a 500 db, no mostrada en este informe) muestra solo un pequeño máximo (débil giro anticiclónico) en la posición de la máxima perturbación de la densidad ( $36^{\circ} 30'S$ ,  $76^{\circ}W$ ), indicando que la gran perturbación que presentan las isotermas (e isopicnas) en profundidad es compensada casi completamente por la distribución de densidad en la piconclina sobre los ~200 m.

#### **Transecta 4 ( $37^{\circ} S$ )**

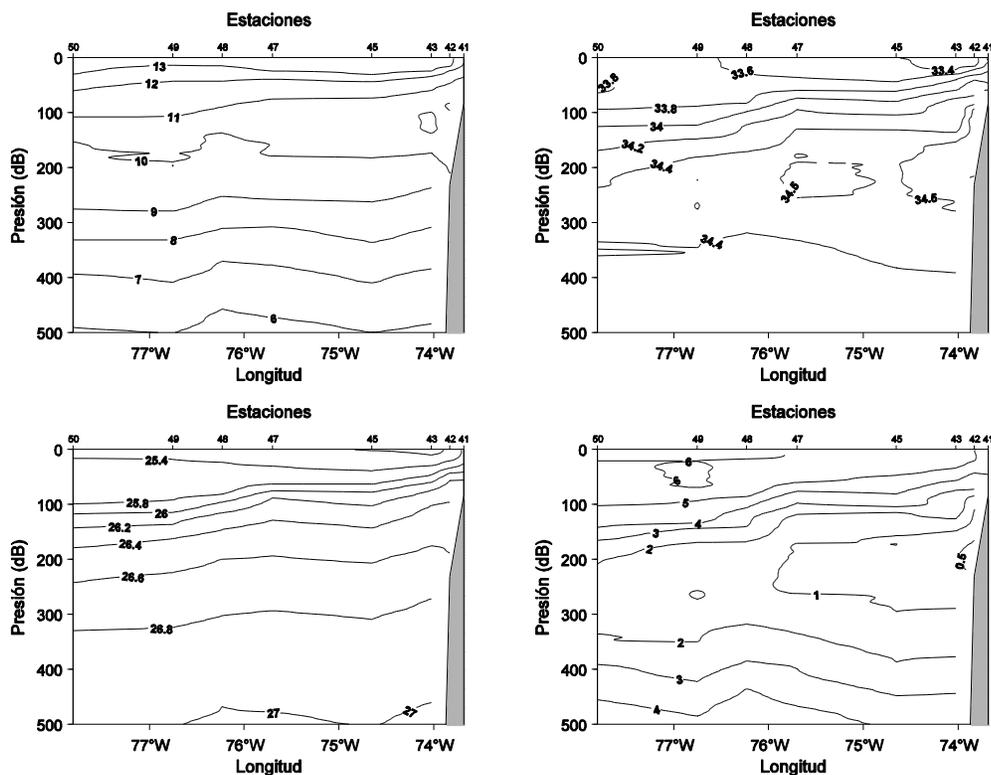
La gran perturbación observada en las dos transectas anteriores, localizadas al norte de la presente, no alcanza a afectar esta latitud ( $37^{\circ}S$ ). Aquí, la distribución de las distintas variables es típica de surgencia (Figura 3.1.12d). En la parte oceánica, las isotermas (e isopicnas) se extienden casi horizontalmente bajo los ~200 m, con solo pequeñas ondulaciones aproximadamente horizontales



**Figura 3.1.12d.** Distribución vertical de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) salinidad (psu), c) densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y d) oxígeno disuelto ( $\text{ml}/\text{L}$ ), transecta 4 ( $37^{\circ}00' \text{ S}$ ), crucero MOBIOBIO 2006.

### Transecta 5 ( $37^{\circ} 30' \text{ S}$ )

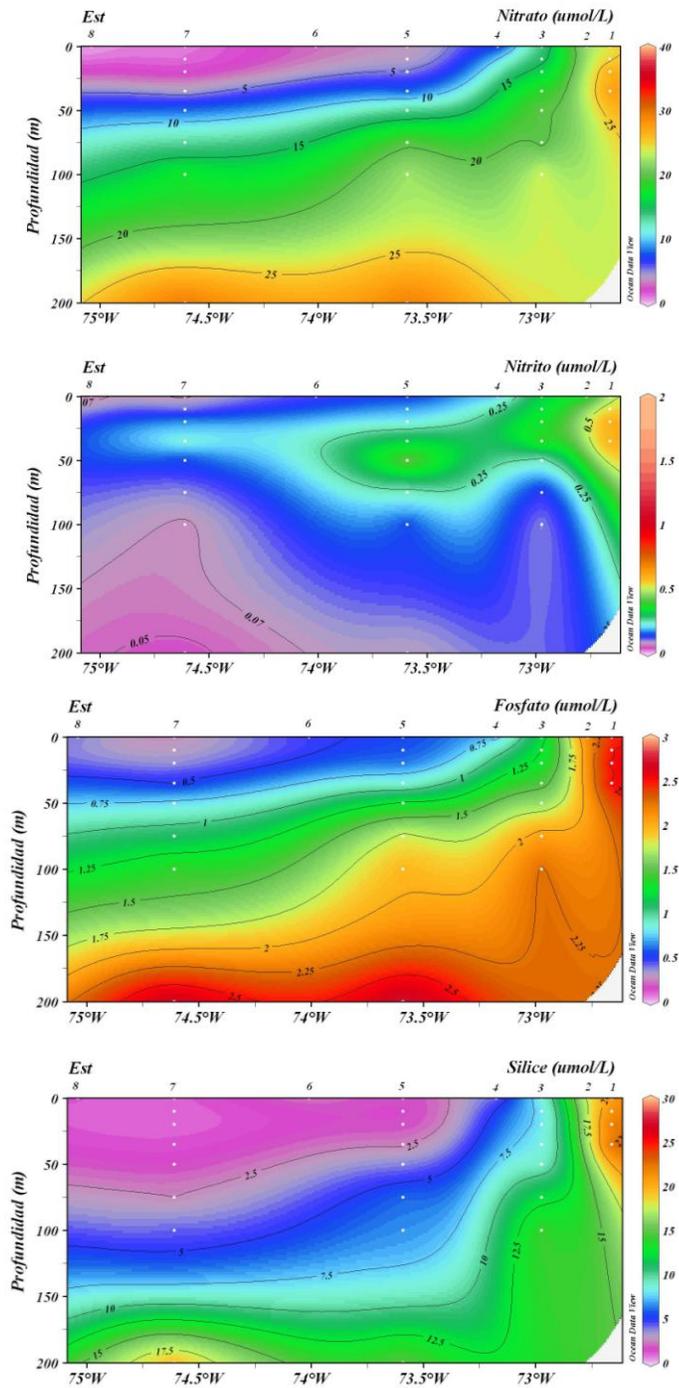
La transecta ubicada más al sur muestra rasgos similares a la transecta anterior. En ella no se observan perturbaciones importantes en la zona oceánica y cerca de la costa, aunque prevalece una condición típica de surgencia, ésta no parece ser muy intensa. Note que las estaciones costeras de esta transecta (estaciones 41, 42 y 43) se realizaron al inicio del crucero el 18 de octubre de 2006 durante un periodo de calma en los vientos (Figura 3.1.12e). Por otra parte no se realizó la estación 46, perdiéndose algo de resolución cerca de los  $75^{\circ} \text{ W}$ . Dada la continuidad de las diferentes variables en esta transecta, la falta de esta estación no pareciera afectar mayormente la interpretación de los resultados, excepto en el caso de la salinidad, donde habría mejorado la delimitación del núcleo salino ubicado bajo los 200 m de profundidad.



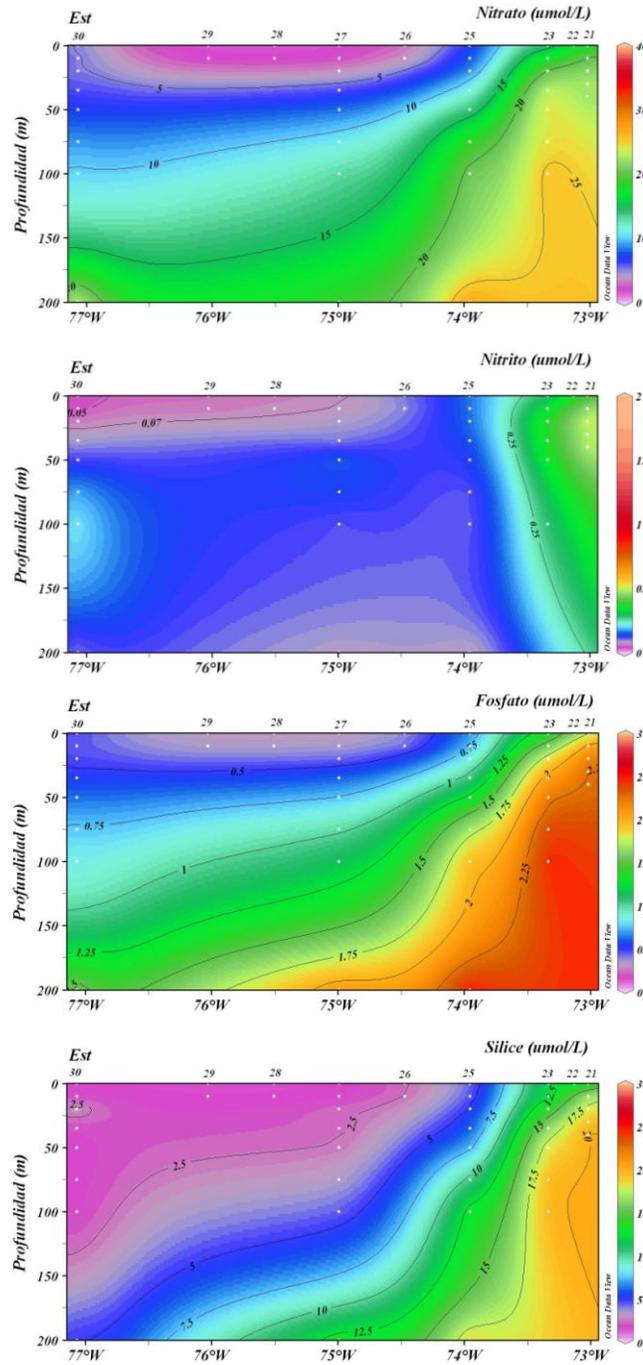
**Figura 3.1.12e.** Distribución vertical de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) salinidad (psu), c) densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) y d) oxígeno disuelto ( $\text{mL}/\text{L}$ ), transecta 5 ( $37^{\circ}30'$  S), crucero MOBIOBIO 2006.

## Nutrientes

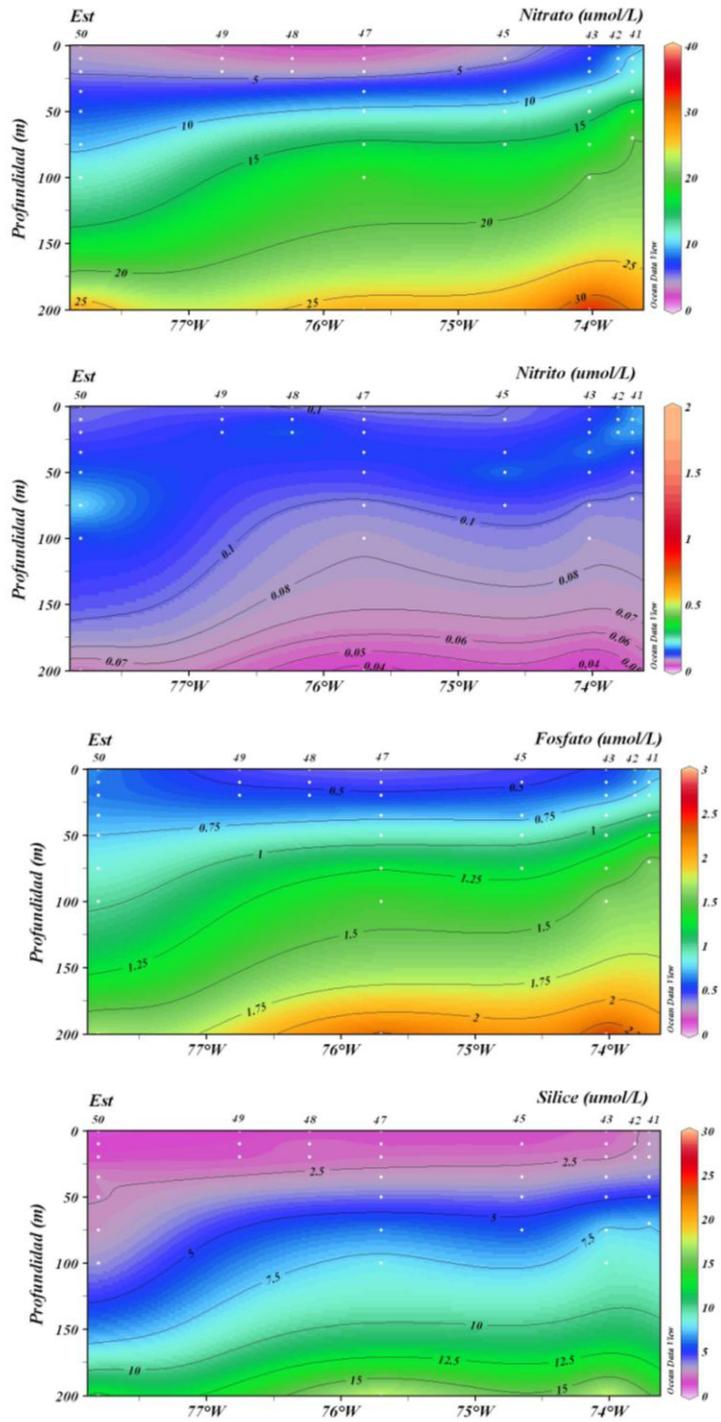
Respecto a la distribución vertical por transecta (Figura 3.1.13 a, b, c, transecta 1, 3 y 5) se observa el efecto de la advección de aguas sub-superficiales ricas en nutriente hacia la superficie, pero este acenso es más marcado en la banda costera donde agua sub-superficiales de origen ecuatorial llegan a la superficie. Esta situación se marca en la transecta 3, que esta localizada a los  $36^{\circ}30'$  sobre la sección más extendida de la plataforma continental. A través de estas transectas se observa un enriquecimiento paulatino de nutrientes con la profundidad, cuyo gradiente depende de su lejanía con la costa. De este modo en perfiles verticales cercanos a la costa se encuentra un alto contenido de nutrientes (nitratos, fosfatos y silicatos) en toda la columna de agua, mientras que a medida que nos alejamos de la costa existe una mayor variación en la distribución de nutrientes desde la superficie hacia las aguas de fondo (desde 1 a  $25 \mu\text{mol L}^{-1}$  para el nitrato; 0,3 a  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$  para el fosfato y de 1 a  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$  para el silicato). El nitrito, aunque elementos traza, deja su impronta (i.e., con niveles mayores cercanos a  $0.5 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) en la zona costera. Su origen es adjudicado a un procesos de amonio oxidación (nitrificación asociado a oxiclina) o desde los sedimentos por desnitrificación (Cornejo et al., en prensa).



**Figura 3.1.13a.** Distribución vertical de a) oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ) b) nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) c) nitrito ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) d) fosfato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) y e) silicatos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), transecta 1 ( $35^{\circ}30'$  S), crucero MOBIOBIO 2006.



**Figura 3.1.13b.** Distribución vertical de a) oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ) b) nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) c) nitrito ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) d) fosfato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) y e) silicatos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), transecta 3 ( $36^{\circ}30' \text{ S}$ ), crucero MOBIOBIO 2006.



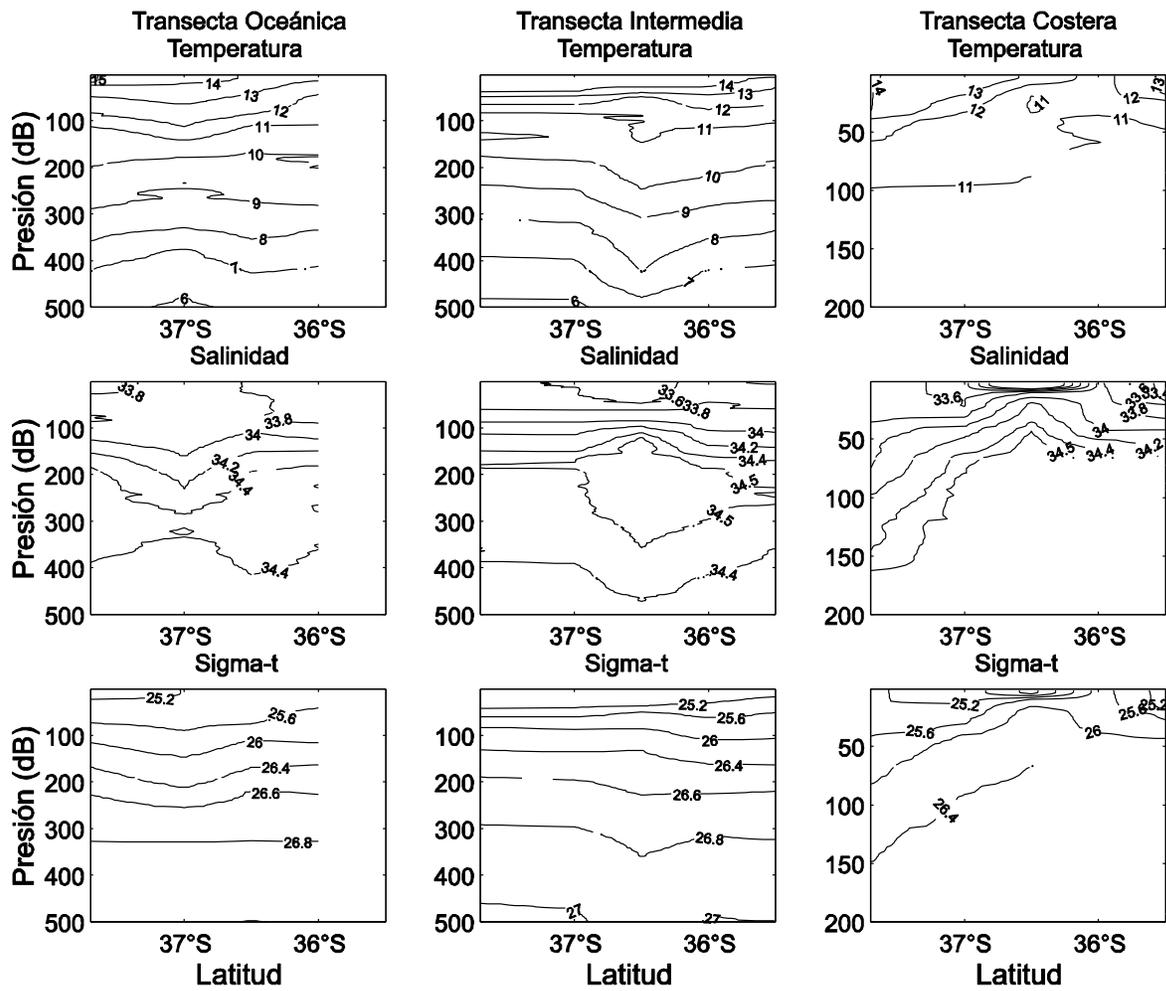
**Figura 3.1.13c.** Distribución vertical de a) oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ) b) nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) c) nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) d) fosfato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) y e) silicatos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), transecta 5 ( $37^{\circ}30'$  S), crucero MOBIOBIO 2006.

### 3.1.4. Variabilidad espacial longitudinal: Análisis a través de las secciones meridionales.

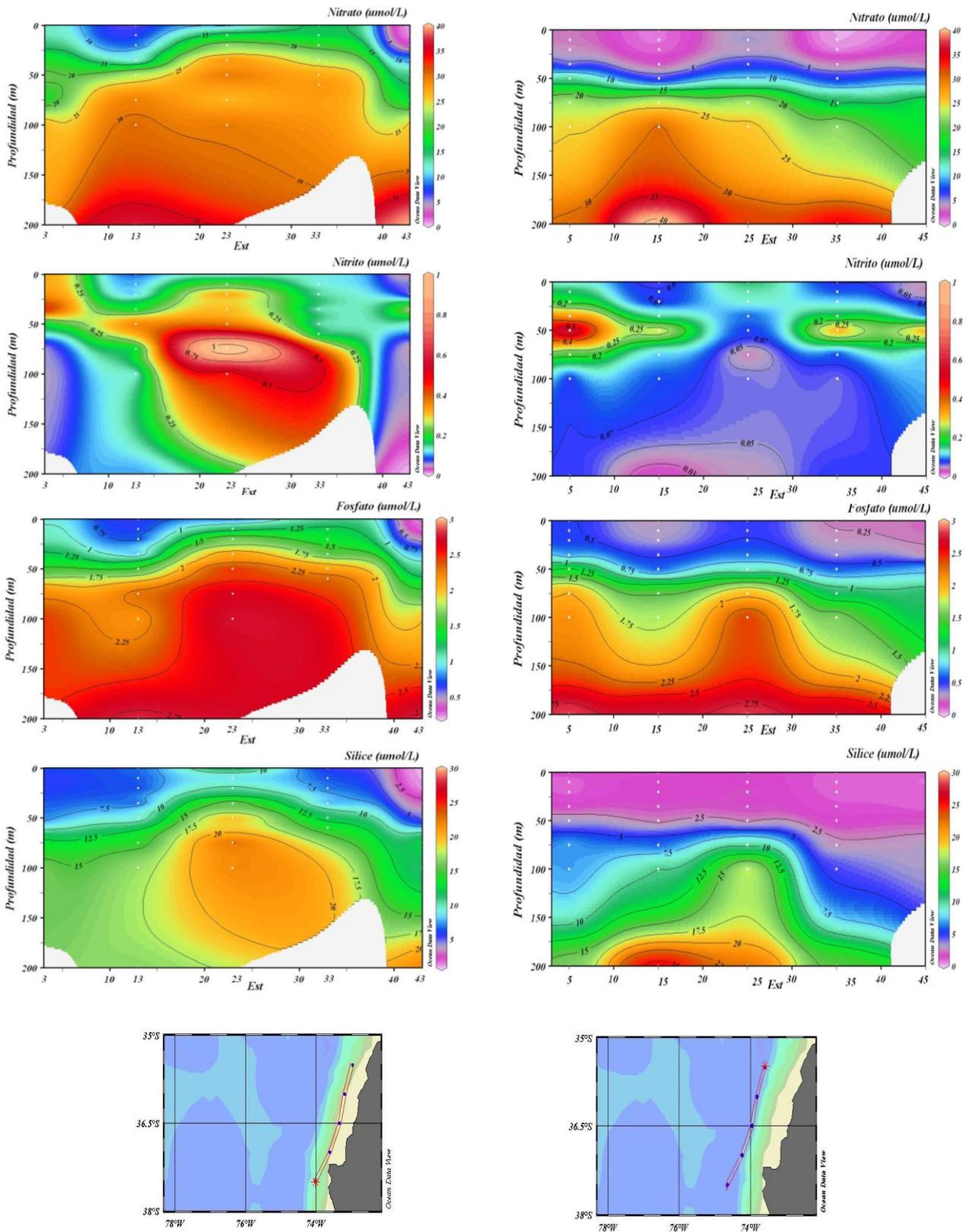
La Figura 3.1.14 presenta tres secciones meridionales centradas en  $76^{\circ} 42'S$ ,  $75^{\circ} 00'S$  y cerca del quiebre de la plataforma continental. Note que la transecta más oceánica solo llega hasta los  $36^{\circ}S$  debido a que no se hicieron las estaciones más alejadas de la costa (estaciones 9 y 10) en la transecta del norte ( $35^{\circ}30'S$ ). Es interesante notar en esta sección el hundimiento de las isotermas superiores ( $11^{\circ}C$  a  $14^{\circ}C$ ) con una máxima profundidad cerca de  $37^{\circ}S$ . A mayor profundidad (sobre los 200 db) las isotermas tienden a elevarse en esta posición. Por otro lado, las isohalinas tienden a hundirse siguiendo las isotermas, pero esto se nota a presiones mayores que 200 db. La distribución de densidad muestra que en esta transecta las isopícnas tienden a hundirse alcanzando mayor profundidad a  $\sim 37^{\circ}S$ . Si este hundimiento está relacionado con un ajuste baroclínico a una perturbación de la superficie del mar, como suele ocurrir, se esperaría encontrar un flujo hacia la costa al sur de  $37^{\circ}S$ , y un flujo hacia el oeste al norte de esta latitud. La distribución del flujo superficial es discutida más adelante, en base a la topografía dinámica en superficie. La transecta centrada a  $75^{\circ}S$  (paneles centrales en la Figura 3.1.14) muestra la gran perturbación (vórtice de mesoescala) descrita anteriormente en la sección sobre transectas zonales. Debido al efecto de perturbaciones de mesoescala, no se puede determinar sobre la base de la información del crucero, una tendencia en la profundidad de las isopícnas en las secciones oceánicas que permitan evaluar las características del flujo predominante en la dirección zonal.

Para la transecta costera se usaron las estaciones cercanas al quiebre de la plataforma continental (estaciones 4, 14, 23, 33 y 42). Aunque los resultados son difíciles de interpretar debido al gran gradiente hacia fuera de la costa en la zona costera, el cual hace que pequeños cambios en la distancia de la costa genere grandes cambios en la profundidad de la pínoclina (y otras clinas). Por otra parte, el tiempo transcurrido entre las diferentes estaciones es de varios días, mucho mayor que el tiempo entre estaciones de una misma transecta zonal. En general, siguiendo la transecta costera, para un mismo nivel de presión (para presiones mayores que  $\sim 50$  db) la temperatura disminuye hacia el norte, mientras que la salinidad (y la densidad) aumentan. Es decir, aguas con características del AESS están mucho más cerca de la superficie en la mitad noreste de la zona de estudio. Sin embargo, el núcleo de esta masa de agua identificada con la isopícnica de  $26.5 \text{ kg m}^{-3}$ , se distribuye más homogéneamente a lo largo de la costa, con un gradiente principalmente en la dirección este.

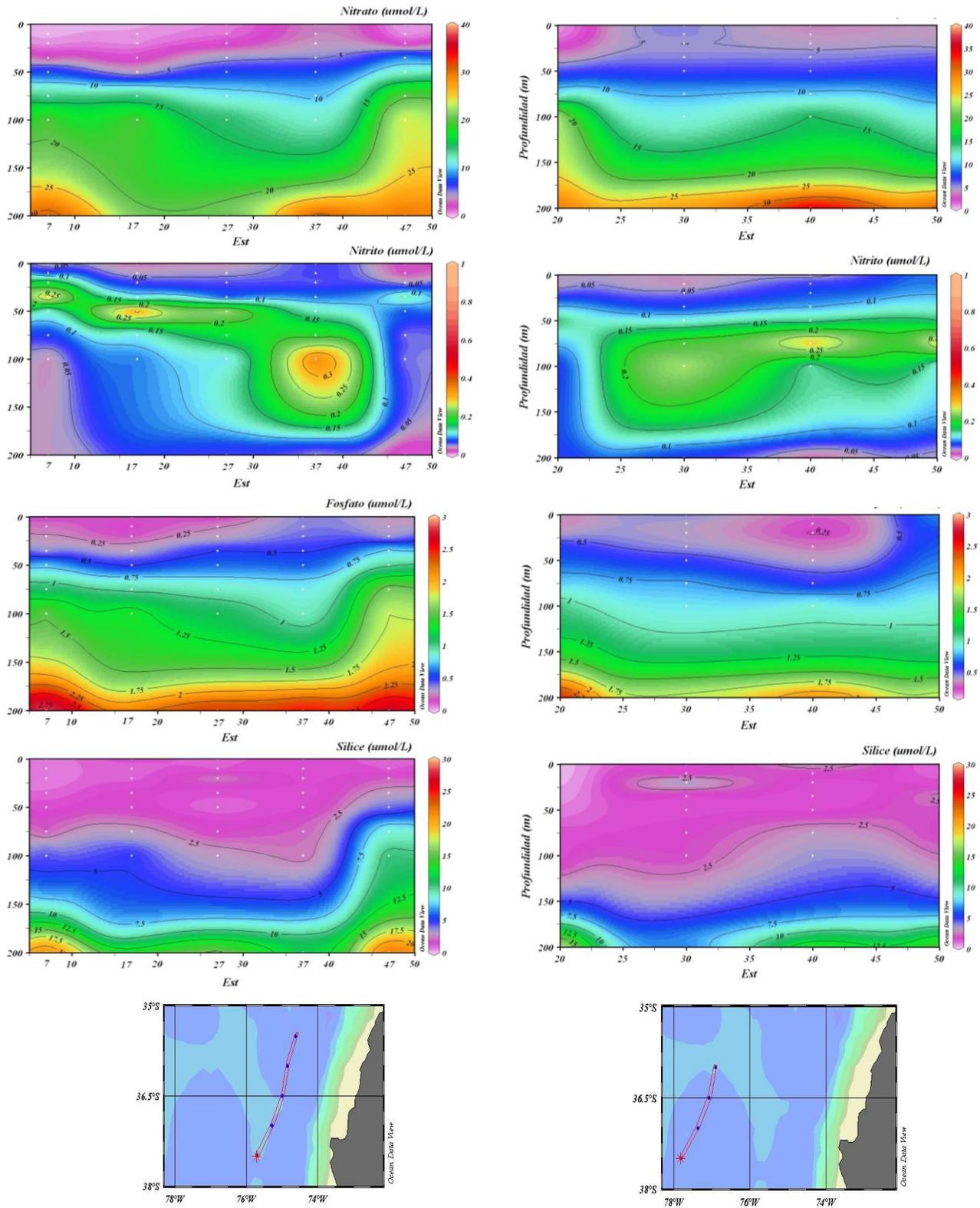
Las Figuras 3.1.15 a,b, muestran la distribución vertical de la concentración de nutrientes a través de transectas longitudinales: oceánica (200 mn de la costa), intermedia (75 mn de la costa) y costera (20 y 40 mn de la costa). En la Figura 3.1.15a se observa núcleos de alta concentración de nutrientes debido al efecto de la plataforma continental y el talud, mientras que en la zona oceánica (Figura 3.1.15b) se observa menores concentraciones de nutrientes y una distribución homogénea de estos en las respectivas transectas.



**Figura 3.1.14.** Distribución vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad (psu) y densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) de transectas longitudinales: oceánica ( $76^{\circ} 42' \text{S}$ , izquierda), intermedia ( $75^{\circ} 00' \text{S}$ , centro) y costera (derecha). Crucero MOBIOBIO 2006.



**Figura 3.15a.** Distribución vertical de nitrato, nitrito, fosfato y silicatos en transectas longitudinales: costeras (20 m panel izquierdo) y 40 m (panel derecho) Crucero MOBIOBIO 2006.



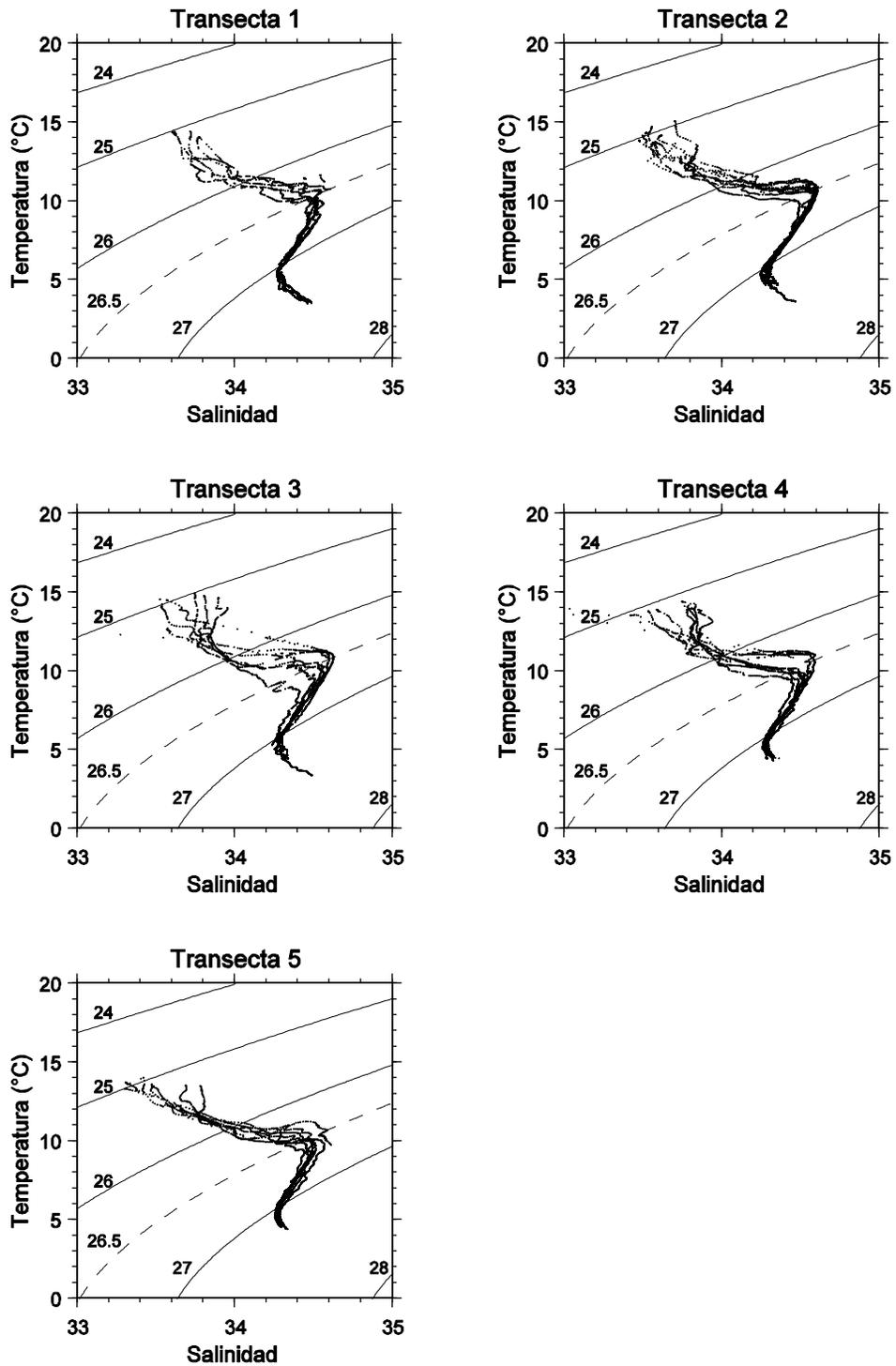
**Figura 3.15b.** Distribución vertical de nitrato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), nitrito ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ), fosfato ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) y silicatos ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) en transectas longitudinales: oceánica a 75 mn (panel izquierdo) y 200 mn (panel derecho). Crucero MOBIOBIO 2006

### 3.1.5. Masas de agua y diagramas T-S.

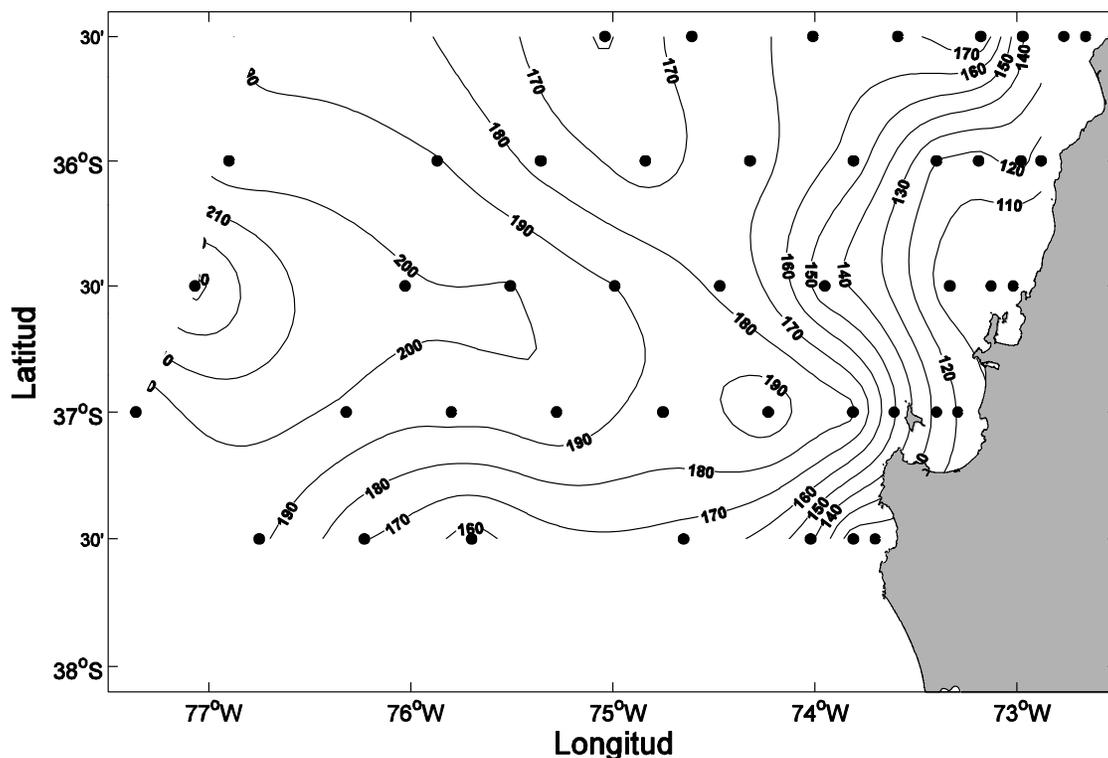
Los diagramas de temperatura-salinidad, usados comúnmente para identificar las masas de aguas de una región, muestran propiedades típicas de la zona de estudio durante primavera (Fig. 3.1.16). Ellos son similares a los diagramas observados en los cruceros FIP anteriores, con cambios principalmente en aguas con densidades menores a  $26 \text{ kg m}^{-3}$ , es decir en las aguas ubicadas sobre la pycnoclina (note que la isopícnica de  $26 \text{ kg m}^{-3}$  se ubica en medio de la parte más intensa, de la pycnoclina). Los diagramas T-S muestran que cerca de la isopícnica de  $26.5 \text{ kg m}^{-3}$  se produce un quiebre en la mayoría de las estaciones reflejando el núcleo de AESS. Este núcleo está marcadamente definido por un máximo de salinidad. Sobre este núcleo, los cambios de densidad resultan principalmente de una disminución de la salinidad, como se observa en las secciones verticales, donde la pycnoclina está principalmente asociada a la haloclina. A densidades mayores que  $27 \text{ kg m}^{-3}$  ( $\sim 27.2 \text{ kg m}^{-3}$ ), cerca del extremo del dominio muestreado, los diagramas sugieren un segundo punto de inflexión asociado a un mínimo salino. Este mínimo también es característico de la región y es relacionado a agua intermedia Antártica.

Dada la importancia de AESS para la surgencia, se graficó la profundidad de la isopícnica de  $26.5 \text{ kg m}^{-3}$ , para representar aproximadamente la profundidad del núcleo de esta masa de agua en la zona de estudio (Figura 3.1.17). La profundidad de esta isopícnica se desplaza desde  $\sim 200 \text{ db}$  en la región oceánica hasta  $\sim 110 \text{ db}$  sobre la plataforma continental, al norte del Golfo de Arauco, claramente aguas con características de AESS fueron identificadas sobre la plataforma en los resultados presentados anteriormente.

Junto con mostrar el significativo efecto de la surgencia, esto indicaría que sobre la plataforma se estaría mezclando esta masa de agua con agua de menor salinidad observada cerca de la superficie. Los cruceros de 2004 y 2005, mostraron esta isopícnica mucho más somera sobre la plataforma (profundidades de 40-50 m), reflejando probablemente el mayor desarrollo de la surgencia en los cruceros anteriores, ambos efectuados en meses posteriores, mas avanzada la primavera.



**Figura 3.1.16.** Diagramas T-S para las distintas transectas realizadas durante el crucero MOBIOBIO 2006. Las líneas curvas al interior de cada diagrama representan curvas de igual sigma-t.



**Figura 3.1.17.** Profundidad de la isopicna de  $26.5 \text{ kg m}^{-3}$ . Esta isopicna representa el núcleo del Agua Ecuatorial Subsuperficial en la región.

### 3.1.6. Mediciones de Radiación (PAR)

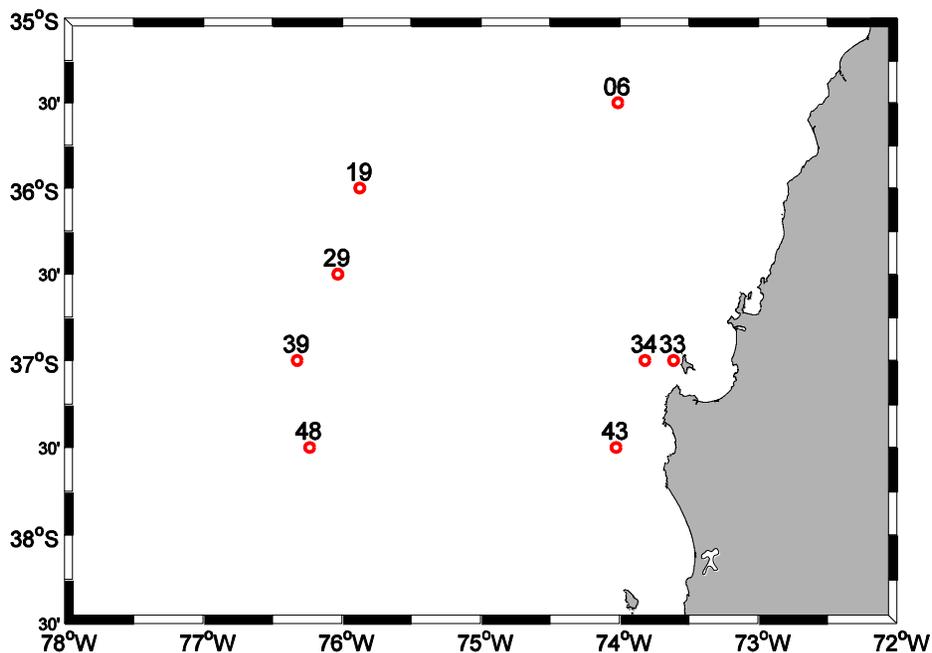
Además de los sensores tradicionales de conductividad, temperatura y presión, el CTD usado durante el crucero de octubre 2006 estaba equipado con sensores de oxígeno, fluorescencia y PAR (Photosynthetically Active Radiation). Este último sensor mide la radiación solar en una banda del espectro que es típicamente usado por los organismos para la fotosíntesis. Los perfiles de PAR permiten evaluar la profundidad de la capa fótica, representada aquí como la profundidad en que la radiación alcanza el 1% de la intensidad existente en superficie. Para este fin se usaron perfiles de PAR realizados en las horas de alta radiación, es decir entre las 10:00 y 16:00 hr local aproximadamente. Las estaciones usadas se presentan en la Tabla 3.1.3 y su posición fue graficada en la Figura 3.1.18.

Del total de estaciones solo 8 de ellas fueron realizadas durante las horas indicadas. Si se asume que la intensidad de la radiación decae exponencialmente con el incremento de la profundidad, es posible estimar directamente un coeficiente de decaimiento y con él, la profundidad de penetración de la luz, representada como  $Z_{1\%}$ , es decir, la profundidad a la que la intensidad de la luz alcanza el 1% de su valor superficial. Para estimar el coeficiente de decaimiento, se ajustó una función exponencial a los datos observados de PAR, o directamente una línea recta al logaritmo de la intensidad observada. La Figura 3.1.19, muestra el ajuste en cada estación. Note que algunas curvas presentan un significativo cambio de pendiente, en general este cambio ocurre a intensidades de luz muy bajas. Los coeficientes de atenuación ( $k$ ) estimados a partir de este ajuste se muestran en la Tabla 3.1.3. Para estimar la profundidad  $Z_{1\%}$ , se utilizó el coeficiente de atenuación de la parte superior de la columna de agua, ya que comúnmente la intensidad se ha reducido 2 ordenes de magnitud (hasta un valor de 1%), en la parte superior de la columna de agua, es decir en el dominio del coeficiente de atenuación superior. A diferencia de las otras estaciones, la estación 38 presenta valores relativamente constantes dentro de los primeros ~30 m, esto podría estar asociado a problemas de muestreo. Si la sombra del buque se proyecta sobre el sensor de PAR las mediciones cerca de la superficie no son correctas y tiende a producirse una curva como la observada en la estación 38.

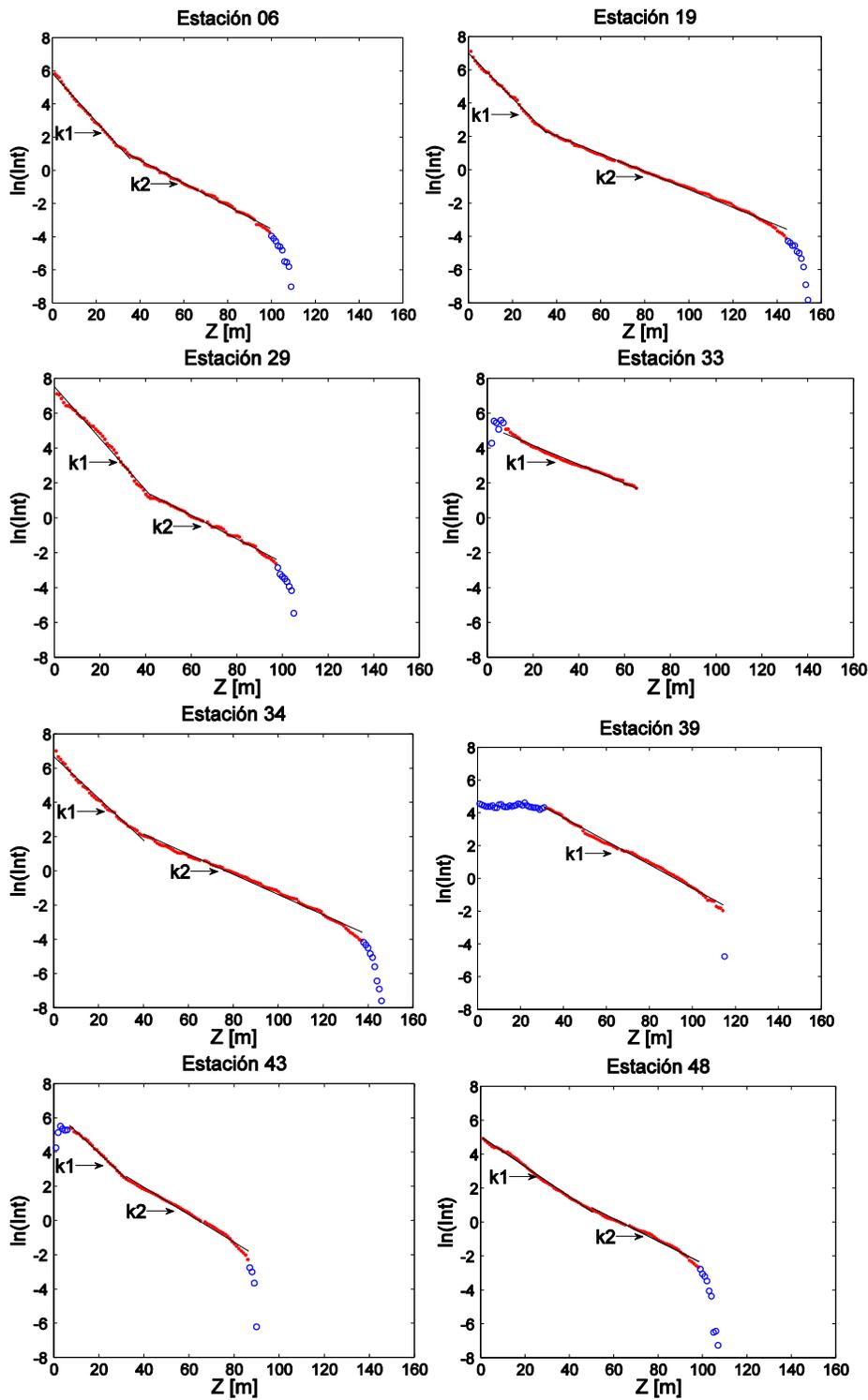
Las profundidades del 1% de penetración de la luz, en las diferentes estaciones variaron entre 85 m y 31 m. Aunque ellos se agrupan mayoritariamente entre los 31 y ~40 m. No hay un patrón espacial evidente y no se diferencian mayormente los valores de las estaciones oceánicas y costeras. Particularmente el valor de 85 m, corresponde a la estación 33, ubicada cerca de la costa (el lance de CTD en esta estación se extiende sólo hasta 66 m ya que la profundidad del lugar es de ~73 m). En esta estación, el valor de oxígeno a 5 m es inferior a  $4.5 \text{ ml L}^{-1}$ , y la salinidad es relativamente alta en comparación con el agua circundante, indicando que el agua presente en este lugar ha sido recientemente llevada a superficie por la surgencia. La intensa surgencia presente en esta estación durante el crucero, es claramente visible en la transecta centrada a  $37^{\circ}\text{S}$ . Sin embargo, la estación 34 ubicada inmediatamente al oeste de la estación 33 y realizada sólo una hora antes, presenta una profundidad de penetración PAR de solo 37 m.

**Tabla 3.1.3.** Coeficientes de atenuación ( $k$ ) y profundidad de penetración de la luz PAR ( $Z_{1\%}$ ). Los coeficientes  $k_1$  y  $k_2$  se obtuvieron del análisis de regresión entre la intensidad de la luz ( $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ ) y la profundidad  $Z_{1\%}$  corresponden a las obtenidas usando  $k_1$ .

Estación	Latitud	Longitud	Fecha	Hora Local	$k_1$	$k_2$	$Z_{1\%}$ (m)
06	35°30.0'S	74°00.6'W	26-10-2006	15:55	0.1449	0.069 2	32
19	36°00.0'S	75°52.2'W	24-10-2006	13:35	0.1355	0.053 9	33
29	36°30.0'S	76°01.7'W	23-10-2006	15:45	0.1478	0.067 5	31
33	37°00.0'S	73°36.5'W	21-10-2006	13:40	0.0545	-	85
34	37°00.0'S	73°48.9'W	21-10-2006	12:10	0.1221	0.059 1	37
39	37°00.0'S	76°19.3'W	20-10-2006	14:07	0.0716	-	64
43	37°30.0'S	74°01.4'W	18-10-2006	14:30	0.1234	0.080 2	37
48	37°30.0'S	76°13.9'W	19-10-2006	14:45	0.0885	0.065 9	52



**Figura 3.1.18.** Ubicación de las estaciones usadas para el cálculo de la profundidad de penetración de la luz ( $Z_{1\%}$ ).



**Figura 3.1.19.** Perfiles de radiación PAR ( $\mu\text{E}/\text{m}^2\text{s}$ ) versus profundidad para diferentes estaciones de muestreo con CTD. Los puntos y los círculos corresponden a los valores utilizados y eliminados respectivamente en el análisis de regresión. Los diferentes  $k$  se refieren a las 80 pendientes de las rectas ajustadas mediante mínimos cuadrados.

## 3.2. Distribución espacial de variables bio-oceanográficas durante primavera de 2006.

### 3.2.1.- Biomasa fitoplactónica.

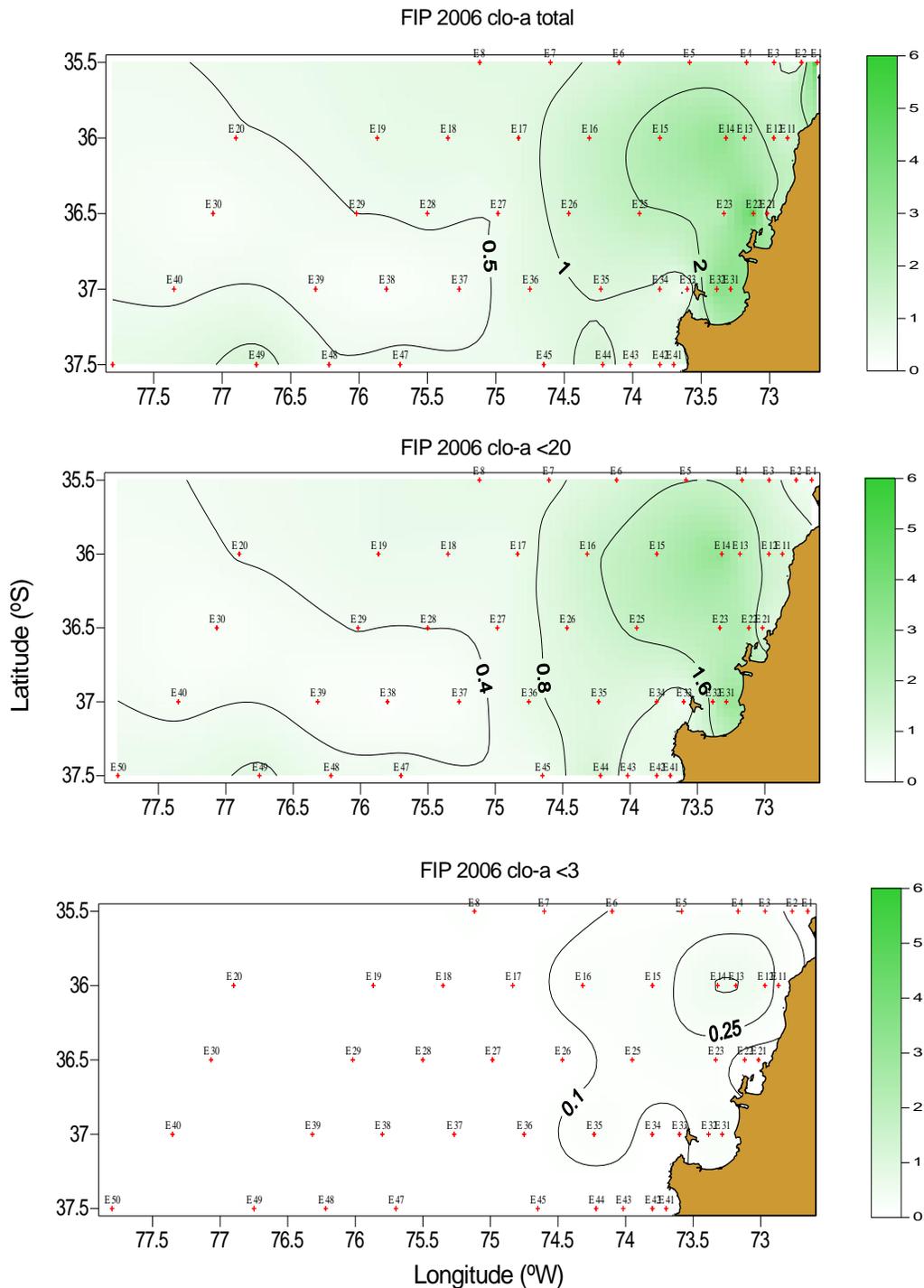
La biomasa del fitoplancton del componente autotrófico es estimada como clorofila-a total (que incluye el pico-, nano-, y micro-plancton) y fraccionada ( $<20\ \mu\text{m}$  y  $<3\ \mu\text{m}$ ). La clorofila-a correspondiente al nanoplancton se obtuvo por diferencia entre estas dos fracciones ( $20 - 3\ \mu\text{m}$ ), la del picoplancton está representada por la fracción  $<3\ \mu\text{m}$ , mientras que la fracción microplanctónica queda comprendida por la diferencia entre la clorofila-a total menos la fracción  $<20\ \mu\text{m}$ .

Las estimaciones de clorofila-a total y fraccionada superficial (0 m) se realizaron en casi todas las estaciones (excepto en aquellas estaciones donde el mal tiempo no lo permitió) cubriendo el 90% del área de estudio. La distribución superficial de clorofila-a fue heterogénea en el área de estudio (Figura 3.2.1). Las mayores concentraciones de clorofila-a total ( $>2\ \text{mg m}^{-3}$ ) se ubicaron en la zona más costera, especialmente entre el interior del Golfo de Arauco y la terraza del Itata. Concentraciones intermedias ( $1\ \text{mg m}^{-3}$ ) se ubicaron en la zona adyacente a la plataforma continental, desde frente al Golfo de Arauco hasta el límite norte del área de estudio. En la zona oceánica adyacente, las concentraciones fueron uniformemente bajas ( $<1\ \text{mg m}^{-3}$ ). El rango de variación de la concentración superficial de clorofila-a total durante este crucero fue de 0,1 a  $5,0\ \text{mg m}^{-3}$  (promedio  $\pm$  DS:  $1,3 \pm 1,1\ \text{mg m}^{-3}$ ). La data correspondiente se encuentra en el Anexo III.

En general, la comparación entre las concentraciones superficiales de clorofila-a total y las fracciones indican que la mayor proporción ( $>50\%$ ) estuvo dominada por la fracción nanoplanctónica ( $<20$  y  $>3\ \mu\text{m}$ ) en la zona de estudio, tanto en la zona costera como en la oceánica. Esto se nota claramente en la Figura. 3.2-1, siendo las distribuciones de la clorofila-a total y  $<20\ \mu\text{m}$  muy similares (panel superior y medio, respectivamente). La fracción de clorofila-a  $<20\ \mu\text{m}$  fluctuó entre 0,1 y  $3,2\ \text{mg m}^{-3}$  (promedio  $\pm$  DS:  $1,0 \pm 0,7\ \text{mg m}^{-3}$ ) mientras que la fracción de clorofila-a  $<3\ \mu\text{m}$  fue comparativamente muy reducida en concentración: 0,0 a  $0,5\ \text{mg m}^{-3}$  (promedio  $\pm$  DS:  $0,1 \pm 0,1\ \text{mg m}^{-3}$ ).

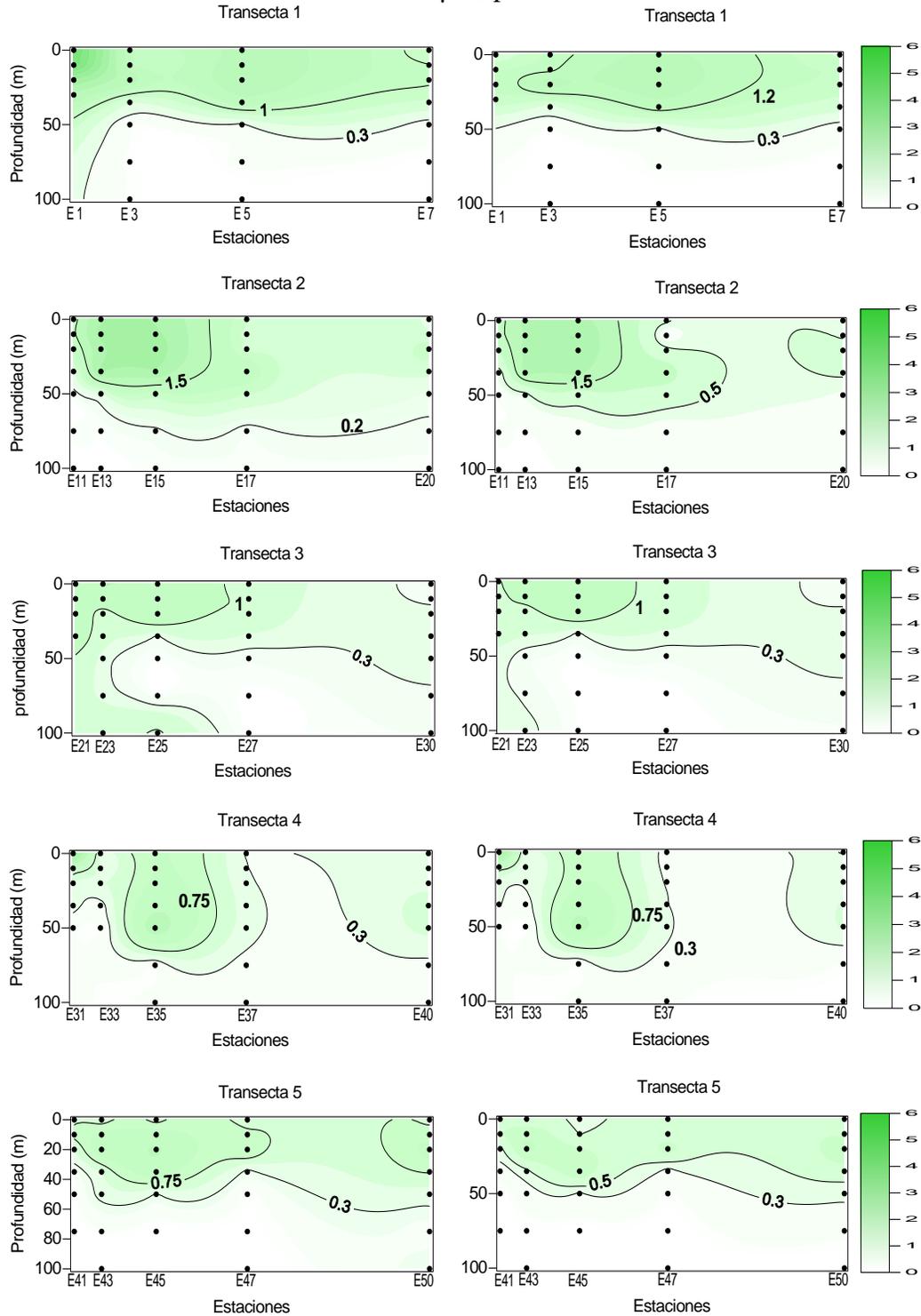
En las estaciones bio-oceanográficas se realizaron muestreos de clorofila-a a 7 niveles, entre la superficie y los 100 m de profundidad. La distribución vertical (0 - 100 m o profundidad máxima en la zona costera) de la clorofila-a (total y  $<20\ \mu\text{m}$ ) en 5 transectas longitudinales o perpendiculares a la costa está representada en la Figura 3.2.2. De acuerdo a estos perfiles, los máximos valores de clorofila-a ( $>1\ \text{mg m}^{-3}$ ) estuvieron ubicados mayormente en la capa más superficial y en la zona más costera (lado izquierdo de los paneles), excepto en la transecta 1 que contiene un foco de mayor concentración de clorofila-a  $<20\ \mu\text{m}$  en la zona intermedia (oceánica), mientras que la clorofila-a total presentó altas concentraciones en toda la transecta. Las concentraciones de clorofila-a total fluctuaron entre 0 y  $5,0\ \text{mg m}^{-3}$  (promedio  $\pm$  DS:  $0,9 \pm 0,9\ \text{mg m}^{-3}$ ) mientras que las de clorofila  $<20\ \mu\text{m}$  estuvieron en el rango 0 y  $3,2\ \text{mg m}^{-3}$  (promedio  $\pm$  DS:  $0,7 \pm 0,7\ \text{mg m}^{-3}$ ).

La clorofila-a integrada (0 - 35 m) para el total y la fracción <math><20\ \mu\text{m}</math> fue mayor (>50  $\text{mg m}^{-2}$ ) en la zona norte del área de estudio y ligeramente más allá de la zona costera interna (Figura 3.2.3); esta distribución en parte es concordante con las distribuciones superficiales de clorofila-a total y de la fracción <math><20\ \mu\text{m}</math> (Figura 3.2.1).



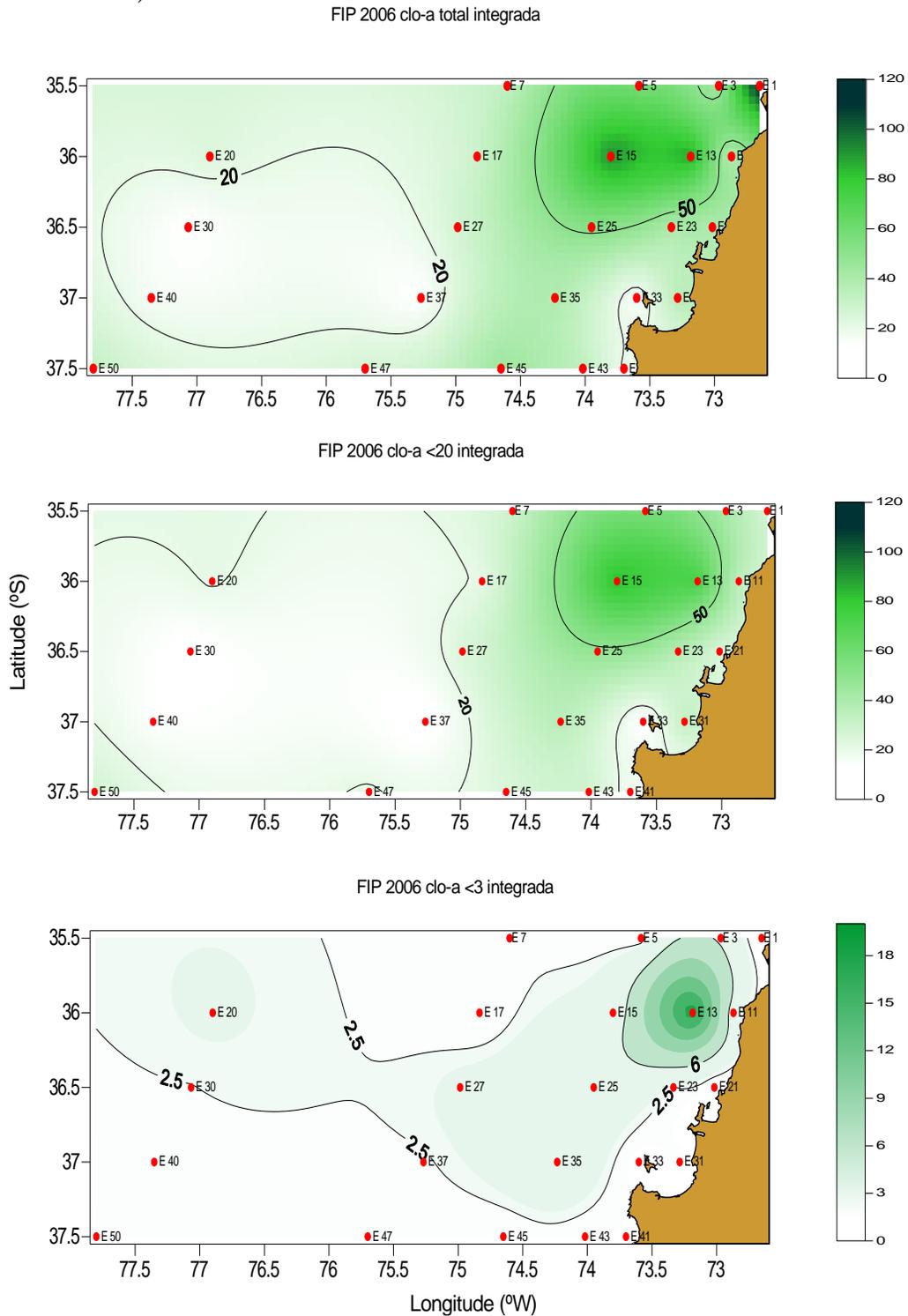
**Figura 3.2.1.** Distribución superficial de  $_{82}$ clorofila-a durante el crucero FIP 2006 de

primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Panel superior: clorofila-a total; panel intermedio: clorofila-a fracción <math><20\ \mu\text{m}</math>; panel inferior: clorofila-a fracción <math><3\ \mu\text{m}</math>.



**Figura 3.2.2.** Distribución vertical de clorofila-a durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Transectas longitudinales (arriba norte, sur abajo) para clorofila-a total (paneles a la izquierda) y fracción <math><20\ \mu\text{m}</math> (paneles a

la derecha).

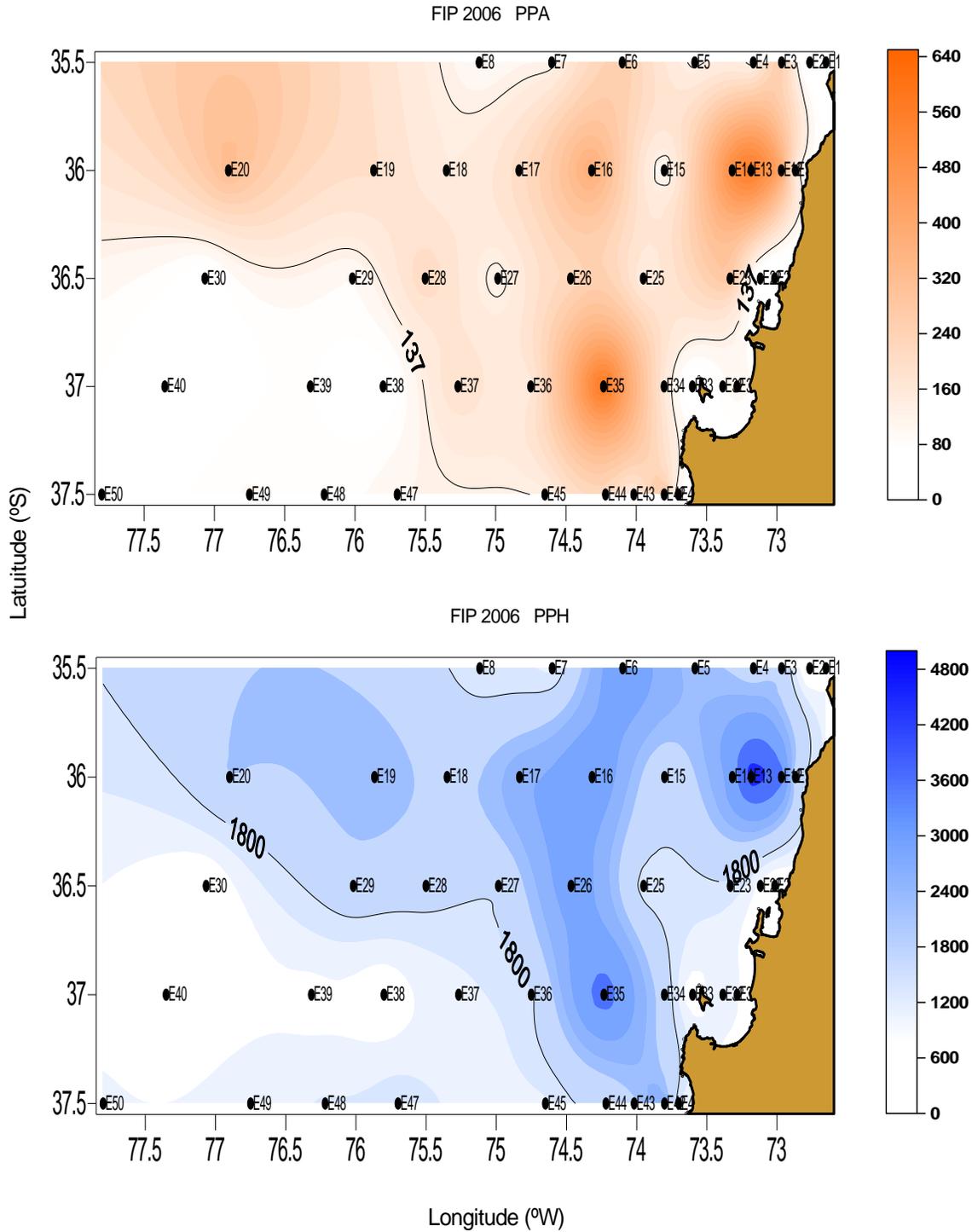


**Figura 3.2.3.** Distribución de clorofila-a integrada (0-35 m) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Panel superior: clorofila-a total; panel intermedio: clorofila-a fracción  $<20 \mu\text{m}$ ; panel inferior: clorofila-a fracción  $<3 \mu\text{m}$ .

Los análisis de asociación de las variables oceanográficas con la clorofila-a durante el crucero arrojaron los siguientes resultados: a nivel superficial (n=43-44), las concentraciones totales de clorofila-a estuvieron correlacionadas (Spearman) significativamente ( $p < 0,05$ ) con la temperatura en forma negativa (-0,35) y con las concentraciones de silicatos en forma positiva (0,44). La fracción de clorofila-a  $< 20 \mu\text{m}$  también mostró una correlación positiva con los silicatos (0,33) y negativa con la salinidad (-0,42), en cambio la fracción  $< 3 \mu\text{m}$  sólo mostró una correlación negativa con la salinidad (-0,42). Considerando la columna de agua (n=176-178), donde los efectos horizontales y verticales se conjugan, las concentraciones de clorofila-a total y en fracciones se correlacionaron significativamente ( $p < 0,001$ ) con la temperatura en forma positiva (0,47 a 0,60) y con la salinidad en forma negativa (-0,47 a -0,54). La distribución de oxígeno disuelto es muy similar a la distribución de temperatura y por tanto también se encontraron relaciones positivas para las clorofilas (0,55 a 0,73). Las clorofilas-a fraccionadas generalmente se correlacionaron negativamente ( $p < 0,01$ ) con los nutrientes (fosfatos, nitratos, y/o silicatos), con valores de correlación entre -0,20 y -0,40; en tanto, la clorofila-a total solo mostró una correlación negativa con la concentración de nitrato (-0,22;  $p < 0,01$ ).

### **3.2.2. Abundancia, biomasa y distribución de picoplancton.**

La abundancia de la fracción picoplanctónica, representada por los componentes autótrofos (pico-fitoplancton, incluyendo principalmente cianobacterias y pico-eucariontes) y heterótrofos (bacterioplancton) fue evaluada durante el crucero de primavera 2006 frente a Concepción ( $\sim 35,5 - 37,5^\circ\text{S}$ ). Los datos fueron proporcionados por el PROFC (O. Ulloa – G. Alarcón) en la UdeC. La distribución superficial de la abundancia del picoplancton autótrofo, predominantemente conformado por cianobacterias, fue heterogénea ya que presentó máximos tanto en áreas costeras como oceánicas (Figura 3.2.4, panel superior). Los valores máximos ( $> 3 \cdot 10^5$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) no estuvieron distribuidos en forma concordante con los máximos en la distribución superficial de clorofila-a en la fracción picoplanctónica, excepto por el máximo al sur de la zona de desembocadura del Río Itata (Figura. 3.2-4, panel inferior). El rango de valores de abundancia superficial de picoplancton autótrofo fue de  $4,8 \cdot 10^3 - 6,0 \cdot 10^5$  células  $\text{mL}^{-1}$  (promedio  $\pm$  DS:  $1,8 \cdot 10^5 \pm 1,4 \cdot 10^5$  células  $\text{mL}^{-1}$ ).

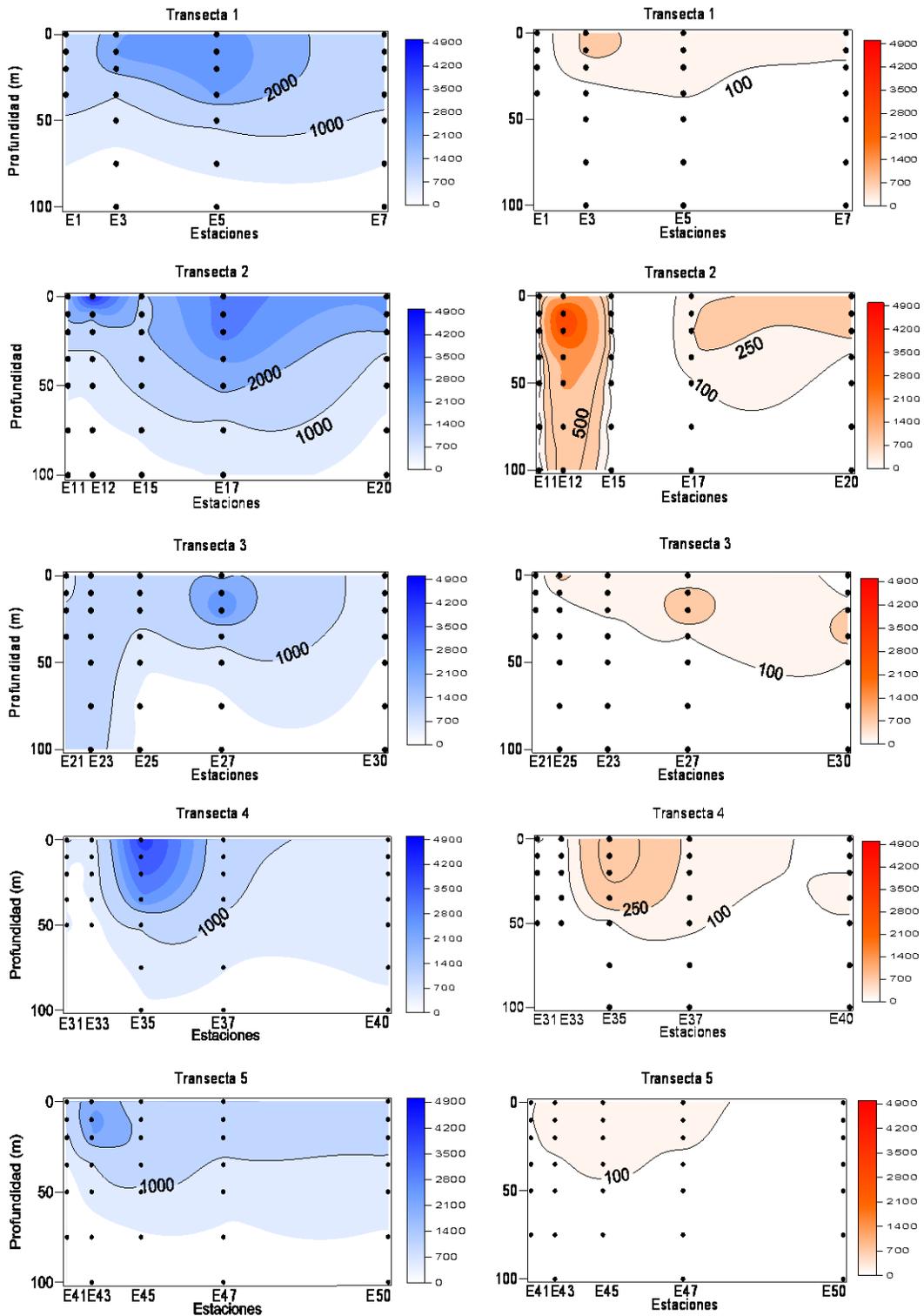


**Figura 3.2.4.** Distribución superficial de la abundancia de picoplancton ( $\cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Panel superior: PPA picoplancton autótrofo; panel inferior: PPH picoplancton heterótrofo.

La distribución superficial de la abundancia del picoplancton heterótrofo fue heterogénea y similar a la del picoplancton autótrofo (Figura 3.2.4, panel inferior), con mayores valores ( $>2 \cdot 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) en una franja norte-sur en la zona inmediatamente fuera de la plataforma continental ( $73,75 - 74,75^\circ\text{S}$ ). Además, se detectó un foco de mayor concentración en el área costera ubicada inmediatamente al sur de la zona de la desembocadura del Río Itata y otro foco en el área oceánica. Los valores superficiales estuvieron en el rango de  $4,2 \cdot 10^5 - 5,0 \cdot 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$  (promedio  $\pm$  DS:  $2,0 \cdot 10^6 \pm 1,1 \cdot 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$ ).

En la distribución vertical del picoplancton (0 – 100 m o profundidad máxima en la zona costera) en las 5 transectas perpendiculares a la costa (Figura 3.2.5), los máximos de abundancia de picoplancton autótrofo ( $>10^5$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) ocurrieron generalmente sobre los primeros 50 m y en las zonas costeras y oceánicas. Las distribuciones del picoplancton heterótrofo fue similar a la de los autótrofos, con máximos de abundancia en zonas costeras y oceánicas ( $>10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$ ). Las abundancias en la columna de agua fluctuaron en el rango de  $1,7 \cdot 10^2 \pm 4,2 \cdot 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$  para autótrofos (promedio  $\pm$  DS:  $1,7 \cdot 10^5 \pm 4,5 \cdot 10^5$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) y de  $3,0 \cdot 10^5 - 5,0 \cdot 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$  para heterótrofos (promedio  $\pm$  DS:  $1,4 \cdot 10^6 \pm 9,7 \cdot 10^5$  células  $\text{mL}^{-1}$ ).

Los análisis de asociación de las variables oceanográficas con las abundancias de picoplancton durante el crucero proporcionaron los siguientes resultados: a nivel superficial (n= 43-44), las abundancias de picoplancton heterótrofo y autótrofo estuvieron correlacionadas (Spearman) significativamente ( $p < 0,01$ ) con la salinidad en forma negativa (-0,45 a -0,49). Considerando la columna de agua (n=175-178), las abundancias del picoplancton se correlacionaron significativamente ( $p < 0,001$ ) con la temperatura en forma positiva (0,67 a 0,68) y oxígeno (0,60 a 0,71) mientras que en forma negativa con la salinidad (-0,64 a -0,65). En ambos grupos tróficos, además, sus abundancias se correlacionaron ( $p < 0,05$ ) negativamente con los nutrientes (fosfatos, nitratos, y silicatos), con valores de correlación entre -0,22 y -0,39.



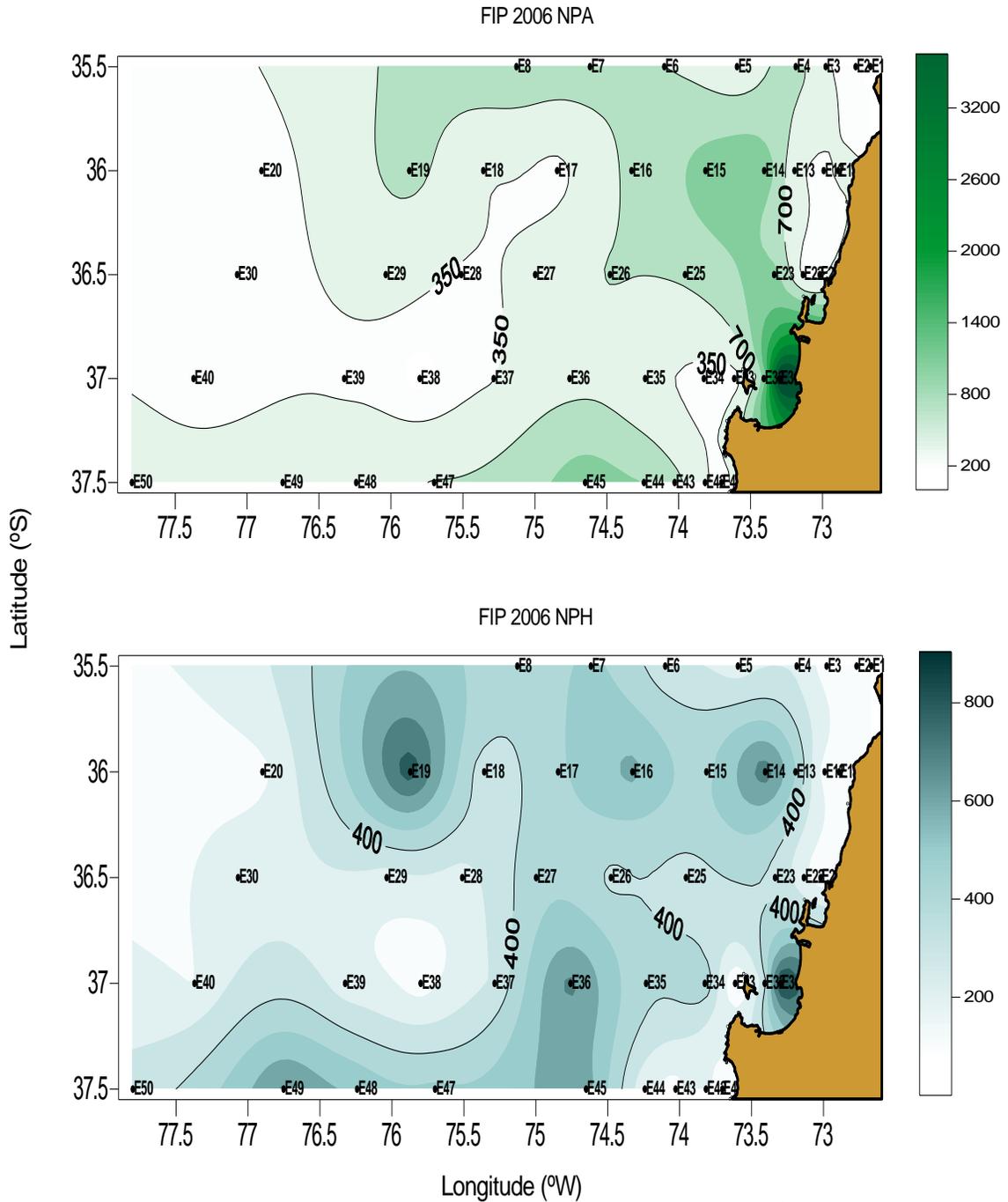
**Figura 3.2.5.** Distribución vertical de picoplancton ( $10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Transectas longitudinales (1 a 5) de la abundancia de heterótrofos (paneles izquierda) y autótrofos (paneles derecha).

### 3.2.3. Abundancia y distribución del nanoplancton.

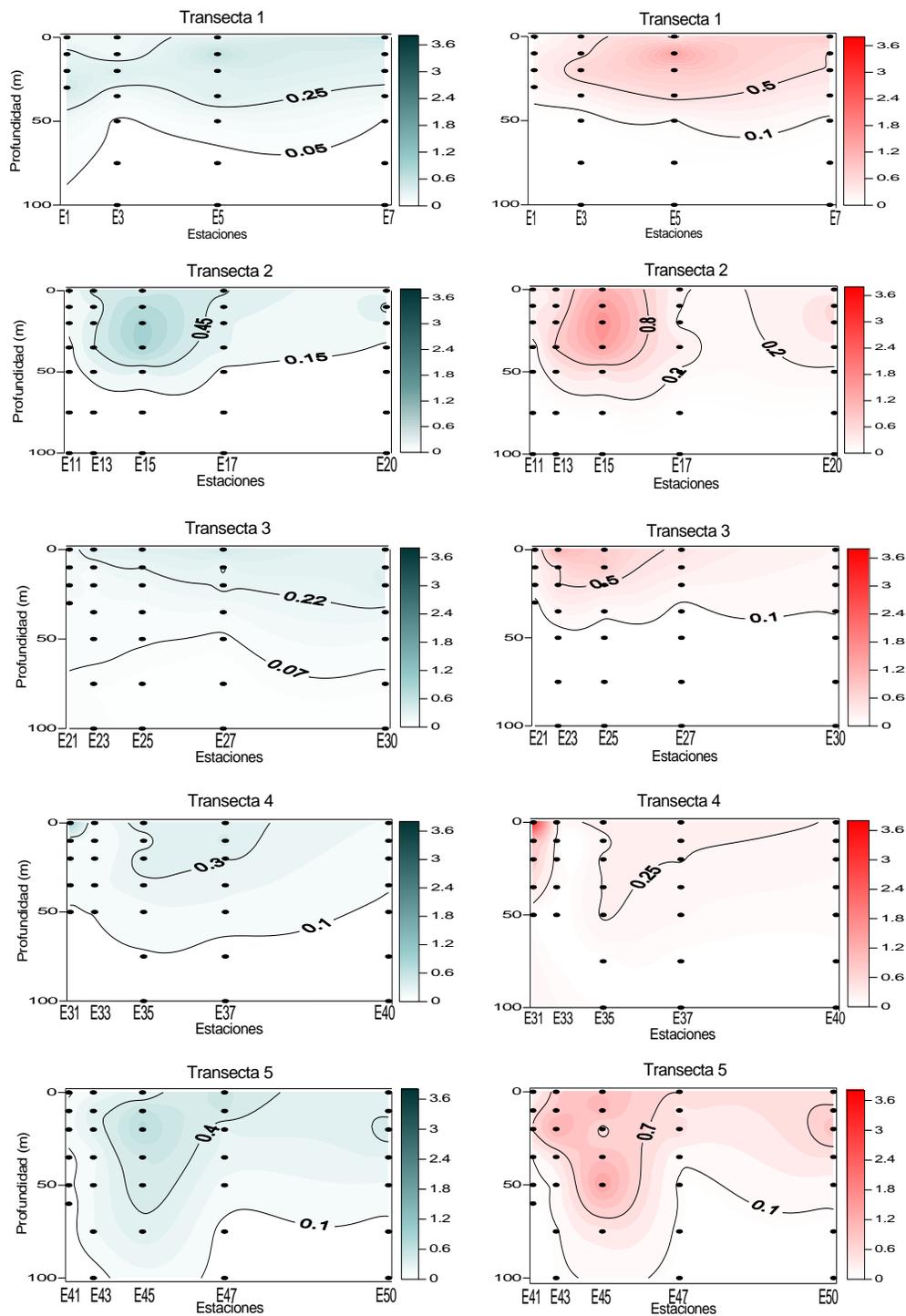
La fracción nanoplanctónica autótrofa y heterótrofa estuvo representada principalmente por nanoflagelados (>90%); otros grupos ocasionalmente importantes fueron las nanodiatomeas y los nano-dinoflagelados. La distribución superficial de la abundancia del nanoplancton autótrofo fue heterogénea, con focos de mayor abundancia ( $>1 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) tanto en la zona costera como oceánicas (Figura 3.2.6, panel superior). Un patrón similar siguió la distribución superficial del nanoplancton heterótrofo, con focos de mayor abundancia ( $>5 \cdot 10^2$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) en zonas costeras y oceánicas (Figura. 3.2-6, panel inferior). Los valores de abundancia superficial estuvieron en el rango de  $7,2 \cdot 10^1$  a  $2,8 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$  para nanoflagelados autótrofos (promedio  $\pm$  DS:  $6,4 \cdot 10^2 \pm 4,9 \cdot 10^2$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) y de  $9,9 \cdot 10^1$  a  $9,1 \cdot 10^2$  células  $\text{mL}^{-1}$  para nanoflagelados heterótrofos (promedio  $\pm$  DS:  $3,7 \cdot 10^2 \pm 2,1 \cdot 10^2$  células  $\text{mL}^{-1}$ ).

La distribución vertical del nanoplancton (0 - 100 m o profundidad máxima en la zona costera) en 5 transectas perpendiculares a la costa se muestra en la Figura. 3.2-7. Los valores máximos ocurrieron tanto en zonas costeras como oceánicas en ambos grupos, autótrofos ( $>1 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) y heterótrofos ( $>0,3 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ), y mayormente en superficie. Los valores de abundancia en la columna de agua fluctuaron en el rango de 0 a  $3,9 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$  para autótrofos (promedio  $\pm$  DS:  $3,8 \cdot 10^2 \pm 4,7 \cdot 10^2$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) y de  $5,3$  a  $9,7 \cdot 10^2$  células  $\text{mL}^{-1}$  para heterótrofos (promedio  $\pm$  DS:  $2,4 \cdot 10^2 \pm 2,1 \cdot 10^2$  células  $\text{mL}^{-1}$ ).

Los análisis de asociación de las variables oceanográficas con las abundancias de nanoplancton durante el crucero proporcionaron los siguientes resultados: a nivel superficial (n= 43-44), las abundancias de nanoplancton heterótrofo y autótrofo estuvieron correlacionadas (Spearman) significativamente ( $p < 0,001$ ) con la salinidad en forma negativa (-0,56). Considerando la columna de agua (n=176-178), las abundancias del picoplancton se correlacionaron significativamente ( $p < 0,001$ ) con la temperatura en forma positiva (0,58 a 0,71) y oxígeno (0,56 a 0,69) mientras que en forma negativa con la salinidad (-0,61 a -0,63). En ambos grupos tróficos, además, sus abundancias se correlacionaron ( $p < 0,05$ ) negativamente con los nutrientes (fosfatos, nitratos, y silicatos), con valores de correlación entre -0,23 y -0,44.



**Figura 3.2.6.** Distribución superficial de nanoplankton (células mL<sup>-1</sup>) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006). Panel superior: nanoplankton autótrofo; panel inferior: nanoplankton heterótrofo.



**Figura 3.2.7.** Distribución vertical de nanoplancton ( $10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) durante el crucero FIP 2006 de primavera (Noviembre - Diciembre 2006): transectas longitudinales (1 a 5) para abundancia de heterótrofos (paneles izquierda) y autótrofos (paneles derecha).

### 3.2.4. Abundancia y distribución de microplacton.

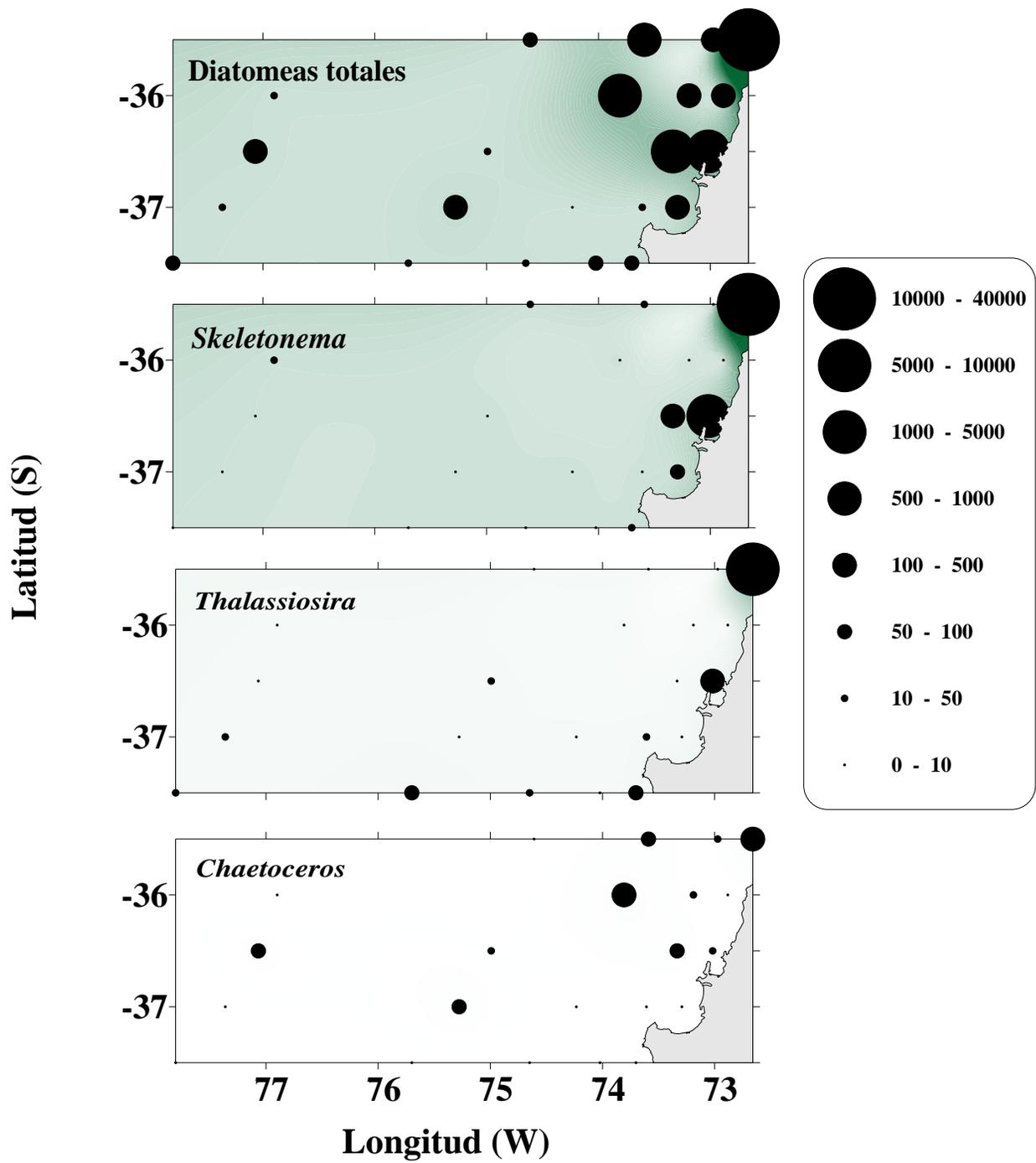
#### Abundancia y distribución de diatomeas

Los resultados de las abundancias integradas de diatomeas hasta 50 m de profundidad (células  $m^{-2}$ ) evidenciaron una alta variabilidad y un patrón general con mayores abundancias en la zona de la plataforma continental, principalmente en las estaciones asociadas a la desembocadura de los ríos Bío-Bío e Itata (Figura 3.2.8).

Se identificaron 26 géneros de diatomeas de los cuales los más importantes fueron *Skeletonema*, *Thalassiosira*, y *Chaetoceros* que, en promedio, representan ~60% de la abundancia total de diatomeas en la grilla muestreada. En algunas estaciones, dominaron géneros como *Corethron* (>60%, E3 y E13), *Asterionella* (80%, E11) y *Leptocylindrus* (90%, E43), respectivamente. El promedio de las abundancia integradas de diatomeas de todas las estaciones fueron de  $2.3 \times 10^8$  células  $m^{-2}$  y las máximas abundancias integradas se presentaron en las estaciones E1 - E23 - E15 y E21 con  $36.8 - 3.5 - 3.0$  y  $2.3 \times 10^8$  células  $m^{-2}$ . En contraste las estaciones E35 - E45 - E20 - E33 - E40 y E27 presentaron las mínimas abundancias integradas que fluctuaron entre 0 y  $5 \times 10^6$  células  $m^{-2}$ .

Las abundancias totales de diatomeas en los 3 estratos de la columna de agua analizados (0, 20 y 50 m), mostraron alta variabilidad concentrándose principalmente en los primeros 20 m de la columna de agua. Las abundancias promedio de diatomeas en superficie, 20 y 50 m de profundidad fueron de 4597, 16201 y 481 células  $L^{-1}$ , respectivamente. En superficie, la abundancia de diatomeas fue máxima en las estaciones E1 y E15 con 64280 y 22800 células  $L^{-1}$ , que en conjunto representan más del 80% de las abundancias de todas las estaciones. En contraste, las menores abundancias se observaron en las estaciones oceánicas E45 - E27 - E30 y E47 con 0 - 40 - 60 y 66 células  $L^{-1}$ , respectivamente.

El estrato de los 20 m presentó las máximas abundancias en las estaciones costeras E1 y E21 con 326 y  $21 \times 10^3$  células  $L^{-1}$ , contribuyendo con 98% de la abundancia de todas las estaciones en este estrato. En el estrato de 50 m de profundidad las abundancias disminuyen drásticamente en uno y dos órdenes de magnitud con respecto de los estratos de 0 y 20 m de profundidad. Se observó un máximo en la estación E23 de 5620 células  $L^{-1}$ , mientras que en varias estaciones (E13 - E20 - E27 - E33 - E43 y E47) no se observaron diatomeas.



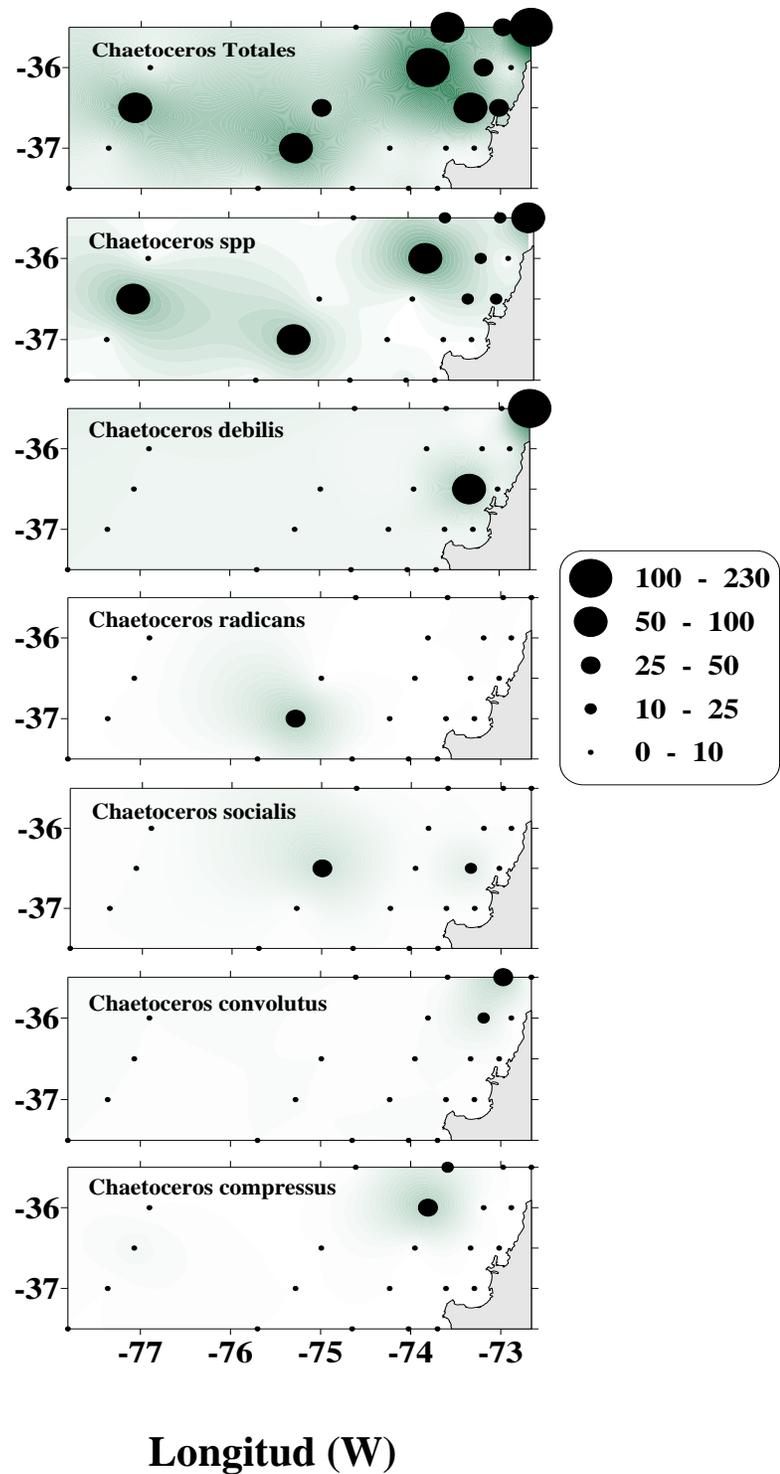
**Figura 3.2.8.** Abundancia integrada ( $m^{-2} \times 10^5$ ) de diatomeas totales y los géneros más abundantes.

Las diatomeas estuvieron representadas principalmente por 11 especies del género *Chaetoceros*, siendo *Ch. debilis*, *Ch. radicans*, *Ch. socialis*, *Ch. convolutus* y *Ch. compressus*, además de un grupo de *Chaetoceros spp* (no identificados) las más abundantes, contribuyendo entre el 70-90% de las abundancias totales de este género. El promedio de las abundancias totales integradas de todas las estaciones de este género fueron de  $3.7 \times 10^6$  células  $m^{-2}$ , presentando rangos de abundancias de  $1.3 \times 10^7$  (E15) –  $2.2 \times 10^7$  (E1) células  $m^{-2}$  y mínimas abundancia en las estaciones E7 - E11 – E20 – E31 – E33 – E35 – E41 – E45 –E47 y E50 en las cuales no se observaron células de este género (Figura. 3.2.9).

### **Distribución y abundancia de microzooplancton.**

Los principales componentes del microzooplancton (>20  $\mu m$ ) estuvieron representados por tintínidos y dinoflagelados, representando en promedio un 60 y 40% de las abundancias totales en todas las estaciones estudiadas. Este grupo presentó una distribución espacial relativamente inversa a la distribución de diatomeas, concentrándose preferentemente en el sector oceánico del quiebre de la plataforma continental en el caso de los tintínidos (Figura. 3.2-10) o en sectores fuera de las 40 millas náuticas desde la costa para los dinoflagelados tecados (Figura. 3.2-11). El promedio del microzooplancton total fue de  $17 \times 10^6$  ind.  $m^{-2}$  (integrados hasta 200 m de profundidad o hasta cerca del fondo en estaciones más someras) y con una abundancia máxima de  $67 \times 10^6$  en la estación E5 y la mínima de  $24 \times 10^4$  ind.  $m^{-2}$  en la estación E41 (Anexo Tablas 3 y 4).

Los géneros más importantes para los tintínidos fueron *Protorhadbonella*, *Eutintinus*, *Codonellopsis*, *Acanthostomella*, *Tintinnopsis* y *Salpinguella*, los cuales representan en promedio el 42 - 16 – 15 - 14 – 7 y 5%, respectivamente, de todas las estaciones analizadas. El promedio de las abundancias totales de tintínidos alcanzó  $11 \times 10^6$  con máximos en las estaciones E5, E7, E43 y E30 con 43, 35, 30 y  $26 \times 10^6$  ind.  $m^{-2}$ , respectivamente. En contraste las menores abundancias de este grupo se encontraron en las estaciones E16, E21 y E41 con 26, 22 y  $16 \times 10^4$  ind.  $m^{-2}$ . Se apreció un patrón de abundancia inverso con la profundidad, disminuyendo desde 240 a 20 ind.  $L^{-1}$  entre superficie y 200 m de profundidad (Anexo Tabla 5).



**Figura 3.2.9.** Abundancia integrada ( $m^{-2} \times 10^5$ ) de diatomeas del género *Chaetoceros* y sus principales especies.

Latitud (S)

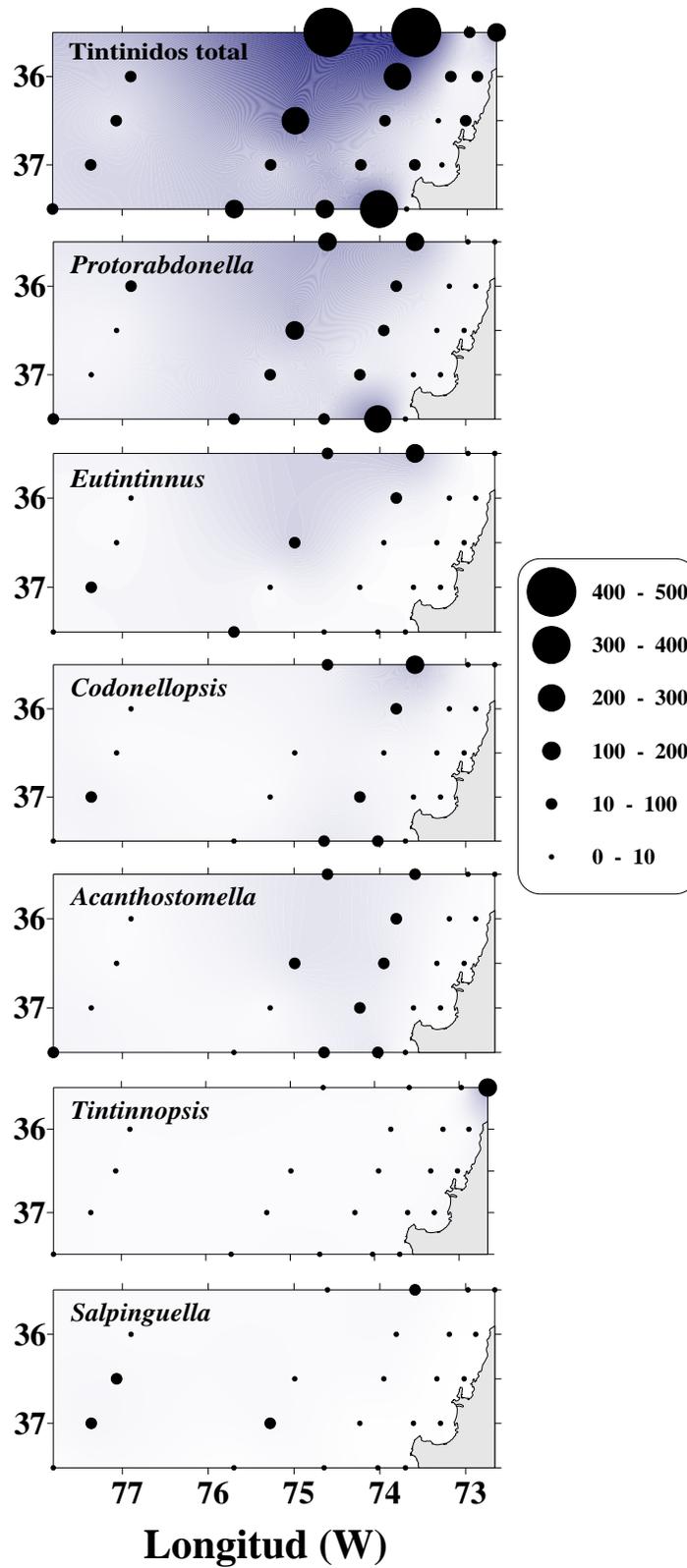
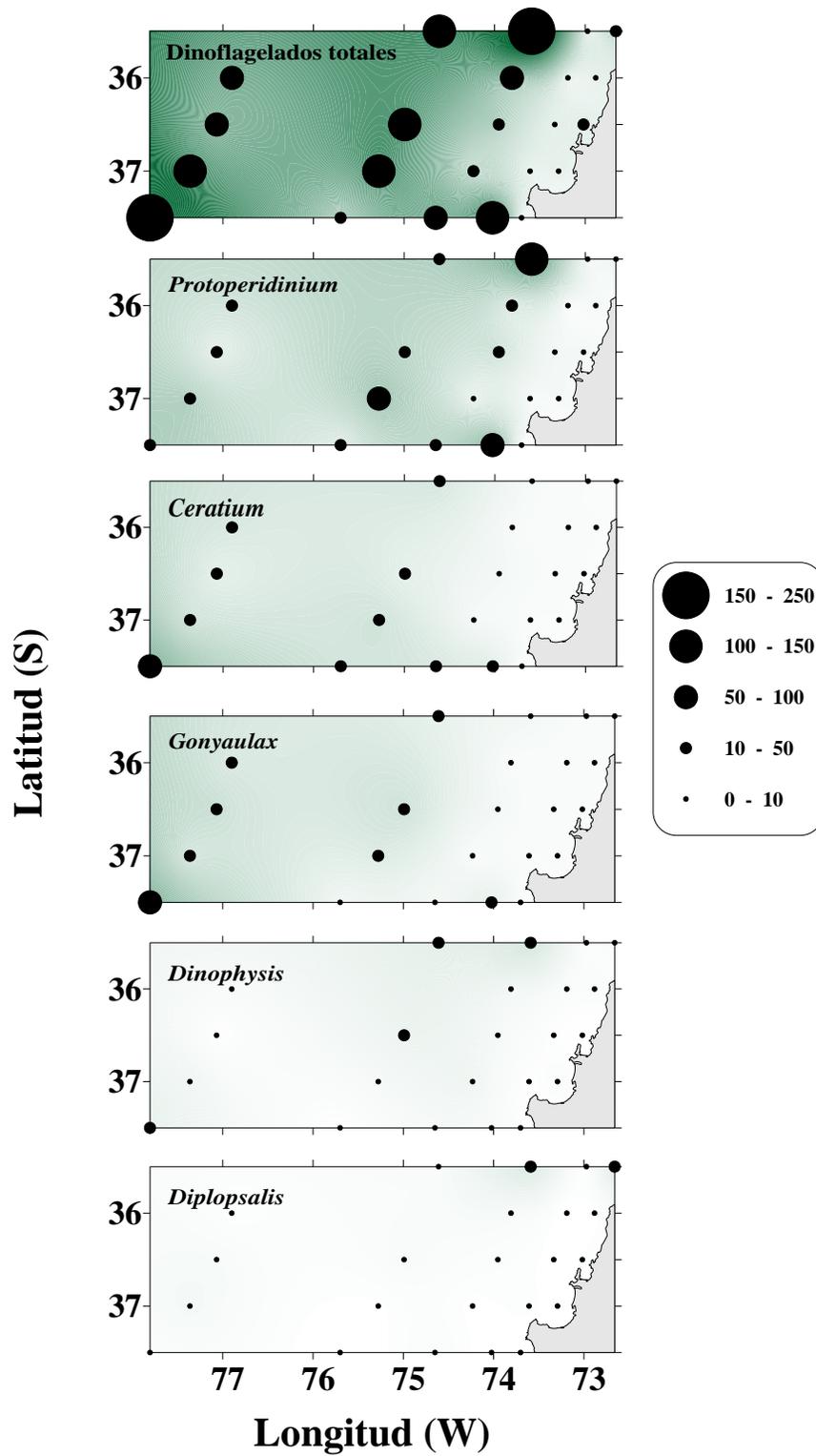


Figura 3.2.10. Abundancia integrada ( $m^{-2} \times 10^5$ ) de tintínidos y sus principales géneros.

El estrato de 20 m para los tintínidos presentó las máximas abundancias en la transecta norte de la grilla (E5, E1 y E7), con valores de abundancia entre 376 y 546 ind. L<sup>-1</sup>. Las abundancias más bajas para este estrato se registraron en las estaciones E41 y E23 con 6 y 3 ind. L<sup>-1</sup>, respectivamente. Para el estrato de 50 m el grupo de los tintínidos presentó las máximas abundancias en las estaciones E7 y E5 con 357 y 308 ind. L<sup>-1</sup>, y las mínimas en las estaciones E13, E41 y E1 con 7, 1 y 0 ind. L<sup>-1</sup>, respectivamente. En 200 m de profundidad, las abundancias fueron, en promedio, un orden de magnitud menor, comparado con los estratos 0 y 20 m, presentando un máximo de 97 ind. L<sup>-1</sup> en la estación E15 y un mínimo de 2 ind. L<sup>-1</sup> en la estación E13.

El promedio de las abundancias integradas para los dinoflagelados tecados fue de  $6 \times 10^6$  ind. m<sup>-2</sup> y estuvieron representados principalmente por 5 géneros: *Protoperidinium*, *Ceratium*, *Gonyaulax*, *Dinophysis* y *Diplopsalis*, los cuales contribuyeron, en promedio, con 38, 18, 16, 9 y 7%, respectivamente, de la abundancia total de todas las estaciones analizadas (Figura. 3.2-11). Las máximas y mínimas abundancias totales integradas por estaciones fueron de  $24$  y  $23 \times 10^6$  ind. m<sup>-2</sup> en las estaciones E50 y E5, y de  $69$  y  $29 \times 10^3$  ind. m<sup>-2</sup> en las estaciones E41 y E16.

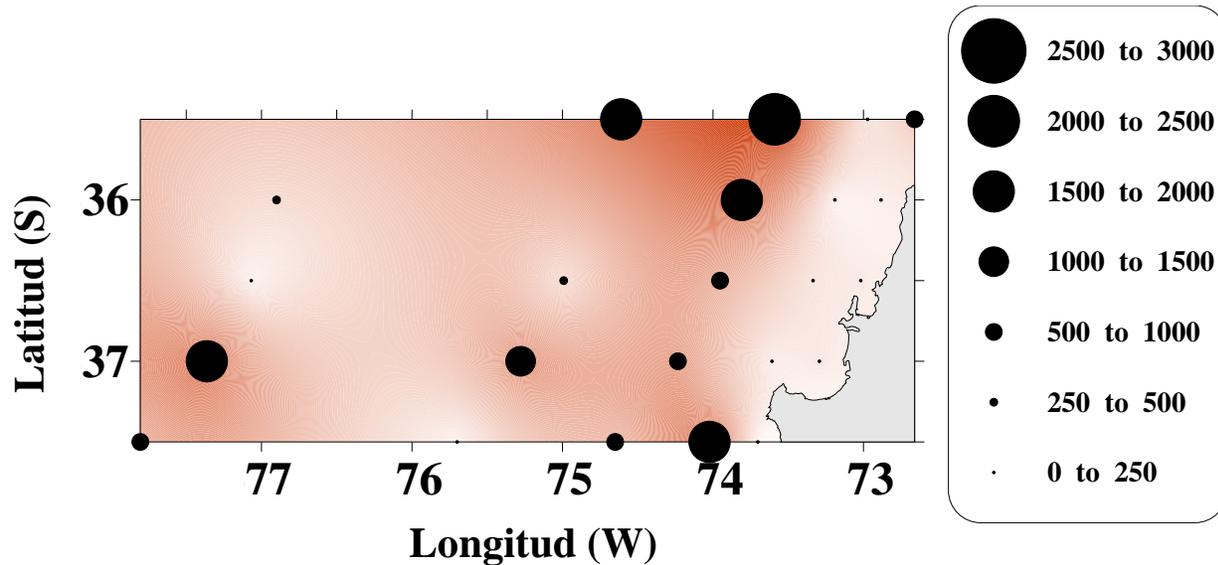
Las abundancias estratificadas promedio de dinoflagelados en los 0, 20, 50 y 200 m fueron de 72, 114, 42 y 10 ind. L<sup>-1</sup>. En superficie, las máximas abundancias de dinoflagelados fueron encontradas en las estaciones E50, E17 y E47 con 299, 297 y 221 ind. L<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que las mínimas se presentaron en las estaciones E13 y E3 con 6 y 8 ind. L<sup>-1</sup>. Las estaciones E25 y E41 no presentaron dinoflagelados. El estrato de 20 m presentó las mayores abundancias promedio en particular en las estaciones E50, E40 y E20 con 740, 275 y 239 ind. L<sup>-1</sup>. Las menores abundancias se encontraron en las estaciones E23, E41, E31 y E35 con valores entre 2 y 5 ind. L<sup>-1</sup>. A los 200 m de profundidad las máximas abundancias de dinoflagelados son un orden de magnitud menor al de los estratos superiores



**Figura 3.2.11.** Abundancia integrada ( $m^{-2} \times 10^5$ ) de dinoflagelados tecados totales y sus principales géneros.

### 3.2.5. Abundancia y distribución de larvas nauplii de mesozooplankton.

Las abundancias integradas de las larvas nauplii de crustáceos se concentraron preferentemente en el sector del quiebre de la plataforma continental y en estaciones más oceánicas de la grilla estudiada (Figura. 3.2-12). El promedio de las abundancias totales integradas de todas las estaciones analizadas fue de  $691 \times 10^3$  ind.  $m^{-2}$  y las máximas / mínimas abundancias fueron observadas en las estaciones E5, E7, E15, E13 / E30, E47, E31 con valores de  $2321, 1643, 1620, 77 \times 10^3$  ind.  $m^{-2}$  –  $63, 62, 8 \times 10^3$  ind.  $m^{-2}$ , respectivamente.



**Figura 3.2.12.** Abundancia de nauplii de crustáceos (ind.  $m^{-2} \times 10^3$ ) integrada a 20 m de profundidad.

### 3.2.6. Abundancia, biomasa y distribución de mesozooplankton y macrozooplankton.

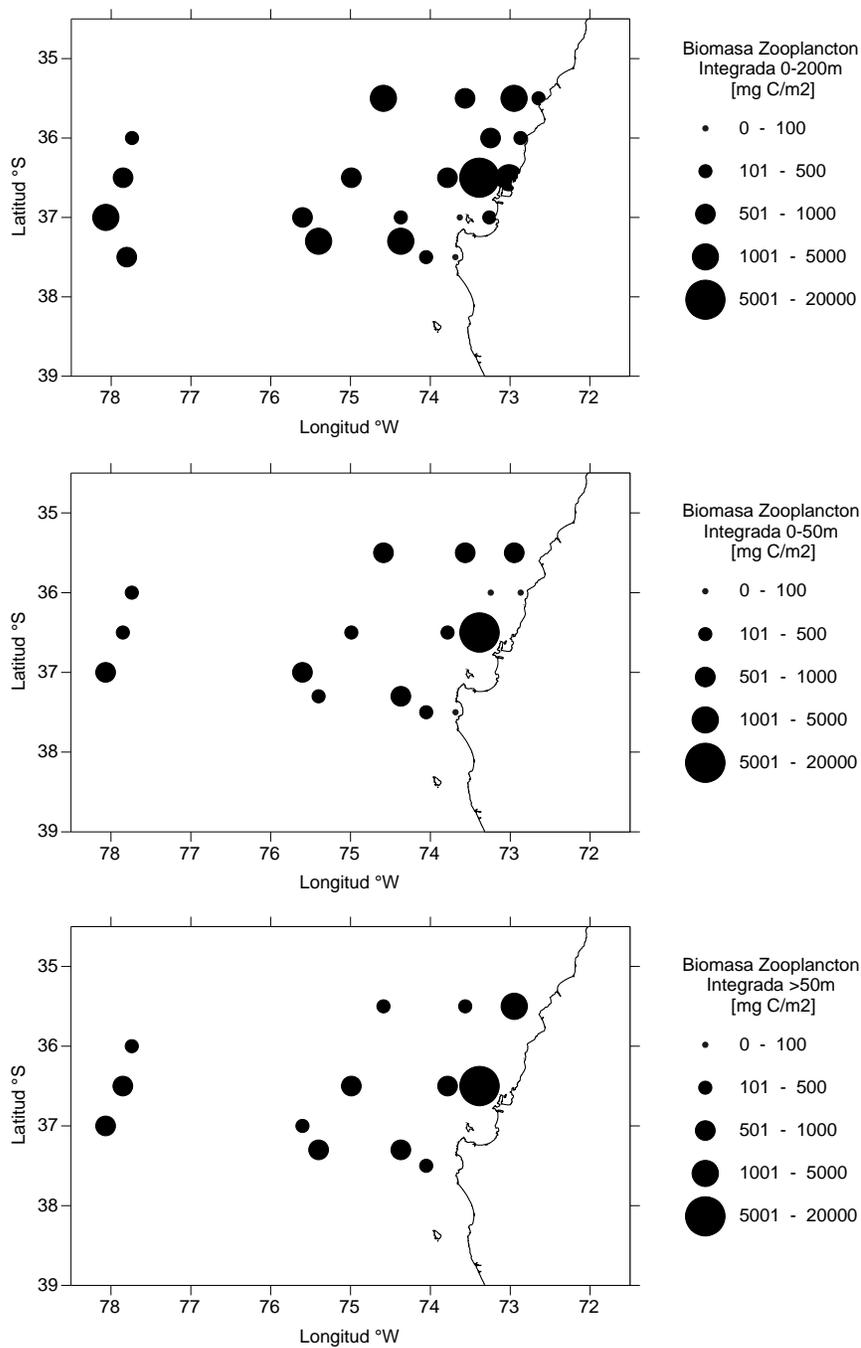
El análisis de la biomasa del zooplankton total, integrada en la columna de agua de los primeros 200 m, fluctuó en el rango de  $0.17$  a  $15.8$  g C  $m^{-2}$ , con un promedio de  $1.49$  g C  $m^{-2}$  y un coeficiente de variación de 46%. La distribución espacial de la biomasa del zooplankton permitió observar una agregación principal frente al sector de Bahía Coliumo ( $36^{\circ}30'$  S) en la parte central de la región, dentro de la franja costera (primeras 20 mn), y una agregación menor en el sector norte en aguas oceánicas, que se manifiestan en los 3 estratos muestreados (Figura 3.2-13). El estudio muestra que la biomasa integrada de los 200 m se distribuye esencialmente en la capa de 0-50 m, aunque en la zona costera a profundidades mayores de 50 m también se observa una biomasa importante, principalmente en el sector central y costero de la región con valores superiores a  $5$  g C  $m^{-2}$ .

El análisis de la composición del mesozooplancton y macrozooplancton para la situación de primavera 2006, se realizó sobre las muestras integradas (0-200 m) de la columna de agua (Figura 3.2.14). El taxón dominante fue Copepoda, con una densidad promedio de 372 individuos  $m^{-3}$ , seguido por el grupo de los Polichaeta con una densidad cercana a los 30 individuos  $m^{-3}$  en promedio. Las especies dominantes del meso- y macro-zooplancton y estuvieron representadas principalmente por copépodos, donde se destacan especies de pequeño tamaño (<1.5 mm) como *Paracalanus parvus*, *Oithona* spp. y *Acartia tonsa*. Las abundancias promedios de las especies más abundantes en términos numéricos se listan en la Tabla 1. Los copépodos *Calanus chilensis*, *Rhyncalanus nasutus* y el eufáusido *Euphausia mucronata*, merecen especial atención porque a pesar de presentar menores abundancias, sus tamaños corporales son mayores, 2.5 mm, 5.5 mm y 30 mm aproximadamente para *C. chilensis*, *R. nasutus* y *E. mucronata*, respectivamente.

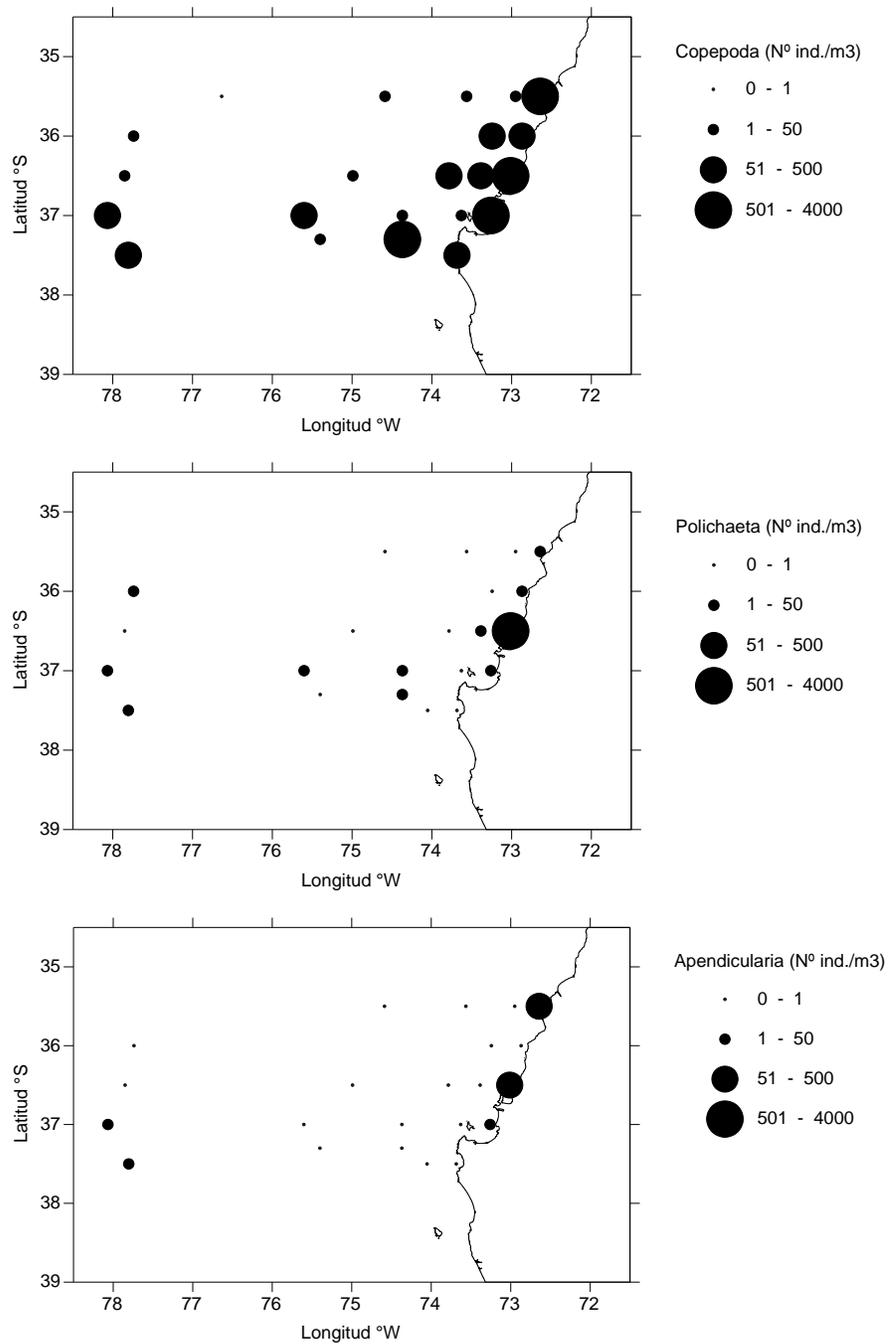
En general las especies observadas constituyen componentes comunes del zooplancton de la costa Chilena, asociado a condiciones de surgencia (Escribano et al., 2003) y con cambios importantes en la composición en comparación al año 2004 y año 2005, cuando predominaron las especies de mayor tamaño y con una mayor abundancia de eufáusidos (Escribano et al., 2005; Daneri et al., 2006).

**Tabla 3.2.1.** Principales taxa del mesozooplankton y macrozooplankton encontrados durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción en la capa de 0-200 m.

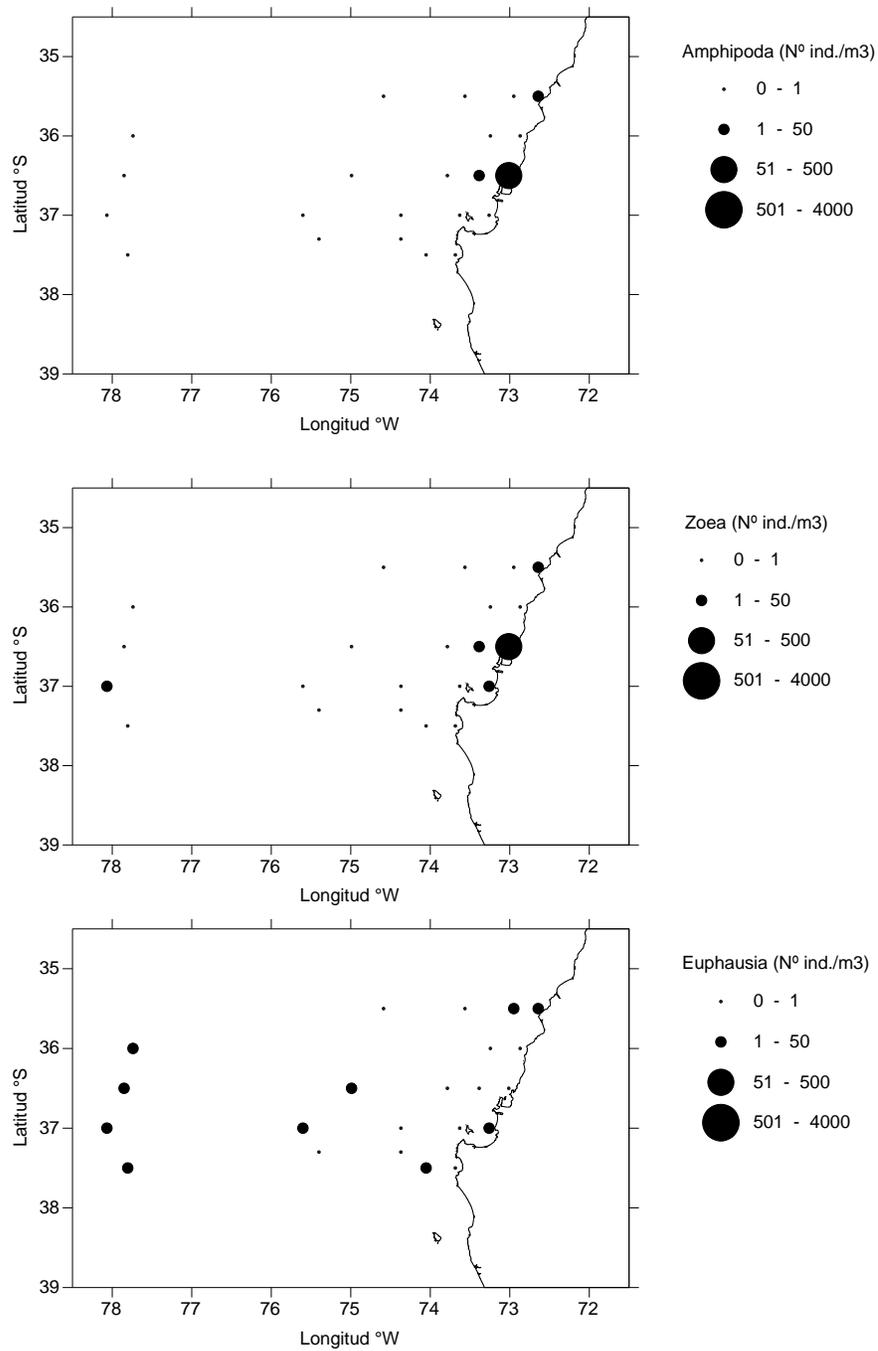
Taxa	Abundancia (individuos m <sup>-3</sup> )
<i>Paracalanus parvus</i>	171.8
<i>Oithona</i> spp	45.9
<i>Oncaea conifera</i>	39.9
<i>Acartia tonsa</i>	38.2
Polichaeta	30.3
<i>Calanus chilensis</i>	28.5
Appendicularia	21.4
Amphipoda	17.3
<i>Calanoides patagoniensis</i>	17.0
<i>Pleuromamma gracilis</i>	13.8
Larvas de crustácea decápodos	5.5
<i>Rhyncalanus nasutus</i>	5.4
<i>Euphausia mucronata</i>	3.2
Chaetognata	2.8
Metridia sp.	2.8
<i>Centropages brachiatus</i>	2.4
<i>Corycaeus typicus</i>	2.4
Ostracoda	2.3
Thaliacea	1.9
Siphonofora	1.7
<i>Euchaeta marina</i>	1.3
Cnidaria	1.3
<i>Calocalanus</i> sp.	0.6
<i>Pleuromamma abdominalis</i>	0.4
<i>Neocalanus robustus</i>	0.4
<i>Gadius</i> sp.	0.3
Larvas molucos	0.2
<i>Aetideus</i> sp.	0.2
Stomatopoda	0.2
<i>Eucalanus hyalinus</i>	0.2
<i>Candacia bipinnata</i>	0.1
Otros taxa	<0.1



**Figura 3.2.13.** Distribución espacial de la biomasa del zooplancton, expresada en mg C, integrada para 3 estratos: 0-200 m (panel superior), 0-50 m (panel medio), y > 50 m (panel inferior), durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.



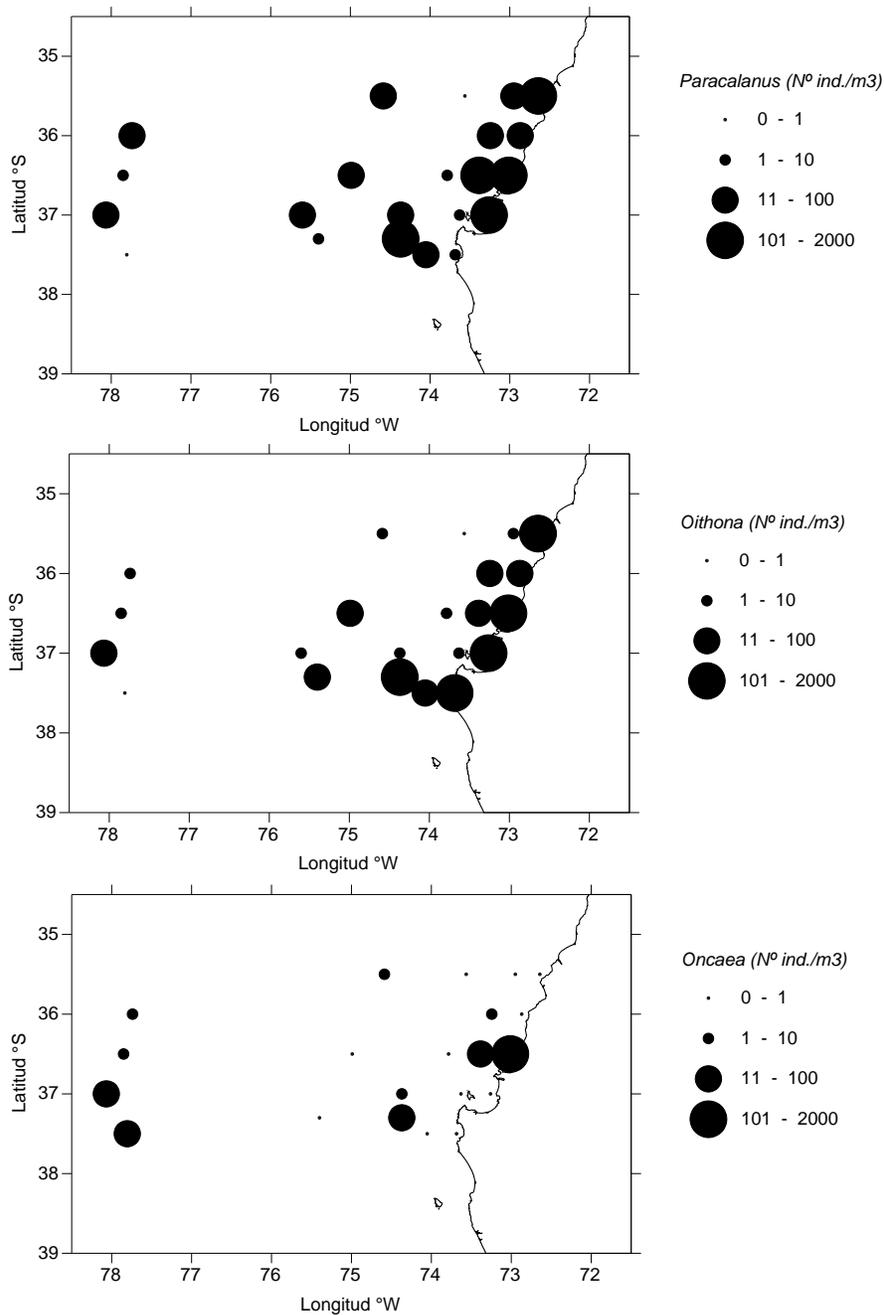
**Figura 3.2.14.** Distribución espacial de los taxa del zooplancton, Copepoda, Polichaeta y Apendicularia, expresados en individuos  $m^{-3}$ , encontrados en la capa de 0-200 m durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.



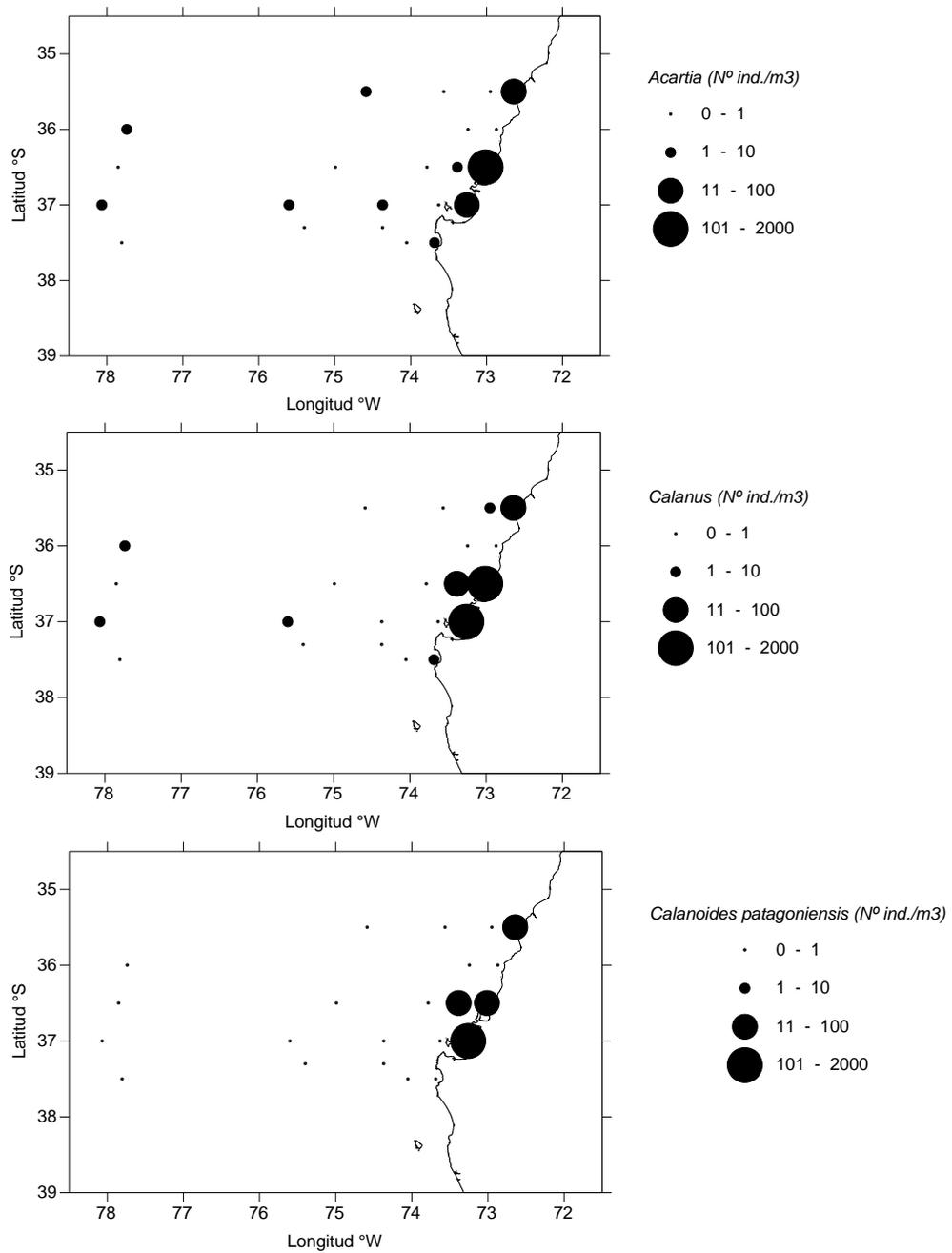
**Figura 3.2.15.** Distribución espacial de los taxa del zooplancton, Amphipoda, larvas zoeas y Euphausiacea, expresados en individuos  $m^{-3}$ , encontrados en la capa de 0-200 m durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.

Considerando los taxa de la Tabla 3.2. 1, se debe destacar que durante esta primavera se observó una mayor diversidad en general del meso y macrozooplancton en comparación al 2004 y 2005. De todas maneras, se puede concluir que gran parte de la biomasa total de zooplancton está conformada esencialmente por la especie dominante *Paracalanus parvus*.

El estudio de la distribución espacial (0-200 m) de los principales taxa permitió revelar que la mayoría de los grupos mayores se agregan en la banda costera de las primeras 30 mn y con un foco principal frente a los 36°30', es decir cercano o frente a la desembocadura del Río Itata, en asociación a la pluma de surgencia de primavera. Este patrón se repite para los copépodos, polichaeta y apendicularia (Figura 3.2.15), mientras que amphipoda y larvas zoeas se focalizan aún más frente al Itata y los eufáusidos se encuentran fuertemente dispersos en toda la región de estudio (Figura. 3.2-16). Las principales especies de copépodos por otra parte marcan la agregación principal del zooplancton en toda la franja costera y con agregaciones menores de las mismas especies en zona oceánicas (Figura 3.2.17). Otras especies importantes por su tamaño y de menor abundancia, también siguen el patrón de agregación costero y focalización frente a la zona del Río Itata.



**Figura 3.2.16.** Distribución espacial de las especies dominantes de copépodos, *Paracalanus parvus*, *Oithona* spp. y *Oncaea conifera*, expresados en individuos  $m^{-3}$ , encontrados en la capa de 0-200 m durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.



**Figura 3.2.17.** Distribución espacial de las especies dominantes de copépodos, *Acartia tonsa*, *Calanus chilensis* y *Calanoides patagoniensis*, expresados en individuos  $m^{-3}$ , encontrados en la capa de 0-200 m durante la primavera de 2006 frente a la zona de Concepción.

Para analizar la potencial influencia de factores oceanográficos sobre la distribución espacial de las especies se aplicó una regresión múltiple paso-a-paso, que permite interactivamente incluir o remover el efecto de variables independientes sobre una variable dependiente. Este análisis se practicó sobre las abundancias log-transformadas de las especies. Los resultados principales del análisis se muestran en la Tabla 3.2.2.

La biomasa total del zooplancton se correlacionó fuertemente y negativamente con la temperatura superficial del mar, la profundidad de la zona de mínimo de oxígeno (OMZ) (definida a un valor de 1 mL O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) y la densidad superficial. Esta correlación resulta esencialmente de la fuerte agregación del zooplancton en la franja costera, caracterizada por una menor temperatura superficial, mayor densidad del agua de mar y una OMZ más somera (<50 m). Los principales taxa también tienden a correlacionarse con la temperatura superficial y la profundidad de la OMZ, y a su vez con las menores concentraciones de oxígeno superficial en la zona costera donde se produce la surgencia (Tabla 3.2.2.).

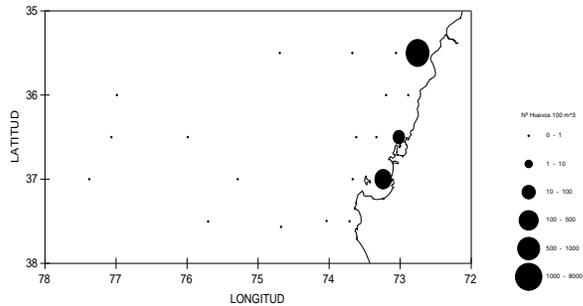
**Tabla 3.2.2.** Regresión múltiple paso-a-paso para determinar la asociación entre variables ambientales y taxa del zooplancton encontrados en la capa de 0-200 m, durante la primavera de 2006 frente a Concepción. TSM (temperatura superficial del mar), OMZ (profundidad de la zona de mínimo de oxígeno), Sigma-T (densidad del agua de mar kg m<sup>-3</sup>). Los variables son superficiales y corresponden a la capa de 1 a 3 m.

TAXA	Factor	F	P
Biomasa total	TSM Sigma-T OMZ	8.03	<0.01
Copepoda	OMZ	7.94	<0.01
Euphausiacea	Ninguna	<1	>0.05
<i>P. parvus</i>	TSM OMZ	7.24	<0.01
<i>Oithona</i> spp.	Oxígeno OMZ	10.5	<0.01
<i>Acartia tonsa</i>	Oxígeno	9.81	<0.01

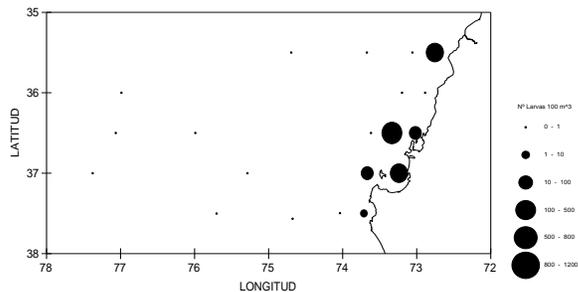
### 3.2.7. Abundancia y distribución de ictioplacton.

Las distribuciones horizontales de huevos y larvas en dos estratos: 0-50 m y 50-200 m. de anchoveta y sardina común se muestran en las Figuras 3.2.18 y 3.2.19. A diferencia de años anteriores, en este crucero no se encontró huevos ni larvas de jurel, *Trachurus murphi*, especie presente previamente pero en baja abundancia. La data respectiva es presentada en el ANEXO III. Huevos y larvas de anchoveta y de sardina común presentaron una muy similar distribución caracterizada por mayores abundancias en la zona costera sobre la plataforma continental. No se encontró huevos de anchoveta ni de sardina común en el estrato 50-100m. Tampoco se observó grupos de huevos o larvas alejadas de la costa indicadores de transporte advectivo reciente en filamentos o plumas de surgencia. La distribución de ambas especies es coincidente con la observada durante los periodos de desove invernal en los proyectos del método de producción diario de huevos (MPDH) en la zona central

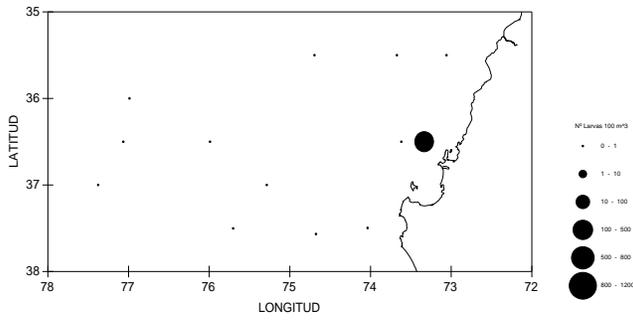
#### a) huevos anchoveta (0-50m)



#### b) larvas anchoveta (0-50m)

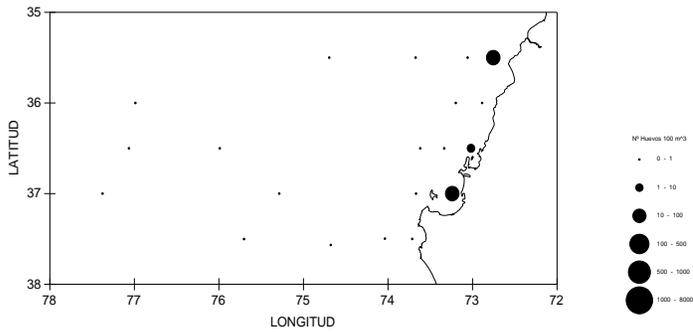


#### c) larvas anchoveta (50-200m)

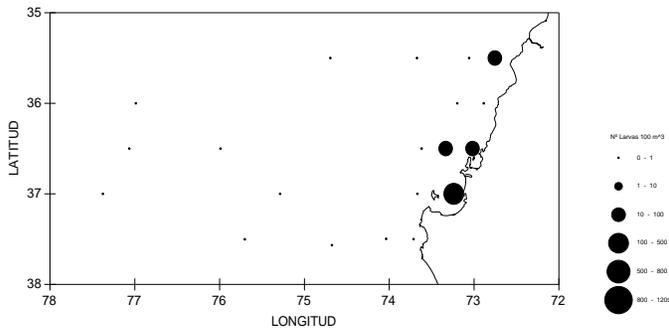


**Figura 3.2.18.** Distribución espacial de la abundancia de a) huevos y b) larvas de anchoveta *Engraulis ringens*, correspondiente al estrato de 50 – 0 m, y c) de larvas de anchoveta en el estrato 50-200m.

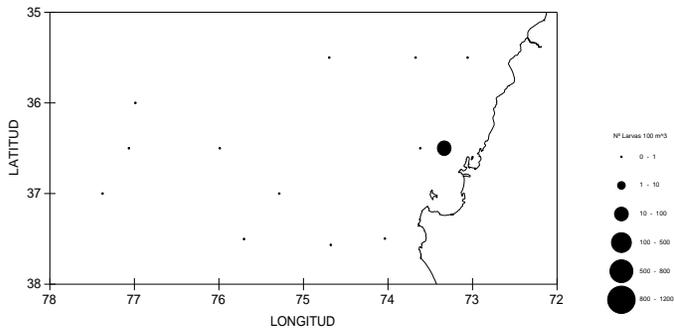
a) huevos sardina común (0-50m)



b) larvas sardina común (0-50m)



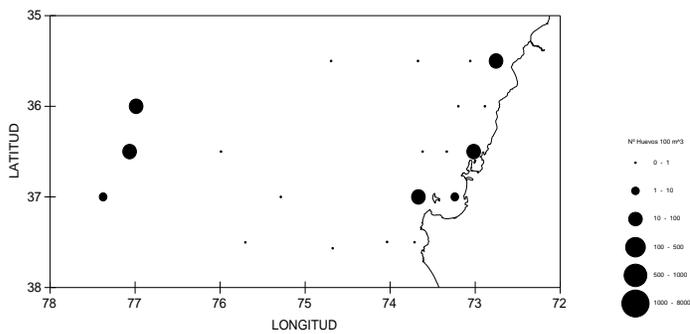
c) larvas sardina común (50-200m)



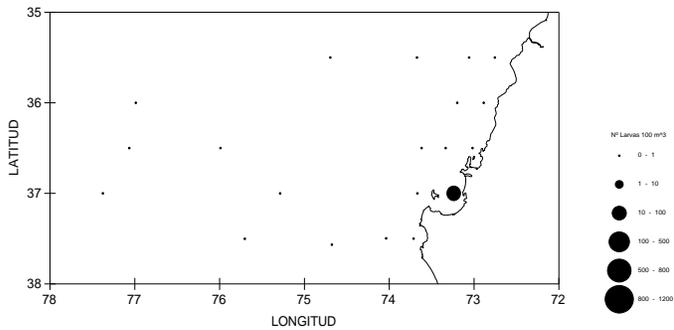
**Figura 3.2.19.** Distribución espacial de la abundancia de a) huevos y b) larvas de sardina común *Strangomera bentincki*, correspondiente al estrato de 50 – 0 m, y c) de larvas en el estrato 50-100m.

La distribución de huevos y larvas de merluza común se muestran en la Figura 3.2.20. Huevos de merluza común fueron observados en baja abundancia tanto sobre la plataforma continental así como alejados de ésta, en las estaciones más exteriores de la grilla de muestreo (0-50m) o en el sector más al norte e la grilla (50-200m). Larvas de esta especie, sin embargo, solo fueron encontradas en una estación el interior del golfo de Arauco. La distribución de huevos de esta especie es similar a al encontrada en el crucero de primavera del 2004 (huevos en las zonas costera y alejada de la costa) y diferente a la observada en el crucero del 2005 (muy escasa abundancia y sólo en una estación en la zona intermedia). La distribución de larvas, sin embargo, es similar a la de los dos años precedentes en que se observó larvas solo en la zona costera y en muy baja abundancia.

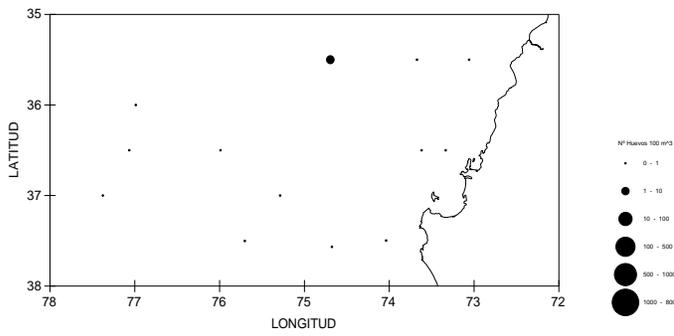
a) huevos merluza común (0-50m)



b) larvas merluza común (0-50m)



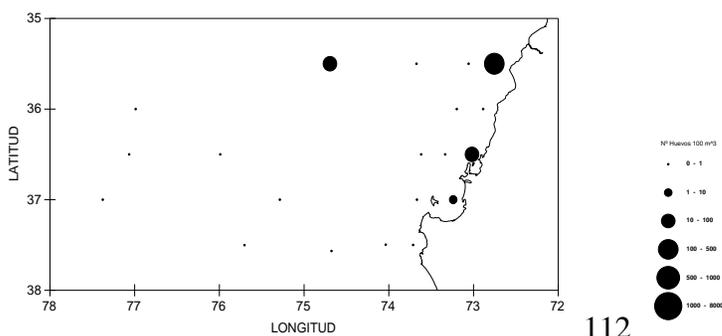
c) huevos merluza común (50-200m)



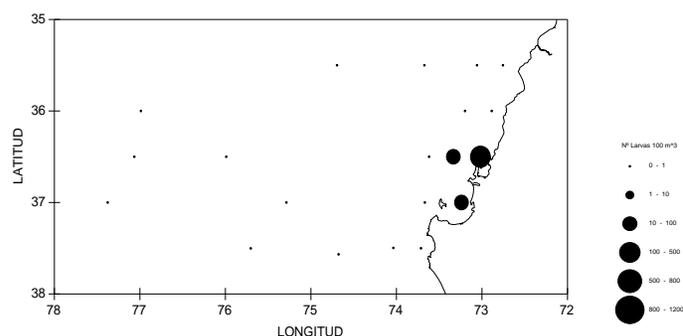
**Figura 3.2.20.** Distribución espacial de la abundancia de a) huevos y b) larvas de merluza común *Merluccius gayi*, correspondiente al estrato de 50 – 0 m, y de c) huevos y d) larvas en el estrato 50-200m.

Por ultimo, la distribución de huevos y larvas de mote se observa en la Figura 3.2.21. Con la excepción de una estación con huevos de mote en la zona norte de la grilla de muestreo (estrato 0-50m), la mayor parte de los huevos y larvas de mote fueron colectadas en la zona costera sobre la plataforma continental. Esta distribución contrasta con la observada para huevos y larvas de esta especie en los años 2004 y 2005 en que medianas abundancias de esta especie fueron observadas en la zona costera y zona alejada de la costa.

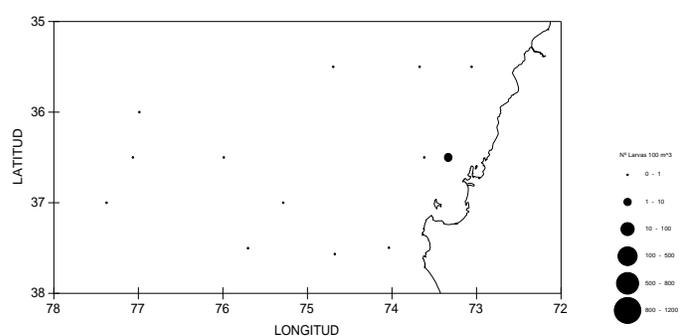
a) huevos mote (0-50m)



### b) larvas mote (0-50m)



### c) larvas mote (50-200m)



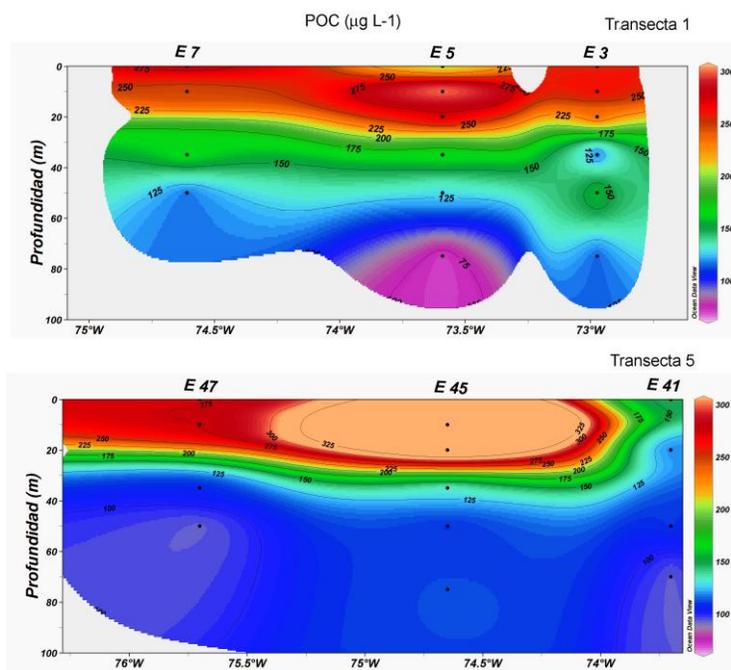
**Figura 3.2.21.** Distribución espacial de la abundancia de a) huevos y b) larvas de mote común *Normanichthys crockeri*, correspondiente al estrato de 50 – 0 m, y de c) larvas en el estrato 50-200m.

## 3.3. Procesos biogeoquímicos durante primavera de 2006.

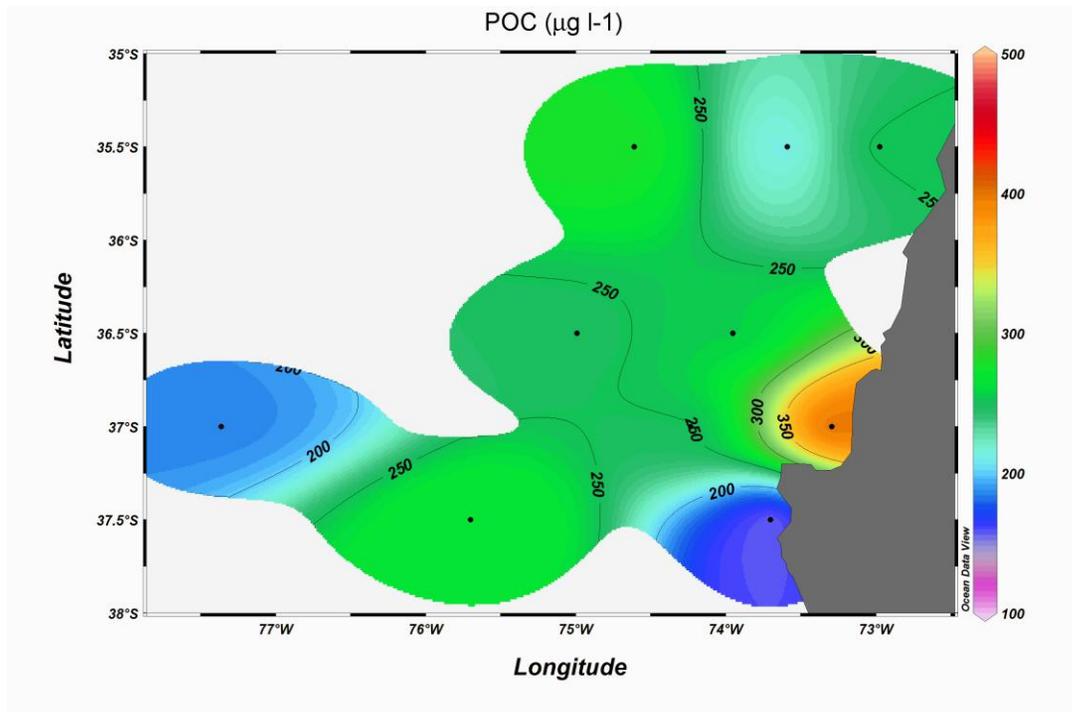
### 3.3.1. Abundancia y distribución de carbono orgánico particulado (COP) en la columna de agua, durante el crucero FIP 2006.

Los valores discretos de carbono orgánico particulado en la columna de agua evidencian una alta variabilidad espacial en la zona de estudio, la que se sigue con la tendencia general registrada en la biomasa fitoplanctónica (Figura 3.2.2.) y la clorofila a total (Figura 3.2.2). La mayor parte del material particulado se encuentra en los primeros 60 m de profundidad al norte y se encuentra restringido a los primeros 35 m en el sur (Figura 3.3.1), con máximas cercanas a los  $390 \mu\text{g L}^{-1}$  a 35 m en la estación 45. También se observa un marcado aumento en el material particulado en las estaciones 45, 7 y 31 (esta última próxima a la costa). La tendencia en la transecta 1 muestra concentraciones integradas relativamente uniformes mientras que las concentraciones superficiales muestran una mayor concentración hacia la estación 5. En la transecta 5, los perfiles verticales muestran una gran concentración de material particulado en la estación 45, así como disminución en los valores hacia aguas más profundas, lo que sugiere una producción biológica concentrada en los primeros metros.

Las concentraciones superficiales de POC siguen en su tendencia general la distribución de la biomasa fotoautótrofa. La gran variabilidad espacial hace difícil establecer una tendencia latitudinal clara, aunque sí se reconoce una mayor concentración hacia las estaciones costeras al norte de Punta Lavapié. Por el contrario, la estación 41 presenta valores superficiales bajos, probablemente como resultado de una floración temprana en esa zona según lo evidencian las concentraciones de nitrato relativamente bajas en comparación con las transectas 4 y 3 (sección 3.1.2).



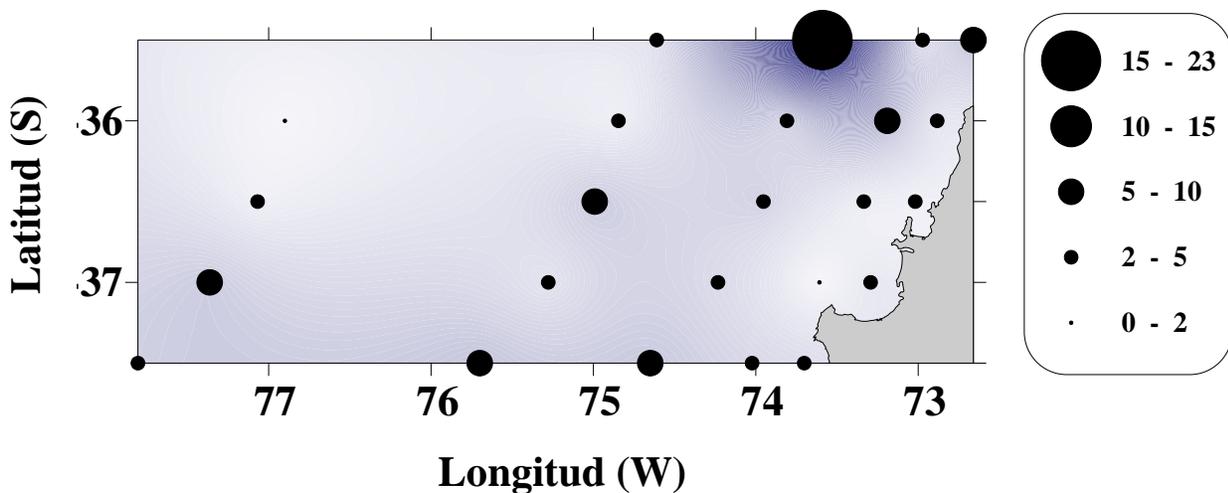
**Figura 3.3.1.** Carbono orgánico particulado obtenido en perfiles verticales durante el crucero FIP 2006.



**Figura 3.3.2.** Concentraciones superficiales (0m) de POC en la columna de agua.

### 3.3.2. Distribución del carbono orgánico particulado (COP) integrado de la columna de agua

El COP integrado ( $\text{gC m}^{-2}$ ) en los primeros 20 m de la columna de agua de las estaciones de la grilla, fue relativamente uniforme presentando un promedio de  $4.8 \text{ gC m}^{-2}$ . La mayor y menor concentración de COP integrado se observó en las estaciones E5 y E33 con 22 y  $1.8 \text{ g C m}^{-2}$ , respectivamente. El promedio del COP en los dos estratos analizados, 0 y 20 m de profundidad, fue de 200 y  $276 \mu\text{g C L}^{-1}$  (Figura 3.3.3)

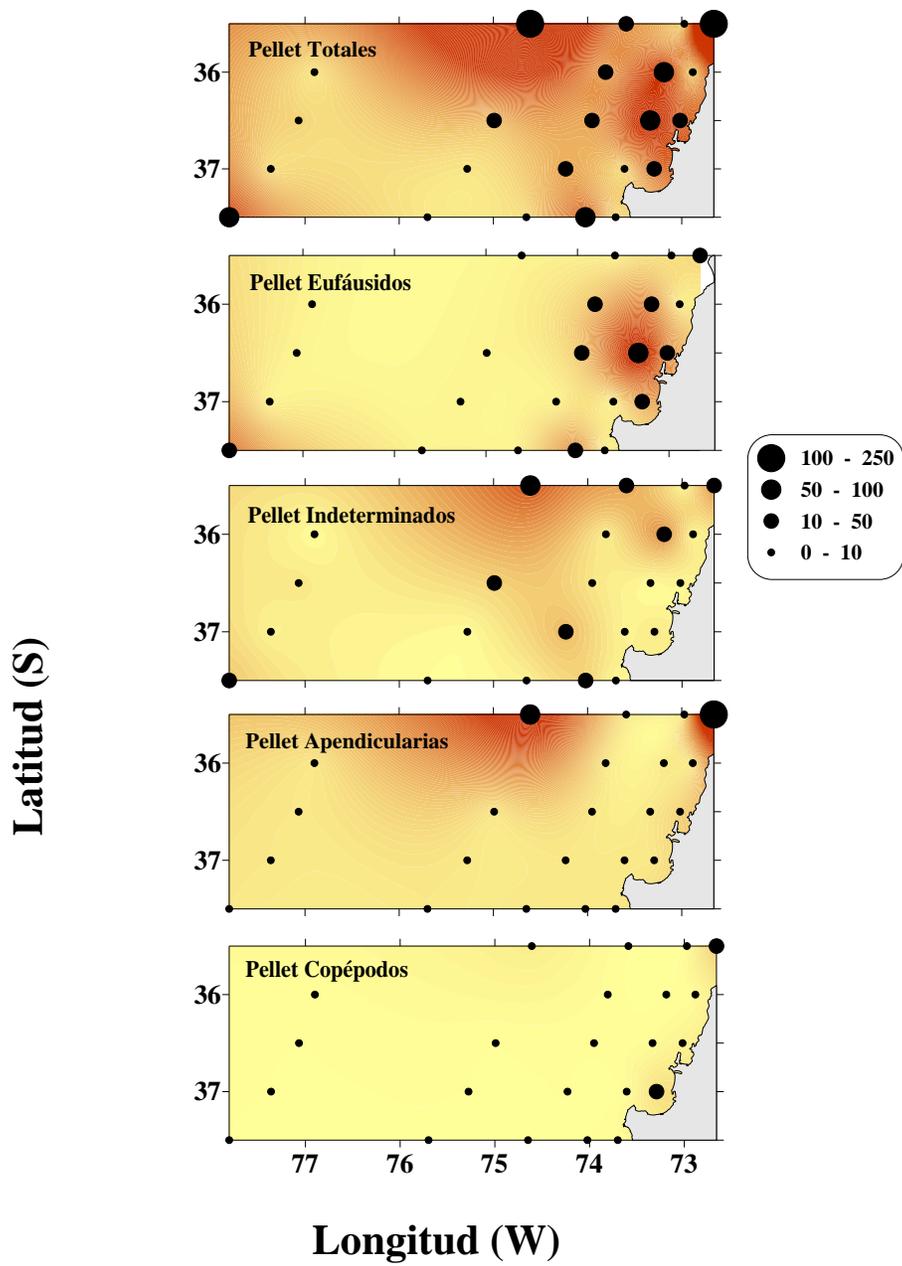


**Figura 3.3.3.** Distribución espacial de carbono orgánico particulado (COP)  $\text{grC m}^{-2}$  integrado a 20 m de profundidad.

### 3.3.3. Biomasa y distribución de carbono pellet fecales de zooplancton

El carbono fecal de zooplancton presentó una alta variabilidad espacial (horizontal y vertical) en la columna de agua, concentrándose principalmente en las estaciones del borde costero y en dos estaciones oceánicas frente a la costa de Concepción (Figura 3.2.26). La biomasa promedio integrada ( $\text{mgC m}^{-2}$ ) de pellet fecales de zooplancton en todas las estaciones analizadas fue de  $36.8 \text{ mgC m}^{-2}$ , con un rango que osciló entre 0 y  $217 \text{ mgC m}^{-2}$ . Los principales componentes de los pellet fecales de zooplancton fueron los producidos por los grupos de eufáusidos, apendicularias, copépodos y un ítem denominado “pellet indeterminados” que corresponde a los pellet fecales que no pudieron ser clasificados dentro de los grupos anteriormente mencionados por encontrarse en avanzado estado de desintegración, estos representaron el 37, 27, 5 y 31% del total, respectivamente.

Las máximas biomasa fecales totales integradas de zooplancton se ubicaron en las estaciones de la transecta más al norte de la grilla (E1 y E7) con valores de 217 y  $161 \text{ mgC m}^{-2}$ , respectivamente. Por el contrario, las menores biomasa fecales se encontraron en las estaciones E47 y E16 con 0 y  $0.16 \text{ mgC m}^{-2}$  (Figura 3.3.4). El carbono fecal presentó las mayores concentraciones promedio en superficie y 20 m de profundidad con  $0.8$  y  $0.7 \text{ } \mu\text{gC L}^{-1}$ . En contraste, los estratos 50 y 200 m mostraron biomasa fecales promedio de  $0.4$  y  $0.1 \text{ } \mu\text{gC L}^{-1}$ .



**Figura 3.3.4.** Biomasa integrada ( $\text{mgC m}^{-2}$ ) de pellet fecales de zooplancton de la columna de agua y la contribución de los principales grupos del zooplancton.

### **3.4. Variabilidad temporal de las condiciones bio-oceanográficas.**

La variabilidad temporal en los parámetros físico-químicos, biológicos y los procesos biogeoquímicos que ocurren tanto en el sistema costero como en el oceánico se ve reflejada por medio de estudios de series de tiempo. En este estudio, centrado en la variabilidad de escala intra-estacional a interanual de la zona costera, se muestreó una estación ubicada a 18 mn sobre la plataforma continental en la terraza del Itata (Estación ST18, 36°30,8' S - 73°07.7' W). Esta estación posee una profundidad aproximada de 90 m y está afectada a impactos locales directos de los procesos que ocurren en la plataforma interna, incluyendo las bahías adyacentes. La terraza del Itata en general representa el área de mayores y más extensas concentraciones de alimento (como clorofila-a) para grupos planctónicos y sus subsiguientes eslabones tróficos, en comparación con áreas adyacentes. Esta estación fue muestreada a una frecuencia mensual, con un total de 12 muestreos durante el periodo de este proyecto (Agosto 2006 - Julio 2007); además, esta estación ha sido monitoreada desde mediados del 2002 por el Centro FONDAP-COPAS.

Adicionalmente, se monitoreó una estación localizada a 40 mn de la costa sobre el talud continental (Estación ST40). Las coordenadas de esta estación son 36°20' S - 73°44' W y posee una profundidad de 1000 m. Este punto representa la variabilidad de las condiciones en la zona de transición costera-oceánica, donde es aún posible detectar altas concentraciones de plancton (como clorofila-a). Esta estación es monitoreada a escala estacional (cada 3 meses) pero en el periodo de este estudio esto sólo ha sido posible dos veces (agosto 2006 y octubre 2006) debido a inconvenientes meteorológicos. La base de datos de las variables físico químicas y biológicas son presentadas en los Anexos IV y V, respectivamente

#### **3.4.1 Variabilidad temporal en las condiciones meteorológicas.**

*a) Cambios estacionales: Período Julio 2006 a junio 2007.*

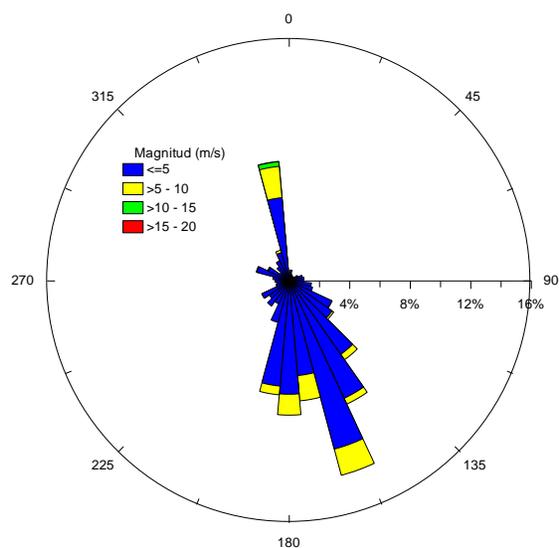
Durante el período de mediciones (del 01/07/2006 al 30/06/2007) se han registrado 1.662 calmas de un total de 8.753 observaciones, que equivale al 18,97 % del total, los vientos predominantes registrados hasta el mes de junio de 2007 fueron principalmente S-SE (53,20 % de las observaciones), con un predominio de magnitudes menores o iguales a 5 m/s (Tabla 3.4.1 y Figuras 3.4.1 y 3.4.2) en un rango que alcanza hasta 15,65 m/s, registrado el 10 de agosto de 2006 a las 12:00 h. La componente norte observada muestra valores favorables a la surgencia que son importantes principalmente durante periodo primavera verano, registrándose valores entre 9,39 (12-01-2007) y -15,40 (10-08-06).

La temperatura del aire (Figura 3.4-2) fluctuó entre 27,85 °C (18-03-07) y 1,24 °C (27-06-07) en un ciclo que registra máximos valores en periodo primavera-verano. Por otro lado, la presión atmosférica presenta un ciclo inverso a la temperatura del aire, fluctuando entre 1020,07 mBar (01-06-07) y 990,75 mBar (11-07-2006). La radiación fotosintética PAR acumulada diariamente registra sus valores más elevados durante el periodo

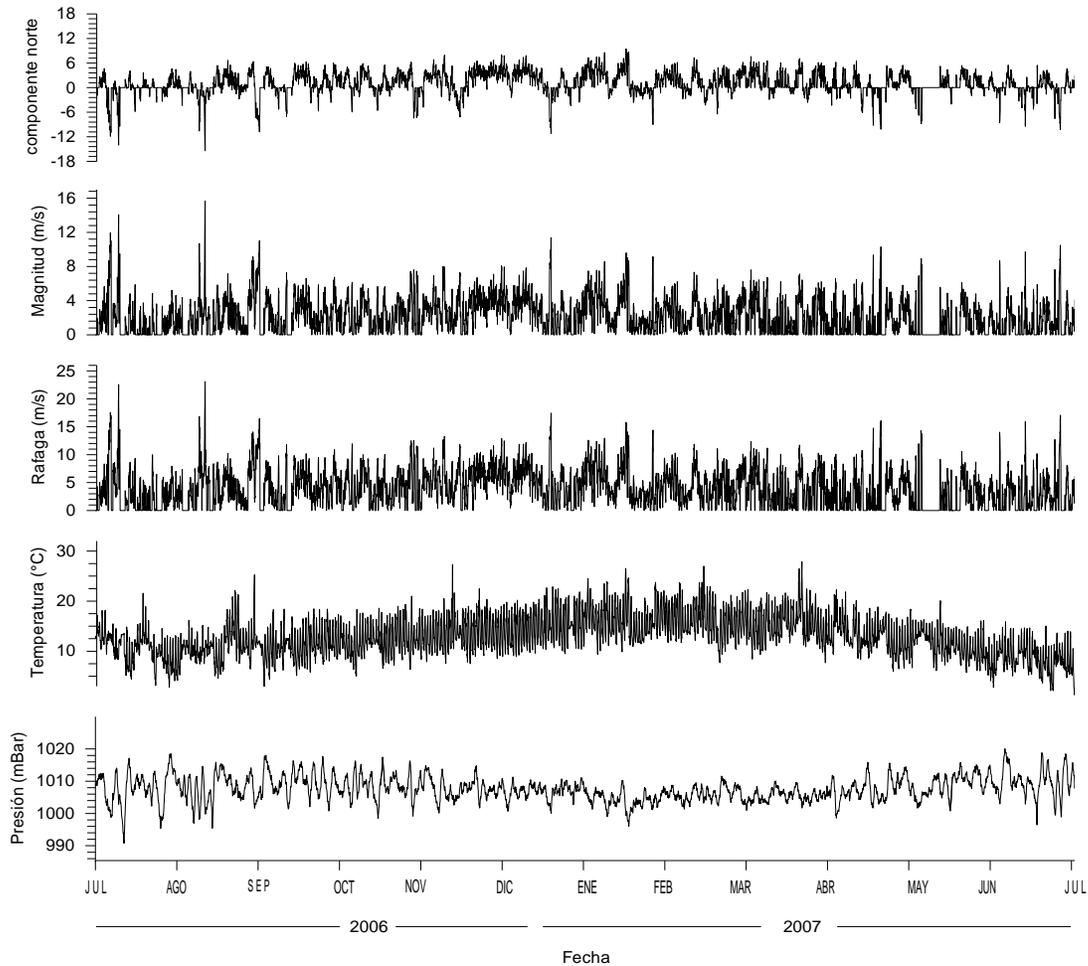
primavera-verano, alcanzando 113.299,7  $\mu\text{E}$  (25-12-06) y mínimos valores de 1.844,7  $\mu\text{E}$  (11-07-06). Estos valores se encuentran en el rango de los valores observados en años anteriores (Figura 3.4.3).

**Tabla 3.4.1.** Estadística básica de los vientos registrados durante el período 01 de julio de 2006 al 30 de junio de 2007.

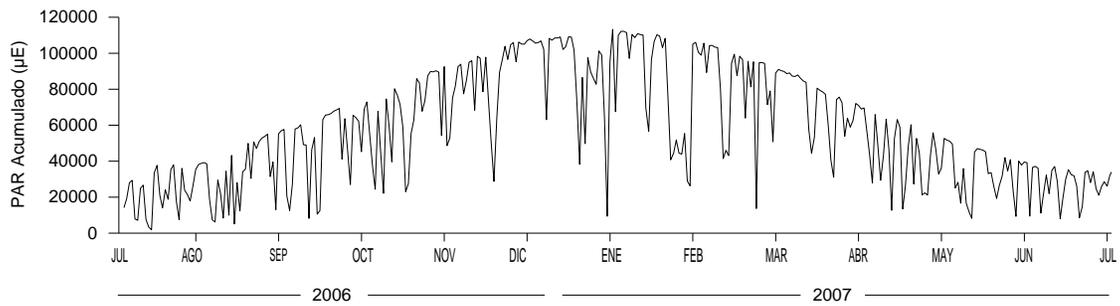
Rango de magnitud (m/s)	Dirección								Total
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
>0 a $\leq$ 5	419	111	319	1719	2376	556	361	432	6293
>5 a $\leq$ 10	196			116	448	3		10	773
>10 a $\leq$ 15	27								27
>15 a $\leq$ 20	2								2
<b>Total</b>	<b>644</b>	<b>111</b>	<b>319</b>	<b>1835</b>	<b>2824</b>	<b>559</b>	<b>361</b>	<b>442</b>	<b>7095</b>
Número de Calmas del período:				1662				total : 8757	



**Figura 3.4.1** Rosa de los vientos del período Agosto 2006 a junio de 2007.



**Figura 3.4.2.** Datos meteorológicos entre el 01 de julio de 2006 y el 30 de junio de 2007, registrados en el sector de Coliumo.



**Figura 3.4.3.** PAR acumulado diariamente entre el 01 de julio de 2006 y el 30 de junio de 2007, registrados en el sector de Coliumo.

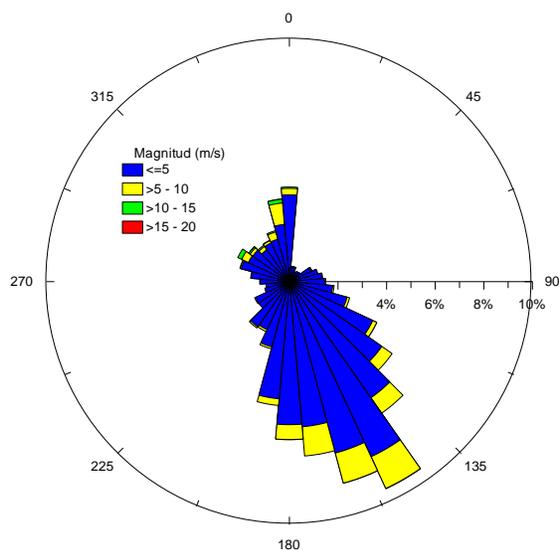
*b) Comparación interanual: Período agosto 2004 a junio 2007*

La estación meteorológica se activó el 16 de agosto de 2004, registrando datos cada 10 minutos. Durante el período de mediciones (del 16/08/2004 al 30/06/2007) se han registrado 44.167 calmas de un total de 140.085 observaciones, que equivale al 31,52 % del total, los vientos predominantes registrados hasta el mes de junio de 2007 fueron principalmente S-SW (39,89 % de las observaciones), con un predominio de magnitudes menores o iguales a 5 m/s (Tabla 3.4.2 y Figuras 3.4.4 y 3.4.5), alcanzando máximas de 15,71 m/s para el día 23 de mayo de 2005 a las 02:00 h. La temperatura del aire registrada sigue un ciclo inverso a la presión atmosférica, registrando máximos de temperatura en periodo diciembre-febrero (primavera-verano). Sin embargo, la temperatura más alta registrada para este periodo fue de 29,32°C el 12-09-04 a las 14:00 h, mientras que la mínima de 1,24°C se registró el 27-06-07 a las 05:00 h. La componente norte observada muestra valores máximos favorables a la surgencia, principalmente durante periodo primavera-verano, siendo los máximos valores registrados de 11,19 el día 12 de septiembre de 2005, mientras los mínimos registros de la componente norte (-15,40 el día 10-08-06) se registran en periodos de invierno (Figura 3.4.5).

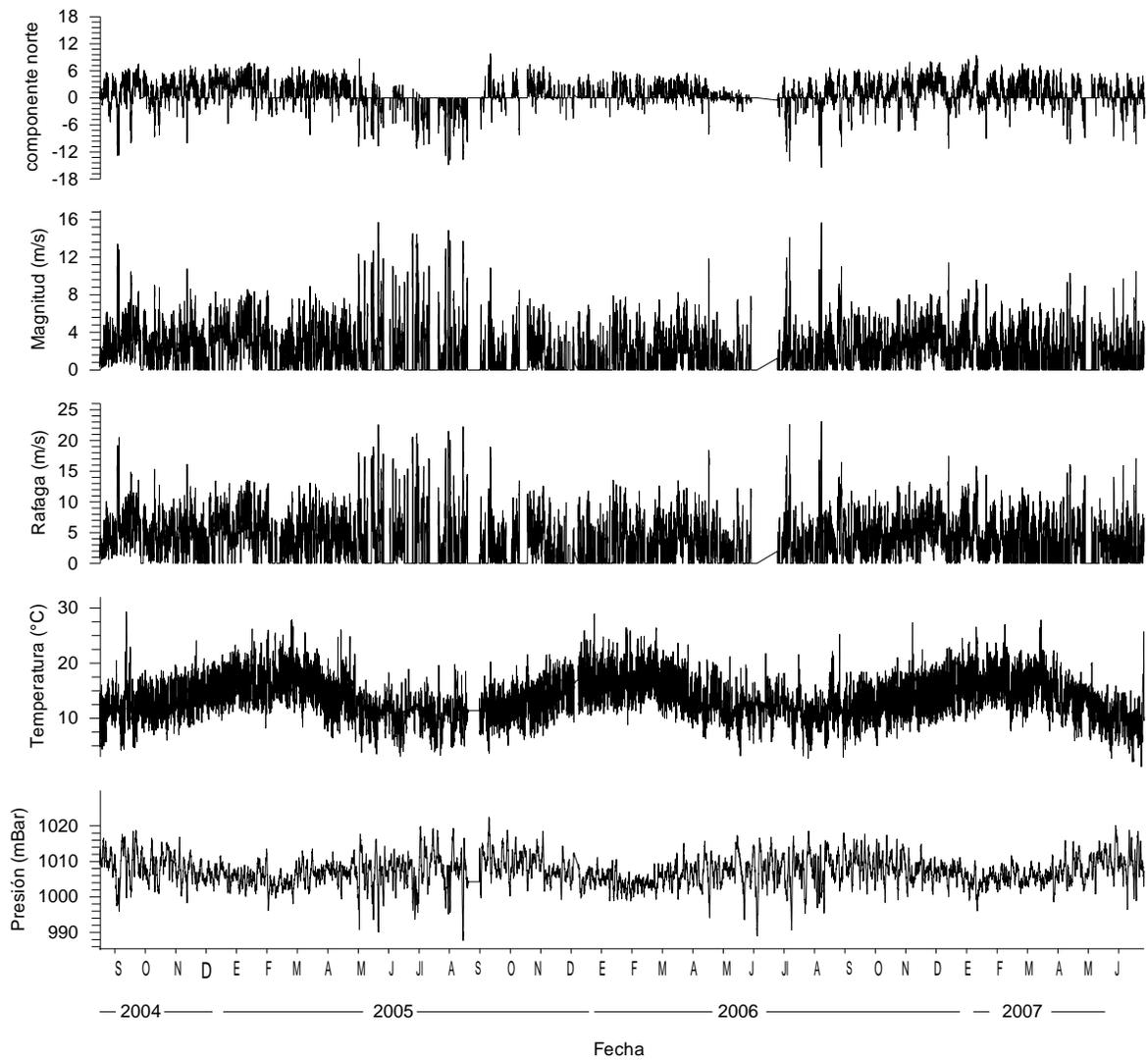
En términos generales se puede hablar de un ciclo anual normal de condiciones, lo que se refleja en las fluctuaciones estacionales del viento, presión y temperatura del aire. Los valores acumulados diarios de la radiación fotosintética activa (PAR) muestran un ciclo anual con máximos en el periodo diciembre-febrero y mínimos registrados durante junio-julio (Figura 3.4-6).

**Tabla 3.4.2.** Estadística básica de los vientos registrados durante el período agosto 2004 al junio de 2007.

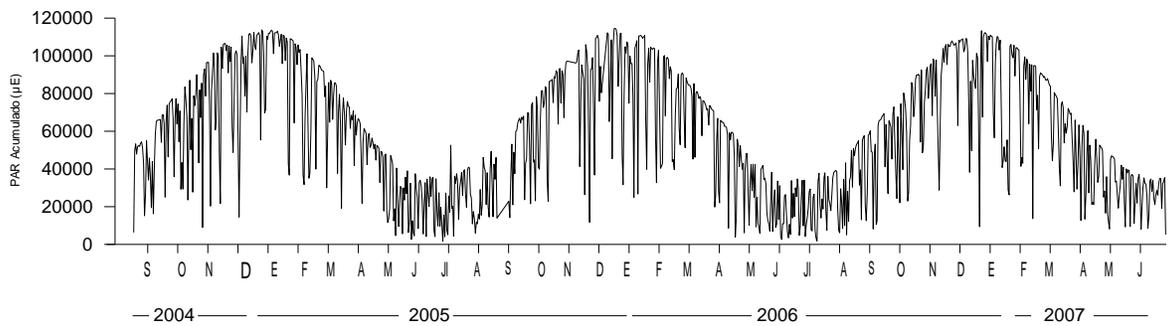
Rango de magnitud (m/s)	Dirección								Total
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
>0 a ≤5	9924	2104	5699	21238	24493	6290	2326	7180	79254
>5 a ≤10	2294	35	183	4611	5517	285	1605	1067	15597
>10 a ≤15	456			22	9		47	495	1029
>15 a ≤20	10						15	13	38
<b>Total</b>	<b>12684</b>	<b>2139</b>	<b>5882</b>	<b>25871</b>	<b>30019</b>	<b>6575</b>	<b>3993</b>	<b>8755</b>	<b>95918</b>
Número de Calmas del período: 44167					total : 140085				



**Figura 3.4.4.** Rosa de los vientos del período agosto 2004 al 30 de junio de 2007.



**Figura 3.4.5.** Datos meteorológicos entre septiembre de 2004 y el 30 de junio de 2007, registrados en el sector de Coliumo.



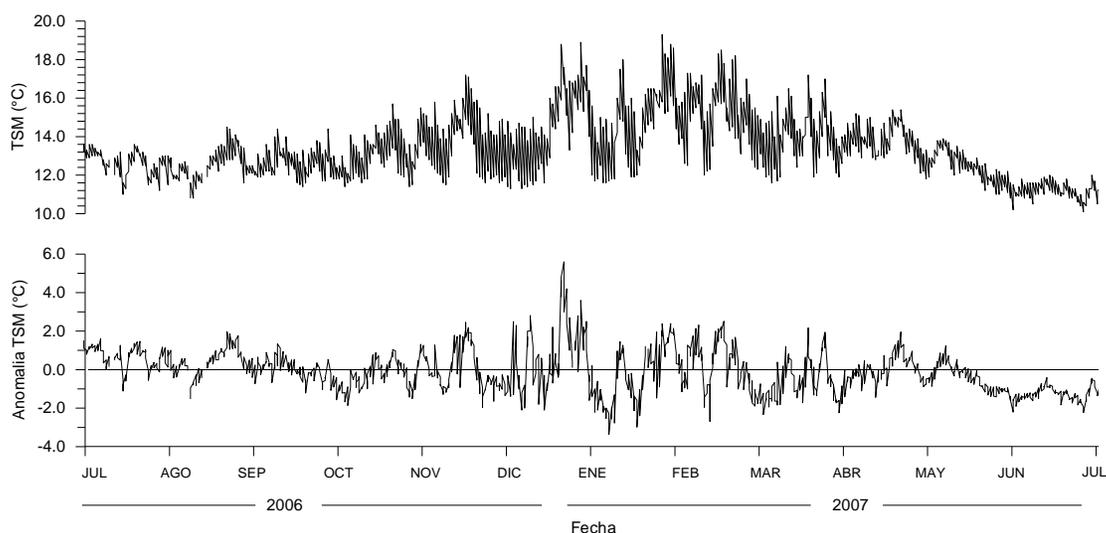
**Figura 3.4.6.** PAR acumulado diariamente del 17 de agosto 2004 al 30 de junio de 2007.

### 3.4.2. Variabilidad temporal en las condiciones físico-químicas: Estación ST18

a) Cambios estacionales: Periodo agosto 2006- junio 2007

#### *Temperatura Superficial del Mar (TSM)*

El registro de TSM en la Estación de Biología Marina en Dichato (Bahía de Coliumo) durante el período de observación muestra una fluctuación de la temperatura entre el día y la noche, siendo la máxima fluctuación registrada de 5,2°C el día 07 de febrero de 2007 (Figura 3.4.7). Los registros de la TSM muestran mínimos valores de 10,1 °C (22-06-07 09:00 h) en periodo invierno y máximos de 19,3°C (23-01-07 17:00 h) durante época primavera verano. La anomalía es calculada en base a la señal histórica (20 años de observación), como se indicó en el primer boletín del Proyecto FIP 2004-20 (julio de 2004), refleja dentro de este periodo las fluctuaciones de la TSM, registrando sus más altos valores de 5,60 °C el día 19 de diciembre de 2006 y los más bajos de -3,36 °C (el día 04 de enero de 2007).



**Figura 3.4.7.** Temperatura superficial del mar y su anomalía de julio de 2006 al 30 de junio de 2007. Serie registrada en la Estación de Biología Marina de la Universidad de Concepción, Dichato, Bahía de Coliumo.

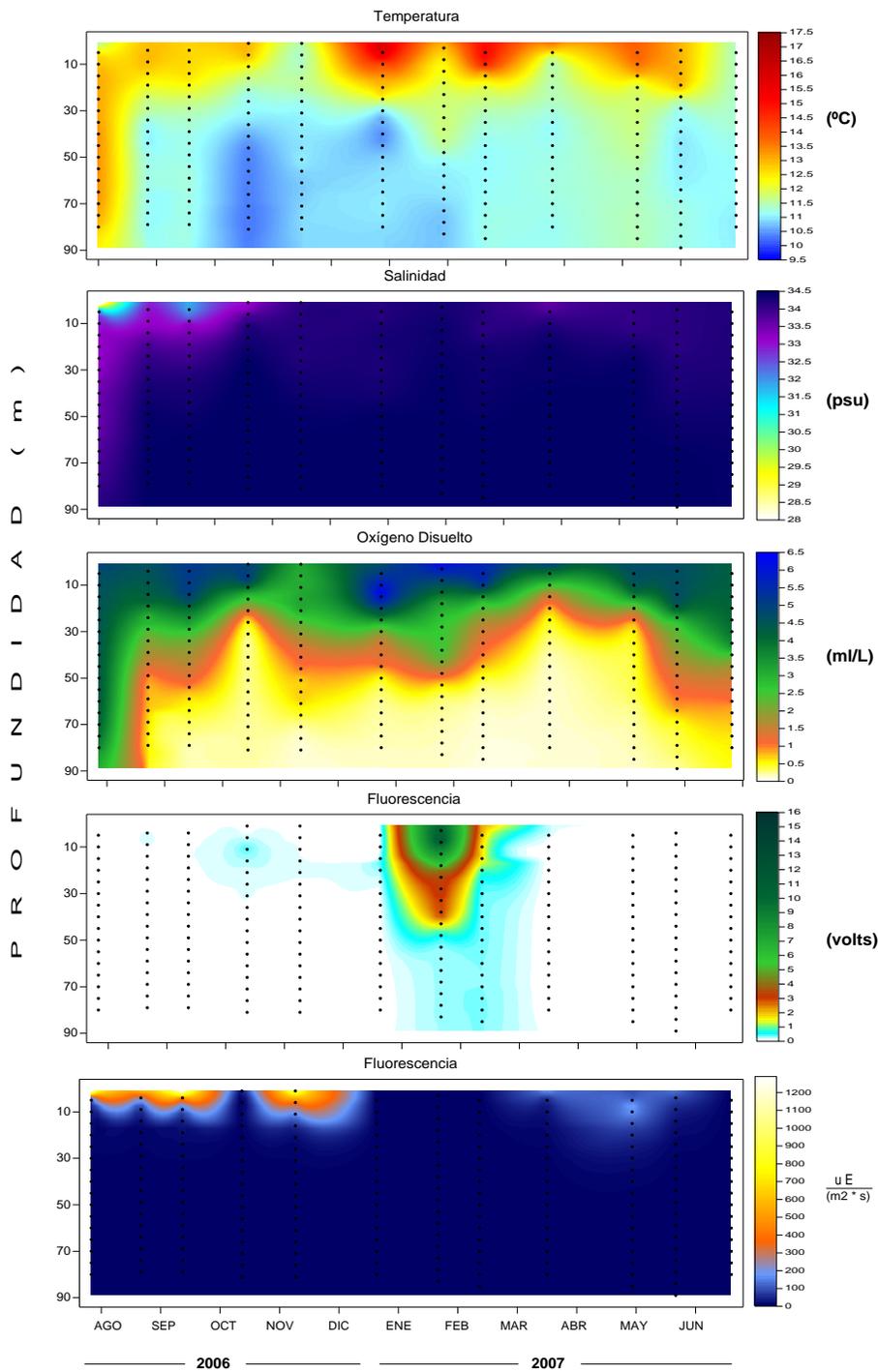
### *Observaciones in situ y mediciones de variables discretas en la Estación ST18*

Las variables oceanográficas para este periodo (Fig. 3.4.8) muestran temperaturas mayores durante diciembre-febrero, siendo los máximos valores (16,0°C) registrados en diciembre de 2006 y los más bajos se observan en periodo invierno 10,27 °C. La salinidad muestra en superficie valores bajos relacionados a periodos de lluvias en invierno, siendo relativamente estable en el resto de las observaciones. El oxígeno disuelto a través del tiempo (agosto 2006-julio 2007) muestra una gran variabilidad en toda la sección vertical de la columna de agua. Partiendo de agosto de 2006, mes representativo de condiciones invernales, se encontró una columna de agua bien oxigenada probablemente debido a la mayor ocurrencia de eventos con viento norte (tormentas) que provocan una fuerte mezcla vertical. Durante septiembre de 2006 se observó la presencia de aguas pobres en oxígeno, provocando el ascenso de la oxiclina de 2 mL L<sup>-1</sup> a 50 m de profundidad y menores concentraciones hacia las aguas de fondo. Esta situación se mantuvo hasta enero del 2007, siendo un poco diferente a la observada años anteriores donde el ascenso de aguas pobres en oxígeno se puede observar hasta los 20 m. Luego, desde febrero hasta mayo del 2007 se observó una nueva intensificación y un periodo de mayor permanencia de agua pobres en oxígeno sobre la plataforma, llegando a niveles hipóxicos desde los 30 m de profundidad y aguas subóxicas cercanas al fondo. La fluorescencia (sensor CTD), como indicador de biomasa fitoplanctónica, registró un máximo de 11,50 volts durante enero de 2007. La distribución de PAR en la columna de agua también se muestra en esta figura.

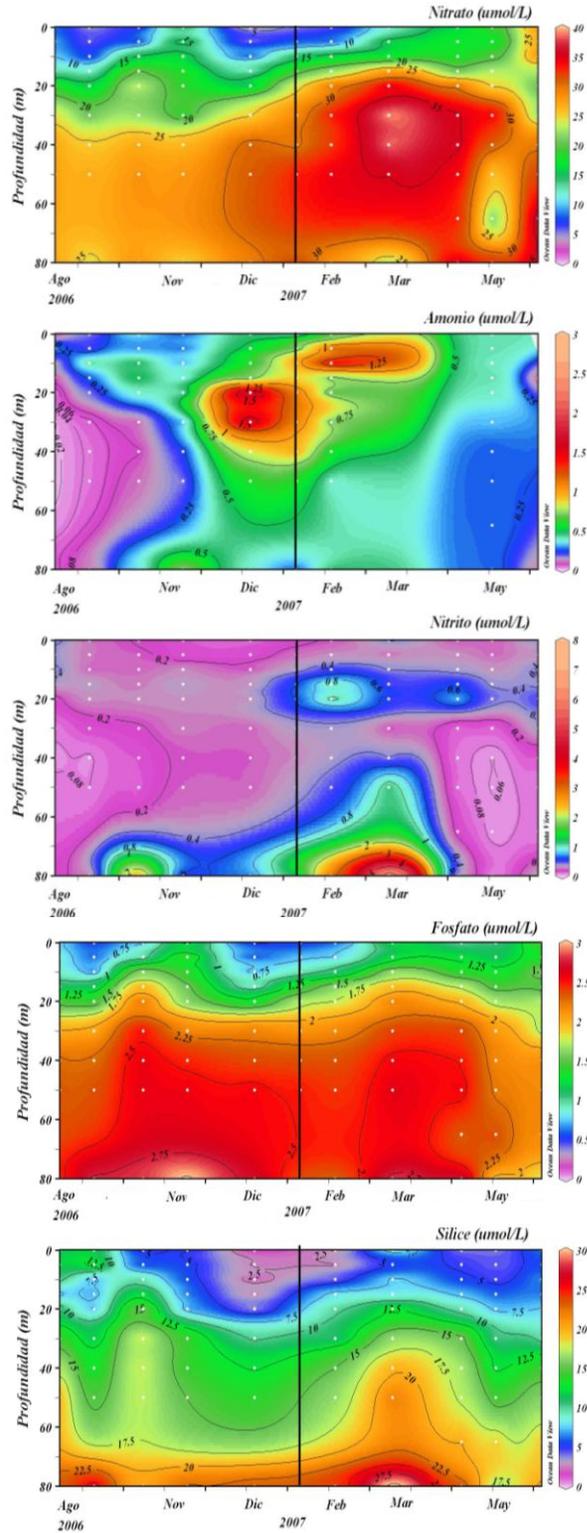
Respecto a la distribución de nutrientes, los rangos de variación y estadística básica respecto a nitrato, nitrito amonio, fosfato y silicato durante el período agosto 2006 - julio 2007 se muestran en la Tabla 3.4.3. La variabilidad temporal de éstos es ilustrada en la Figura 3.4.9. Las concentraciones de nitrato mostraron bajos niveles (cerca de 5 µmol L<sup>-1</sup>) en la capa superficial (10 m); por debajo de esta profundidad se observa un incremento hacia las aguas de fondo (80 m), llegando a niveles cercanos a 25 µmol L<sup>-1</sup>. En estos datos se detecta una tendencia estacional; el período de a) no-surgencia (otoño-invierno) con bajos niveles de nitrato pero no inferior a 15 µmol L<sup>-1</sup> y b) surgencia (primavera-verano) con altos niveles de nitrato (hasta 35 µmol L<sup>-1</sup>). Las concentraciones de amonio y nitrito, los otros dos nutrientes nitrogenados, fueron bajas durante todo el período, a excepción del mes de abril de 2007 cuando alcanzaron hasta 4 µmol L<sup>-1</sup> en aguas cercanas a los sedimentos. Las concentraciones de fosfato y silicato mostraron la misma tendencia estacional que el nitrato, con variaciones entre 0-3 µmol L<sup>-1</sup> y 0-22,5 µmol L<sup>-1</sup>, respectivamente.

**Tabla 3.4.3.** Estadísticas básica de la distribución de oxígeno disuelto ( $\text{mL L}^{-1}$ ) y nutrientes ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) medidos durante la serie de tiempo estación ST18 (agosto 2006-julio 2007)

<b>Estadística Básica</b>	<b>Oxígeno</b>	<b>Nitrato</b>	<b>Nitrito</b>	<b>Amonio</b>	<b>Fosfato</b>	<b>Sílice</b>
Media	3.3	22.26	0.42	0.46	1.76	<b>11.6</b>
Error típico	0.23	1.05	0.09	0.075	0.074	<b>0.74</b>
Mediana	3.20	22.27	0.23	0.24	1.88	<b>10.88</b>
Moda	5.92	-	0.11	0.01	1.5	-
Desviación estándar	2.42	10.61	0.92	0.59	0.75	<b>7.14</b>
Varianza	5.88	112.60	0.84	0.36	0.56	<b>51.03</b>
Rango	7.58	43.07	7.96	2.86	2.87	<b>32.52</b>
Mínimo	0.008	0.067	0.019	0.01	0.255	<b>0.361</b>
Máximo	7.58	43.13	7.97	2.87	3.13	<b>32.88</b>
Nivel de Conf (95.0%)	0.454	2.08	0.18	0.15	0.15	<b>1.471</b>



**Figura 3.4.8.** Distribución temporal de los perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, Fluorescencia y PAR en la estación ST18: julio 2006 a junio de 2007.

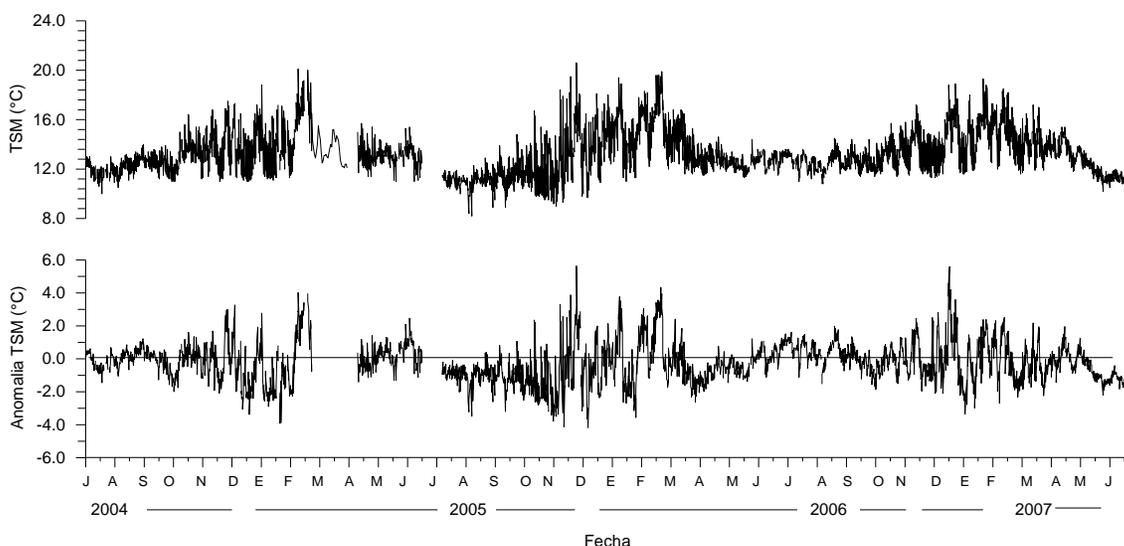


**Figura. 3.4.9.** Distribución temporal de nutrientes ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) en la estación ST18. Período anual: agosto 2006 - junio 2007. Panel superior: nitrato; panel intermedio: nitrito, amonio; panel inferior: silicato.

## b) Comparación interanual

### *Temperatura Superficial del Mar*

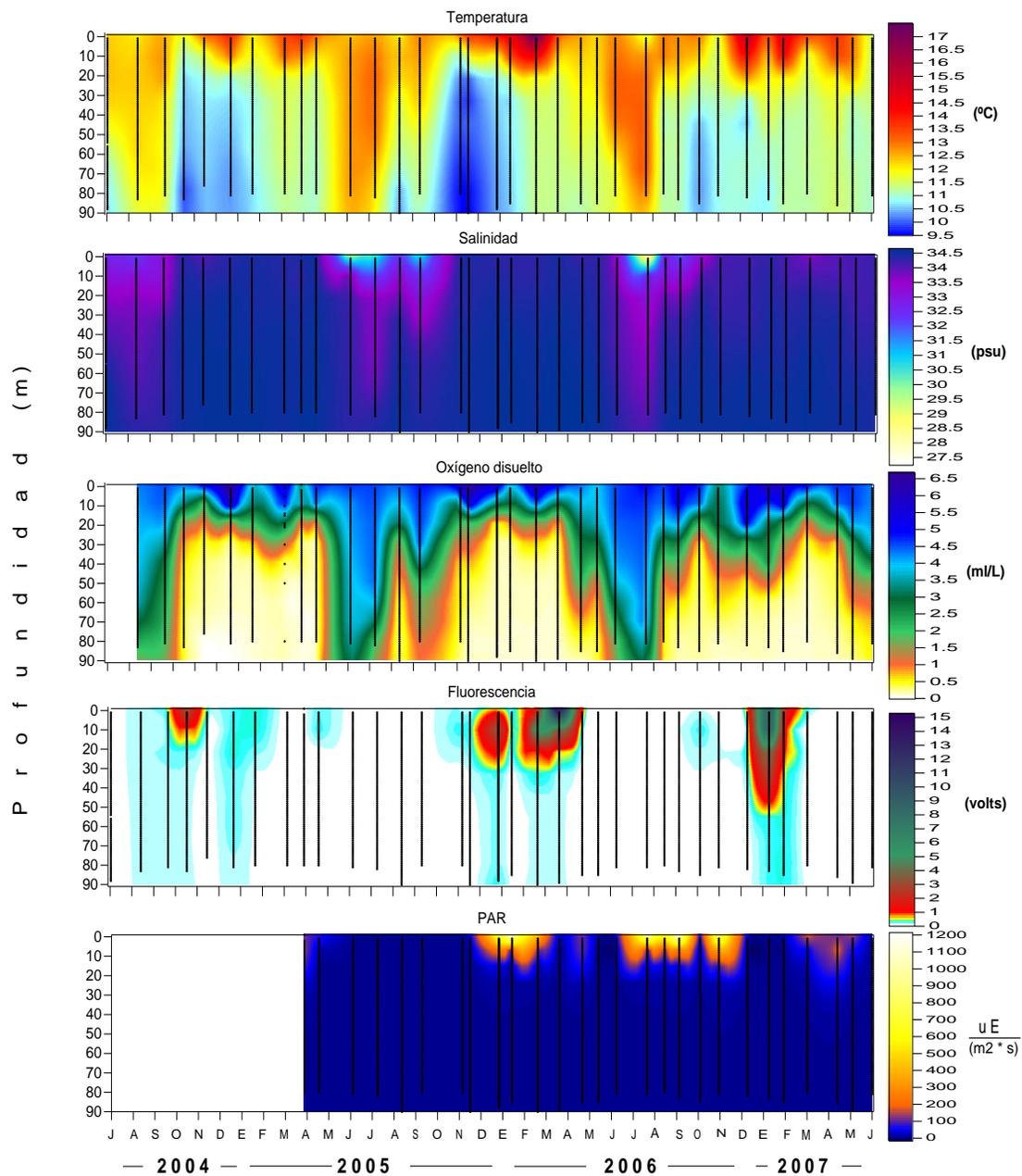
En la Estación de Biología Marina en Dichato, la TSM muestra las más altas variaciones entre dos observaciones consecutivas en noviembre de 2005 (8,4 °C), que representan las fluctuaciones entre el día y la noche. La menor temperatura del período se registró el 08 de agosto de 2005 a las 9:00 h (8,2 °C) y la máxima se observó el día 25 de noviembre de 2005 a las 17:00 h (20,6°C). Se aprecia un ciclo anual normal de condiciones con temperaturas máximas registradas durante enero-febrero y mínimas que se aprecian entre mayo-julio (Figura 3.4.10).



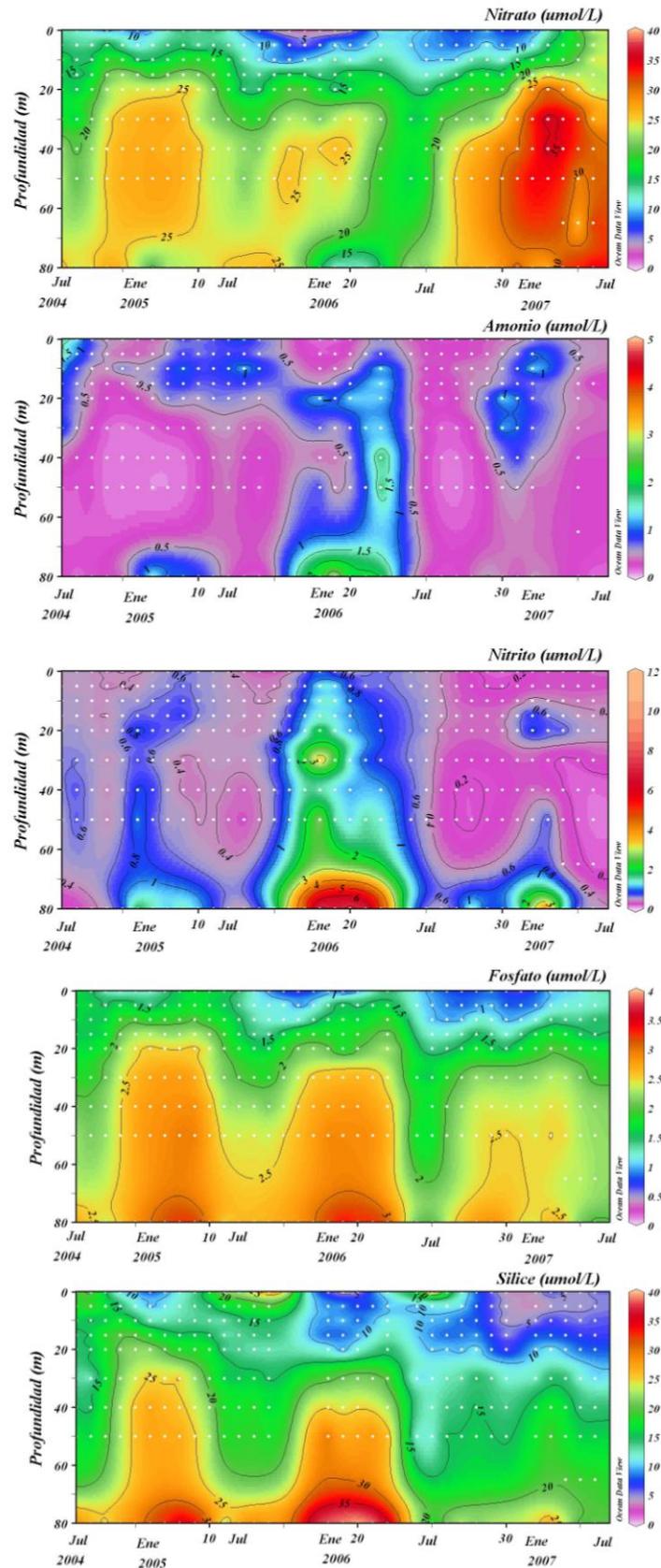
**Figura 3.4.10.** Temperatura superficial del mar y su anomalía de julio de 2004 al 30 de junio de 2007. Serie registrada en la Estación de Biología Marina de la Universidad de Concepción, Dichato, Bahía de Coliumo.

### *Observaciones in situ y mediciones de variables discretas en la Estación ST18*

Las variables oceanográficas en conjunto muestran una fuerte estacionalidad que se manifiesta en un período estival estratificado, con mayor salinidad y una capa de mínimo oxígeno somera, en contraste a un invierno con una columna de agua mezclada, mayor oxigenación sub-superficial y aguas de muy baja salinidad. Este patrón obedece esencialmente a la variabilidad de la surgencia costera en su ciclo anual. La variación interanual de las variables in situ temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fluorescencia y PAR se observan en la Figura 3.4.11. Respecto a los nutrientes, a diferencia de años anteriores se observa una mayor concentración de nitratos en aguas sub-superficiales en el último periodo, llegando a valores tan altos como  $40 \mu\text{mol L}^{-1}$ , siendo el promedio ponderado mayor que en años anteriores, mientras que el nitrito y amonio y silicatos tienen en promedio menores concentraciones que en periodos anteriores comparables (primavera- verano del 2005 y 2006; Figura<sup>129</sup> 3.4.12).



**Figura 3.4.11.** Distribución temporal de los perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, Fluorescencia y PAR en la estación ST18: julio 2004 a junio de 2007.



**Figura 3.4.12.** Distribución temporal de nutrientes  $\mu\text{mol L}^{-1}$  en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Período interanual I: julio 2004 - junio 2007. Panel superior: nitrato; panel intermedio: 131nitrito, amonio; panel inferior: silicato.

### 3.4.3. Variabilidad temporal en el componente planctónico: Estación ST18

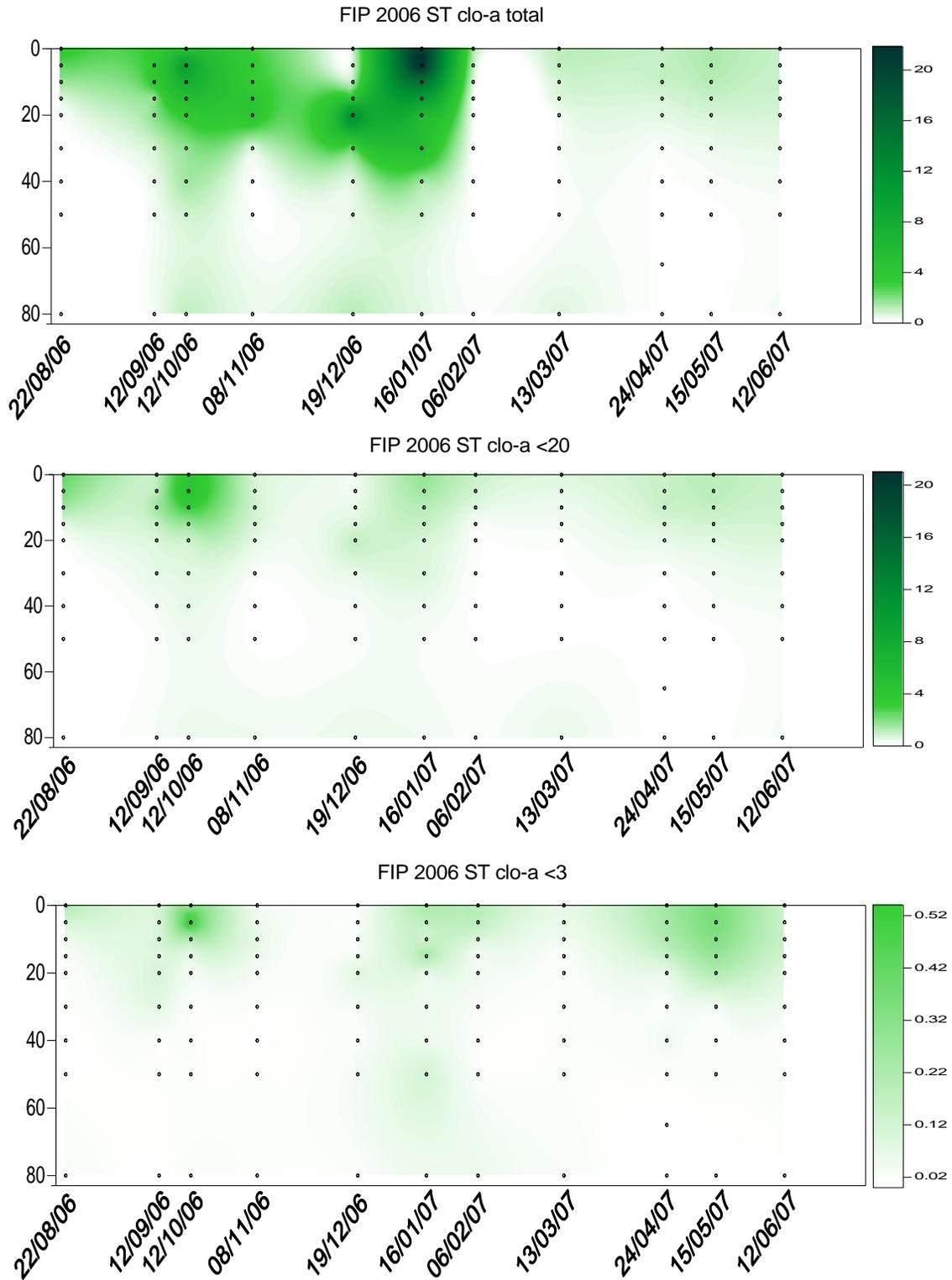
#### Biomasa del fitoplanctónica

a) Cambios estacionales: Periodo agosto 2006- junio 2007

La distribución mensual de la biomasa del fitoplancton (clorofila-a total y fraccionada), así como la composición, distribución, y la abundancia de los componentes planctónicos autótrofos y heterótrofos en distintas clases de tamaño fue evaluada en los muestreos realizados en la Estación ST18, correspondiente a la serie de tiempo COPAS frente a Concepción, durante el período Agosto 2006 a Junio 2007, más dos muestreos en la Estación ST40. Entre los componentes del plancton se incluye las siguientes fracciones de tamaño: picoplancton, nanoplancton, microplancton, mesozooplancton y macrozooplacton, y como grupo especial de interés, el ictioplancton.

La biomasa fitoplanctónica, representada por la clorofila-a total ( $\text{mg m}^{-3}$ ) mostró fluctuaciones durante el período de estudio en la Estación ST18 (Figura 3.4.13, panel superior). Las mayores concentraciones ( $>1 \text{ mg m}^{-3}$ ) se ubicaron en la capa más superficial ( $<40 \text{ m}$ ) durante todo el periodo de estudio. En esta capa, altas concentraciones de clorofila-a total ( $>5 \text{ mg m}^{-3}$ ) ocurrieron durante periodos de primavera-verano, con máximos valores (*ca.*  $20 \text{ mg m}^{-3}$ ) registrados en el muestreo de Enero 2007. Sin embargo, los valores más bajos se registraron en el mes de Febrero 2007, además de los muestreos en otoño e invierno. El rango total de valores de clorofila-a total en la columna de agua durante el periodo de estudio fue de  $0,01$  a  $23,6 \text{ mg m}^{-3}$ .

Durante el periodo de muestreo en la Estación ST18, la fracción  $<20 \mu\text{m}$  de la biomasa fitoplanctónica, representando al nano- y pico-plancton, contribuyó en forma permanente al total (Figura 3.4-13, panel intermedio). Los valores más altos ( $>2 \text{ mg m}^{-3}$ ) ocurrieron en la capa superficial ( $0 - 20 \text{ m}$ ) y sin una estacionalidad marcada pero usualmente coincidiendo con los máximos en clorofila-a total. El rango total de valores de clorofila-a  $<20 \mu\text{m}$  en la columna de agua durante el periodo de estudio fue de  $0,01$  a  $4,8 \text{ mg m}^{-3}$ . La fracción  $<3 \mu\text{m}$  tampoco mostró una estacionalidad marcada y los valores fueron relativamente bajos ( $<0,5 \text{ mg m}^{-3}$ ) durante todo el período de muestreo, con máximos en la capa  $<20 \text{ m}$  (Figura 3.4-13, panel inferior). El rango total de valores de clorofila-a  $<3 \mu\text{m}$  en la columna de agua durante el periodo de estudio fue de  $0$  a  $0,65 \text{ mg m}^{-3}$ . Estos resultados indican que la fracción comprendida entre  $<20 \mu\text{m}$  y  $>3 \mu\text{m}$ , los autótrofos nanoplanctónicos, fueron \*componentes dominantes de la clorofila-a total en el sistema toda vez que los valores de estos últimos fueron  $<2 \text{ mg m}^{-3}$  pero además en otras ocasiones junto con los máximos en el microplancton (Agosto y Octubre 2006). El máximo de clorofila-a total en Enero 2007, como condición de “bloom”, estuvo claramente dominado por el microplancton.



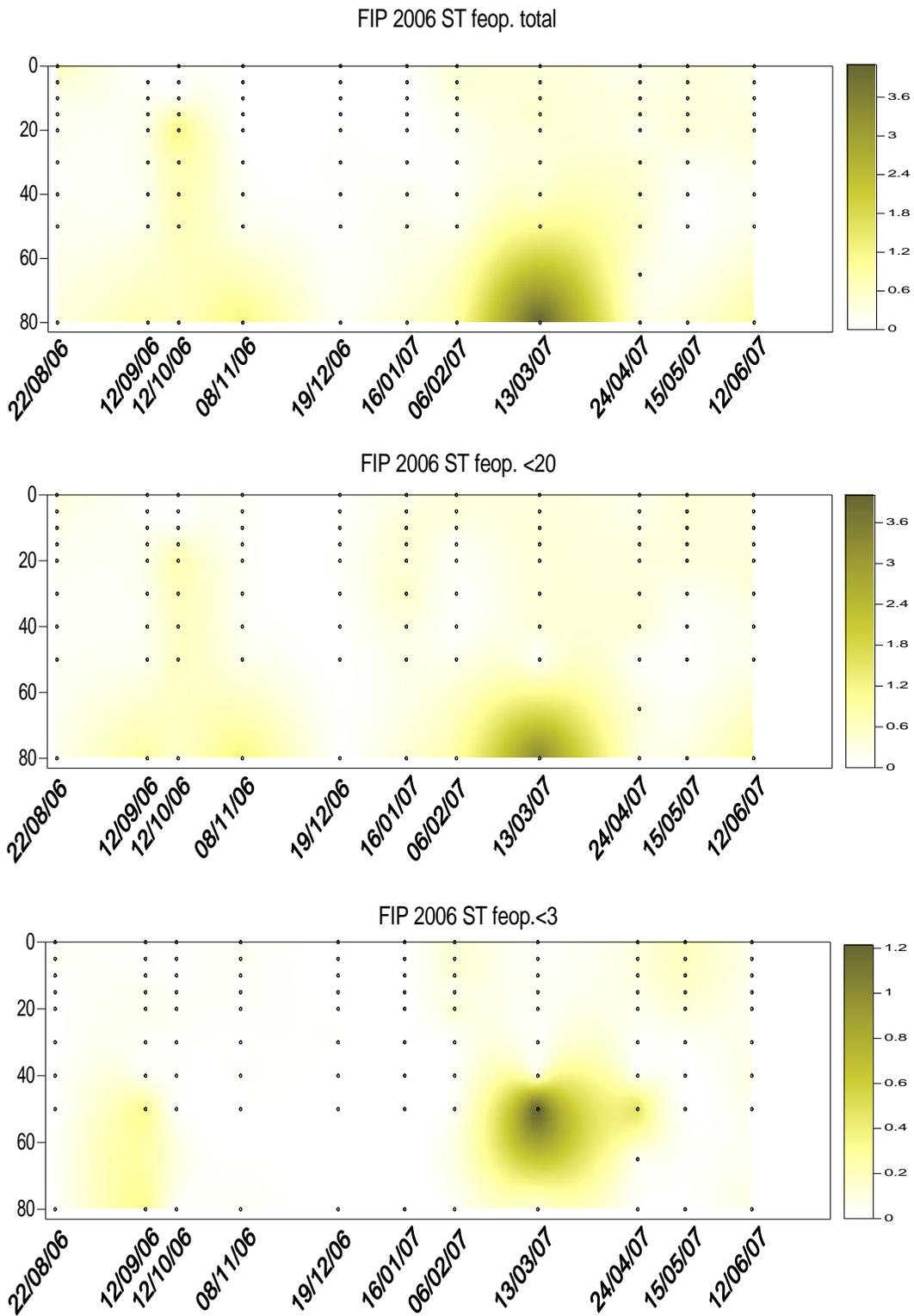
**Figura 3.4.13.** Distribución temporal de clorofila-a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Período anual: Agosto 2006 - Junio 2007. Panel superior: clorofila-a total; panel intermedio: fracción <20  $\mu\text{m}$ ; panel inferior: fracción <3  $\mu\text{m}$ .

Los feopigmentos, productos de degradación de la biomasa fitoplanctónica, estuvieron representados en las distintas fracciones de la biomasa fitoplanctónica. Los feopigmentos totales (Figura 3.4-14, panel superior) en general fueron bajos ( $<1 \text{ mg m}^{-3}$ ), con unos pocos valores más altos; el máximo se ubicó a la mayor profundidad de muestreo en Marzo 2007 (rango:  $0 - 4,2 \text{ mg m}^{-3}$ ). En la fracción  $<20 \mu\text{m}$ , los feopigmentos ( $0 - 3,4 \text{ mg m}^{-3}$ ) siguieron una distribución vertical y temporal similar a los feopigmentos totales (Figura 3.4-14, panel intermedio), así como también los feopigmentos en la fracción  $<3 \mu\text{m}$  ( $0 - 1,3 \text{ mg m}^{-3}$ ) (Figura 3.4-14, panel inferior). En general, la distribución de feopigmentos denota la sedimentación del material asociado a pigmentos fitoplanctónicos hacia el fondo, material que puede ser re-suspendido en eventos de mezcla.

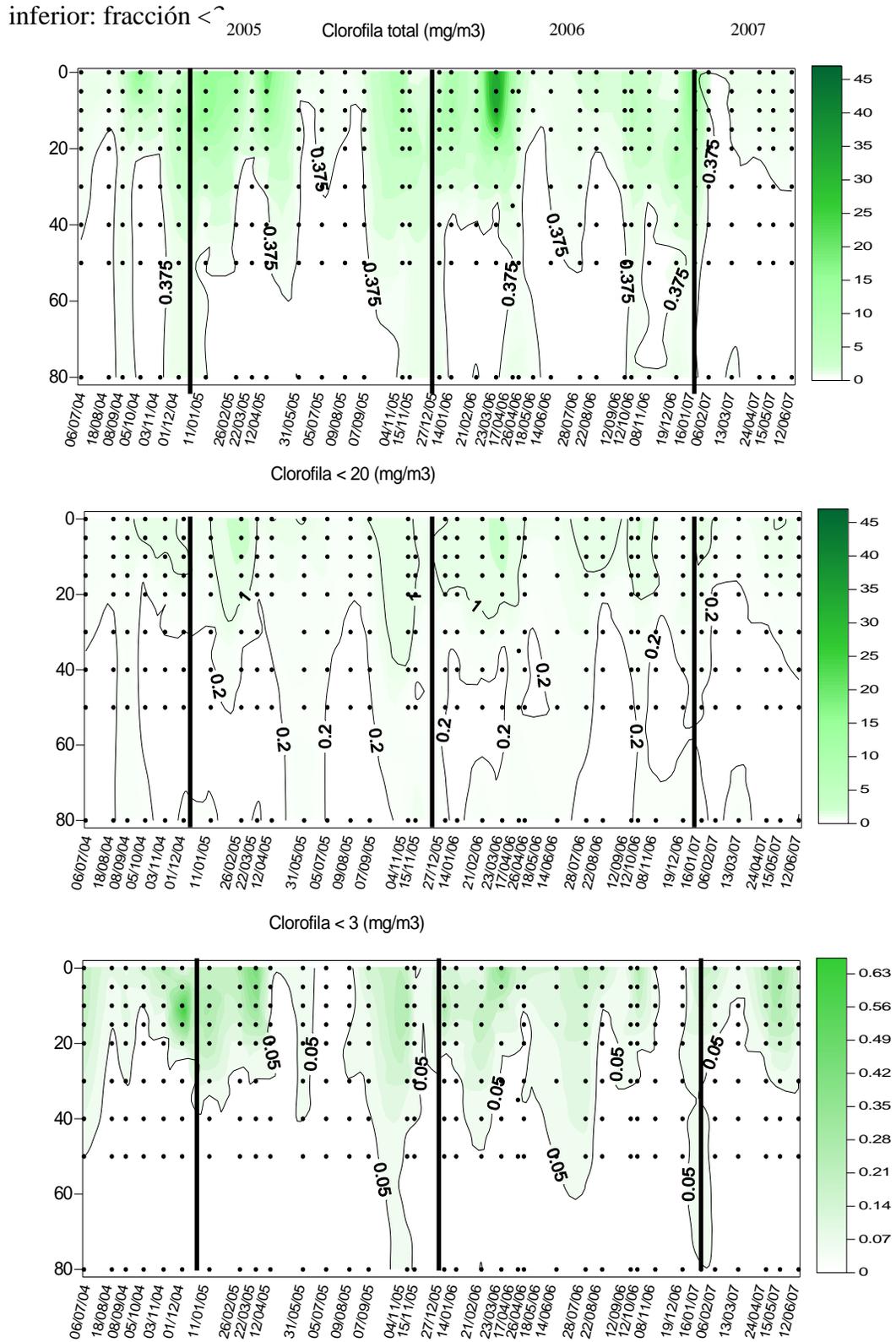
Los análisis estadísticos de la data de serie de tiempo estación ST18 (Spearman,  $n=99$ ) indican que las concentraciones de clorofila-a (total y fraccionada) en la columna de agua, incluyendo efectos temporales y verticales, estuvieron correlacionadas significativamente ( $p<0,001$ ) con la temperatura en forme positiva ( $0,46$  a  $0,65$ ), así como también con el oxígeno ( $0,57$  a  $0,71$ ), mientras que en forma negativa con la salinidad ( $-0,43$  a  $-0,60$ ). Respecto de los nutrientes ( $n=74-99$ ), las concentraciones de clorofila-a total y fraccionada mostraron correlaciones significativas ( $p<0,001$ ) y negativas con las concentraciones de fosfato ( $-0,54$  a  $-0,68$ ) y silicato ( $-0,54$  a  $-0,63$ ), mientras que fueron significativas ( $p<0,05$ ) y positivas con las concentraciones de amonio ( $0,34$  a  $0,45$ ) y nitrato ( $0,24$  a  $0,35$ ).

#### b) cambios interanuales

Los cambios en la clorofila-a total durante el ciclo anual de este estudio fueron normales respecto de encontrarse mayores concentraciones en periodo de primavera-verano. Sin embargo, a diferencia de años anteriores (Julio 2004 a Julio 2006), en el periodo de primavera-verano 2006-2007 la presencia de máximos de clorofila-a total ( $>2 \text{ mg m}^{-3}$ ) estuvo muy restringida temporalmente (Figura 3.4.15, panel superior). Más aún, en años anteriores estos máximos se extendieron al periodo de otoño temprano (marzo-abril) mientras que en el periodo 2006-2007 las concentraciones se han mantenido muy bajas por un periodo amplio que va entre febrero 2007 hasta el último muestreo realizado (junio 2007). Las concentraciones de clorofila-a en las fracciones no mostró una marcada variación



**Figura 3.4.14.** Distribución temporal de feopigmentos ( $\text{mg m}^{-3}$ ) en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Período anual: agosto 2006 - junio 2007. Panel superior: total; panel<sup>135</sup> intermedio: fracción  $<20 \mu\text{m}$ ; panel



**Figura 3.4.15.** Variación interanual de la biomasa fotosintética en la estación 18: julio 2004 a junio 2007. Panel superior: total; panel intermedio: fracción <math>\lt; 20\ \mu\text{m}</math>; panel inferior: fracción <math>\lt; 3\ \mu\text{m}</math>

inferior: fracción  $<3 \mu\text{m}$ .

## **Picoplancton**

### a) cambios estacionales

Durante la serie de tiempo en la Estación ST18 (Agosto 2006-Junio 2007), en la plataforma frente a Concepción, las muestras correspondientes a Septiembre 2006 y Febrero 2007 están perdidas y no pudieron ser analizadas para este informe. Los datos fueron proporcionados por el PROFC (O. Ulloa – G. Alarcón) en la UdeC. En las muestras analizadas, el principal componente en el picoplancton ( $<3 \mu\text{m}$ ) heterótrofo fue el bacterioplancton, incluyendo Bacteria y Archaea; los pico-autótrofos incluyeron principalmente procariontes (cianobacterias) y, en menor medida, fito-eucariontes.

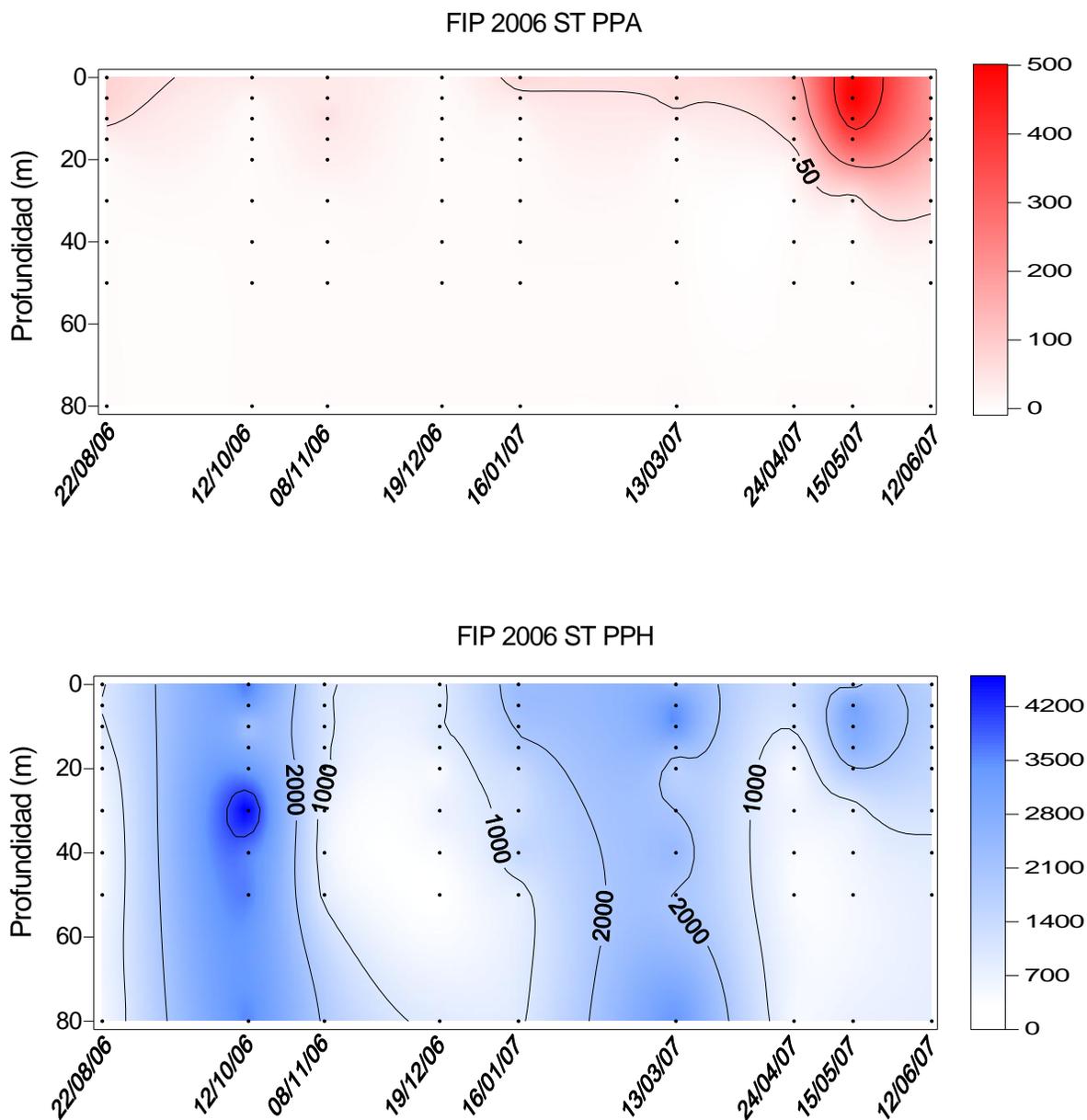
La abundancia de los pico-autótrofos en la columna de agua y durante el periodo de estudio (Figura 3.4.-16, panel superior) fluctuó entre 0,1 y  $516 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ . Los máximos valores ( $>100 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) ocurrieron en muestreos de otoño e invierno 2007 (Abril, Mayo, y Junio 2007) en la capa superficial (0 - 30 m). Esta aparente estacionalidad no se vio reflejada por la biomasa correspondiente a clorofila-a  $<3 \mu\text{m}$  (Figura 3.4.13, panel inferior), que no mostró una clara estacionalidad pero si coincide con un foco de mayores concentraciones en la misma época.

El rango de variación en la abundancia del picoplancton heterótrofo durante el periodo de muestreo fue 208 a  $4753 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$  y sin estacionalidad marcada (Figura 3.4.16, panel inferior). Los valores máximos ( $>2000 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) ocurrieron en muestreos de primavera 2006 (Octubre 2006) y otoño 2007 (Marzo y Mayo 2007) y estuvieron distribuidos en toda la columna de agua en los dos primeros casos.

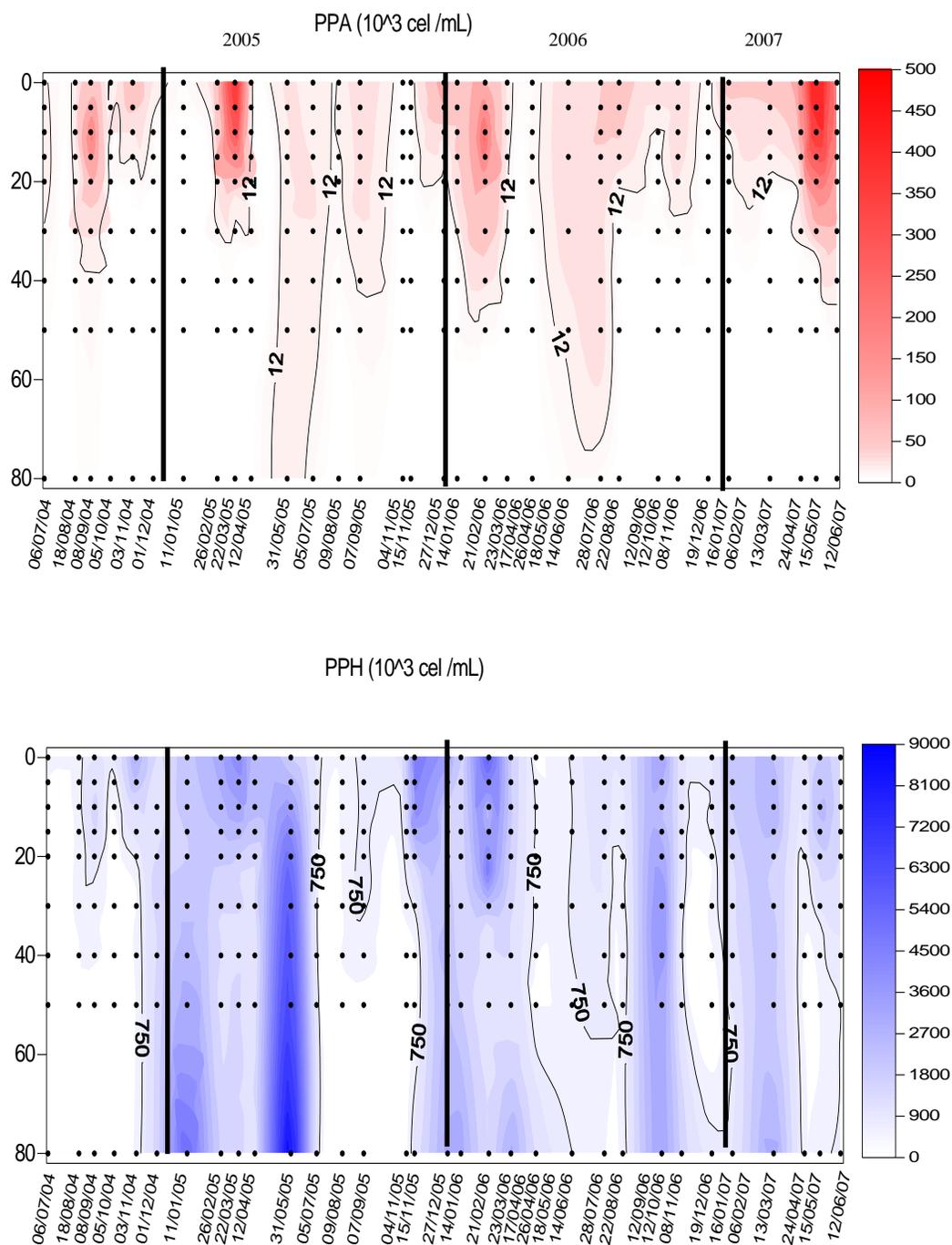
Los análisis estadísticos de la data de serie de tiempo estación ST18 (Spearman,  $n=81$ ) indican que las abundancias de picoplancton autótrofo en la columna de agua, incluyendo efectos temporales y verticales, estuvieron correlacionadas significativamente ( $p<0,001$ ) con la temperatura en forme positiva (0,70), así como también con el oxígeno (0,65), mientras que en forma negativa con la salinidad (-0,71). Por su parte, las abundancias de picoplancton heterótrofo no mostraron correlaciones significativas con estas variables oceanográficas. Respecto de los nutrientes ( $n=81$ ), las abundancias de picoplancton autótrofo mostraron correlaciones significativas ( $p<0,001$ ) y negativas con las concentraciones de fosfato (-0,60) y silicato (-0,54), mientras que fueron positivas con las concentraciones de nitrato (0,46). Las abundancias del picoplancton heterótrofo no mostró correlaciones significativas con las concentraciones de fosfatos, silicatos, o amonio pero si con los nitratos (0,32;  $p<0,01$ ).

### b) cambios interanuales

Los cambios temporales del componente picoplanctónico en la estación ST18 para el periodo 2004 a 2007 se muestra en la Figura 3.4-17.



**Figura 3.4.16.** Distribución mensual de la abundancia de los principales componentes en el picoplancton ( $<3 \mu\text{m}$ ), en  $10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ , en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Periodo anual: agosto 2006- junio 2007 Panel superior: abundancia total de pico-autótrofos, incluyendo procariontes (cianobacterias) y fitoeucariontes; panel inferior: abundancia total de bacterioplancton, incluyendo Bacteria y Archaea.



**Figura 3.4.17.** Distribución mensual de la abundancia de los principales componentes en el picoplancton (<3  $\mu\text{m}$ ), en  $10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ , en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Periodo anual: julio 2004 - junio 2007. Panel superior: abundancia total de pico-autótrofos, incluyendo procariontes (cianobacterias) y fitoeucariontes; panel inferior: abundancia total de bacterioplancton, incluyendo Bacteria y Archaea.

## Nanoplancton

### a) cambios estacionales

Durante la serie de tiempo en la Estación ST18 (Agosto 2006-Junio 2007), en la plataforma frente a Concepción, las muestras correspondientes a Agosto 2006 fueron contaminadas por un fijador en mal estado y no pudieron ser analizadas. En las restantes muestras, los principales componentes nanoplanctónicos ( $>3$  y  $<20$   $\mu\text{m}$ ) fueron los nanoflagelados, distinguidos en componentes autotróficos y heterotróficos; ocasionalmente se presentaron otros grupos taxonómicos.

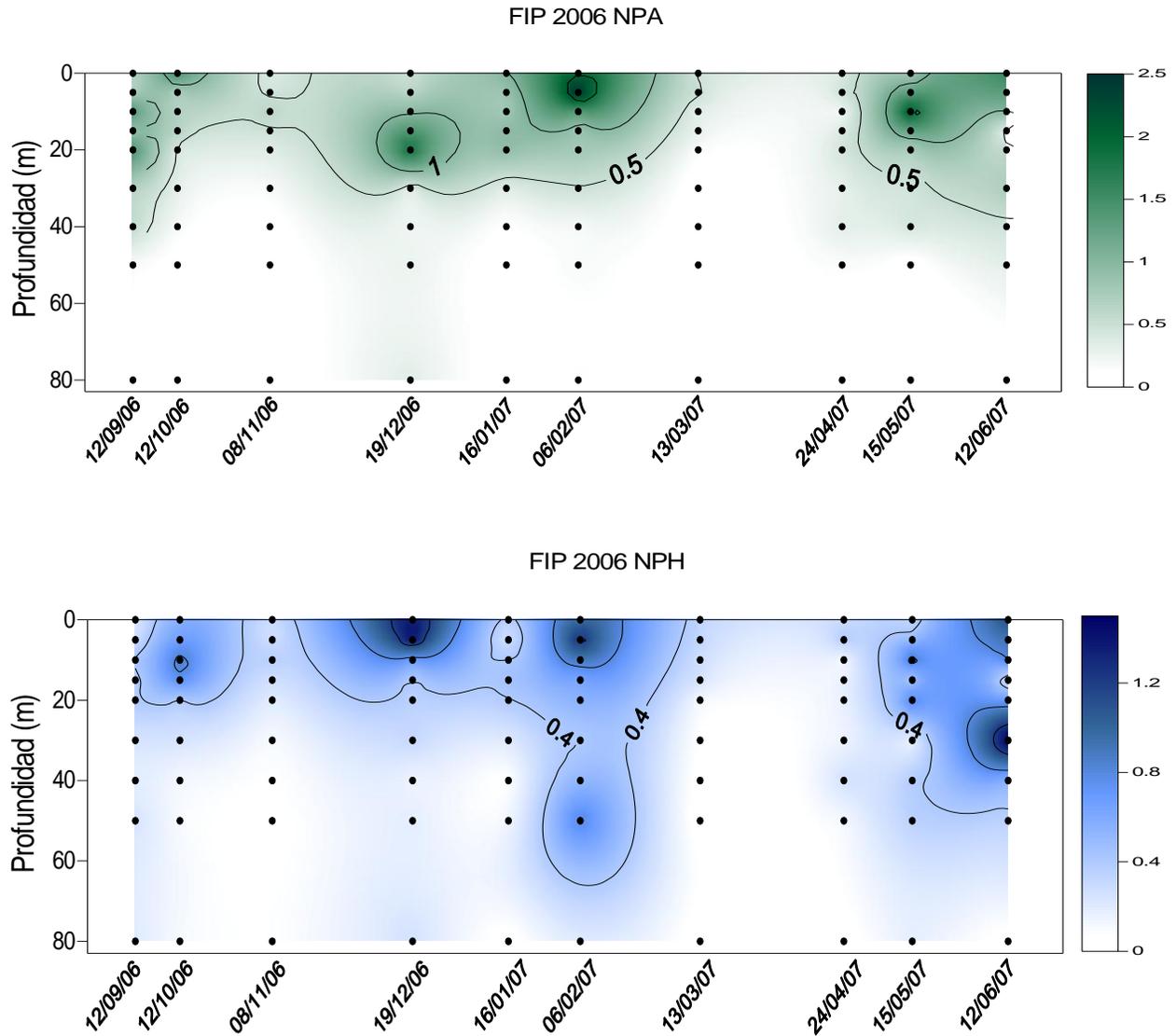
La distribución mensual de la abundancia de los nanoflagelados autótrofos en la columna de agua (Figura 3.4-18, panel superior) fluctuó entre 0 y  $2,7 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ . Los valores máximos ( $>1 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) se presentaron en los muestreos de Diciembre 2006, y Febrero y Mayo 2007, sin clara estacionalidad pero siempre en la capa más superficial (0 - 20 m). La falta de estacionalidad concuerda con la distribución temporal de la clorofila-a  $<20$   $\mu\text{m}$  (Figura 3.4.13, panel intermedio), aún cuando los focos de máximos difieren entre estas dos variables.

Los nanoflagelados heterótrofos (Figura 3.4.18, panel inferior) no presentaron una estacionalidad marcada, al igual que los nanoflagelados autótrofos. Los máximos valores de abundancia ( $>1 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$ ) se presentaron en primavera (Diciembre 2006), verano (Febrero 2007) e invierno (Junio 2007). El rango de variación en la abundancia de este grupo durante el periodo de muestreo fue 0 a  $1,6 \cdot 10^3$  células  $\text{mL}^{-1}$  y los mayores valores generalmente aparecieron en la capa más superficial (0 - 20 m), excepto en el muestreo de Febrero 2007, cuando estos valores abarcaron hasta los 50 m de profundidad.

Los análisis estadísticos de la data de serie de tiempo estación ST18 (Spearman,  $n=90$ ) indican que las abundancias de nanoplancton autótrofo y heterótrofo en la columna de agua, incluyendo efectos temporales y verticales, estuvieron correlacionadas significativamente ( $p<0,001$ ) con la temperatura en forma positiva (0,54 a 0,70), así como también con el oxígeno (0,64 a 0,80), mientras que en forma negativa con la salinidad (-0,55 a -0,67). Respecto de los nutrientes ( $n=65-90$ ), las abundancias de nanoplancton autótrofo y heterótrofo mostraron correlaciones significativas ( $p<0,001$ ) y negativas con las concentraciones de fosfato (-0,61 a -0,76) y silicato (-0,62 a 0,77), mientras que fueron positivas con las concentraciones de amonio (0,38-0,39;  $p<0,01$ ) y no significativas con las concentraciones de nitrato ( $p>0,05$ ).

### b) variación interanual

Los cambios temporales del componente picoplanctónico en la estación ST18 para el periodo 2004 a 2007 se muestra en la Figura 3.4.19.



**Figura 3.4.18.** Distribución mensual de la abundancia de los principales componentes en el nanoplancton (<math><20\text{ y }>3\ \mu\text{m}</math>), en  $10^3\ \text{células mL}^{-1}$ , en la serie de tiempo frente a Concepción, estación ST18. Periodo anual: agosto 2006 - junio 2007. Panel superior: abundancia total de nano-autótrofos, predominantemente de flagelados; panel inferior: abundancia total de nano-heterótrofos, predominantemente de flagelados.



## Microplacton

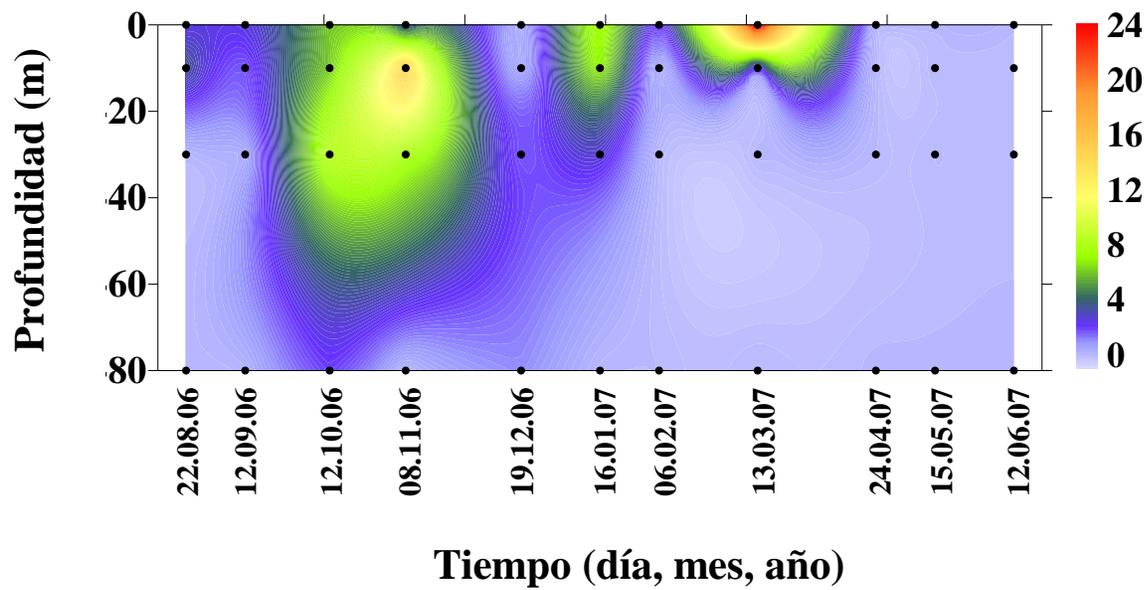
### *Abundancia, composición y distribución vertical de diatomeas*

#### a) variación estacional

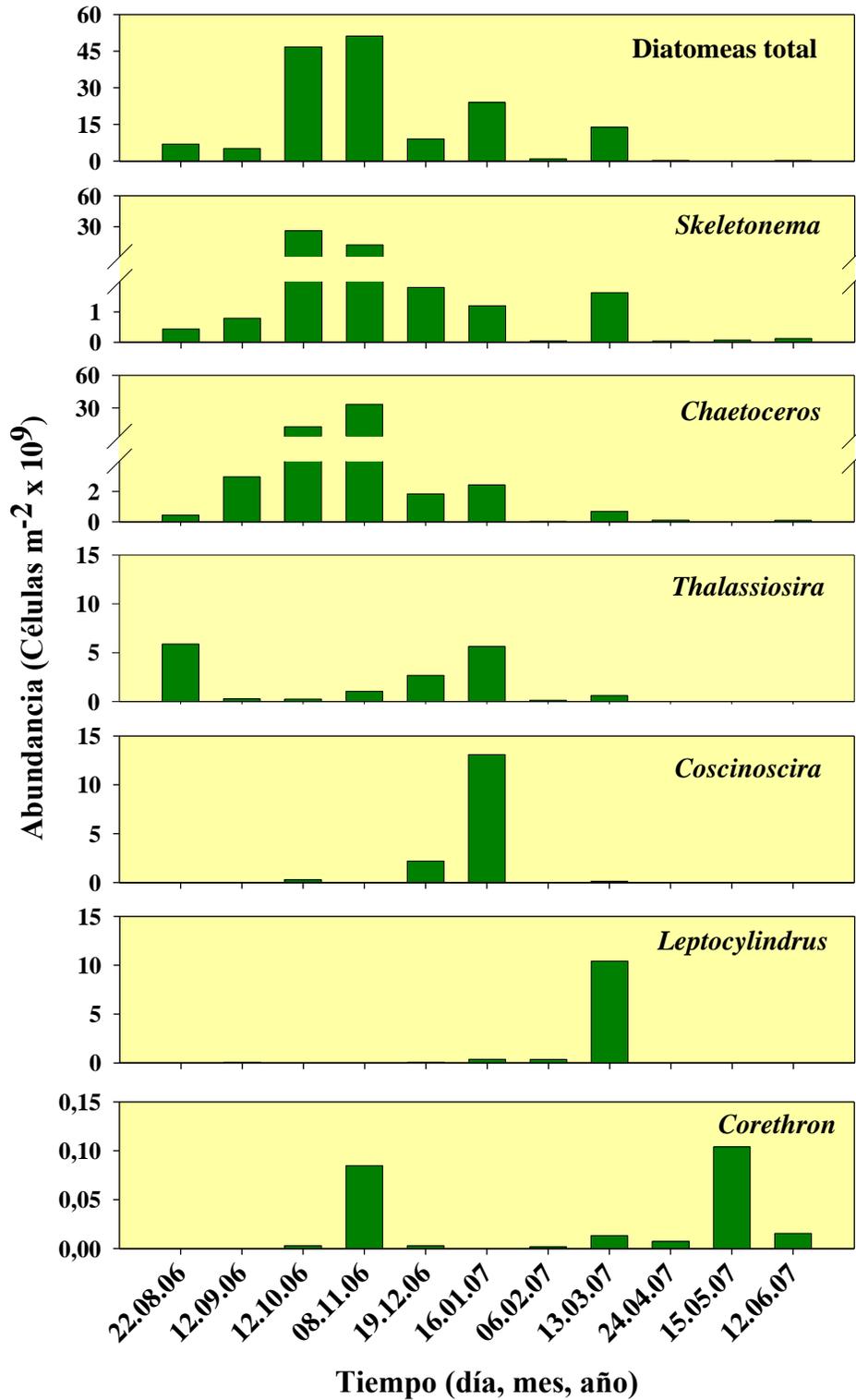
Los análisis de las muestras de diatomeas obtenidas en la ST18 frente a Concepción, durante el período agosto 2006 - junio 2007, presentaron alta variabilidad estacional y vertical (Figura 3.4.20). Las diferencias estacionales en las abundancias integradas de diatomeas (0-80 m) estuvieron marcadas por bajas abundancias durante el invierno tardío del 2006 ( $12 \times 10^9$  células  $m^{-2}$ ) y un incremento sustancial en el período correspondiente a la primavera del 2006 ( $106 \times 10^9$  células  $m^{-2}$ ). En términos generales, las diatomeas cuantificadas en la ST18 estuvieron representadas durante todo el período de estudio principalmente por los géneros *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, *Coscinoscira*, *Leptocylindrus* y *Corethron*, los cuales representaron en promedio más de 80% de las abundancias totales de diatomeas (Fig. 3.4-21).

La abundancia estratificada promedio de diatomeas se concentró principalmente en los primeros 30 m de la columna, decayendo significativamente en los estratos más profundos (80 m). Las máximas abundancias fueron registradas a 10 m de profundidad durante noviembre 2006 ( $1.5 \times 10^6$  células  $L^{-1}$ ) y a los 0 m en marzo del 2007 ( $2.5 \times 10^6$  células  $L^{-1}$ ). El primer máximo se caracterizó por un aumento de *Chaetoceros debilis* y *Skeletonema spp* los cuales representaron en conjunto más del 80% de las abundancias totales de diatomeas y el segundo máximo correspondió en un 75% a *Leptocylindrus danicus*.

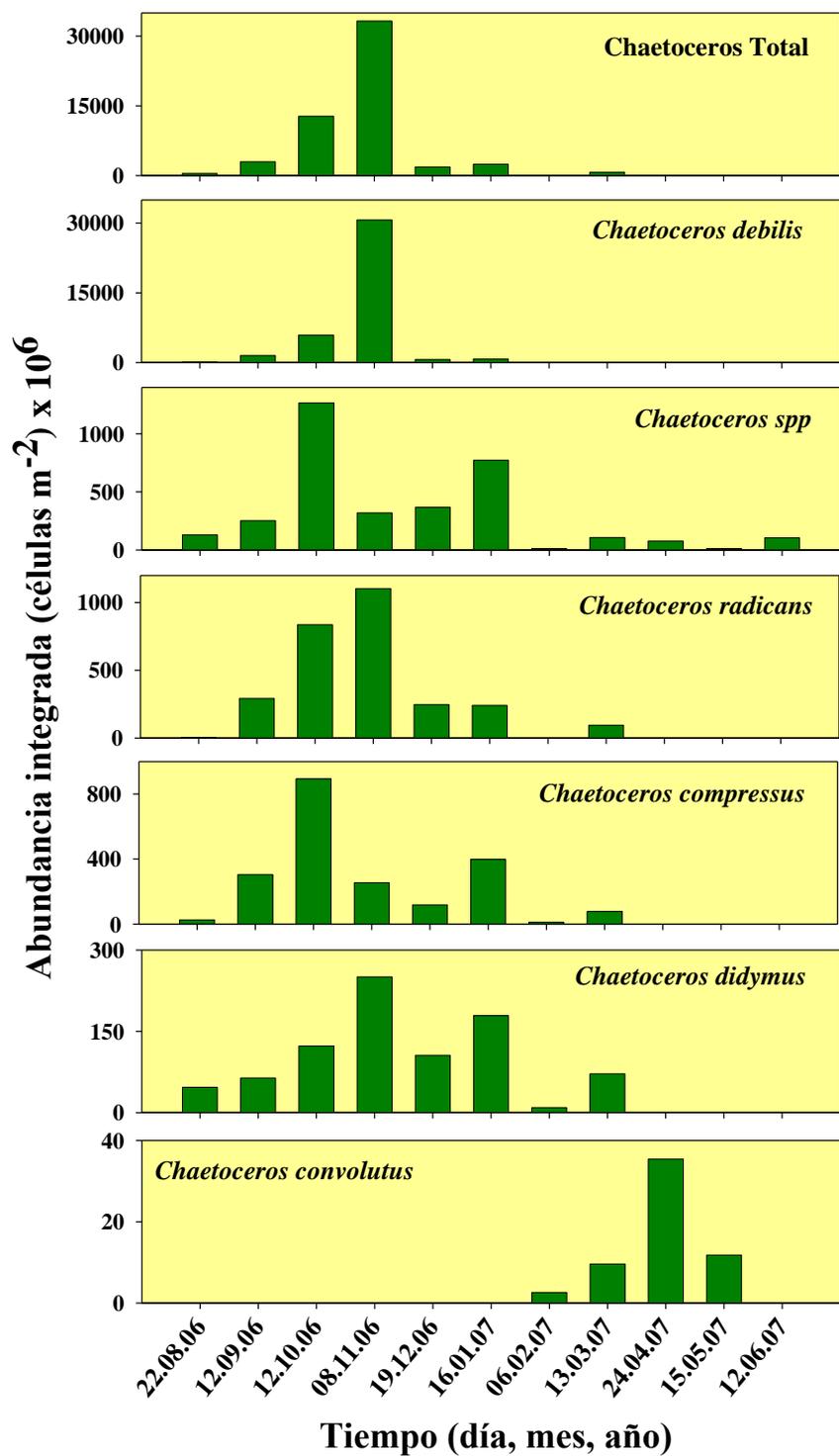
Uno de los géneros más importantes de las diatomeas corresponde a *Chaetoceros*, que junto a *Skeletonema* son los principales responsables de la mayoría de los “blooms” que ocurren en la ST18 durante el período primavera-verano de la serie de tiempo de Concepción. Las principales especies de este género fueron *Chaetoceros compressus*, *Ch. convolutus*, *Ch. debilis*, *Ch. radicans*, *Ch. socialis* y un grupo de especies no identificadas y agrupadas como *Chaetoceros spp*. Estos taxa aportan en promedio con el 30% de las abundancias totales de diatomeas de todo el período de estudio. La máxima abundancia de estas especies se registró durante el período de noviembre del 2006 con  $3.2 \times 10^{10}$  células  $m^{-2}$  en la cual *Chaetoceros debilis* fue la especie dominante (Figura 3.4.22). En contraste, el período de junio del 2007 representó las menores abundancias con  $24 \times 10^6$  células  $m^{-2}$ .



**Figura 3.4.20.** Distribución vertical de abundancia de diatomeas totales (células  $L^{-1} \times 10^5$ ) en la estación ST18 frente a Concepción. Período agosto 2006-junio 2007.



**Figura 3.4.21.** Distribución temporal en la abundancia total integrada (células  $m^{-2} \times 10^9$ ) de diatomeas y sus principales géneros en la estación ST18 frente a Concepción. Período agosto 2006-junio 2007.



**Figura 3.4.22.** Distribución temporal de la abundancia total integrada (células m<sup>-2</sup> x 10<sup>6</sup>) de las principales especies del género *Chaetoceros* en la estación ST18 frente a Concepción.

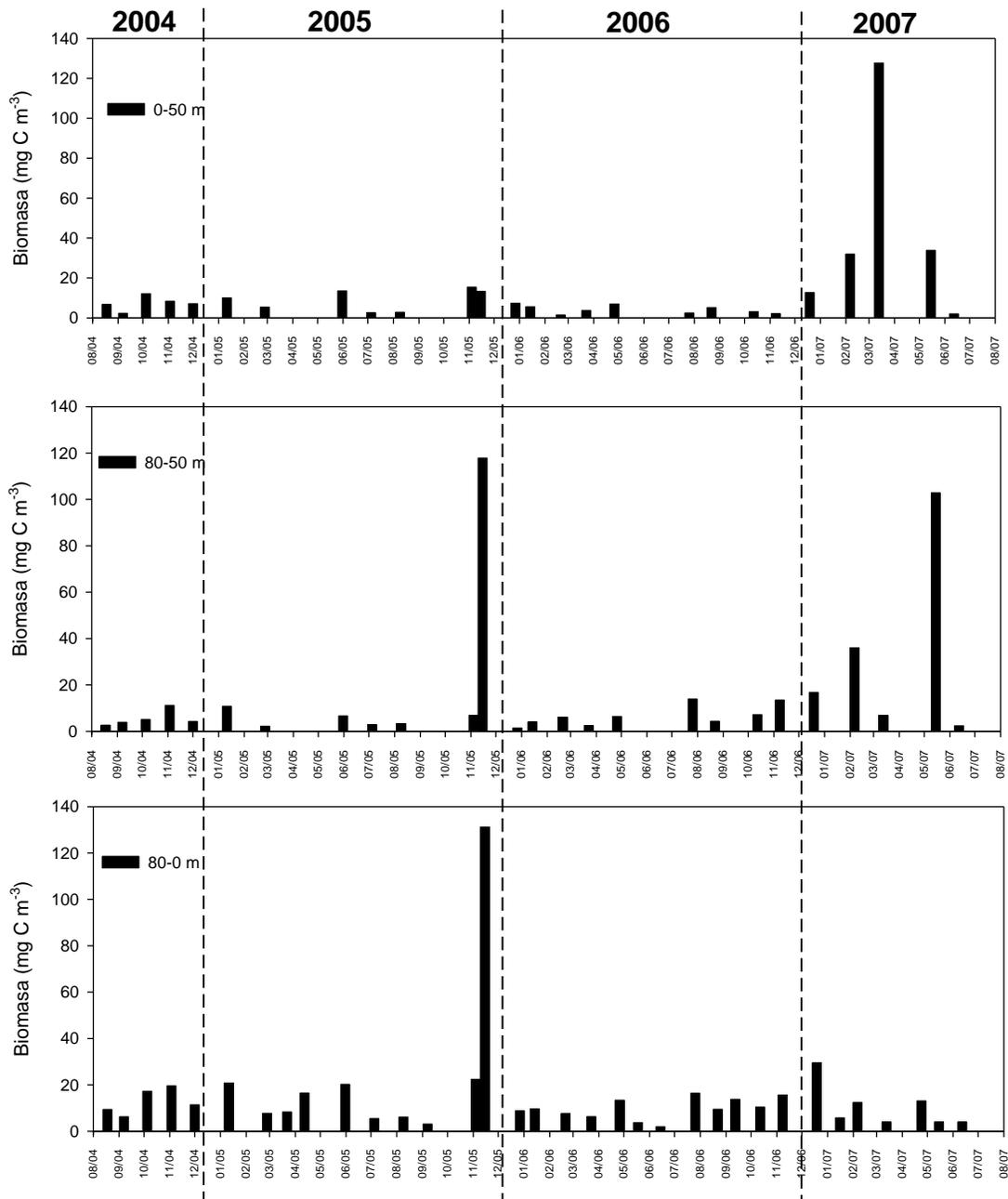
## Mesozooplancton y macrozooplancton

### a) variación estacional e interanual

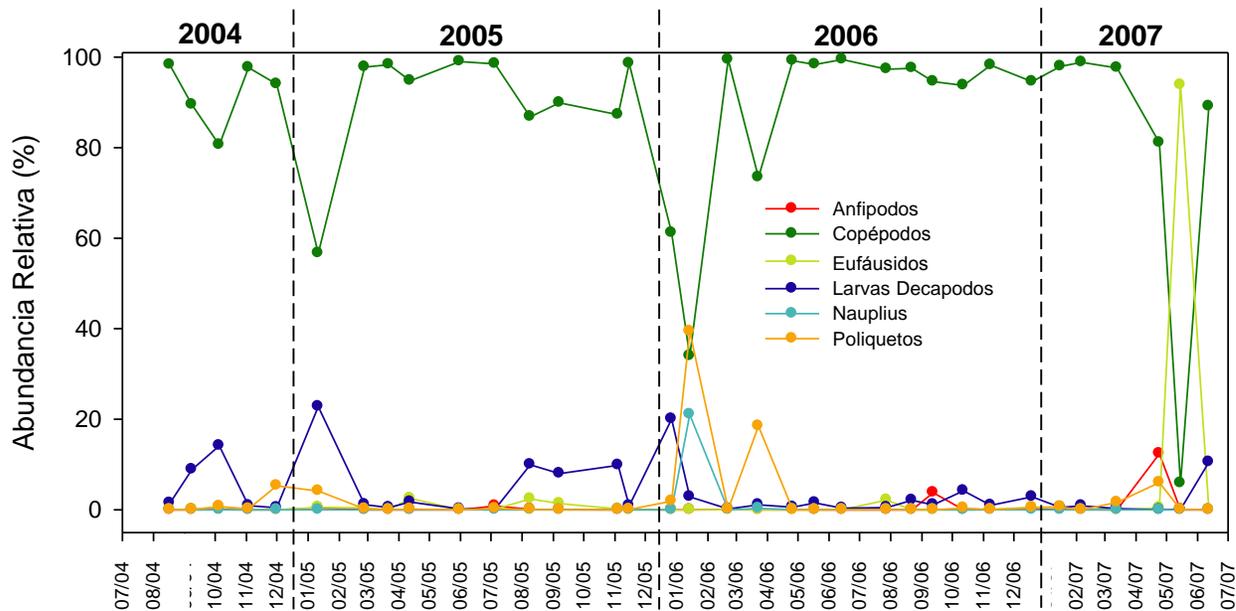
Para la columna de agua integrada (0-80 m) en la Estación ST18, desde agosto 2004 a junio de 2007, se pudo estimar un promedio de biomasa del zooplancton de  $13.3 \text{ mg C m}^{-3}$ , con un máximo cercano a los  $127.7 \text{ mg de C m}^{-3}$  observados en marzo del 2007 y un coeficiente de variación total de 180%. Se observaron bajas en biomasa ( $<2 \text{ mg C m}^{-3}$ ) en los inviernos e incrementos hacia finales de verano de cada año en la data integrada de 0-80 m (Fig. 3.4-23). El estrato profundo de la estación 18 (50-80 m) sigue el mismo patrón de la columna de agua. El año 2007 presenta el mayor promedio anual observado con  $31.6 \text{ mg C m}^{-3}$ , mientras que en el año 2004, 2005 y 2006 se observaron 6.4, 12.9 y  $6.6 \text{ mg C m}^{-3}$  en promedio, respectivamente, revelando una alta variabilidad inter-anual. En general se observa que las mayores concentraciones de biomasa se presentan hacia la época de fines de verano (otoño), en asociación a la presencia de eufáusidos y de copépodos de mayor tamaño. Las fluctuaciones estacionales del C de zooplancton también se manifiestan fuertemente asociadas a los cambios en la profundidad de la OMZ, dada una mayor agregación del zooplancton en la zona costera, bajo condiciones de surgencia más intensa (Escribano et al., 2007).

El estudio de la estructura comunitaria a través del período 2004-2007, revela la dominancia del taxa Copepoda durante la mayor parte del tiempo. La abundancia de los copépodos mostró un promedio total de  $247 \text{ individuos m}^{-3}$ , con un coeficiente de variación de 138%, mientras que los eufáusidos mostraron un promedio de  $2.3 \text{ individuos m}^{-3}$ . En términos de abundancia relativa, los copépodos superan el 80% sobre los demás taxa la mayor parte del período, con algunas excepciones que se presentan principalmente hacia finales del verano cuando se incrementan los eufáusidos (Figura 3.4.24). Se debe destacar también la alta abundancia de larvas de poliqueto y larvas zoeas de crustáceos decápodos, especialmente durante los periodos de primavera-verano (Figura 3.4.24).

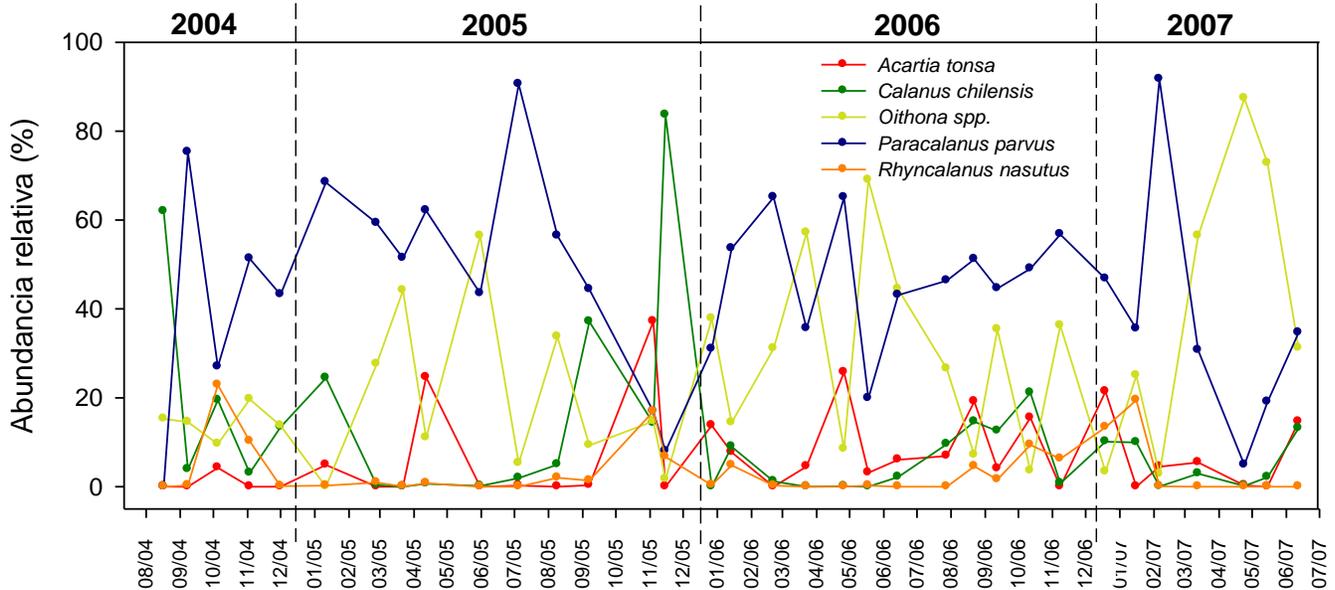
A nivel de especies, y considerando a Copepoda como taxa dominante, las especies de mayores abundancias promedios fueron *Paracalanus parvus* con  $108 \text{ individuos m}^{-3}$ , luego *Oithona* spp. con  $75 \text{ individuos m}^{-3}$  y *C. chilensis* con  $23 \text{ individuos m}^{-3}$  (Figura 3.4.25). En términos de abundancia relativa, se debe destacar la alternancia en la dominancia numérica entre las especies de *Paracalanus parvus*, *Oithona* spp. y *Calanus chilensis*. Siendo este último dominante durante períodos de surgencia más activa. No obstante los cambios en abundancia relativa, debe destacarse que algunas especies, tales como *P. parvus*, *Oithona* spp., *Calanus chilensis* y *Centropages brachiatus* están presentes a través de todo el año y representadas por la mayoría de sus estadios de desarrollo. Esta observación refleja la productividad sostenida de este sistema de surgencia en todas, permitiendo que algunas especies del zooplancton se puedan reproducir en forma continua a través de todo el año, como ha sido estudiado por Hidalgo & Escribano (2007).



**Figura 3.4.23.** Serie de tiempo de biomasa zooplanctónica expresada en carbono para el período agosto 2004 a junio de 2007 en estación ST18, frente a Concepción. Se muestra la biomasa integrada en la columna de agua 0-80 m (A), en el estrato 80-50 m (B), y en el estrato 0-50 m (C).



**Figura 3.4.24.** Distribución temporal en la composición del meso y macrozooplancton durante agosto del 2004 a junio del 2007 en la estación ST18 frente a Concepción.

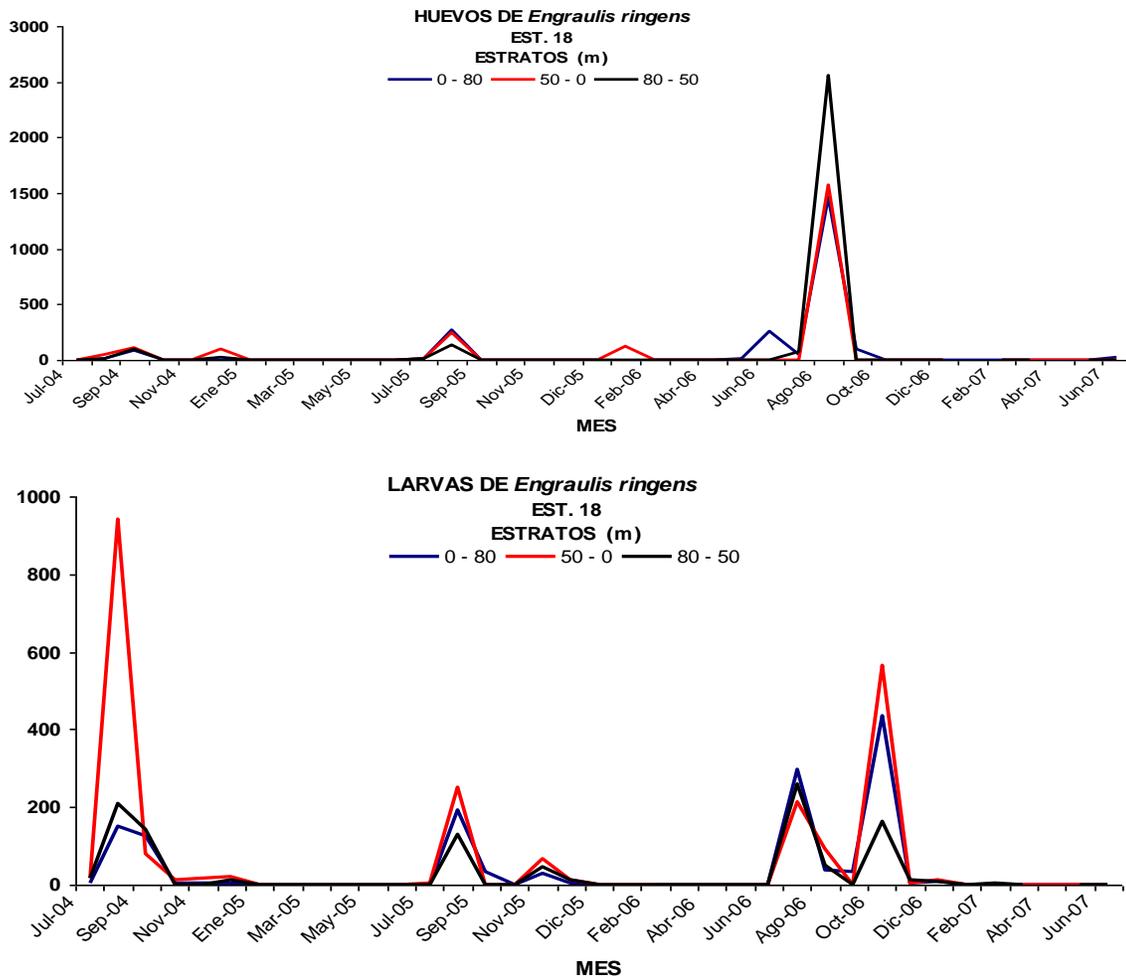


**Figura 3.4.25.** Distribución temporal en la composición específica del meso y macrozooplancton durante agosto del 2004 a junio del 2007 en la estación ST18 frente a Concepción.

### Ictioplancton

- Anchoveta (*Engraulis ringens*)

A lo largo de la serie de tiempo se observaron las mayores densidades de huevo y larvas de anchoveta entre los meses ocurrieron de Julio a Septiembre, concordante con periodo desove principal reportado para la especie en la zona (Figura 3.4.26). Se observó algunos periodos cortos con abundancias de huevos y larvas relativamente altas fuera de los periodos mayores de desove (i.e. huevos: diciembre 2004, enero 2006; larvas: noviembre 2005, octubre del 2006). En el caso de estos huevos, las abundancias fueron menores comparadas a las observadas en los máximos de desove por lo que no sugieren que haya habido desoves importantes fuera de las estaciones de máxima reproducción o que haya cambiado la estación principal de desove. En el caso de las larvas, dada su mayor duración en el plancton, las abundancias relativamente altas en octubre o noviembre pueden ser consideradas también normales por cuanto probablemente corresponden larvas generadas al final de los periodos de desove normal por lo que el desfase de uno o dos meses sería esperable. No se observó huevos o larvas en abundancia que correspondieran a un segundo periodo de desove como el que ha sido reportado durante febrero-marzo por algunos autores.

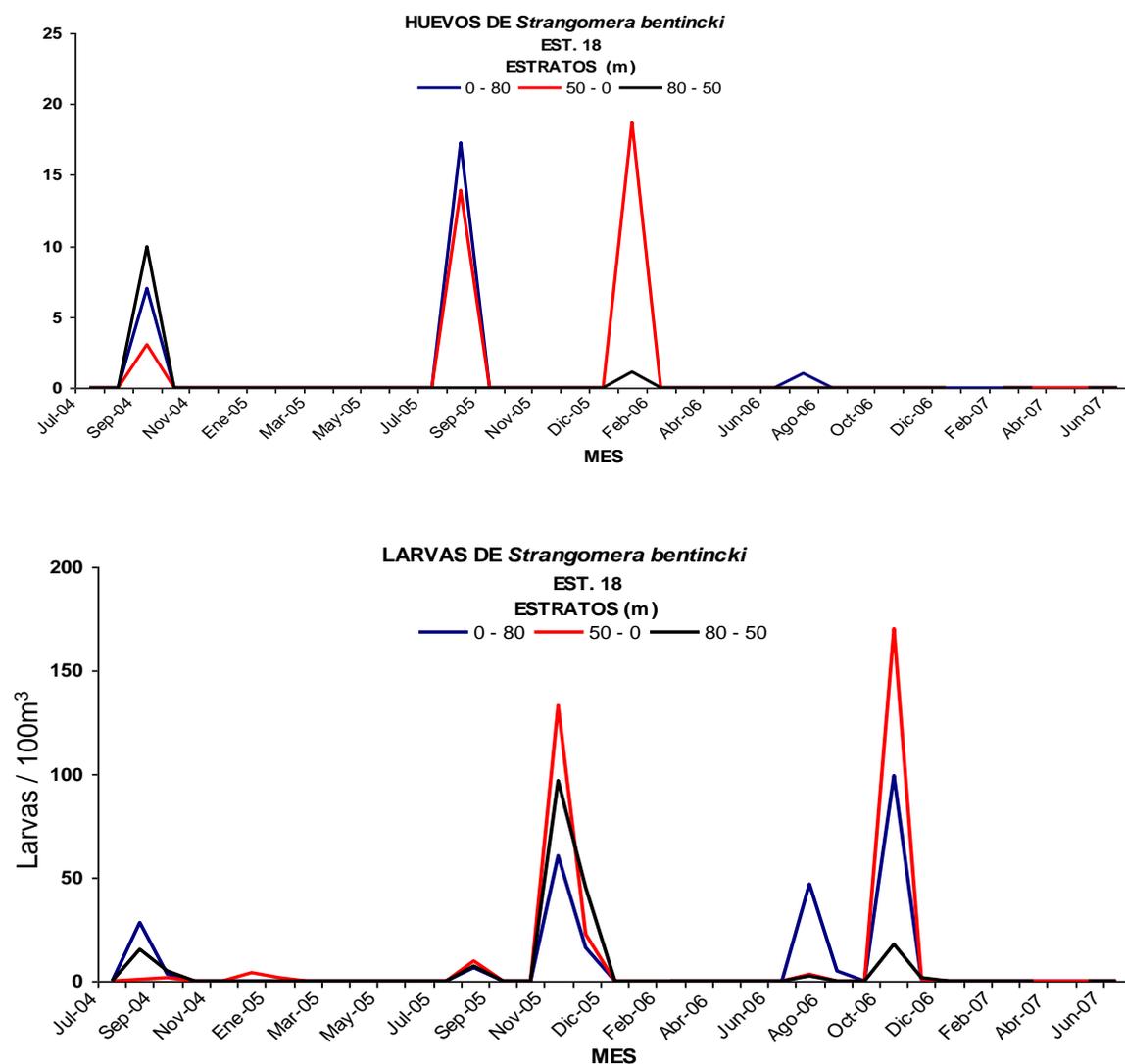


**Figura 3.4.26.** Abundancia de huevos y larvas de anchoveta (*Engraulis ringens*) (ind. /100 m<sup>3</sup>) entre julio 2004 y junio 2006, en la estación ST18.

- Sardina común (*Strangomera bentincki*)

El análisis de la serie mensual señala que las densidades máximas de huevos y larvas de sardina común fueron mucho menores (un orden de magnitud al menos) que las de anchoveta (Figura 3.4.27). Mayores densidades de huevos y larvas de sardina común ocurrieron en los meses de invernales de Agosto – Septiembre del 2004, 2005 y 2006, lo

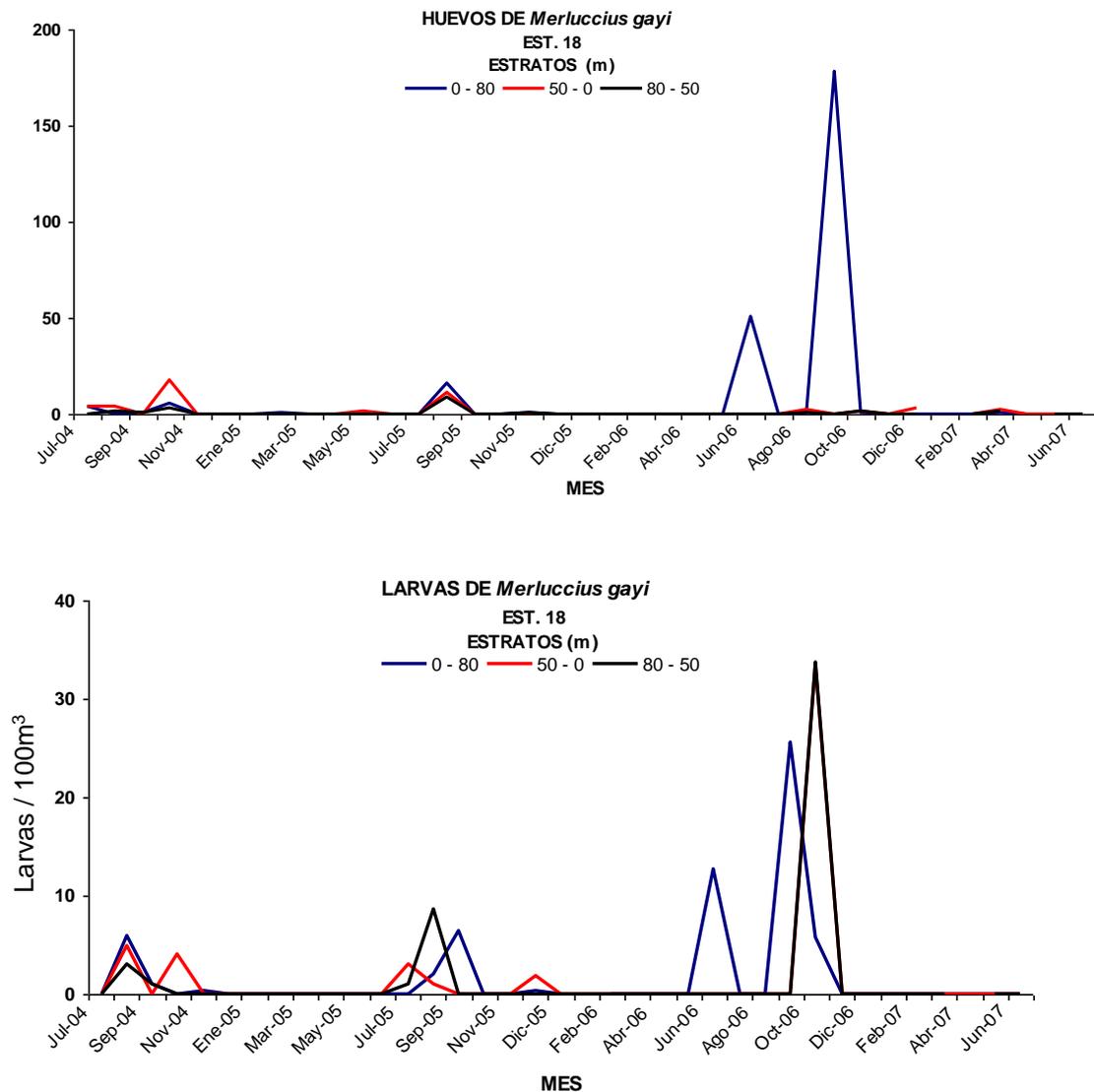
que coincide con la época de desove histórica. En el 2006, sin embargo, se observó huevos de esta especie pero en densidades muy bajas. Al igual que en el caso de la anchoveta, un máximo de abundancia de huevos ocurrió también en enero del 2006. Altas abundancias de larvas ocurrieron durante los meses de mayor abundancia de huevos pero, además y muy marcadamente, en los meses de noviembre 2005 y octubre 2006, coincidiendo con las larvas de anchoveta y sugiriendo que las abundancias del ictioplancton de ambas especies podrían estar siendo moduladas por los mismos procesos ambientales.



**Figura 3.4.27.** Abundancia de huevos y larvas de sardina común (*Strangomera bentincki*) (ind. /100 m<sup>3</sup>) entre julio 2004 y junio 2006, en la estación ST18.

- Merluza común (*Merluccius gayi*)

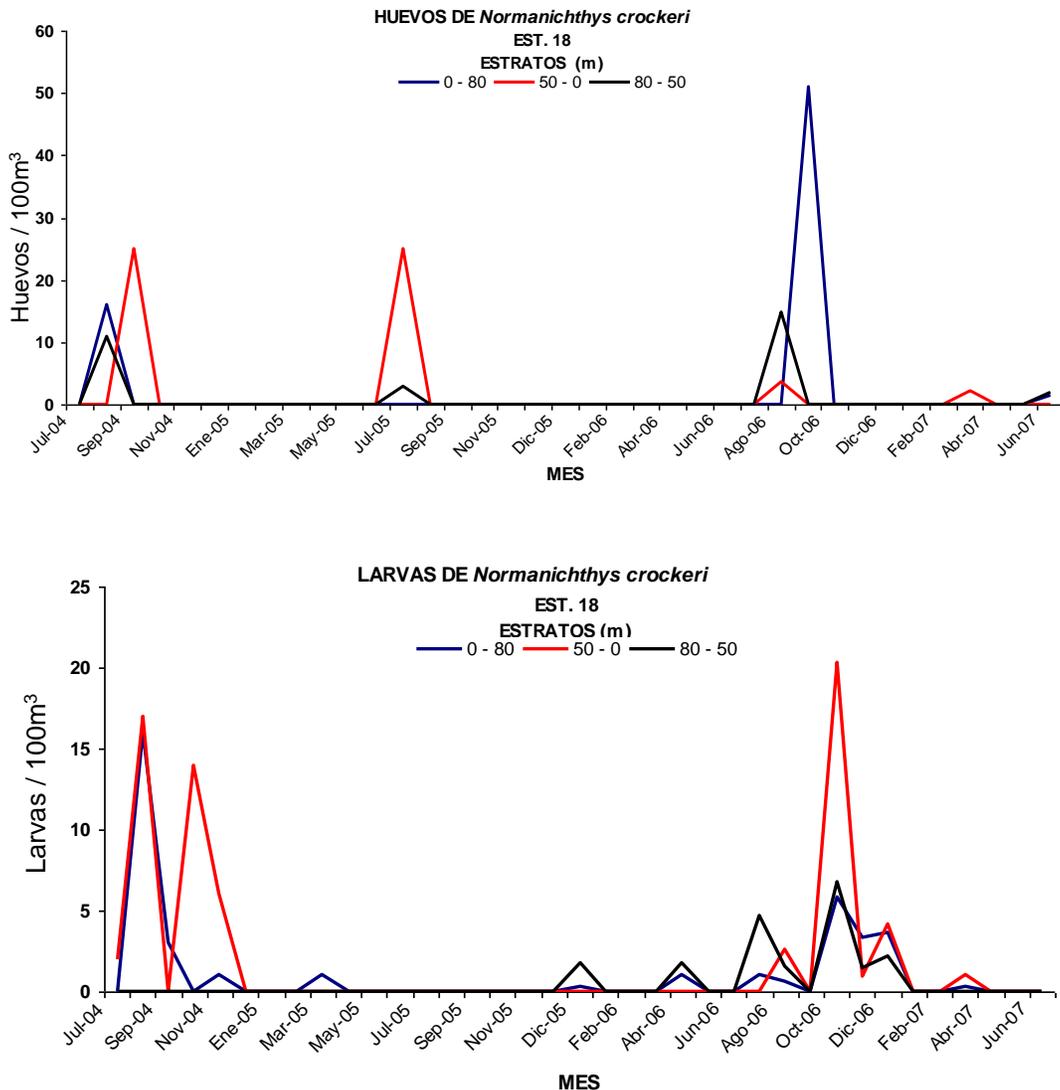
Anualmente, las mayores densidades de huevos de merluza común ocurrieron en Octubre del 2004, en agosto del 2005, y nuevamente en octubre del 2006 (Figura 3.4.28). En junio del 2006, ocasionalmente se registraron altas abundancias de huevos, sin embargo, parece haber sido un evento aislado ya que estas altas abundancias no se habían registrado los años previos en este mes. Las abundancias de larvas, por su parte, tienden a coincidir en torno a los meses de mayor abundancia de huevos o inmediatamente posterior a ellos, a diferencia de las larvas de sardina común en la que se observó un desfase levemente mayor a un mes.



**Figura 3.4.28.** Abundancia de huevos y larvas de merluza común (*Merluccius gayi*) (ind. /100 m<sup>3</sup>) entre julio 2004 y junio 2006, en la estación ST18.

Mote (*Normanichthys crockeri*)

Mayores abundancias de huevos coinciden con la de huevos de anchoveta y sardina común, esto es, con un desove invernal en los meses de Agosto-Septiembre 2004, Julio 2005, y nuevamente Agosto- Septiembre 2006 (Fig. 3.4-29). Las mayores abundancias de larvas coincidieron en torno a las épocas de mayor abundancia de huevos en el 2004 y 2006, siendo sin embargo, más extendidas en el tiempo que en las demás especies estudiadas. En invierno y primavera del 2005, extrañamente, no se observó huevos ni larvas de esta especie en concentraciones apreciables.



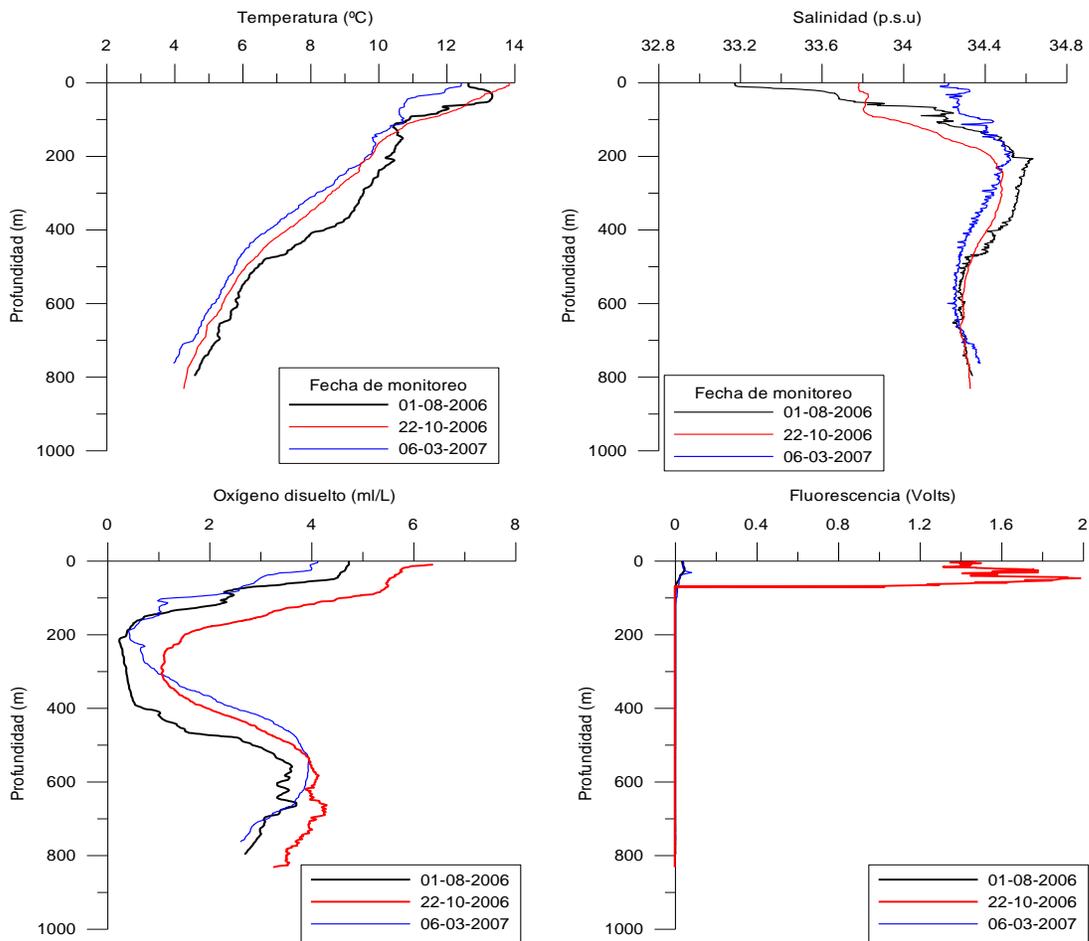
**Figura 3.4.29.** Abundancia de huevos y larvas de mote (*Normanichthys crockeri*) (ind. /100 m<sup>3</sup>) entre julio 2004 y junio 2006, en la estación ST18.

#### **3.4.4. Variabilidad temporal en las condiciones oceanográfico-biológicas Estación ST40**

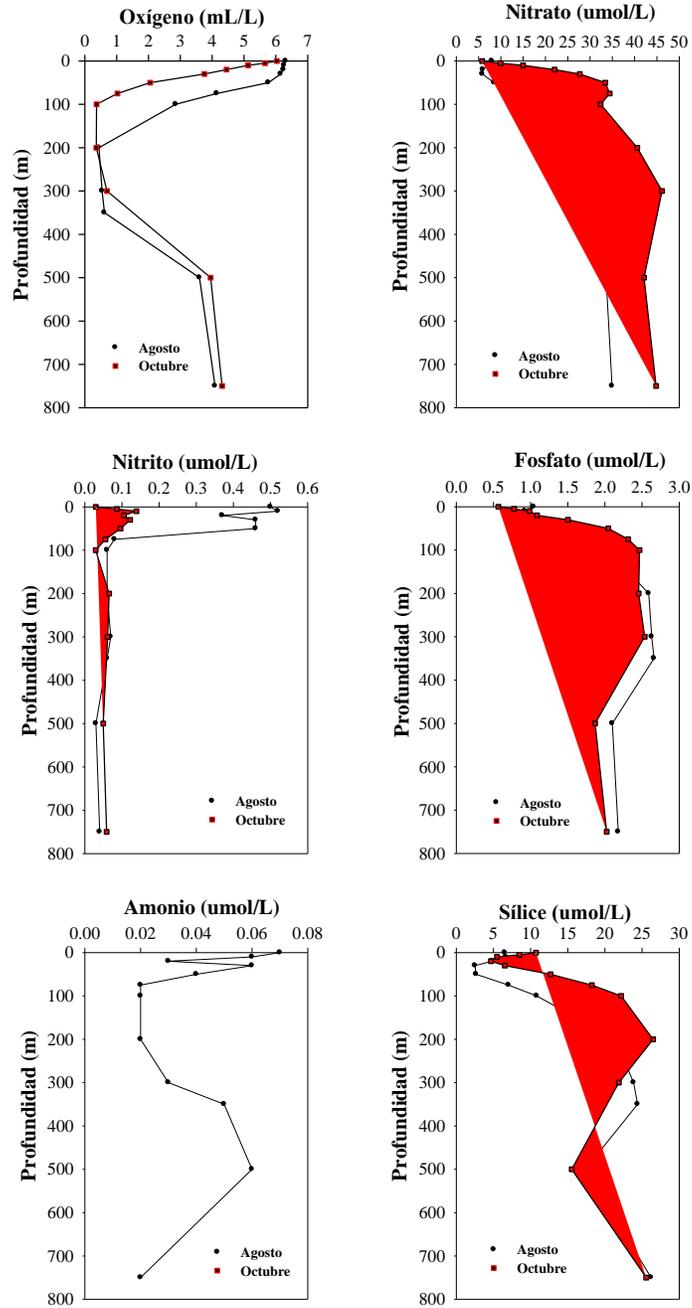
a) cambios estacionales en condiciones oceanográficas: Agosto 2006- junio 2007

##### *Observaciones in situ y mediciones de variables discretas en la Estación ST40*

Las variables oceanográficas muestran temperaturas y niveles de oxígeno mayores durante periodo primavera (muestreo 22 octubre 2006), con bajas niveles de salinidad menores en superficie, destacando principalmente por los altos niveles de fluorescencia, que funcionan como índice de biomasa fitoplanctónica (Figura 3.4.30). Para periodos otoño e invierno se observa bajas salinidades en superficie y niveles de temperatura que no sobrepasan los 13°C en superficie y concentraciones de oxígeno menores a 5 ml/L (Figura 3.4.30). Los perfiles verticales de oxígeno (discreto) y nutrientes se observan en la Figura 3.4.31; en ella no se aprecian cambios en los patrones de distribución ni en los niveles de concentración (excepto el nitrito).



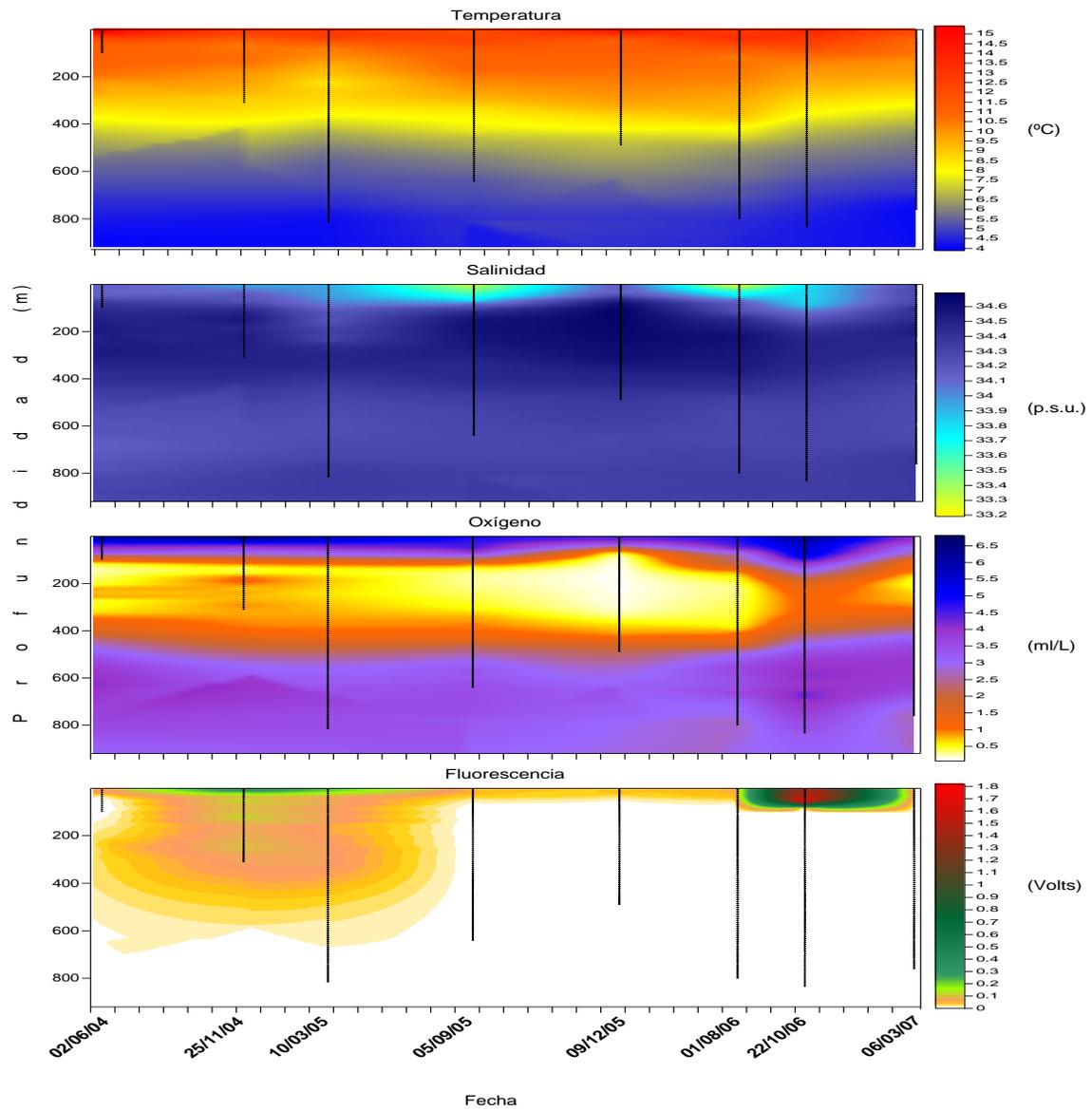
**Figura 3.4.30.** Variación temporal en los perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fluorescencia en la estación ST40 desde agosto 2006 al 12 de junio de 2007.



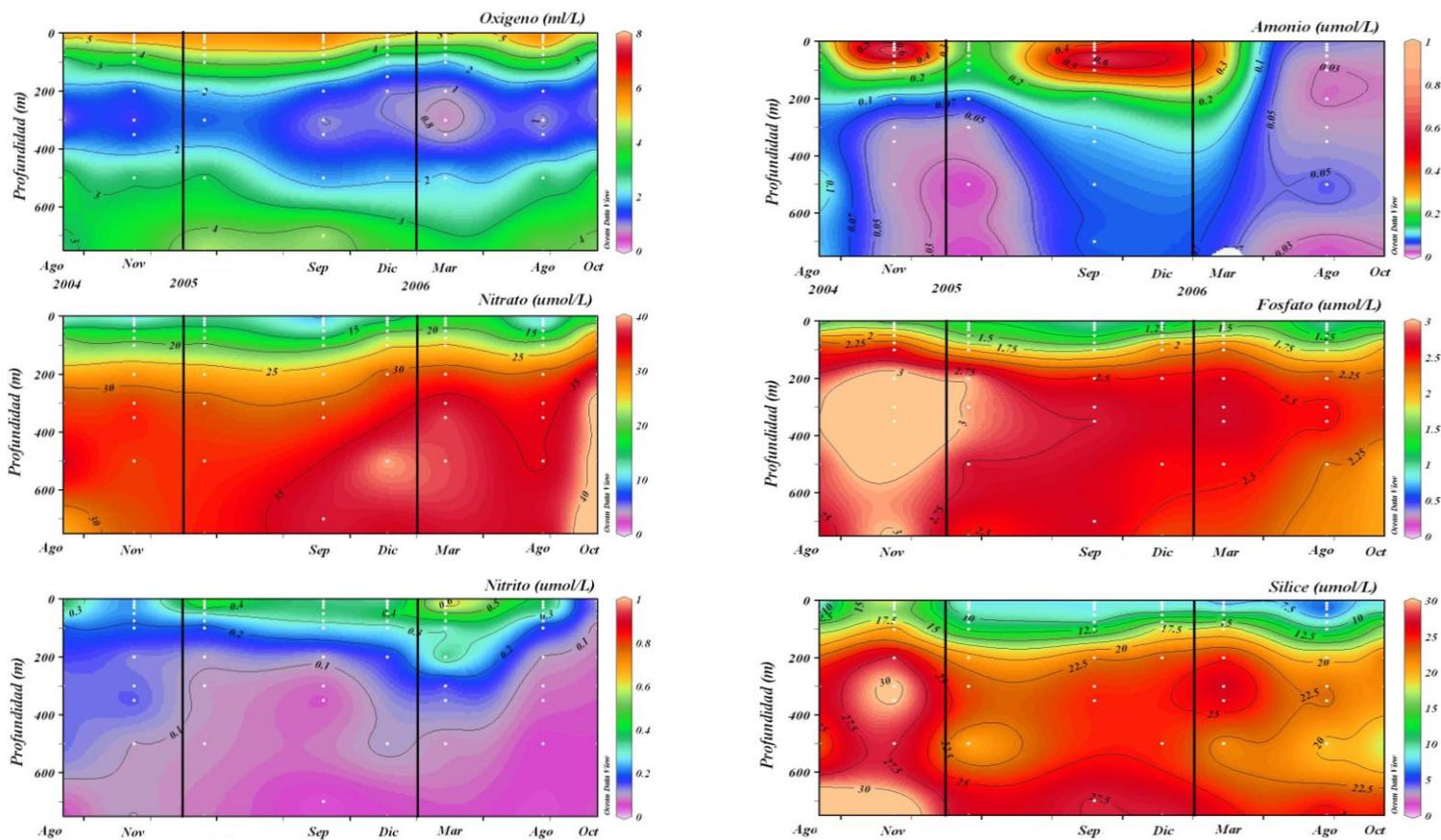
**Figura 3.4.31.** Perfiles de oxígeno disuelto, y nutrientes en la estación ST40, agosto 2006 y octubre 2006.

## b) Comparación interanual de las condiciones oceanográficas

La estacionalidad presente en esta zona se presenta en la Figura 3.4.32; se destaca principalmente por los mayores niveles de temperatura y concentraciones de oxígeno en superficie, durante periodos primavera- verano, mientras que durante el invierno estas variables disminuyen, además de presentar baja salinidad superficial producto de las fuertes lluvias en esta época. La fluorescencia se hace notablemente mayor durante los meses de primavera-verano, siendo mucho menores los niveles registrados en el resto del año. Se aprecia una zona mínima de oxígeno que se desplaza desde cerca de los 100 m hasta cerca de los 500 m. La variación de los nutrientes durante este mismo periodo se muestra en la Figura 3.4.33.



**Figura 3.4.32.** Variación temporal de la distribución vertical de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fluorescencia en la estación ST40, desde junio 2004 hasta marzo 2007.



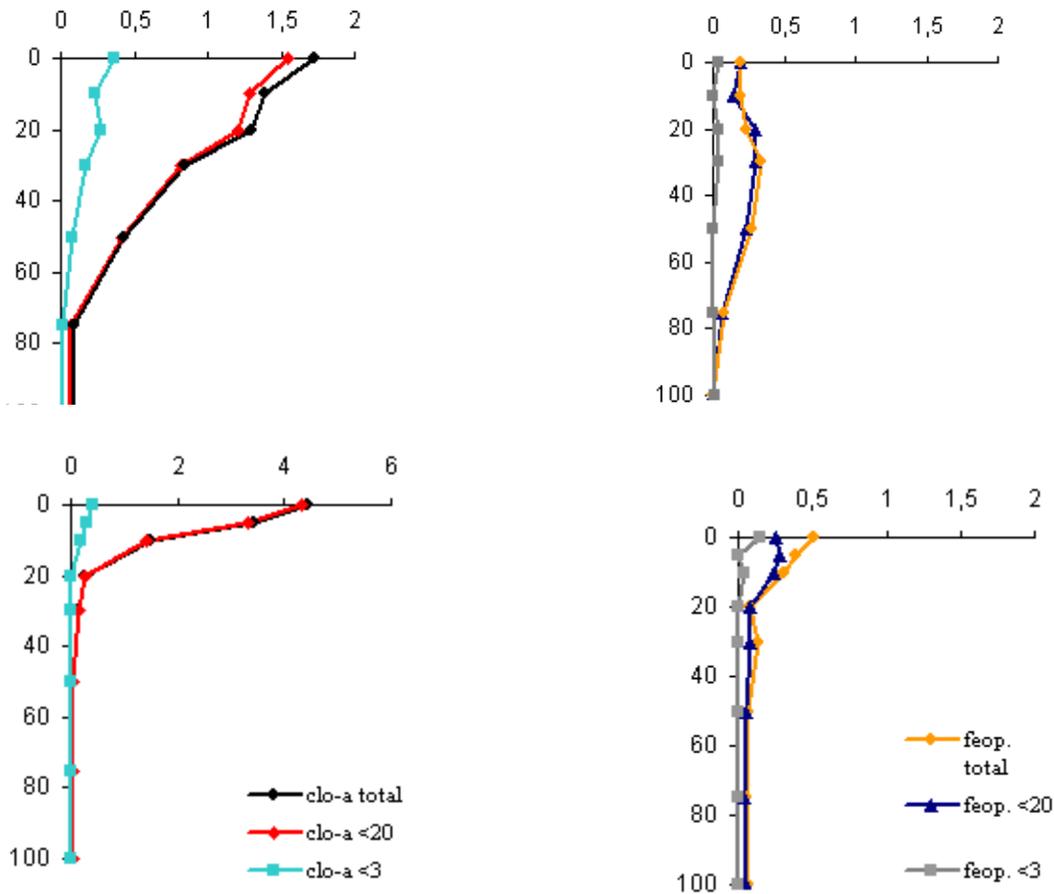
**Figura 3.4.33.** Variación temporal de la distribución vertical de oxígeno disuelto y nutrientes (oxígeno, nitrato, nitrito- panel izquierdo-; amonio, fosfato y silicatos- panel derecho) en la estación ST40: período agosto 2004 hasta octubre 2006.

## Biomasa fitoplactónica

### a) comparación estacional

En la estación ST40, con dos muestreos realizados en invierno (Agosto 2006) y primavera (Octubre 2006), las concentraciones de clorofila-a y feopigmentos fueron las siguientes (0-100 m): la clorofila-a total presentó máximos superficiales (1,7 y 4,4 mg m<sup>-3</sup>, respectivamente) y se mantuvo en valores >1 mg m<sup>-3</sup> en los primeros 20 y 10 m, respectivamente. Los valores disminuyeron gradualmente bajo esta capa (Figura 3.4-34 paneles superior e inferior izquierdos). Prácticamente la totalidad de estos valores estuvieron representados por la fracción <20 um en ambas ocasiones (máximos de 1,6 y 4,3 mg m<sup>-3</sup>, respectivamente) mientras que la fracción <3 um fue un componente muy menor (<0,4 mg m<sup>-3</sup>). Los feopigmentos (Figura 3.4-34, paneles superior e inferior derechos) fueron bajos (<0,51 mg m<sup>-3</sup>) para el total, la fracción <20 um (<0,3 mg m<sup>-3</sup>), y en la fracción <3 um (<0,2 mg m<sup>-3</sup>)."

Concentración de clo-a (mg/m-3)

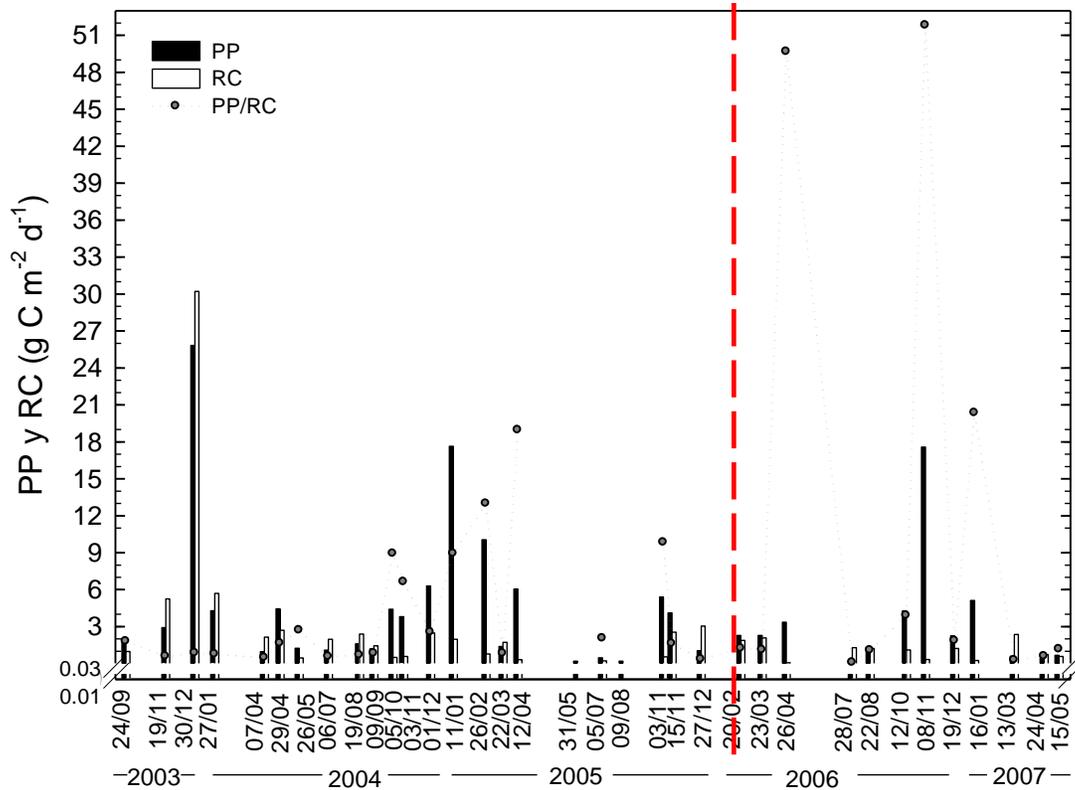


**Figura 3.4.34.** Perfiles verticales de clorofila y feopigmentos durante agosto 2006 (panel superior) y octubre del 2006 (panel inferior).

### 3.5. Variabilidad temporal en los procesos comunitarios y biogeoquímicos.

#### 3.5.1. Variabilidad temporal en la producción primaria y respiración comunitaria

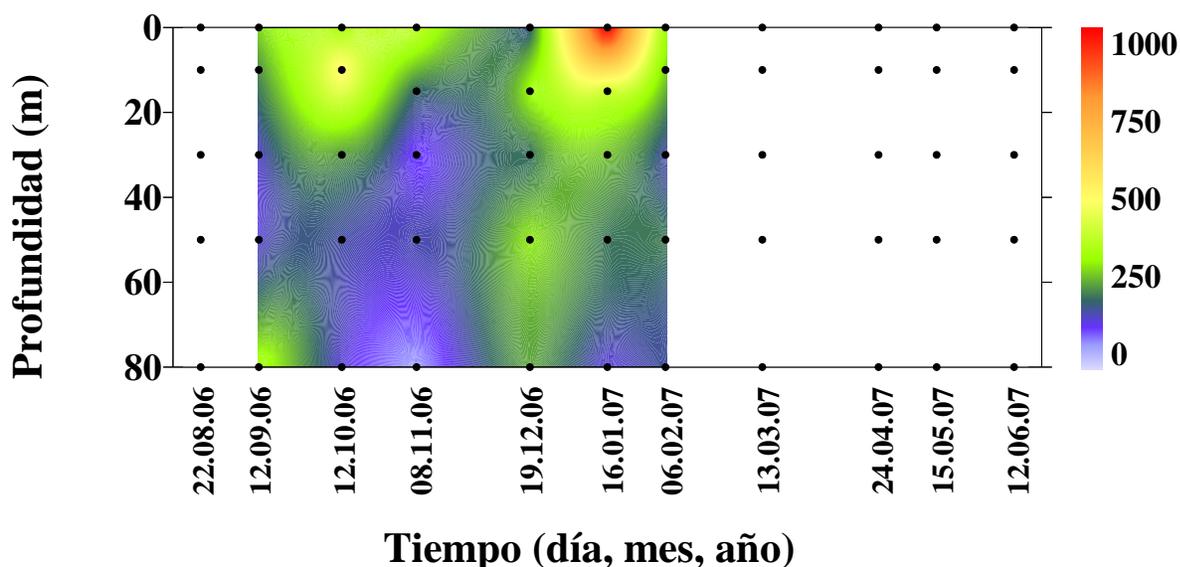
Los valores integrados de Producción Primaria (PP) y Respiración Comunitaria (RC) muestran una marcada estacionalidad en la zona de estudio (estación ST18) (Figura 3.5.1). Para cada año, desde octubre hasta abril se presentan los mayores valores de PP ( $1,8 - 25,8 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ); mientras que entre mayo y septiembre se concentran los bajos ( $<1,8 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Los niveles que muestra la figura 3.5-1 después de la línea punteada (actual período de estudio), siguen el mismo patrón estacional ya descrito, destacando máximos valores en noviembre 2006 ( $17,6 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) y mínimos en julio 2006 ( $0,1 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). La RC generalmente se igualó o fue menor que la PP, reflejando en la mayoría de los experimentos un balance  $PP/RC > 1$ , sugiriendo que en general el sistema se sustenta en su producción.



**Figura 3.5.1.** Variabilidad temporal de la tasa de Producción Primaria bruta (PP), Respiración Comunitaria (RC) y razón PP/RC en la estación ST18. La línea punteada roja indica el inicio del actual período de estudio.

### 3.5.2 Variación temporal de la distribución vertical de carbono orgánico particulado

El carbono orgánico particulado (COP) integrado de la columna de agua fue relativamente homogéneo entre septiembre 2006 y febrero 2007. El promedio del COP de columna de agua fue de  $17,1 \text{ g C m}^{-2}$  y con un máximo - mínimo de  $24,6 - 13,6 \text{ g m}^{-2}$ , correspondiente a enero 2007 y noviembre 2006, respectivamente. La distribución vertical promedio de COP disminuyó con el incremento de la profundidad, oscilando entre  $420-313 \text{ } \mu\text{g C L}^{-1}$  en los primeros 0 y 10 m, para estabilizarse entre los 30-80 m donde los valores fluctuaron alrededor de  $160 \text{ } \mu\text{g C L}^{-1}$ . (Figura 3.5.2).

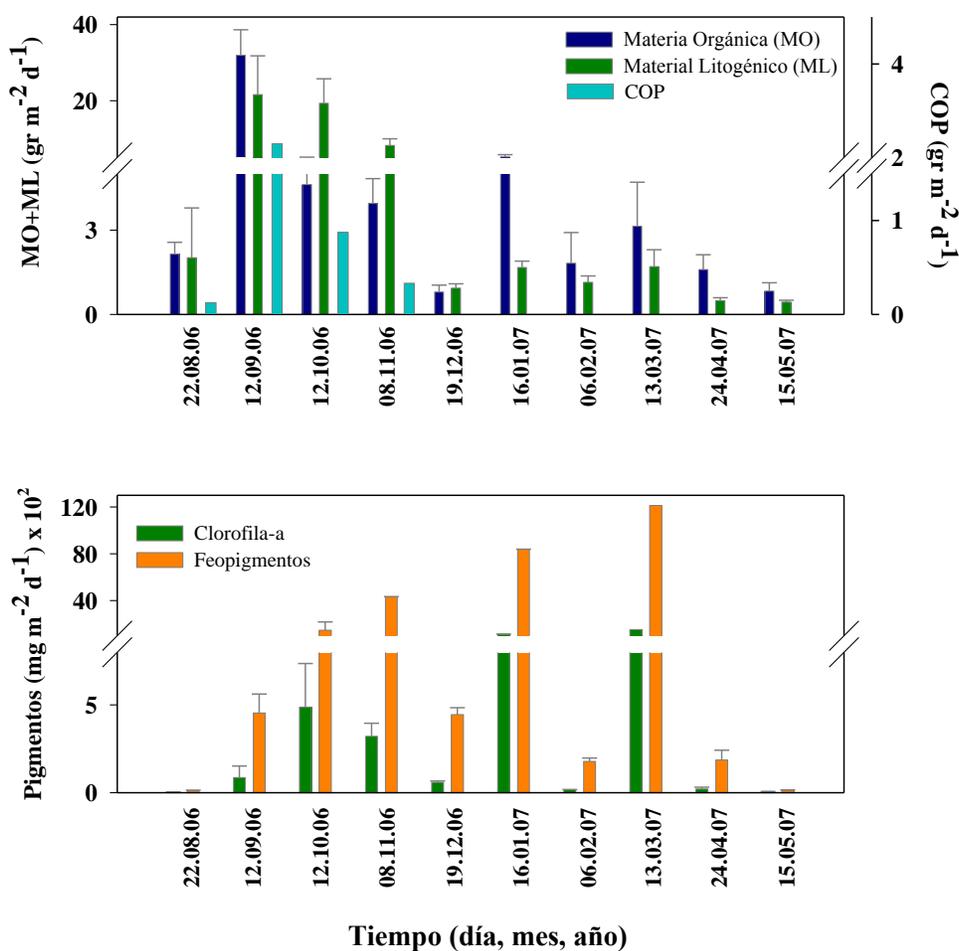


**Figura 3.5.2.** Variabilidad temporal en el contenido de carbono orgánico particulado (COP;  $\mu\text{g C L}^{-1}$ ) en la columna de agua de la estación ST18 frente a Concepción.

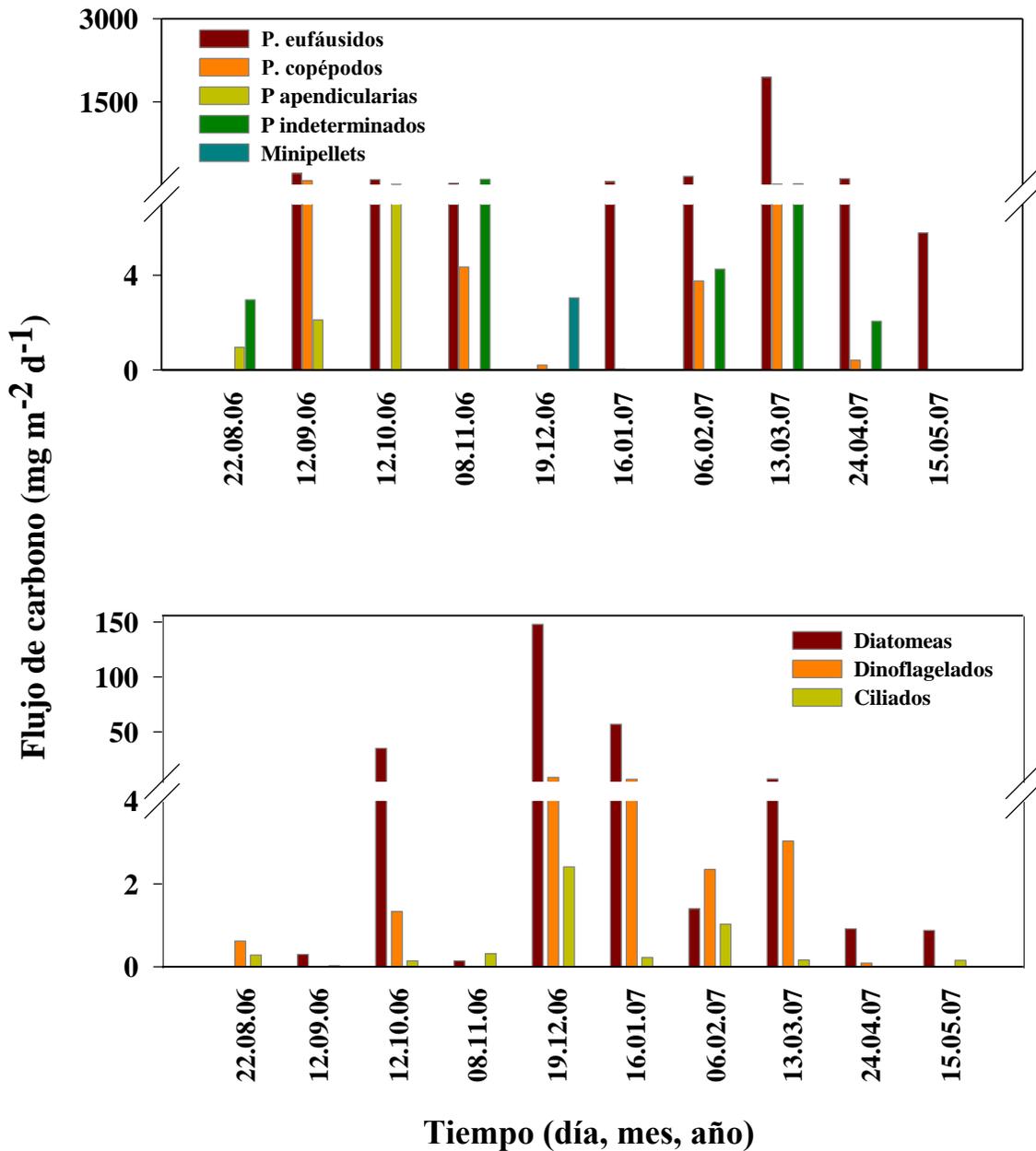
### 3.5.3. Variación temporal en el flujo vertical de material particulado

El flujo vertical de carbono orgánico particulado (COP) registró un promedio y rango de  $908 \text{ y } 125 - 2301 \text{ mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  entre agosto y noviembre 2006. El material orgánico y litogénico registrable fue muy variable con máximos en el mes de septiembre y octubre 2006 y promedios de  $5608$  (DE 9382,  $n = 10$ ) y  $5752$  (DE 8083,  $n = 10$ )  $\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (Fig. 3.5-3, panel superior). Los valores de feopigmentos medidos fueron siete veces mayores a los de clorofila-a y promediaron  $276$  y  $37 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , respectivamente. Los flujos de clorofila-a fueron muy variables durante el período de estudio y los valores mas altos corresponden a sedimentación de agregados de diatomeas “frescas” (en su mayoría céntricas), mientras que el alto flujo de feopigmentos responde a la sedimentación de pellet fecales de zooplankton y agregados de fitodetritus (Figura 3.5.3, panel inferior).

Los organismos dominantes en el flujo de carbono fecal fueron los eufáusidos que contribuyeron con un 92% al flujo total de pellet en todo el período reportado. El flujo promedio de carbono fecal fue de  $122.9 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  con un máximo de  $1987 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  registrado en marzo 2007, compuestos en su totalidad por pellet de eufáusidos (Figura 3.5.4, panel superior). El flujo de carbono microplanctónico estuvo dominado por diatomeas, con promedio de  $25 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  y dinoflagelados  $3.2 \text{ mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , mientras que el aporte de ciliados al flujo vertical fue bastante mas reducido. El flujo de diatomeas ( $\text{cel m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) estuvo representado principalmente por los géneros *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Chaetoceros* mientras que el flujo de carbono de diatomeas estuvo dominado por *Odontella*, *Coscinodiscus* y *Thalassiosira*, diatomeas de mayor volumen y con alto contenido de carbono (Figura 3.4.4, panel inferior).



**Figura 3.5.3.** (Panel superior) Flujo vertical de materia orgánica (MO), litogénica (ML) y carbono orgánico particulado (COP) ( $\text{gr m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) y (Panel inferior) flujo vertical de clorofila-a y feopigmentos ( $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) estimado con trampas de sedimento a 50 m de profundidad entre agosto 2006 y mayo 2007 en la estación ST18. La línea vertical corresponde a la desviación estándar (n=3).



**Figura 3.5.4.** (Panel superior) Flujo de carbono fecal producido por diversos grupos del zooplancton ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) y (Panel inferior) flujo de carbono de diatomeas, dinoflagelados y ciliados ( $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) estimado con trampas de sedimento a 50 m de profundidad entre agosto 2006 y mayo 2007 en la estación ST18.

## 4. DISCUSION.

### 4.1. Variabilidad espacial en las condiciones bio-oceanográficas durante la primavera 2006 (Octubre 2006).

#### Proceso de surgencia costera

La zona frente a Concepción se caracteriza por la ocurrencia estacional de surgencia costera inducida por la coacción de vientos del sector sur y suroeste sobre la superficie del océano, durante el periodo primavera-verano (Sobarzo et al., en prensa). El efecto de la surgencia inducida por vientos se observó durante el crucero FIP 2006-12 de primavera 2006, manifestándose claramente a través de las distribuciones horizontales y verticales de las variables físicas y químicas (i.e., temperatura, salinidad, densidad y oxígeno). El ascenso de isopícnas hacia la costa es evidente, siendo la más representativa la isoterma de los 12°C. La zona de mayor influencia de la surgencia se registra en la franja costera (hasta 20 mn de la costa), y se distingue por los valores en superficie de temperatura (12-13°C), nitratos > 20  $\mu\text{mol L}^{-1}$  y oxígeno (<2  $\text{ml L}^{-1}$ ). Esas características hidrográficas están asociadas a las Aguas Ecuatorial Subsuperficiales (AEES), según descripciones de Brandhort (1971) y Silva (1983), provenientes de una zona ubicada en la zona ecuatorial de Pacífico Oriental (8°S) y que es transportada hacia el sur por la Contra-corriente de Chile-Perú o Corriente de Gunther (Silva y Neshyba, 1979).

El sistema de surgencia de Concepción es uno de los sistemas más productivos de borde oriental e incluso del mundo; con valores de producción primaria (PP) que fluctúan entre 1 y 20  $\text{g C m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , con máximos en primavera-verano (Daneri et al., 2000; Farías et al., 2004; Montecino et al., 2004). La gran variabilidad observada en las tasas de producción primaria se debe a la existencia tanto de eventos temporales episódicos (e.g., florecimientos algales), como a la existencia de una variabilidad espacial explicada en términos de la estructura de meso-escala (e.g., filamentos).

El área de estudio queda delimitado por un frente de surgencia bien definido a través de la distribución horizontal de variables físicas a distintas profundidades (ver Figuras 3.1.7, 3.1.8, 3.1.9, 3.1.10), con valores bajos de TSM (12°C) y oxígeno disuelto (2.0  $\text{ml L}^{-1}$ ) y, a través de las isolíneas de temperatura, salinidad, oxígeno y nutrientes que se proyectan hacia la superficie (ver Figuras 3.1.12 y 3.1.13). Al efecto de la surgencia en la zona costera se le suma el efecto de los rasgos batimétricos del área (i.e., un 9.2% del área total subyace sobre la isobata de los 200 m de profundidad y el 14.7% sobre la isobata de los 1000 m), lo que podría indicar, además, un intenso acoplamiento pelágico-bentónico que conlleva a un mayor consumo de oxígeno y reciclaje de nutrientes regenerados que pueden difundir hacia la columna de agua, dejando a disposición una mayor cantidad de nutrientes regenerados que pueden ser canalizados hacia comunidades foto o quimio-sintéticas.

Esto se refleja en la biomasa y distribución de pigmentos fotosintéticos (ver Figura 3.2.1). Las mayores concentraciones de clorofila-a total ( $>2 \text{ mg m}^{-3}$ ) se ubicaron en la zona más costera, especialmente entre el interior del Golfo de Arauco y la terraza del Itata. Además se encontraron concentraciones de clorofila-a total  $>1 \text{ mg m}^{-3}$  sobre la plataforma continental, con valores muy altos ( $>10 \text{ mg m}^{-3}$ ), indicativos de eventos de florecimiento algal “bloom” en primavera-verano (Morales et al., en prensa).

Parte importante de la PP total es aportada por las diatomeas, según se refleja en las altas abundancias de éstas al interior de la plataforma continental durante el crucero de primavera 2006 (Fig. 3.2.8), y que corrobora resultados anteriores (Daneri et al., 2000; González et al., en prensa). La mayor cantidad de diatomeas fue registrada en la zona costera (Fig. 3.2.8) y; esta distribución coincide con la de clorofila-a total (Fig. 3.2.1). Las especies numéricamente más importantes de diatomeas durante el crucero corresponden a los géneros *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Chaetoceros*. Estos géneros presentan dos aspectos muy relacionados; primero, son especies formadoras de cadenas o conglomerados (aumento de tamaño) y segundo, son importantes agentes en el acople entre la capa superficial productiva y los sedimentos (exportación) en los períodos de primavera y verano. Además, estos géneros usualmente adquieren altas dominancias en estos sistemas costeros de alta energía (turbulentos) y ricos en nutrientes (Margalef, 1978; Hutchins, 1995; Kudela et al., 2005), como también ha sido reportado para esta misma zona con anterioridad (González et al., 1987; González et al., en prensa).

Sin embargo, es paradójico que, como biomasa fitoplanctónica, las concentraciones de clorofila-a total estuviesen mayormente representadas por la fracción nano-fitoplanctónica durante el crucero (Fig. 2.3.3) y no por el micro-fitoplancton. Es posible que eso sea un resultado del estado de agregación de las diatomeas durante el muestreo (cadenas o conglomerados versus células solitarias) ya que si están como solitarias normalmente quedan en el límite entre los tamaños nano- y microplanctónicos (15 a 25  $\mu\text{m}$ ). De todas maneras, es destacable que: a) las concentraciones totales de clorofila-a no alcanzaron los valores más altos detectados en otros cruceros y estudios, y b) que la distribución de máximos en nanoplancton autótrofo (mayormente flagelados) coincide con la de las diatomeas como grupo (Figs. 3.2.7 y 3.2.8). Es probable que bajo las condiciones oceanográficas cambiantes durante este crucero, ambos grupos estuviesen representados en similar magnitud, tal como ha ocurrido en otras ocasiones en el área de estudio (Anabalón et al., en prensa).

Aparentemente, en el período de condiciones favorables (primavera-verano), el incremento sustancial de las diatomeas es resultado de una falta de control por parte de sus principales consumidores, como copépodos y eufáusidos (Kjørboe, 1993; Irigoyen et al., 2005). Se debe destacar que en la zona de estudio se manifiestan altos niveles de biomasa y abundancia del metazooplancton durante el ciclo anual, y varias de las especies dominantes (e.g., *Paracalanus*, *Oithona*) poseen ciclos generacionales cortos ( $<30$  días) pero están presentes a través de todo el año, indicando una reproducción continua e independiente a la estacionalidad. Ciertamente, las mayores concentraciones del metazooplancton se observan

en el período de primavera/verano, pero no se puede descartar que este incremento estacional se asocie principalmente a una mayor agregación zooplanctónica en la franja costera, cuando la surgencia es intensa. Así mismo, huevos y larvas de anchoveta, sardina común y mote presentaron distribución similar, caracterizada por mayores abundancias en la zona costera sobre la plataforma continental.

La condición de surgencia genera la presencia de frentes costeros que inducen a una mayor agregación planctónica y, a su vez, produce el levantamiento de la OMZ, factor que induce de igual manera una mayor agregación en los estratos superiores de la columna de agua. La fuerte correlación negativa entre la profundidad de la OMZ y abundancia de las especies dominantes sobre una escala temporal (Escribano et al., en prensa) y espacial (Tabla 3.2.2) apoya esta hipótesis. De cualquier manera, la continuidad en la reproducción y mantenimiento de las poblaciones zooplanctónicas agregadas a la costa son caracteres que resaltan la alta productividad biológica de los niveles tróficos primarios y secundarios del ecosistema marino de esta región. Por otra parte, una proporción importante de la PP en esta zona es canalizada vía la trama microbiana, otra igualmente importante es exportada hacia los sedimentos, mientras que una parte pequeña sería aportada a la trama clásica (Grunewald et al., 2001; Vargas et al., 2007).

El hecho que las abundancia y biomasa de los principales comunidades (a excepción del microzooplancton) estén asociada las aguas más salinas, frías, pobres en oxígeno y ricas en nitrato, sugiere el importante efecto de la surgencia costera sobre la franja más costera y pone de manifiesto la interacción de estas comunidades a través de la mayor disponibilidad de alimento partiendo desde el primer nivel trófico (productores primarios).

### **Procesos oceanográficos de meso-escala**

Las imágenes satelitales de temperatura superficial durante el crucero (Fig.3.1.6), junto con la distribución superficial *in situ* de temperatura, confirman la influencia espacial de proceso de surgencia, durante el periodo de muestreo. En base a estas imágenes se puede observar eventos de aforamiento de aguas frías, en tres centros de surgencia: Pta. Lavapie, Pta. Tumbes y Pta. Nurgurue (cercañas de la desembocadura del Río Itata), ya anteriormente descritos, como centro de afloramiento costeros por (Cáceres & Arcos, 1991; Sobarzo, 1998).

La distribución superficial de clorofila-a basada en imágenes satelitales indica la presencia de plumas de surgencia, filamentos, y remolinos en la zona de estudio, las cuales favorecen la expansión de las altas concentración de clorofila más allá de la plataforma continental (Fig. 3.1.6). Estas estructuras de mesoescala son características en esta zona y están asociadas a los altos niveles de energía cinética en la región de transición costera (Hormazabal et al., 2004); a ellas se asocian además mayores concentraciones de clorofila-a (Correa-Ramírez et al., 2007). La presencia de estas estructuras, pero especialmente de remolinos, puede potencialmente contribuir a un aumento en la PP total de la zona a través de aportes suplementarios de nutrientes (Leth & Middleton, 2004), tal como se ha señalado

para otras áreas que presentan estas estructuras (McGillicuddy and Robinson, 1997; McGillicuddy et al., 1999). A su vez, los filamentos son exportadores horizontales de clorofila-a y plancton hacia la zona oceánica adyacente, como se ha detectado en esta zona (Morales et al., en prensa) y otros sistemas similares (Lutjeharms et al., 1991; Alvarez-Salgado et al., 2007).

#### **4.2 Variabilidad temporal en las condiciones bio-oceanográficas: escala intra-estacional, estacional, e interanual**

##### **Condiciones oceanográficas en el Pacífico ecuatorial**

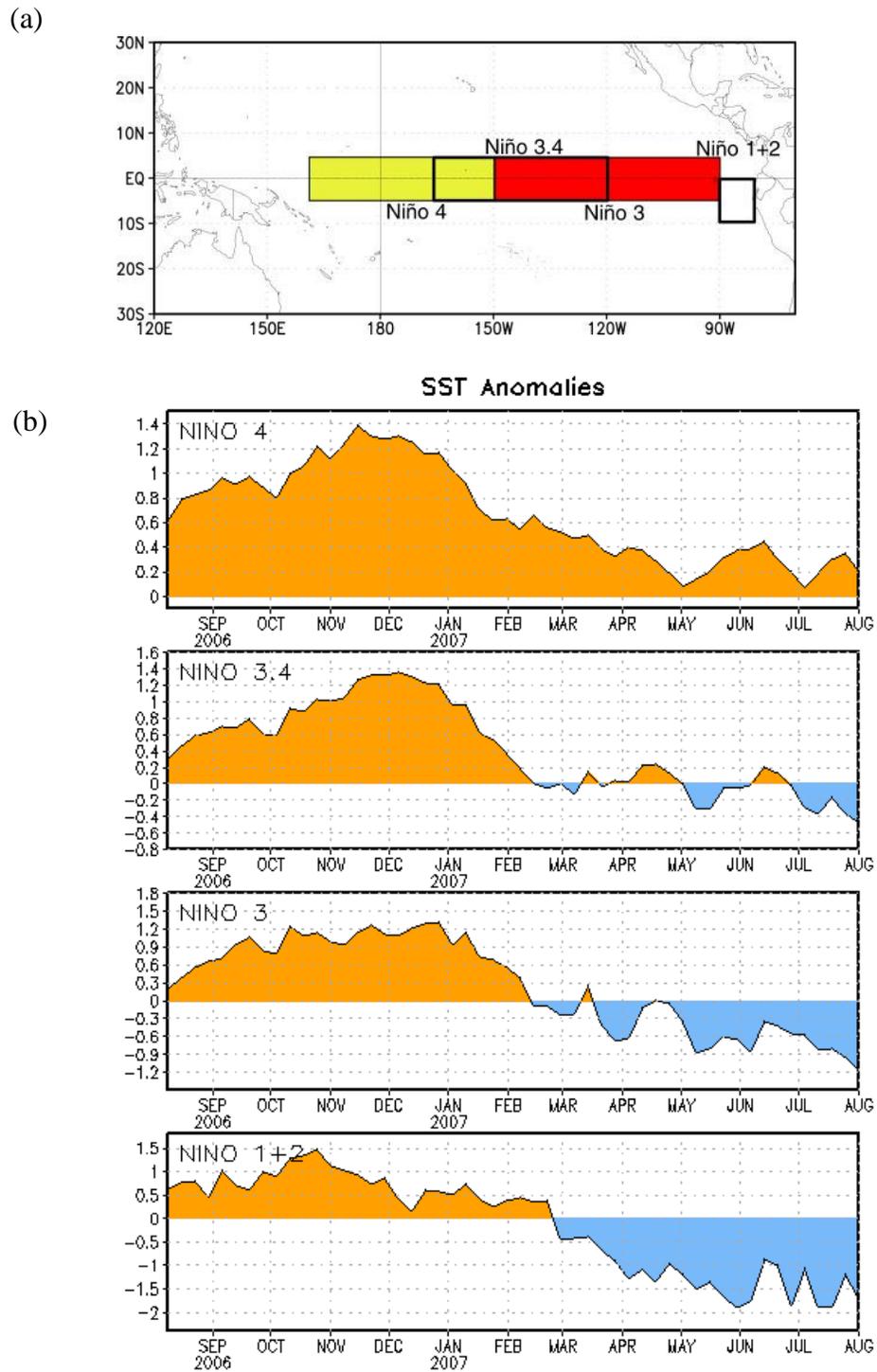
Es importante conocer las condiciones oceanográficas en el Pacífico ecuatorial debido a la influencia que tiene esta región en la variabilidad oceanográfica a lo largo de la costa norte y centro de Chile. Desde mayo de 2006 comenzaron a desarrollarse anomalías positivas de la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial. Particularmente, la región conocida como El Niño3, 4 (5°N-5°S, y 170°W-120°W) mostró anomalías que fueron incrementando hasta alcanzar valores cercanos a 1.4°C a fines de noviembre y comienzos de diciembre de 2006. Las anomalías cerca de la costa de Sudamérica (región El Niño1, 2) alcanzaron un máximo cercano a 1,5°C durante octubre de 2006 (Figura 4.2.1 ). Correspondientemente, a partir de mayo comienzan a desarrollarse anomalías positivas de la TSM en el Pacífico ecuatorial, cerca de la línea de cambio de fecha, las que se asocian a anomalías en la profundidad de la termoclina (representada por la isoterma de 20°C) en la parte oriental y de la temperatura integrada en los 300 m superiores de la columna de agua (Figura 4.2-2).

La Tabla 4.2.1 muestra las anomalías de la temperatura en la región Niño3,4 (anomalías calculadas sobre el período base 1970-2000 y filtradas con un promedio móvil de 3 puntos) Estas anomalías son usada comúnmente para definir condiciones frías o cálidas en el Pacífico ecuatorial. Los números en azul indican periodos fríos y los números en rojo, periodos cálidos. Los periodos cálidos (fríos) están definidos cuando las anomalías son superiores (inferiores) a 0.5°C (-0.5°C) por 5 meses consecutivos. Desde septiembre de 2006 se mantuvieron anomalías positivas de temperatura en la región El Niño3, 4. Los valores fueron superiores al valor definido como umbral, correspondiendo por lo tanto, al inicio de un periodo cálido. Aunque este fue relativamente débil y sólo se mantuvo hasta enero de 2007.

**Tabla 4.1.1.** Anomalías de la temperatura en la región Niño3, 4 calculadas sobre el período base 1970-2000 y filtradas con un promedio móvil de 3 puntos. Los números en azul indican periodos fríos y los números en rojo periodos cálidos (ver texto para detalles de la definición de los períodos).

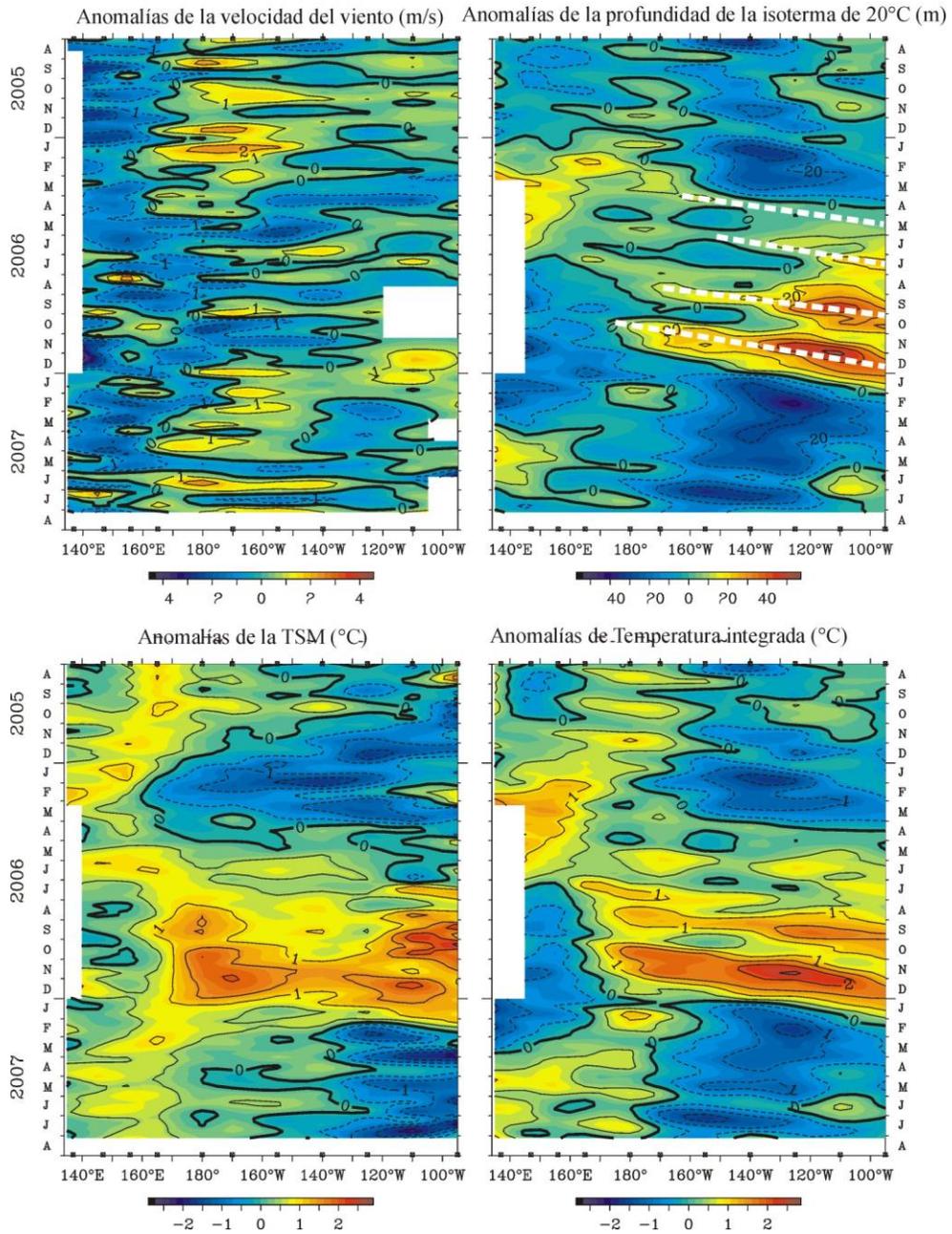
<b>2000</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.1</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.6</b>	-0.4	-0.3	-0.4	<b>-0.5</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>
<b>2001</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.5</b>	-0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.2
<b>2002</b>	-0.1	0.1	0.3	0.4	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.3</b>	<b>1.5</b>	<b>1.3</b>
<b>2003</b>	<b>1.1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.6</b>	0.1	-0.1	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5
<b>2004</b>	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.9</b>	<b>0.8</b>
<b>2005</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	0.3	0.4	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.4	-0.7
<b>2006</b>	-0.8	-0.7	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.4	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.1</b>
<b>2007</b>	<b>0.8</b>	0.3	0.1	-0.1	0.0	-0.1						

Sobre la base de las anomalías de la profundidad de la termoclina, es posible distinguir 4 perturbaciones intraestacionales (periodos de 2 a 3 meses) que se propagan hacia el este desde el Pacífico ecuatorial central. Estas comienzan en mayo de 2006 y crecen en amplitud durante el año. La Figura 4.2.2 (panel superior), sugiere que estas anomalías se propagan hacia el este como ondas de Kelvin, alcanzando la parte oriental del dominio en mayo, julio, septiembre y diciembre. Estas perturbaciones, luego de llegar a la costa de Sudamérica pueden generar ondas atrapadas a la costa y así alcanzar las costas de Chile algunos días más tarde. Para ilustrar la propagación a lo largo del ecuador es conveniente observar las anomalías de la profundidad de la isoterma de 20°C. En la Figura 4.2.2 (panel inferior) se incluyeron algunas líneas segmentadas como referencia. Note que las amplitudes de estas perturbaciones (ondas ecuatoriales de Kelvin) van en aumento desde mayo a diciembre.



**Figura 4.2.1.** (a) Regiones del Pacífico ecuatorial utilizadas comúnmente para evaluar la evolución del ENOS. (b) Anomalías de la temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) en las regiones Niño 4 ( $150^{\circ}\text{W} - 160^{\circ}\text{E}$ ), Niño 3.4 ( $170^{\circ}\text{W} - 120^{\circ}\text{W}$ ), Niño 3 ( $150^{\circ}\text{W} - 90^{\circ}\text{W}$ ) y Niño 1+2.

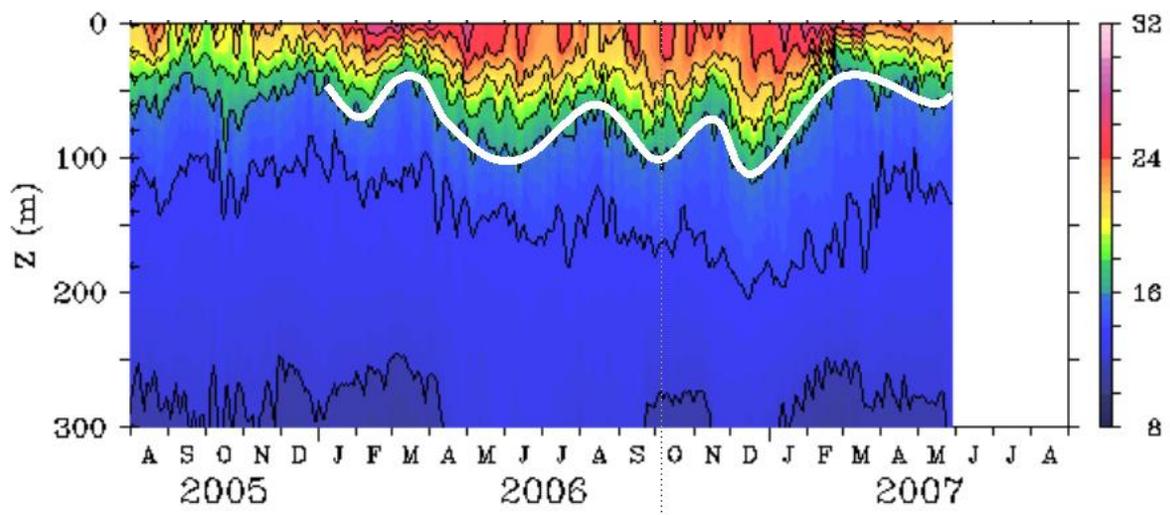
Anomalías del viento zonal y de la profundidad de la isoterma de 20°C  
a lo largo del ecuador promediada entre 2°S y 2°N (Proyecto TAO/NOAA)



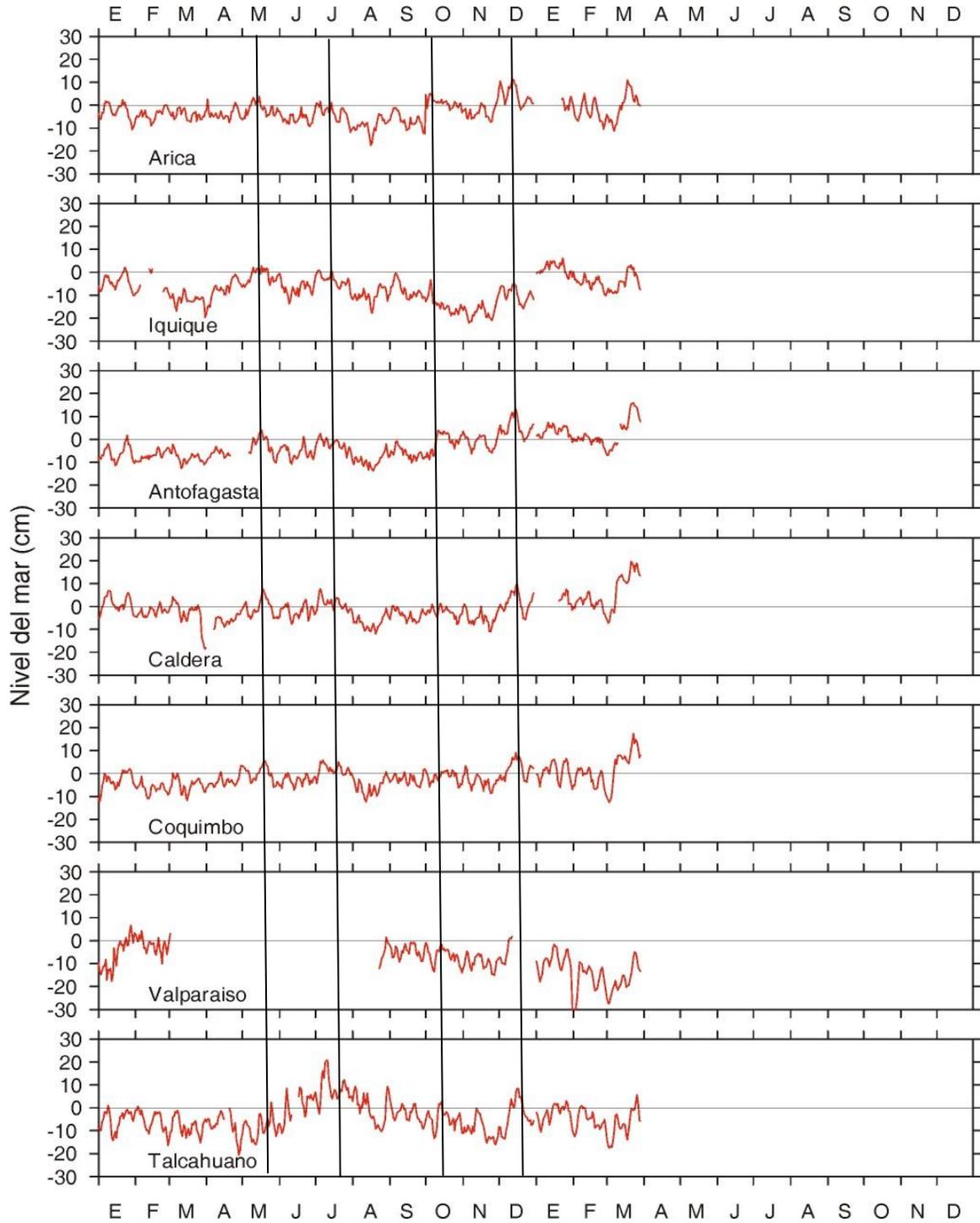
**Figura 4.2.2.** Gráficos longitud-tiempo a lo largo del Pacífico ecuatorial. (a) Anomalías del viento zonal (positivas hacia el este), (b) anomalías de la profundidad de la isoterma de 20°C (representativa de la profundidad de la termoclina), (c) anomalías de la TSM y (d) anomalías de la temperatura promedio en los primeros 300 m de profundidad. Las líneas segmentadas en (b) ilustran la propagación de las anomalías asociadas a ondas ecuatoriales de Kelvin.

En la parte oriental la señal suele ser más confusa debido a que modos más altos aumentan su amplitud, los cuales viajan a una velocidad menor y se superponen a los modos más bajos. Para mayor claridad se graficó la serie de tiempo de diferentes isotermas en el Pacífico ecuatorial oriental (95°W). Allí se observa claramente el incremento de la profundidad de la termoclina asociada a las ondas de Kelvin ecuatoriales (Fig. 4.2-3). Sin embargo, se observa un aumento de la profundidad de la termoclina entre abril y julio con máxima profundidad en mayo. En esta figura no son claros los eventos separados de mayo y julio observados en el Pacífico ecuatorial central. Esta larga oscilación es justamente producida por la superposición de varios modos. Los modos altos, aunque suelen ser menos energéticos, pueden tener un mayor efecto en la profundidad de la termoclina, particularmente en la parte oriental, donde la termoclina ecuatorial es más somera.

Tanto la teoría de ondas ecuatoriales, como un número significativo de evidencias previas, muestran que las anomalías de la profundidad de la termoclina que viajan hacia el este como ondas de Kelvin, generen ondas atrapadas a la costa con periodos similares. Los registros de nivel del mar en distintos puntos de la costa norte de Chile presentan fluctuaciones de amplitud moderada que podrían asociarse a estas perturbaciones ecuatoriales (Figura 4.2-4). Sin embargo, los registros costeros presentan bastante energía a frecuencias mayores que dificultan una directa comparación con las oscilaciones intraestacionales. Durante octubre de 2006, mes en el que se realizó el crucero oceanográfico, anomalías positivas de temperatura superficial del mar dominaban la región ecuatorial, sin embargo, en la zona del crucero, frente a la costa central de Chile, las anomalías eran muy pequeñas o nulas, reflejando un débil efecto de las condiciones ecuatoriales durante ese periodo.



**Figura 4.2.3.** Fluctuaciones de la termoclina en el pacífico ecuatorial oriental. Información obtenida de la boya TAO ubicada sobre el ecuador a 95°W (información obtenida del proyecto TAO/NOAA)



**Figura 4.2.4.** Nivel del mar observado en diferentes estaciones mareográficas a lo largo de la costa de Chile. Las líneas inclinadas sugieren ondas atrapadas a la costa asociadas a ondas ecuatoriales de Kelvin.

## **4.2. Variabilidad temporal en las condiciones oceanográficas de la región de Chile central**

Con el fin de caracterizar los procesos dinámicos de las aguas que ocurren en la región de estudio y determinar el grado de influencia de los factores meteorológicos y oceanográficos sobre la estructura y función de las comunidades biológicas se han analizado e interpretado dos series de tiempo ubicadas en distintas posiciones geográficas y con diferentes frecuencias de muestreo. En este proyecto se analizó la información obtenida en el periodo Agosto 2006 a Junio 2007 (pendiente Julio 2007) y aquí se interpreta en relación a la información obtenida en años anteriores para fines comparativos y, análisis de la variabilidad intra-estacional y estacional en el contexto de la variabilidad interanual. Esto, con el objeto de que el análisis refleje los procesos dinámicos de mayor escala, como las interacciones océano-atmósfera en el ciclo ENSO, ondas de Kelvin u otro tipo de ondas planetarias, todos los cuales contribuyen a modificar (modular) el estado promedio del océano y, por ende, influyen sobre los procesos de menor escala, como los estacionales (e.g., surgencia) e intra-estacionales (ondas atrapadas a la costa).

El análisis de la información para el período de estudio indica que la estación 18 refleja de manera apropiada la marcada variabilidad oceanográfica estacional, especialmente referida al forzamiento ejercido por la surgencia costera en la zona. El patrón de surgencia en primavera-verano y no-surgencia en otoño-invierno está detallado en Sobarzo et al. (en prensa) para el periodo anterior a este estudio. En términos generales se puede hablar de un ciclo anual normal de condiciones oceanográficas, con una fuerte estacionalidad que se manifiesta en un período estival estratificado térmicamente, con aguas de mayor salinidad y una capa de mínimo oxígeno somera, en contraste a un invierno con una columna de agua mezclada, mayor oxigenación sub-superficial y aguas de menor salinidad.

### **Variabilidad en los componentes planctónicos**

Respecto de la biomasa fitoplanctónica, los cambios en la clorofila-a total durante el ciclo anual de estudio fueron normales en el sentido de máximas concentraciones en periodo de primavera-verano, como se ha reportado para la estación de muestreo 18 (Gonzalez et al., en prensa). Sin embargo, a diferencia de años anteriores (Julio 2004 a Julio 2006), en el periodo de primavera-verano 2006-2007, la presencia de máximos de clorofila-a ( $>2 \text{ mg m}^{-3}$ ) estuvo muy restringida temporalmente (Fig. 3.4.13, panel superior). Más aún, en años anteriores estos máximos se extendieron al periodo de otoño temprano (marzo-abril) mientras que en el periodo 2006-2007 las concentraciones se han mantenido muy bajas por un periodo amplio que va entre febrero 2007 hasta el último muestreo realizado (junio 2007). Destaca a su vez en esta serie de tiempo que las concentraciones mayores o iguales a  $1 \text{ mg m}^{-3}$  permanecen prácticamente todo el año en esta zona, niveles que son considerados de aguas eutróficas (Montecino et al., 2004). Sin embargo, es justamente en el último periodo de la serie que las concentraciones han permanecido por debajo de este nivel.

Respecto de las comunidades pico- y nano-plactónicas, éstas no han mostrado una clara estacionalidad en la serie de tiempo (Böttjer & Morales, en prensa) así como tampoco en el periodo de este proyecto en el contexto de la data anterior. Si es frecuente que los máximos en los componentes autotróficos co-ocurran con los máximos en micro-fitoplancton en periodo de surgencia (Figs. 3.4.17, 3.4.18 y 3.4.20, respectivamente). Además, los componentes autotróficos parecen co-existir en las capas más superficiales (<30 m) en esta estación costera, aspecto que está relacionado y correlacionado positivamente a la temperatura y oxígeno disuelto y, negativamente a la salinidad (valores mayores normalmente a mayor profundidad o solo en los focos de surgencia). Los componentes heterotróficos muestran aún un menor grado de estacionalidad (Figs. 3.4.17 y 3.4.18, panel inferior, respectivamente).

También se destaca la fuerte variabilidad inter-anual en la estructura comunitaria del meso y macrozooplancton. Las comparaciones de los cruceros del 2004, 2005 y 2006 muestran cambios importantes en las especies dominantes en la capa de los 200 m. El año 2004 se destacó por los eufáusidos, el 2005 por la presencia de *Calanus chilensis* y el 2006 por la dominancia de pequeños copépodos como *Paracalanus parvus*. Estos cambios deberían ejercer una influencia crítica en el flujo de C y la producción de niveles tróficos superiores que incluyen las especies de peces recursos. Es difícil, no obstante, aventurar una consecuencia específica, pero los cambios en tamaños de ítemes presas para peces pueden ser un factor que requiere mayor atención.

### **Procesos biogeoquímicos y estado del ecosistema**

En Concepción, el ciclo anual de productividad ha sido principalmente relacionado con los eventos de surgencia costera (nutrientes) y el campo de luz (Daneri et al., 2000). Durante este estudio, efectivamente las elevadas tasas de PP del período productivo coincidieron con el mejoramiento en las condiciones de luz (Fig 3.4.3) y con el aumento en la concentración de nutrientes (Fig 3.4.9). Sin embargo, las bajas tasas de PP de otoño - invierno sólo coincidieron con la disminución del campo de luz, ya que los nutrientes (nitrato y fosfato) dentro de la capa de mezcla no mostraron diferencias significativas con las concentraciones del período productivo (nitrato:  $U = 996$ ,  $p > 0.05$ ,  $n = 96$ ; fosfato:  $U = 970$ ,  $p > 0.05$ ,  $n = 96$ ). Bajo este contexto, es posible plantear que, con la escala mensual de muestreo de este estudio, la PP en el ecosistema de surgencia de Concepción está mayormente asociada a la estacionalidad de los niveles de radiación solar. No obstante, se destaca la importancia de la dinámica de nutrientes en escalas de tiempo menores (< semanal) que incluyen eventos de surgencia y relajación.

La estacionalidad en los pulsos de PP que mostró el sistema, también fue observada en las tasas de RC integrada (Fig 3.5.1). La fuerte correlación positiva encontrada entre los valores de PP y RC ( $r_s = 0.72$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 24$ ), unida al resultado que mostró el balance de estas dos variables durante la mayoría de los experimentos ( $PP/RC = 1.05 \pm 0.6$ ,  $n = 21$ ), sugiere un importante grado de acoplamiento entre la formación y uso de materia

orgánica dentro del ecosistema de surgencia de Concepción. No obstante, la rápida respuesta de la comunidad heterótrofa frente a la producción de materia orgánica no fue observada durante todo el período de estudio; desde octubre de 2004 hasta abril de 2005, y en casos puntuales, como noviembre de 2005, abril, octubre y noviembre de 2006, más enero de 2007, el sistema mantuvo un metabolismo desacoplado mostrando una notoria fase de autotrofia ( $PP/RC = 8.1 \pm 5.6, n = 9$ ). Las elevadas tasas de PP mantenidas desde octubre de 2004 hasta abril de 2005 (4 a  $18 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), coincidieron con el simultáneo aumento de la concentración promedio del nitrato y fosfato dentro de la capa de mezcla. El incremento en la concentración de nutrientes, fue probablemente inducido por el mayor forzamiento del viento favorable a la surgencia que se registró en esta etapa (data serie de tiempo COPAS). Los bajos valores de PP/RC observados, pueden estar relacionados con la presencia de células del nano y picoplancton (dominados por una gran comunidad de flagelados heterótrofos) que tienden a dominar durante la estación no productiva de invierno (Böttjer & Morales, 2005).

### **Variaciones temporales de baja frecuencia**

De lo expuesto anteriormente, se muestra que la región y en particular la zona central del Chile estuvo bajo la influencia de forzamientos físicos de gran escala y baja frecuencia, que se manifestaron en la ventana temporal comprendida entre mayo 2006 marzo 2007 (ver Fig. 4.2.1). Este forzante que se manifestó en la region central con el pasaje de ondas Kelvin podría ser el causante de las variaciones interanuales observadas respecto de años anteriores. Por ejemplo, McGowan et al. (1998) señalaron que las variaciones climáticas afectan la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas marinos.

Es bien conocido, además, que el ciclo ENSO en su fase cálida introduce anomalías de transporte de agua cálida y salina hacia la costa de la región del Pacífico oriental, induciendo calentamiento en la capa superficial y un incremento en el nivel medio del mar (Ulloa et al., 2000; Escribano et al., 2004). Este proceso tiende a profundizar la termoclina y la nutriclina, reduciendo el suplemento de nutrientes a la zona eufótica, debido al fortalecimiento de la estratificación en la columna de agua durante eventos ENSO. Lo anterior trae como consecuencia una potencial disminución en el crecimiento del fitoplancton, cambios de estructura en las comunidades pelágicas y bentónicas, cambios en las pesquerías (Ulloa et al., 2001; Escribano et al., 2004).

No obstante aún no se puede inferir si variación observada respecto en años anteriores, este probablemente asociado al pasaje de una onda Kelvin durante el periodo de estudio Sin embargo, es destacable que algunas manifestaciones en esta escala ya comienzan a visualizarse con la serie de tiempo llevada a cabo en estos 4 años. Consecuentemente, resulta altamente conveniente mantener este tipo de estudios de condiciones bio-oceanográficos para captar toda la variabilidad del ecosistema de la zona que ya se conoce repercute en los recursos pesqueros de la Octava Región.

Finalmente, cabe mencionar que la mayoría de los modelos de pronósticos de El Niño indican que las condiciones frías actualmente presentes en el Pacífico ecuatorial se mantendrán y evolucionarán hacia un periodo frío o La Niña, relativamente débil. Se espera que a lo largo de la costa de Chile se observen impactos típicos, asociados a este fenómeno, como una disminución en la actividad intraestacional, un pequeño decrecimiento en la profundidad de la termoclina, lo cual hace más eficiente la surgencia costera y reduce ligeramente la temperatura superficial del mar. La Niña también se asocia a algunos impactos climáticos como una reducción de la precipitación en la región central y centro-sur de Chile durante el invierno y primavera. Aunque esta relación no es definitiva, ambos efectos se han observado durante el presente invierno

## 5.- REFERENCIAS .

- Anabalón, V., Morales, C.E., Escribano, H.R., Varas, M.A. (en prensa). The structure of nano- and micro-planktonic assemblages in the surface layer (0-30 m) under different oceanographic conditions in the upwelling area off Concepción, central Chile. In: Progress in Oceanography, Special Issue "The Structure and Functioning of the Coastal Upwelling System off Central/south of Chile". Escribano, R & W. Schneider (Eds.).
- Ahumada, R., 1989. Producción y destino de la biomasa fitoplanctónica en un sistema de bahías en Chile central: una hipótesis. Biol. Pesq. (Chile). 18, 53–66.
- Alvarez-Salgado, X. A., Aristegui, J., Barton, E. D. & Hansell, D. A. 2007. Contribution of upwelling filaments to offshore carbon export in the subtropical Northeast Atlantic Ocean. Limnology and Oceanography 52, 1287-1292.
- Arcos, D., & Wilson R. E. 1984. Upwelling and distribution of chlorophyll a within the Bay of Concepcion, Chile. Estuarine, coastal and shelf Research, 18: 25-35.
- Arcos, D.F., & N. Navarro 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37° S). Investigacion Pesquera, 33: 91-98.
- Arcos, D. F, S. Núñez, A. Acuña. 1996. Variabilidad de pequeña escala en la zona nerítica del sistema de surgencia de Talcahuano (Chile central): identificación y dinámica de áreas de retención larval. *Gayana Oceanológica* 4(1), 21-58.
- Arcos, D. F., L.A. Cubillos, S.P. Nuñez. 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997-98 effects of Chile. Progress in Oceanography 49, 597-617.
- Arntz, W.E. & E. Fahrbach 1996. El Niño: Experimento Climático de la Naturaleza. *Fondo de Cultura Económica*, México, DF, 312.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil, and F. Thingstad. 1983. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 10:257-263.
- Benitez-Nelson, C.; Bidigare, R.; Dickey, T.; Landry, M.; Leonard, C.; Brown, S.; Nencioli, F.; Rii, Y.; Maiti, K.; Becker, J.; Bibby, T.; Black, W.; Cai, W.; Carlson, C.; Chen, F.; Kuwahara, V.; Mahaffey, C.; McAndrew, P.; Quay, P.; Rappé, M.; Selph, K.; Simmons, M. and E. Yang. 2007. Mesoscale Eddies Drive Increased Silica Export in the Subtropical Pacific Ocean. *Science* 316:1017-1021.
- Barber RT & RL Smith. 1981. Coastal upwelling ecosystems. In: A.R. Longhurst (ed) *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press, pp. 31-68.

- Brandhorst, W. 1971. Condiciones oceanográficas estivales frente a la costa de Chile. *Revista de Biología Marina (Valparaíso)*, 14(3): 45-84.
- Børsheim K.Y. and G. Bratbak. 1987. Cell volume to cell carbon conversion factor for a bacterivorous *Monas* sp. enriched from seawater. *Marine Ecology Progress Series* 36: 171-175.
- Böttjer, D., Morales, C.E. (en prensa). Nanoplanktonic assemblages in the upwelling area off Concepción (~36°S), central Chile: abundance, biomass, and grazing potential during the annual cycle. In: *Progress in Oceanography, Special Issue "The Structure and Functioning of the Coastal Upwelling System off Central/south of Chile"*. Escribano, R & W. Schneider (Eds.).
- Cáceres, M & D.F. Arcos. 1991. Variabilidad en la estructura espacio-temporal de un área de surgencia frente a la costa de Concepción, Chile. *Investigación Pesquera*, 36: 27-38.
- Campbell, L., Nolla, H.A., Vaultot, D. 1994. The importance of *Prochlorococcus* to community structure in the Central of Pacific Ocean. *Limnology and Oceanography* 39, 954-961.
- Carpenter J.H. 1965. The Chesapeake Bay Institute technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnology and Oceanography* 10, 141-143.
- Castro L., A. Llanos, J.L. Blanco, E. Tarifeño, R. Escribano & M. Landaeta. 2002. Latitudinal variations in spawning habitat characteristics: influence on the early life history traits of the anchoveta, *Engraulis ringens*, off northern and central Chile. *GLOBEC Report* Nro. 16: 42-45.
- Chrzanowski, T.H., Simek, K., 1990. Prey-size selection by freshwater flagellated protozoa. *Limnology and Oceanography* 35, 1429-1436.
- Cornejo, M., L Farías, M. Gallegos (en prensa). Temporal variability in N<sub>2</sub>O and nutrient content in the coastal upwelling ecosystems. In: *Progress in Oceanography, Special Issue "The Structure and Functioning of the Coastal Upwelling System off Central/southern Chile"*. Escribano, R & W. Schneider (Eds.).
- Correa-Ramirez, M-A., S. Hormazabal, G. Yuras. 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29–39°S). *Geophysical Research Letters*, 34, L12604, doi:10.1029/2007GL029541.

- Cubillos, L., Núñez S., & D. Arcos.1998. Producción primaria requerida para sustentar el desembarque de peces pelágicos en Chile. *Investigaciones Marinas (Valparaíso)*, 26: 83-96.
- Cuevas, L.A., Daneri, G., Jacob, B., Montero, P., 2004. Microbial abundance and activity in the seasonal upwelling area off Concepción (36°S), central Chile: a comparison of upwelling and non-upwelling conditions. *Deep Sea Research II* 51(20-21), 2427-2440.
- Cushing, D. H., (1989). A difference in structure between ecosystems in strongly stratified waters and those that are only weakly stratified. *Journal of Plankton Research*, 11: 1-13.
- Daneri G, Dellarossa V, Quiñones R, Jacob B, Montero R, Ulloa O. 2000. Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. *Marine Ecology Progress Series*; Vol. 197: 41- 49, 2000.
- Daneri, et al. 2006. Informe Final. Monitoreo bioceanográfico de la Región VIII, FIP 2005-1. Fondo de Investigación Pesquera.
- Dugdale, R. C. and F. P. Wilkerson.1986. "The use of <sup>15</sup>N to measure nitrogen uptake in eutrophic oceans, experimental considerations." *Limnology and Oceanography*, 31(4): 673-689.
- Dugdale, R.C. & J.J. Goering.1967. Uptake of new and regenerated form of nitrogen in primary productivity. *Limnology & Oceanography* 12: 196-206.
- Edler, L. (1979). Recommendations on methods for marine biological studies in the Baltic Sea. *Phytoplankton and chlorophyll*. *Baltic Marine Biology Publications*, 5: 1-38.
- Escribano, R., Daneri G., Farías L., Gallardo V.A., González H.E., Gutierrez D., Lange C.B., Morales C.E., Pizarro O., Ulloa O., & M. Braun. 2004. Biological and chemical consequences of the 1997-1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. *Deep Sea Research II*, 51 (20-21): 2389-2411.
- Escribano, R., Fernández, M. & A. Aranís. 2003. Physical-chemical processes and patterns of diversity of the Chilean eastern boundary pelagic and benthic marine ecosystem: an overview. *Gayana* 67:190-205.
- Escribano et al., 2005. Informe Final. Proyecto Monitoreo bioceanográfico de la Región VIII, FIP 2004-20. Fondo de Investigación Pesquera.

- Esc ribano, R., Hidalgo, P., González, H.E., Giesecke, R., Riquelme-Bugueno, R. and K. Manriquez. (en prensa). Inter-annual and seasonal variation of metazooplankton in the Central-South upwelling region off Chile. In: Progress in Oceanography, Special Issue “The Structure and Functioning of the Coastal Upwelling System off Central/southern Chile”. Esc ribano, R & W. Schneider (Eds.).
- Farías, L., Graco M., & Ulloa O., 2004. Temporal variability of nitrogen cycling in continental-shelf sediments of the upwelling ecosystem off central Chile. Deep Sea Research II, 51 (20-21): 2491-2505.
- Faandez, P.B, Morales, C.E., Arcos, D., 2001. Variabilidad espacial y temporal en la hidrografía invernal del sistema de bahías frente a la VIII región (Chile centro-sur). Revista Chilena de Historia Natural 74, 817-831.
- Fonseca TR & M Farías. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. Investigaciones Pesqueras 34: 33-46.
- Fossing, H., V.A. Gallardo, B.B. Jorgensen, M. Huttel, L.P. Nielsen, H. Schulz, D.A. Canfield, S. Forster, R.N. Glud, J.K. Gundersen, J. Kuver, N.B. Ramsing, A. Teske, B. Thamdrup & O. Ulloa. 1995. Concentration and transport of nitrate by the mat-forming sulphur bacterium *thioploca*. *Nature* 374: 713-715.
- González H. E., Bernal P. & R. Ahumada. 1987. Desarrollo de dominancia local en la taxocenosis fitoplanctonica de la Bahía de Concepción, Chile, durante un evento de surgencia costera. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 60: 19-35.
- González H. E., E. Menschel, C. Aparicio & C. Barra. (en prensa). Spatial and temporal variability of the microplankton and detritus and their export to the shelf-sediments, in the upwelling area off Concepción, Chile (36S), during 2002-2005. In: Progress in Oceanography, Special Issue “The Structure and Functioning of the Coastal Upwelling System off Central/south of Chile”. Esc ribano, R & W. Schneider (Eds.).
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt, M. and K. Kremling. 1983. Determination of nutrients. In: Methods of Seawater Analysis. p. 143.
- Grünewald, A.C., Morales, C.E., González, H.E., Sylvester, C., Castro, L.R., 2002. Grazing impact of copepod assemblages and gravitational flux in coastal and oceanic waters off central Chile during two contrasting seasons. *J. Plankton Res.* 24, 55–67.

- Hidalgo, P. & R. Escribano. (en prensa). The coupling of life cycles of the copepods *Calanus chilensis* and *Centropages brachiatus* to upwelling variability in the Central-South upwelling region off Chile. In: Progress in Oceanography, Special Issue "The Structure and Functioning of the Coastal Upwelling System off Central/south of Chile". Escribano, R & W. Schneider (Eds.).
- Hormazábal, S., G. Shaffer, J. Letelier & O. Ulloa (2001). Local and remote forcing of sea surface temperature in the coastal upwelling system off Chile. *Journal of Geophysical Research* 106, 16657-16672.
- Hormazabal, S., Shaffer, G., Leth, O., 2004. The coastal transition zone off Chile. *J. Geophys. Res.* 109, C01021, doi:10.1029/2003JC001956.
- Kana, T., Glibert, O.M. 1987. Effect of irradiances up to 2000  $\mu\text{Em}^2\text{s}^{-1}$  on marine *Synechococcus* WH 7803-I. Growth, pigmentation and cell composition. *Deep-Sea Research* 34, 479-516
- Knap AH, Michaels AF, Dow R, Johnson R, Gundersen K, Sorensen J, Clos A, Howse F, Hammer M, Bates N, Doyle A & Waterhouse T 1993.. U.S. Joint Global Flux Study, bermuda Atlantic Time- Series Study. Bats Method Manual Version 3, 108 pp.
- Hass, L. 1982. Improved epifluorescence microscopy for observing planktonic microorganisms. *Ann. Inst. Océanogr.* 58: 261-266
- Hutchings, L., Pitcher, G.C., Probyn, T.A., Bailey, G.W. The chemical and biological consequences of coastal upwelling, in: Summerhayes, C.P., Emeis, K.-C., Angel, M.V., Smith, R.L., Zeitzschel, B. (Eds.), *Upwelling in the ocean modern processes and ancient records*. Dahlem Workshop Reports. Environmental Sciences Research Report 18: Wiley Publishers, pp. 67–72. (1995).
- Kjørboe, T., 1993. Turbulence, phytoplankton cell size, and the structure of pelagic food webs. *Advances in Marine Biology*, 29, 1-72.
- Kudela, R., Pitcher, G., Probyn, T., Figueiras, F., Moita, T., Trainer, V., 2005. Harmful algal blooms in coastal upwelling systems. *Oceanography* 18, 184–197.
- Lee, S., Fuhrman, J. 1987. Relationship between biovolume and biomass of naturally-derived marine bacterioplankton. *Applied Environmental Microbiology* 53, 1298-1303.

- Legendre, L. & R.B. Rivkin. 2005. Integrating functional diversity, food web processes, and biogeochemical carbon fluxes into a conceptual approach for modeling the upper ocean in a high-CO<sub>2</sub> world. *Journal Of Geophysical Research-oceans*. **110** (C9) Art. No. C09S17.
- Leth, O., Middleton, J.F., 2004. A mechanism for enhanced upwelling off central Chile: eddy advection. *J. Geophys. Res.* 109, C12020, doi: 10.1029/2003JC002129.
- Lluch-belda, D., R. J. M. Crawford, T. Kawasaky, A. D. Maccall, R. H. Parrish, R. A. Schwartzlose & P. E. Smith. 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem. *S. Afr. J. Nar. Sci.* 8, 195-205.
- Lutjeharms, J.R.E., Shillington, F.A., Duncombe-Rae, C.M., 1991. Observation of extreme upwelling filaments in the southeast Atlantic Ocean. *Science*, 253, 774–776.
- Mann, K. H., & Lazier R. N..1991.. Dynamics of the marine ecosystem: biological and physical interactions in the ocean (464 pp.). Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Margalef, R. 1978. What is an upwelling system?. In: R. Boje and M. Tomczak. Eds. *Upwelling Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin., pp. 12-14.
- Margalef R., 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an instable environment. *Oceanologica Acta* 1, 493-509.
- McGillicuddy (Jr), D. J. et al. 1999. Mesoscale variations of biogeochemical properties in the sargasso sea. *Journal of Geophysical Research* 104, 13381-13394.
- McGillicuddy (Jr)., D. J. & Robinson, A. R. 1997. Eddy-induced supply and new production in the sargasso sea. *Deep Sea Research I* 44, 1427-1450.
- McGowan, J.A., D.R. Cayan y L.M. Dorman. 1998. Climate-Ocean Variability and Ecosystem Response in the Northeast Pacific. *Science* 281: 210-217.
- Martin, A. P. & Richards, K. J. 2001. Mechanisms for vertical nutrient transport within a North Atlantic mesoscale eddy. *Deep Sea Research II* 48, 757-773.
- Montecino, V., Astoreca, R., Alarcón, G., Retamal, L., Pizarro, G., 2004. Bio-optical characteristics and primary productivity during upwelling and non-upwelling conditions in a highly productive coastal ecosystem off central Chile (36°S). *Deep-Sea Res. Pt. II*, 51 (20–21), 2413–2426.

- Parsons, T. R., Maita, Y., Lalli, C. M. 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, New York, 173 p.
- Peterson, W.T., Arcos D.F., McManus G.B., Dam H., Bellantoni D., Johnson T., & Tiselius P., (1988). The nearshore zone during coastal upwelling: daily variability and coupling between primary and secondary production off central Chile. *Progress in Oceanography* 20:1-40.
- Pizarro, O. (1999). Low frequency fluctuations in the eastern boundary current off South America: remote and local forcing. Ph. D. Thesis. Earth Sciences Centre, Goteborg University. Suecia.
- Porter, K.G., Feig, Y.S. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnology and Oceanography* 25, 943-948.
- Ryther, J. H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. *Science* 166, 71-76.
- Shaffer, G., Pizarro, O., Djurfeldt, L., Salinas, S. Rutllant, J. (1997): Circulation and low-frequency variability near the Chilean coast: remotely forced fluctuations during the 1991-92 el Niño. *Journal of Physical Oceanography* 27: 217-234.
- Shaffer, G., Pizarro O., Djurfeldt L., Salinas S., & Rutllant J. 1997. Circulation and low-frequency variability near the Chilean coast: Remotely forced fluctuations during the 1991-92 El Niño. *Journal of Physical Oceanography*, 27 (2): 217-235
- Shaffer, G., S. Hormazábal, O. Pizarro & S. Salinas. 1999. Seasonal and interannual variability of currents and temperature over the slope of central Chile. *Journal Geophysical Research* 104, C12, 29,951-29,961.
- Silva, .N. 1983. Masa de agua y circulación en la región norte de Chile (latitud 18°-32°S). *Ciencia y Tecnología del Mar, CONA*, 7: 47-84.
- Silva, N. & D. Konow. 1975. Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. *Rev.Com.Perm.Pacífico Sur* 3: 63-75.
- Silva, S. N. & S. Neshyba. 1979. On the southernmost extension of the Peru-Chile undercurrent. *Deep-Sea Research* 26, 1387-1393.
- Robinson, A. R. et al. 1993. Mesoscale and upper ocean variabilities during the 1989 JGOFS bloom study. *Deep Sea Research II* 40, 9-35.
- Slawyk G., & Raimbault P. 1995. Simple procedure for the simultaneous recovery of dissolved inorganic and organic nitrogen in <sup>15</sup>N-tracer experiments and improving the isotopic mass balance. *Marine Ecology Progress Series*, 124: 289-299.

- Slawyk G., Raimbault P., & Garcia N. 1998. Measuring gross uptake of  $^{15}\text{N}$ -labelled nitrogen by marine phytoplankton without particulate matter collection: Evidence of low  $^{15}\text{N}$  losses to the dissolved organic nitrogen pool. *Limnology and Oceanography*, 43(7): 1734-1739.
- Sobarzo, M., 1998. Surgencia costera sobre una plataforma continental limitada por cañones submarinos, Concepción Chile Central. Tesis para el grado de Doctor en Oceanografía, Universidad de Concepción.
- Sobarzo, M., & Djurfeldt, L. 2004. Coastal upwelling process on a continental shelf limited by submarine canyons, Concepción, central Chile. *Journal of Geophysical Research* 109, C12012, doi: 10.1029/2004JC002350.
- Sobarzo, M., Bravo, L., Donoso, D., Garcés-Vargas, J., Schneider, W., (en prensa). Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over the continental shelf off central Chile. In: *Progress in Oceanography, Special Issue "The Structure and Functioning of the Coastal Upwelling System off Central/south of Chile"*. Escribano, R & W. Schneider (Eds.).
- Strickland J. D. H., Parsons T. R., 1968. A practical handbook of seawater analysis. Pigment analysis, *Bull. Fish. Res. Bd. Canada*, 167.
- Strub P, J Mesias, V Montecino & J Rutland. 1998. Coastal ocean circulation off western South America. In: A. Robinson & K. Brink (eds.) *The Sea, Vol.2. The Global coastal ocean. First Workshop on Coastal Ocean Advanced Science and Technology Studies (COASTS) IOC, Liege. John Wiley & Sons, Inc.*
- UNESCO. 1983. Chemical methods for use in marine environmental monitoring. Intergovernmental Oceanographic Commission. Manual and Guides # 12.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie*, 9: 1-39.
- Ulloa O., R. Escribano, S. Hormazabal, R. Quiñones, R. González, and M. Ramos. 2001. Evolution and biological effects of the 1997-98 El Niño in the upwelling pelagic ecosystem of the eastern South Pacific. *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, NO. 8, 1591-1594.
- Vargas, C.R., Martínez, R.A., Cuevas, L.A. Pavez, M.A., Cartes, C. Gonzalez, H., Escribano, R. & G. Daneri 2007. The relative importance of microbial and classical food webs in a highly productive coastal upwelling area. *Limnology & Oceanography* 52, 1495-1510.

Williams, R. G. & Follows, M. J. 1998. The Ekman transfer of nutrients and maintenance of new production over the North Atlantic. *Deep Sea Research I* 45, 461-489.

## **ANEXOS**