

Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas Departamento de Oceanografía

INFORME FINAL

PROYECTO FIP Nº 2009-39

"MONITOREO DE LAS CONDICIONES BIO-OCEANOGRÁFICAS EN LAS VIII y IX REGIONES, AÑO 2009"

Octubre 2011

Informe Final

Departamento de Oceanografía Universidad de Concepción







PROYECTO

FIP Nº 2009-39 Monitoreo de las Condiciones Bio-Oceanográficas en las VIII y IX Regiones, año 2009

REQUIRENTE Consejo de Investigación Pesquera

UNIDAD EJECUTORA

Universidad de Concepción Centro de Investigación Oceanográfica del Pacífico Sur Oriental – COPAS

JEFE DEL PROYECTO

Dra. Pamela Hidalgo

INVESTIGADORES

Dr. Leonardo Castro Dr. Giovanni Daneri Dr. Rubén Escribano Dra. Camila Fernández Dr. Humberto González Dra. Carmen Morales Dr. Oscar Pizarro Dr. Fabián Tapia

• Concepción, Octubre 2011 •

Informe Final

Monitoreo de las Condiciones Bio-Oceanográficas en las VIII y IX Regiones, año 2009

AUTORES

Dra. Pamela Hidalgo Dr. Leonardo Castro Dr. Giovanni Daneri Dr. Rubén Escribano Dra. Camila Fernández Dr. Humberto González Dra. Carmen Morales Dr. Oscar Pizarro Dr. Fabián Tapia

Octubre de 2011

Departamento de Oceanografía Universidad de Concepción

Resumen Ejecutivo

El sistema de Corrientes Humboldt constituye una de las áreas más productivas a nivel mundial, cuya productividad biológica se sustenta esencialmente en la surgencia costera. En la plataforma continental de Chile central se encuentra una de las áreas de surgencia más productivas del sistema de Humboldt. Esta zona, constituida por las regiones VIII y IX de Chile, alberga una importante actividad pesquera industrial y artesanal, además de un importante desarrollo urbano.

El centro de investigación oceanográfica COPAS de la Universidad de Concepción, con el aporte del Fondo de Investigación Pesquera (FIP) han desarrollado una serie de proyectos de monitoreos bio-oceanográficos de esta región entre los años 2004 y 2010. Con esta iniciativa conjunta, se pretente implementar una plataforma de conocimiento ambiental del ecosistema marino de Chile centro-sur. Así, el presente informe representa una continuidad de un sistema de observación temporal de las condiciones bio-oceanográficas frente a las costas de Chile centro-sur. En este Proyecto en particular (FIP 2009-39), se entrega información proveniente de un crucero bio-oceanográfico que tuvo como objetivo determinar las condiciones bio-oceanográficas en la zona costera entre la VIII y IX Regiones, específicamente en la zonas de desove y de crecimiento de los peces pequeños pelágicos anchoveta y sardina común, dos de las especies de importancia comercial de la zona central del país. El proyecto incluye el análisis de variaciones bio-oceanográficas mensuales para el período 2010-2011, y un análisis de variaciones interanuales en procesos claves del ecosistema, haciendo uso de la información obtenidas desde el 2004 a la fecha.

El Proyecto tuvo como objetivo general evaluar la variabilidad espacial y temporal en las Regiones VIII y IX en las áreas costeras y más oceánicas, de las condiciones hidrográficas, de los procesos biológicos y de los componentes del ecosistema pelágico.

Para cumplir con el principal objetivo, el Centro COPAS constituyó un equipo de investigadores que trabajando en conjunto pudieran integrar la información y así poder hacer un análisis en su globalidad del ecosistema. La variabilidad espacial se analizó sobre la base de un crucero oceanográfico realizado en verano del 2011 y que cubrió ambas regiones con estaciones hasta las 100 millas desde la costa. Mientras que la variabilidad temporal del ciclo anual se examinó mediante monitoreos mensuales realizados en 3 estaciones sobre la plataforma continental frente a Concepción. La información de campo se complementó con información satelital para el período e información meteorológica desde estaciones costera.

El análisis de la información obtenida desde el crucero espacial de verano del 2011 indica que las condiciones de la zona de surgencia de las Regiones VIII y IX estuvieron dominadas por una surgencia activa, inducida por vientos dominantes de dirección S y SW. Estas condiciones son típicas de un verano neutral o sujeto a una condición La Niña, que ha caracterizado la cuenca del Pacífico Sur en los últimos 10 años. Las observaciones durante el crucero de verano del 2011 ratifican esta condición de bajas temperaturas superficiales en la zona de surgencia (<15 °C), presencia de remolinos de mesoescala y una zona de mínimo de oxígeno somera.

La serie de tiempo ambiental para todo el periodo cubierto por los monitoreos mensuales de la Estación 18 (2002-2011) muestra gran variabilidad interanual en forzamiento atmosférico, entradas de agua dulce y condiciones de superficie en el área. Además el ciclo anual es característico y predecible por su fuerte estacionalidad de la surgencia. Sin embargo, la fluctuación estacional ha variado sustancialmente entre años durante el periodo cubierto por la serie de tiempo, y ha redundado especialmente en diferencias entre inviernos. Estas diferencias se manifiestan asociadas a cambios en pluviosidad y aporte de los ríos Itata y Bio-Bio al mar. Se sugiere que estos cambios pueden obedecer a variaciones climáticas de la cuenca del Pacífico derivadas de condiciones El Niño y La Niña, de carácter débil. Estas variaciones no obstantes no se ven reflejadas en cambios mayores en las condiciones químicas y biológicas de la columna de agua.

El estudio entonces concluye que:

a) Para el período 2010-2011 se observó una alta productividad biológica del sistema de surgencia de Chile centro-sur, promovida por alta intensida de la surgencia inducida por los vientos S y SW. Este período también se manifestó con una menor temperatura del mar y un nivel medio del mar más bajo que los promedios históricos de los últimos 20 años en la zona.

b) El proceso de surgencia manifiesta una fuerte estacionalidad, caracterizada por um intensificación de los vientos S y SW en la primavera y verano. Esta estacionalidad se manifiesta también en el ciclo anual de nutrientes, producción biológica, biomasa de fitoplancton y el desove de peces pelágicos y demersales. La producción primaria yel fljujo vertical de C sin embargo manifiestan sus propios regímenes estacionales, pudiendo incluso ser mayores en invierno. Esto se explica por una alta tasa de respiración comunitaria en invierno, sobrepasando la producción primaria, y un major flujo vertical de C en invierno derivado de la mayor producción de material fecal del zooplancton.

c) La estacionalidad de ecosistema de surgencia es predecible año a año de acuerdo a la variabilidad oceanográfica observada en la serie de tiempo del 2002 al 2011. Las variaciones mayores interanuales se asocian a cambios en la pluviosidad que afectan la columna de agua, y a cambios en la estructura comunitaria de componentes biológicos en el fitoplancton y zooplancton. Aunque se observan cambios interanuales en variables oceanográficas durante los últimos 10 años, no se observan tendencias y ciclos de mayor escala. Se sugiere que eventuales tendencias o ciclos pudieran detectarse sobre la base de series de mayor extensión temporal (>10 años).

d) Debe destacarse que todo el período observacional, 10 años de serie de tiempo y 12 meses de nutrientes y productividad primaria, ha estado sujeto a una condición esencialmente fría, con surgencia intensa y ausencia de eventos cálidos notables. Esta ha sido la condición general del Pacífico. Aunque el 2009 se anunció El Niño en el Pacífico

Ecuatorial, éste no se manifestó en la costa Chilena, ni menos en nuestra región de estudio. Solamente el invierno de 2006 mostró una ligera anomalía cálida en la costa Chilena, aunque no muy clara en esta región y al parecer sin mayor impacto en la productividad y componentes biológicos.

e) Es importante enfatizar la relevancia y pertinencia de contar con la información ambiental para el manejo, protección y entendimiento de este ecosistema marino Los resultados de hecho sugieren una conexión entre recursos biológicos y la productividad del sistema. Los cambios climáticos que se están desarrollando en el océano global y la presión antrópica que se está ejerciendo sobre el ecosistema marino, pudieran reflejarse en las variables sujetas a este tipo de estudio. Cambios de mayor escala no obstante requieren de series observacionales sostenidas en el tiempo y de mayor extensión temporal.

Executive Summary

The Humboldt Currents system is one of the most productive marine regions in the world ocean. The biological productivity is essentially sustained by the coastal upwelling process. The continental shelf of central Chile is considered to be one of the most productive upwelling areas for the Humboldt system. This area is comprised by the VIII and IX regions of Chile. Productivity of this area also maintains an important industrial and artisanal fishery activity and contains an important urban development.

The Oceanographic Research Center, COPAS of University of Concepcion, along with the "Fondo de Investigación Pesquera" (FIP) of Chile, have developed a series of monitoring projects of bio-oceanographic variability in this region since 2004 to present. This joint initiative is an attempt to implement a platform for observing the environment and acquire knowledge about the marine ecosystem of Central/ southern Chile. Under this framework, the present report represents an integration of results from continuous studies of bio-oceanographic conditions off the coastal system off central/southern Chile.

In this particular Project, FIP 2009-39, we report information on the bio-oceanographic cruise carried out during the summer 2011. This cruise mainly aims at determining the bio-oceanographic conditions in the area comprising the VIII and IX Regions, which specifically correspond to spawning and growth zones of small pelagic fish, such as anchovy and sardine. These two species have commercial importance in the central zone of Chile. The project FIP 2009-39 also includes the analysis of monthly bio-oceanographic variations in the coastal zone for the period 2010-2011. We further include an analysis of inter-annual variability of hydrographic conditions in the regions, using data from the COPAS time series study, complemented with satellite information for the last 10 years.

The general objective of Project FIP 2009-39 was to evaluate the spatial and temporal variability of hydrographic conditions in the VIII and IX regions, both in coastal and oceanic areas, as well as for biological process and components of the pelagic ecosystem.

To attain the main objective, COPAS center constituted a research team that working altogether could be able to integrate the information as to reach a more global analysis of the ecosystem. The spatial variability was examined from the oceanographic cruise performed in the summer 2011, covering both regions with oceanographic stations up to 100 nm from the coast, whereas the temporal variability over an annual cycle was examined through monthly monitoring of 3 oceanographic stations over the continental shelf off Concepcion (36° S). Field data were complemented with satellite information for the same period and data from meteorological stations located near-shore.

The analysis of the information obtained from spatial cruise on summer 2011, indicated that upwelling conditions of the VIII and IX Regions were dominated for active upwelling induced by the prevailing winds from S and SW directions. These conditions are typical for a neutral summer, or La Niña conditions, as it has been characterized the South Pacific basin in the last 10 years. The observations during the summer cruise, confirmed this condition, revealing cold surface water in the upwelling zone (< 15 °C), presence of mesoscale eddies and one shallow (<50 m) oxygen minimum zone in the coastal area.

The environmental time series of the COPAS time series study was for the period 2002-2011. This series revealed a high interannual variability in the atmospheric forcing, runoff and surface conditions in the area near Station 18 of COPAS. Also the annual cycle is characteristic and predictable from the strong seasonality of upwelling. However, the seasonal fluctuation has substantially varied between years, and has resulted in winter differences. Such differences can be distinguished associated with changes in rainfall and contributions from rivers Itata and Bio-Bio. It is suggested that such changes may obey to climatic variations of the Pacific basin, derived from weak El Niño/La Niña conditions.

These variations however are not reflected in major changes in chemical and biological conditions of the water column.

The study concludes that:

a) For the period 2010-2011 a high biological productivity was observed for the upwelling system of Central/southern Chile, promoted by a high intensity of wind-driven upwelling triggered by S and SW winds. This period also exhibited a lower surface temperature and a lower mean sea level with respect to historical means of the last 20 years in the region.

b) The upwelling process manifests a strong seasonality, characterized by an intensification of the S and SW winds during the spring and summer. Such seasonality is also revealed in the annual cycle of nutrients, biological production, phytoplankton biomass and the spawning of pelagic and demersal fishes. Primary production and vertical flux of C however, can exhibit their own seasonal regimes, which can even become higher in winter. This can be explained because of a high community respiration in winter, and a greater vertical flux in winter derived from a greater production of feacal pellets by zooplankton.

c) The seasonality of the upwelling system is predictable from year to year in according to the oceanographic variability observed in the time series 2002-2011. Greater interannual variations are associated with changes in rainfall affecting the water column, changes in the community structure of biological components of phytoplankton and zooplankton. Although, interannual changes in oceanographic variables are observed in the last 10 years, no trends of larger-scale cycles can be inferred. It is suggested that eventual trend of cycles could be detected on the basis of time series having greater observational Windows (>10 years).

d) It should be stressed that the whole observational period, 10 years for the time series and 12 months for nutrients and primary production, has been subjected to a situation

essentially cold, with intense upwelling and lack of notable warm events. This has been the general condition for the Pacific basin. Even though during 2009 El Niño was announced for the Equatorial Pacific, this was not reflected in the Chilean coast and in the study region. Only during the winter 2006 a slight warm anomaly was noted in the Chilean coast, but not clearly seen in this study region and apparently without impact n productivity and biological components.

e) It is also important to emphasize the relevance and pertinence of having environmental information for the management, protection and understanding of this marine ecosystem. The results of this study in fact suggest a connection between the biological resources and production of the system. Climate change in the global ocean and the anthropogenic pressure exerted on the marine ecosystem might be reflected in the variables considered in this study. Larger-scale changes however require observational series sustained on time and of longer temporal extension.

Contenidos

1.	INTRODUCCION	
2.	OBJETIVO GENERAL	
3.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	
4.	METODOLOGIA POR OBJETIVO	
	 4.1 Objetivo específico 1:	28 34 36 38 40
5.	RESULTADOS	
	 5.1. Objetivo específico 1: 5.2. Objetivo específico 2: 5.3. Objetivo específico 3: 5.4. Objetivo específico 4: 5.5. Objetivo específico 5: 	
6.	DISCUSION	
7.	CONCLUSIONES	
8.	REFERENCIAS	
9.	ANEXO 1 PERSONAL PARTICIPANTE	
10.	ANEXO 2 PUBLICACIONES	
11.	ANEXO 3 CALIBRACION CTD	
12.	ANEXO 4 TALLER DIFUSION FIP 2009-39	

Indice de Tablas

Tabla 1. Información resumen de las estaciones de CTD
Tabla 2. Posición geográfica de las estaciones muestreadas y respectivas profundidades estudiadas en el análisis de nutrientes
Tabla 3. Concentraciones superficiales de nutrientes (nitrato y fosfato) y razón N:P paralas estaciones muestreadas durante el crucero FIP 2009-39.84
Tabla 4. Descriptores básicos de las concentraciones de clorofila-a $(mg \cdot m^{-3})$ total y fraccionada a nivel superficial (0 m), crucero FIP Enero 2011103
Tabla 5. Descriptores básicos de las concentraciones de clorofila a integrada ($mg \cdot m^{-2}$; 0-25 m) en el total y fraccionada. Crucero FIP Enero 2011
Tabla 6. Descriptores básicos de las concentraciones de Feopigmentos totales a nivel superficial (mg m ⁻³) e integrado (mg \cdot m ⁻²). Crucero FIP Enero 2011104
Tabla 7. Análisis de correlación entre clorofila-a y variables oceanográficas con datos de crucero FIP 2009 (enero 2011): data superficial (0 m). N= número de datos y p= nivel de significancia: $* = <0.05$; $** < 0.01$; $*** < 0.001$
Tabla 8. Análisis de correlación entre clorofila-a y variables oceanográficas con datos de crucero FIP 2009 (enero 2011): data (0 - 25 m). N= número de datos y p= nivel de significancia: $* = <0.05$; $** < 0.01$; $*** < 0.001$ 105
Tabla 9. Biomasa integrada promedio (0-10m; μ g C m ⁻²) y porcentaje (%) para géneros de diatomeas céntricas y penadas dominantes identificadas en la grilla FIP 200939. 112
Tabla 10. Biomasa diatomeas totales (µg C m ⁻²) para cada estación de la grilla FIP 2009-39
Tabla 11. Biomasa de diatomeas totales (μ g C L ⁻¹) para 0 y 10 m en las estaciones de la grilla FIP 2009-39. s.d.= sin datos
Tabla 12. Abundancia de diatomeas totales (células L^{-1}) para 0 y 10 m en las estaciones de la grilla FIP 2009-39. s.d. = sin datos
Tabla 13. Biomasa por estrato (0-10m; μ g C L ⁻¹) de microzooplancton; ciliados, dinoflagelados tecados, nauplios de crustáceos y pellet fecales totales en las estaciones de la grilla FIP 2009-39
Tabla 14. Biomasa integrada promedio (0-10 m; µg C m ⁻²) y porcentaje (%) para los géneros dominantes de microzooplancton (dinoflagelados tecados y ciliados loricados) en la grilla FIP-2009-39
Tabla 15. Biomasa integrada (0-10m; µg C m ⁻²) de microzooplancton; ciliados totales, dinoflagelados tecados y nauplios de crustáceos en las estaciones de lagrilla FIP 2009-39

Tabla 16. Abundancia numérica, (N, Ln ind m³) y abundancia relativa (%) de los grupos taxonómicos encontrados durante el Crucero FIP 2009-39 en Enero de 2011. 129

Tabla 17. Abundancia numérica, (N, Ln ind m⁻³) y abundancia relativa (%) de las especies de copépodos encontradas durante el Crucero FIP 2009-39 en Enero de 2011.

Tabla 24. Concentraciones superficiales de nutrientes mayores para la Estación 18 (seriede tiempo COPAS).162

Tabla 25. Concentraciones de nutrientes mayores integrados sobre la columna de aguapara el periodo 2010 (serie de tiempo COPAS).163

Tabla 28. Abundancia de diatomeas totales (células L^{-1}) 0 y 10 m de profundidad en Estación 18. s.d. = sin datos	n la 169
Tabla 29. Abundancia (%) de zooplancton considerando los copépodos	179
Tabla 30. Abundancia (%) de copépodos	180

Indice de Figuras

Figura 2. Grilla de muestreo oceanográfico FIP 2009-39. Total 70 estaciones, 50 estaciones de rojo con muestreo completo (CTDO+Botellas+Red) y 20 estaciones azules sólo de CTDO. Las flechas indican el orden del track del barco y las estaciones en verde ilustran aquellas de monitoreo durante la serie de tiempo del Centro COPAS.

Figura 7. Distribución horizontal de temperatura (°C) a distintas profundidades (m): 5 (A); 10 (B); 30 (C); 50 (D); 100 (E) y 200 (F). Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).....55

Figura 8. Distribución horizontal de salinidad (psu) a distintas profundidades (m): 5 (A); 10 (B); 30 (C); 50 (D); 100 (E) y 200 (F). Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).....56

Figura 9. Distribución horizontal de densidad (kg/m³) a distintas profundidades (m): 5 (A); 10 (B); 30 (C); 50 (D); 100 (E) y 200 (F). Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).....57

Figura 10. Distribución horizontal de oxígeno disuelto (mL/L) a distintas profundidades (m): 5 (A); 10 (B); 30 (C); 50 (D); 100 (E) y 200 (F). Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).

Figura 22. Distribución horizontal de la profundidad de las isotermas de 8°C (A), 11 °C (B), 12 °C (C) y 13°C (D), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011)......70

Figura 24. Diagramas T-S para las transectas 1, 2	2, 3, 4, 5 y 6 realizadas durante el
Crucero MOBIOBIO (Enero 2011). Las líneas cu	irvas al interior de cada diagrama
representan curvas de igual sigma-t	

Figura 26. Profundidad de la isopicna de 26.5 kg m⁻³. Esta isopicna representa el núcleo del Agua Ecuatorial Subsuperficial en la región......74

Figura 33. Concentraciones superficiales de NO₃ durante el crucero FIP 2009-39......85

Figura 34. Concentraciones superficiales de NO₂ durante el crucero FIP 2009-39......86

Figura 35. Concentraciones superficiales de PO₄ durante el crucero FIP 2009-39.......87

Figura 36. Distribución superficial de valores del índice P* (Deutsch et al, 2007)...... 88

Figura 38. Distribución de los perfiles de nitrato y fosfato en función de la profundidad.

Figura 40. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (µmol L ⁻¹) en la transecta 2 del crucero FIP 2009-39
Figura 41. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (µmol L ⁻¹) en la transecta 3 del crucero FIP 2009-39
Figura 42. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (µmol L ⁻¹) en la transecta 4 del crucero FIP 2009-39
Figura 43. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (µmol L ⁻¹) en la transecta 5 del crucero FIP 2009-39
Figura 44. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (µmol L ⁻¹) en la transecta 6 del crucero FIP 2009-39
Figura 45. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (µmol L ⁻¹) en la transecta 7 del crucero FIP 2009-39
Figura 46. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (µmol L ⁻¹) en la transecta 8 del crucero FIP 2009-39
Figura 47. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (µmol L ⁻¹) en la transecta 9 del crucero FIP 2009-39
Figura 48. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (µmol L ⁻¹) en la transecta 10 del crucero FIP 2009-39
Figura 49. Distribución de la clorofila-a (mg m-3) durante el crucero FIP 2009 (Enero 2011); a) Cla-a total, b) fracción microplanctónica, c) fracción nanoplanctónica y d) fracción picoplanctónica
Figura 50. Distribución de clorofila-a integrada (0-25 m; mg m ⁻²) durante el crucero FIP 2009 (Enero 2011); a) Clorofila-a total, b) fracción microplanctónica , c) fracción nanoplanctónica y d) fracción picoplanctónica
Figura 51. Distribución de feopigmentos totales durante el crucero FIP 2009 (Enero 2011): a) en la superficie (0 m; mg m ⁻³) y b) en la capa superficial (0-25 m; (mg m ⁻²)
Figura 52. Distribución vertical de clorofila–a (mg m ⁻³) en la columna de agua (0-50 m) durante el crucero FIP 2009 (Enero 2011), incluyendo Cla-a total, fracción microplanctónica , nanoplanctónica y picoplanctónica. Cada gráfico agrupa las estaciones de dos transectas: a) 1 y 2, b) 3 y 4, c) 5 y 6, d) 7 y 8, e) 9 y 10109
Figura 53. Biomasa fitoplanctónica integrada (0-10 m) de diatomeas totales (A), diatomeas céntricas (B) y diatomeas penadas (C) en las estaciones bio-oceanográficas de la grilla FIP 2009-39

Figura 57. Biomasa del microzooplancton integrada (0-10m; μ grC m⁻²) de Tintínidos totales (A) y los géneros dominantes *Helicostomella spp.* (B), *Parundella spp.* (C) y *Tintinnopsis spp.* (D) en las estaciones bio-oceanográficas del crucero FIP 2009-39. 125

Figura 66. Distribución del zooplancton gelatinoso durante las estaciones de muestreos diurnas y nocturnas en el Crucero FIP N° 2009-39, frente a las VIII y IX regiones....140

Figura 67. Distribución espacial de Eufáusidos encontrados durante el crucero FIP 2009-39 en Enero de 2011, frente a las VIII y IX regiones
Figura 68. Distribución de huevos (a) y larvas en preflexión (b) de anchoveta, <i>Engraulis ringens</i>
Figura 69. Distribución de huevos de merluza común, Merluccius gayi147
Figura 70. Distribución de huevos de mote, <i>Normanichthys crockeri</i> (a) y pampanito, <i>Stromateus stellatus</i> (b)
Figura 71. Distribución de huevos de lenguado, <i>Hippoglossina macrops</i> (a) y agujilla, <i>Scomberesox saurus</i> (b)
Figura 72. Distribución de larvas en preflexión (a) y postflexión (b) del pez linterna, <i>Hygophum bruuni</i>
Figura 73. Distribución de larvas en preflexión (a) y postflexión (b) de <i>Maurolicus</i> parvipinnis
Figura 74. Distribución de larvas en preflexión (a) y postflexión (b) de pez linterna, <i>Protomyctophum (hierops) chilensis.</i>
Figura 75. Distribución de larvas en preflexión de Lampanyctus iselinoides150
Figura 76. Variabilidad en el forzamiento atmosférico (A), descargas de agua dulce (B) y TSM (C) en el área donde se encuentra la Estación 18. Los datos de viento corresponden a estrés meridional acumulado sobre períodos de 1 semana y provieren de imágenes QuikSCAT y ASCAT para un pixel centrado en 36°37.5'S y 73°37.5'W. Los datos de caudal para los ríos Itata y BioBio fueron obtenidos de la Dirección General de Aguas. Los datos de TSM provienen de imágenes semanales MODIS-Aqua para un píxel (resolución de 4 km) centrado en 36°30'S, 73°7.5'W
Figura 77. Serie de tiempo de la estructura vertical de (A) temperatura, (B) salinidad, (C) oxígeno disuelto y (D) densidad en la Estación 18 entre Agosto 2002 y Marzo 2011. Los símbolos negros sobre el panel superior corresponden a las fechas de muestreo. Los contornos blancos en C y D corresponden a una concentración de oxígeno de 0.5 mL L^1 y una densidad sigma-t de 27, respectivamente
Figura 78. Climatologías mensuales de la estructura vertical de (A) temperatura, (B) salinidad, (C) oxígeno disuelto y (D) densidad en la Estación 18. En los cálculos se

Figura 79. Rosa de los vientos del período de Agosto 2004 hasta Febrero de 2011....157

utilizaron observaciones colectadas entre Agosto 2002 y Marzo 2011......156

Figura 81. PAR acumulado diariamente de Agosto 2004 hasta Febrero de 2011...... 159

Figura 82. Temperatura superficial del mar y su anomalía del 2004 hastaFebrero.....159

Figura 89. Abundancia estratificada (0-10 m; ind L⁻¹) de microzooplancton total entre 0 y 10 m de profundidad en la Estación 18, para el período Mayo 2010 a Febrero 2011.

Figura 98. Producción primaria bruta y respiración comunitaria y sus fluctuaciones a través del año en la Estación 18 frente a Concepción, durante el año 2010 a 2011.....189

Figura 105. Campos promedio de clorofila-a superficial (mg m⁻³) calculados para cada mes en la región de estudio a partir de 400 imágenes satelitales MODIS-Aqua colectadas durante el periodo Agosto 2002 – Marzo 2011. El contorno negro indica concentraciones de 1 mg m⁻³. El asterisco negro indica la posición de la Estación 18.198

Figura 107. Campos promedio de anomalía del nivel del mar (cm) calculados para cada mes en la región de estudio a partir de 954 imágenes semanales AVISO

correspondientes al periodo 1992 –2011. El contorno negro corresponde a 0 cm. El símbolo blanco indica la posición de la Estación 18......200

1. INTRODUCCION

El sistema de Corrientes Humboldt constituye una de las áreas más productivas a nivel mundial (Mann & Lazier, 1991) debido a los procesos de surgencia costera que continuamente aportan nuevos nutrientes en las aguas superficiales, promoviendo altos niveles de biomasa fitoplanctónica. Estos procesos promueven el ascenso de aguas subsuperficiales (AESS) de origen ecuatorial (Strub et al., 1998), las cuales se caracterizan por transportar aguas frías, de altas salinidades, bajo contenido de oxígeno (<1 ml L⁻¹), y altas concentraciones de nutrientes (Brandhorst, 1971; Silva, 1983) y se originan en la zona ecuatorial del Pacífico Oriental (8°S), desde donde son transportadas hacia el sur por la contra-corriente de Chile-Perú o Corriente de Günther (Silva & Neshyba, 1979).

Para la costa de Chile se han identificado y descrito diversos centros de surgencia costera (Brandhorst, 1971; Arcos & Wilson, 1984; Fonseca & Farías, 1987), los que se originan principalmente por la coacción de vientos del sur y suroeste sobre las capas más superficiales del océano costero. 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; Shaffer et al., 1999), las AESS más someras surgen a lo largo de la costa chilena, exponiendo a la superficie aguas frías, ricas en nutrientes y pobres en oxígeno.

En la plataforma continental de Chile central se encuentra una de las áreas de surgencia más productivas. Esta zona presenta una alta variabilidad estacional (Escribano et al., 2004), presenta una ancha plataforma continental (60 mn), bordeada por dos profundos cañones submarinos, BioBio e Itata (Sobarzo, 1998), exhibe surgencia de tipo estacional durante primavera-verano (Arcos & Navarro, 1986; Peterson et al., 1988); recibe aportes significativos de agua dulce proveniente del río BioBio, uno de los ríos más caudalosos de Chile (Faúndez et al., 2001); y comprende un conjunto de bahías con diferentes tamaños y topografías (e.g. bahías de Concepción, Coronel, San Vicente, Coliumo, y Golfo de Arauco) donde se concentra gran parte de la población humana y de la actividad pesquera (Ahumada, 1989).

Los procesos de surgencias caracterizan la zona central de Chile por (1) fertilización de la capa fótica que puede sustentar un aumento sustancial en la biomasa del fitoplancton y eslabones tróficos subsiguientes, y (2) una alta productividad pesquera que se asocia a una mayor eficiencia del ecosistema en convertir la producción primaria en biomasa pesquera (Barber & Smith, 1981; Lluch-Belda et al., 1989), aún cuando esto último es debatible en el caso de cadenas alimentarias con menor número de niveles tróficos (Ryther, 1969; Cushing, 1989). Cubillos et al. (1998) estimaron que para sostener la alta biomasa pesquera registrada en la zona centro-sur de Chile se necesitaría al menos una producción primaria 1,6 g C m⁻²d⁻¹ durante todo el año, o el doble de dicho valor en el período de surgencia costera frente a Concepción fluctúan entre los 0,16 y 20 g C m⁻²d⁻¹ (Fossing et al., 1995; Daneri et al., 2000; Farías et al., 2004), siendo este último uno de los valores más altos registrados para los océanos. Hasta la fecha, sinembargo, no se ha llegado a explicar la extrema variabilidad temporal observada en las tasas de producción primaria frente a Concepción durante el período de surgencia costera.

La marcada variabilidad temporal en los niveles de producción primaria en la VIII Región sugiere que existen peculiaridades en el sistema que favorecerían el desarrollo de una variedad de condiciones que resultan favorables para la producción del fitoplancton, donde el concepto clásico de la surgencia debida a transporte de Ekman inducido por vientos locales es quizás sólo uno de los factores. Hoy se reconoce que no sólo la fertilización de la capa superficial explica la alta producción biológica, sino que el efecto combinado de distintos procesos advectivos, turbulentos y biológicos (Margalef, 1978; Mann & Lazier, 1996) determinan que cada sistema de surgencia sea único en términos de su productividad. Existen distintas hipótesis asociadas a los procesos físicos y la dinámica oceanográfica de la región costera de Chile centro-sur que explicaría en cierta medida la alta producción biológica del área. Parte de éstas se relacionan con el desarrollo de estructuras de mesoescala, como los giros y filamentos, los que por efecto de circulación determinarían zonas de retención de nutrientes y condiciones favorables para el desarrollo larval de especies de importancia comercial como la sardina y anchoveta (Cáceres & Arcos, 1991; Arcos et al., 1996). Por otro lado, ondas atrapadas a la costa podría modular la intensidad de la surgencia costera en esta región, ya que dependiendo de su fase podrían producir una profundización o

acercamiento a la superficie de la termoclina (Shaffer et al., 1997; Pizarro, 1999; Shaffer et al., 1999).

Los recursos pesqueros de la VIII Región, predominantemente conformados por la sardina común y anchoveta, han sufrido fuertes fluctuaciones en abundancia en las últimas décadas (e.g. Arcos et al., 2001; Castro et al., 2002). La ausencia de información bio-oceanográfica sistematizada para la zona ha impedido establecer cuál es la relación entre cambios ambientales y variaciones de los stocks de estos recursos que, en gran medida, dependen de la sobrevivencia de larvas y juveniles bajo condiciones ambientales favorables. Fluctuaciones asociadas a ciclos ENOS 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 & Fahrbach, 1996). No obstante, no se cuenta con una adecuada serie de tiempo que permita investigar los orígenes de las mencionadas fluctuaciones, como recientemente se ha hecho con los stocks de sardina y anchoveta de las costas de California utilizando la serie de tiempo colectada por la CalCOFI durante las últimas décadas (e.g. Rykaczewski & Checkley, 2008). Por ello, desde el año 2004 el Consejo de Investigación Pesquera ha estimado conveniente desarrollar una línea de investigación bio-oceanográfica para la VIII Región, que permita establecer una línea base de parámetros ambientales, así como la caracterización de los patrones de variabilidad espacial y temporal que afectan el desarrollo y la sobrevivencia de peces pelágicos pequeños (sardina común y anchoveta) en la zona costera. Recientemente, estas observaciones se han extendido hasta la IX Región, dado que también representa una zona importante en el desarrollo de estas especies pelágicas.

El presente informe representa una continuidad de un sistema de observación temporal de las condiciones bio-oceanográficas frente a las costas de Chile centro-sur. Se entrega información proveniente de un crucero bio-oceanográfico desarrollado en el marco del proyecto del Fondo de Investigación Pesquera FIP 2009-39 que tuvo como objetivo determinar las condiciones bio-oceanográficas en la zona costera entre la VIII y IX regiones, más particularmente en la zonas de desove y crecimiento de los peces pequeños pelágicos anchoveta y sardina común, dos de las especies de importancia comercial de la zona central del país.

2. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la variabilidad espacial y temporal de las condiciones y procesos bio-oceanográficos en las principales áreas de desove y reclutamiento de pequeños pelágicos en la VIII y IX regiones.

3. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 3.1. 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.
- 3.2. Determinar la abundancia, distribución espacial y composición del plancton, incluyendo el macrozooplancton, ictioplancton, huevos y larvas de anchoveta, sardina y jurel, mesozooplancton y microplancton de la zona de estudio durante el período de surgencia de la región y su asociación con las variables bio-oceanográficas indicadas en 3.1.
- 3.3. Determinar las variaciones mensuales en la zona costera de las variable señaladas en 3.1 y 3.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras dentro de la zona de estudio.
- 3.4. Estimar las siguientes tasas biológicas: producción primaria, flujo vertical de material orgánico (acoplamiento pelágico-bentónico) y su variabilidad mensual en estaciones seleccionadas de la zona de estudio.
- 3.5. Determinar la distribución superficial de las variables temperatura del mar, clorofila-a y anomalía del nivel del mar por medio de percepción remota. La frecuencia mínima de análisis debe ser al menos mensual. Y asociar estas variaciones espacio-temporales con la actividad pesquera.

4. METODOLOGIA POR OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL: Caracterizar la variabilidad espacial y temporal de las condiciones y procesos bio-oceanográficos en las principales áreas de desove y reclutamiento de pequeños pelágicos en la VIII y IX regiones.

Para dar cumplimiento al objetivo general del estudio, el equipo de investigadores (Anexo 1) adoptó una estrategia de trabajo que integró sus especialidades, conocimiento previo y capacidades analíticas sobre los diferentes procesos, variables y comporentes en estudio. El modelo conceptual presentado en la figura 1 se ha constituido en el marco de trabajo de nuestro equipo científico, que se viene realizando desde el año 2004 (Escribano & Schneider, 2007; Escribano & Morales, 2011). 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 sobre las 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 de niveles tróficos superiores y, por ende, la producción pesquera de la región. En dicho modelo se han incluido los términos de producción nueva y regenerada, basados en el principio de Dugdale & Goering (1967) y Eppley & Peterson (1979), que dice relación con las fuentes de Nitrógeno que sustentan cada uno de los términos de la productividad primaria del área y, por lo tanto, de las comunidades auto- y heterotróficas involucradas, además de la eficiencia y estabilidad del ecosistema.

El enfoque de estudio integrado del sistema requiere a su vez adoptar aproximaciones metodológicas integradas para la zona de estudio. Para ello se cuenta y se contó con recursos y actividades complementarias 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 incluyó: (1) recursos satelitales para datos superficiales diarios, semanales y mensuales en alta resolución de temperatura, biomasa fitoplanctónica, nivel del mar, y campos de vientos, (2) estaciones costeras terrestres para información diaria de vientos temperatura superficial del mar y nivel del mar, (3) información obtenida desde sistemas de registro continuo de corrientes y flujo vertical de material particulado, en base a un fondeo permanente del centro COPAS, instalado

en Noviembre del 2003 y localizado en la zona oceánica frente a Concepción (ca. 80 mn de la costa frente a los 37°S), (4) monitoreos bio-oceanográficos en escalas mensual y estacional sobre estaciones fijas, en la plataforma continental y sobre el talud, y (5) un crucero bio-oceanográfico para una condición de primavera-verano, que cubrirá la variabilidad de meso-escala espacial.



Figura 1. Modelo conceptual de los procesos y componentes a estudiar. Aut=autotrófico, P=picoplancton, N=nanoplancton, M=microplancton, Clo-a=clorofilaa.

4.1 Objetivo específico 1:

Determinar la distribución espacial, a nivel de meso-escala (km), de las variables biooceanográficas 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.

4.4.1. Descripción General del Crucero:

El crucero de verano comprendió la zona centro/sur de Chile, coincidente con las Regiones VIII y IX, con el límite norte en la 35°30'S y límite sur en los 40°00'S. El área de muestreo contempló el borde costero desde la primera milla náutica de la costa hasta las 100 millas náuticas desde la costa. El área cubierta por el cruœro incluye la plataforma continental, el talud continental y áreas de mar abierto que corresponden a la zona de transición costera. La grilla inicial sugerida y la trayectoria del barco para su cobertura se ilustran en la figura 2. Se consideró en total 70 estaciones de muestreo, de las cuales 50 incluyen muestreo completo y las otras son sólo de CTDO. La grilla de muestreo considera: estaciones de rojo son completas (CTDO+Botellas+Red) y las azules son solo de CTDO.

El crucero consideró una grilla de muestreos compuesta por 10 transectas espaciadas cada 30' de latitud. Entre las 10 transectas, 5 transectas con estaciones a 1, 5, 10, 20, 40 y 50 mn y 5 transectas largas, que incluyen además, estaciones a 75 y 100 mn desde la costa.

En las estaciones ubicadas a 5, 10, 20, 30, 50 y 100 mn de la costa de todas las transectas (estaciones bio-oceanográficas), se obtuvo muestras de agua de mar con botellas Niskin de 10 L, para determinaciones de oxígeno disuelto y nutrientes en al menos 5 niveles correspondientes a la capa de mezcla, termoclina y bajo la termoclina hasta 200 m. En estas mismas estaciones se colectaron muestras de agua de mar desde dos profundidades (1 y 10 m) para las determinaciones de microplancton.



Figura 2. Grilla de muestreo oceanográfico FIP 2009-39. Total 70 estaciones, 50 estaciones de rojo con muestreo completo (CTDO+Botellas+Red) y 20 estaciones azules sólo de CTDO. Las flechas indican el orden del track del barco y las estaciones en verde ilustran aquellas de monitoreo durante la serie de tiempo del Centro COPAS.

Se realizaron muestreos verticales de zoo- e ictioplancton mediante redes tipo WP-2 de malla de 200 micrones y equipadas con flujómetro digital para estimaciones del volumen filtrado por la red. La información de terreno fue complementada con información satelital sobre temperatura superficial (AVHRR, NASA, producto Pathfinder), clorofila-a superficial (imágenes SeaWiFS procesadas por la NASA utilizando la versión 3 del algoritmo OC-4), nivel del mar (producto AVISO) y estrés del viento (QuikSCAT) para días previos y durante el crucero. Datos horarios de vientos costeros fueron registrados por la estación meteorológica ubicada en el sector Punta Lavapié.

4.4.2. Métodos de muestreo

En todas las estaciones oceanográficas se realizó un muestreo vertical con un equipo CTDO-fluorescencia, provisto con sensor de luz PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa). Las variables registradas de forma continua en la columnade agua son: perfiles de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, fluorescencia y luz hasta los 600 m, o hasta 10 m desde el fondo dependiendo de la profundidad de la estación. Desde las botellas Niskin de 10 L se obtuvieron muestras de agua de al menos 5 profundidades, dependiendo de la profundidad de la columna de agua, referida a temperatura, oxígeno disuelto y fluorescencia, de manera que se aumente la resolución de muestreo en la zona de mayores gradientes en estas variables.

En las estaciones bio-oceanográficas, 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. Desde estas mismas muestras se obtuvo volúmenes para mediciones de nutrientes esenciales para la actividad biológica y que incluyen, nitrato, nitrito, fosfato y silicato. Además, se realizó mediciones de biomasa del fitoplancton expresada como mg Clorofila m³.

4.4.3. Métodos de análisis de registros y muestras

Para las mediciones de salinidad (conductividad), temperatura, oxígeno y presión se uso un CTD SBE 19 plus, el cual fue calibrado con fecha de septiembre-octubre de 2010 en laboratorio de SeaBird en USA. 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 sobre intervalos de 1 m (Anexo 3). Las medidas de PAR se calibraron con un radiómetro de superficie. Un análisis preliminar se realizó a bordo para definir las profundidades de muestreo de agua en función de la estructura vertical de columna de agua.

Análisis de salinidad: Las muestras de agua para mediciones de salinidad se llevaron al laboratorio en envases de vidrio sellados herméticamente para posterior análisis en un salinómetro GIDLINE, equipo disponible en el Laboratorio de Calibración del PROFC en la Universidad de Concepción

Análisis de oxígeno disuelto: La determinación de oxígeno disuelto se realizó usando el método de Winkler (Williams & Jenkinson, 1982; Knap et al., 1993). Método que consiste en producir una serie de reacciones químicas que Iberan iones de yodo equivalentes al oxígeno disuelto en la muestra de agua de mar. La concentración de iones de yodo se determino posteriormente a través de una titulación con una solución de tiosulfato, para la que se utilizo un dispensador automático Dosimat 665 Metrohm. El oxígeno disuelto en cada muestra se fijo químicamente adicionando a cada botella 1 ml de solución de Cloruro de Manganeso (MnCb) seguido por 1 ml de solución yodada alcalina, compuesta por Yoduro de Sodio (NaI) e Hidróxido de Sodio (NaOH). Antes de la titulación, las botellas fueron acidificadas con 1 ml de Ácido Sulfúrico (HSO₄).

Análisis de nutrientes: La determinación de los nutrientes nitrato, nitrito, fosfato y silicato se realizo mediante técnicas de espectrofotometría. Dos equipos fueron utilizados con este fin: (1) analizador de flujo continuo con autoanalizador y (2) métodos discretos (manuales) estándares. La determinación de nitrato se baso en el método de Strickland et al. (1984). El nitrato fue 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) etilenodiamina forma un compuesto azo fuertemente coloreado. Para determinación de ortofostato reactivo se empleo la metodología propuesta por Grasshoff et al. (1983). El fosfato en la muestra de agua de mar 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 -silicomolíbdico de color amarillo. Este complejo fue luego reducido, cambiando a un complejo de color azul, mediante la utilización de ácido oxálico y ácido ascórbico.

Biomasa fitoplanctónica: Se utilizó el procedimiento estándar para determinar clorofila total en cada muestra (Parsons et al., 1984). Las muestras de agua se obtuvieron en volúmenes de 1-2 L en bidones oscuros para filtración inmediata. Para las determinaciones de clorofila-a total se utilizaron filtros GF/F con tamaño de poro de ca. 0,7 μ m. La concentración de clorofila-a en tamaños < 20 μ m se obtuvo por filtración con un tamiz de 20 μ m, y posterior filtración filtros de µBn. A su vez, la submuestra de clorofila-a <3 μ m obtenida fue filtrada por filtros GF/F de 0,7 μ m de poro. Los filtros fueron preservados en nitrógeno líquido para análisis posterior. En el laboratorio, la clorofila-a fue extraída durante 24 h en acetona al 90% y luego leída mediante un fluorómetro Turner Designs TD-700 calibrado.

Análisis de la información: Toda la información recopilada del crucero fue almacenada en una base de datos, parte de la cual fue resumida en el informe de crucero. Los datos de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno permitieron el análisis de la distribución espacial horizontal y vertical de las masas de aguas en el período de estudio. Este análisis permitió a su vez estimar las características que influyen sobre la distribución de nutrientes y de los diversos componentes del plancton, incluyendo la estratificación, profundidad de la capa de mezcla, base de la termoclina, oxiclina y nutriclina, y patrón de circulación general. En un análisis más global se caracterizó la distribución de mesoescala de la TSM, ZMO, clorofila, nutrientes y extensión de la capa fótica. Todas las variables bio-oceanográficas fueron analizadas gráficamente en términos de su distribución espacial, mediante el uso de mapas de distribución horizontal y construcción de secciones verticales latitudinales y meridionales. La estructura espacial de las variables bio-oceanográficas fue analizada utilizando métodos geoestadísticos (Goovaerts, 1997), mientras que el análisis estadístico de la asociación entre variables físicas, químicas y biológicas se baso en correlaciones múltiples y la utilización de modelos lineales generalizados (McCullagh & Nelder 1989).

4.4.4. Información complementaria

Para complementar la información ambiental durante la ejecución del crucero se utilizo imágenes satelitales diarias de temperatura y de clorofila-a. También se ha utilizado información de las condiciones meteorológicas en el sector de Coliumo (36°31'41.2''S, 72°57'57,3''W) (Fig 3). La estación meteorológica se activó en agosto del 2004, registrando datos cada 10 minutos, de los cuales se calculan promedios horarios de cada variable (vientos, temperatura del aire, presión).
4.2 Objetivo específico 2:

Determinar la abundancia, distribución espacial y composición del plancton, incluyendo el macrozooplancton, ictioplancton, huevos y larvas de anchoveta, sardina y jurel, mesozooplancton y microplancton de la zona de estudio durante el período de surgencia de la región y su asociación con las variables bio-oceanográficas indicadas en 3.1.

Las muestras para *macrozooplancton, mesozooplancton e ictioplancton* fueron obtenidas mediante lances verticales de red WP-2 de 0.6 m² de diámetro de boca, equipada con malla de 200 μ m y flujómetro digital calibrado General Oceanics. Los estratos de muestreo fueron integrados hasta un máximo de 200 m. Las muestras de zooplancton fueron inmediatamente fraccionadas a bordo para preservación de una fracción del material fresco en nitrógeno líquido. El resto de la muestra fue fijado en formalina al 5% neutralizada con tetraborato de sodio.

Los componentes del microplancton se muestrearon desde las botellas Niskin de 10 L, en al menos 2 profundidades en el estrato superior de 50 m. Se aplicaron dos procedimientos durante el muestreo, uno general para microplancton y otro específico para fitoplancton. En el primer caso, los volúmenes de agua de mar fluctuaron entre 10 L (áreas productivas) y 28 L (áreas oligotróficas). Estas muestras fueron filtradas a bordo a través de un tamiz de **20**n. 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 microfitoplancton sin tamizar (250 ml) fueron almacenadas en frascos de plástico y preservadas con lugol 2%. Para el microplancton, se colecto y analizo datos de dos profundidades que dependieron de la estructura de la columna de agua, pero que usualmente corresponden a la superficie y 10 m.

Métodos de análisis de muestras

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 (e.g. 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. La fracción de muestra fijada en formalina fue analizada para composición de especies de mesozooplancton (200-1000 μ m) y macrozooplancton (>1000 μ m). 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 realizo sobre las muestras fijadas en formalina (como en el caso anterior). Para ello, primeramente se separo todos los huevos y larvas de peces presentes bajo lupa, y luego se identifico y enumero por especies, con énfasis en las especies recursos de la zona, tales como merluza, anchoveta, sardina común, jurel, y otras.

Asociación entre variables oceanográficas y biológicas: El grado de asociación entre los componentes planctónicos, en términos de distribución, abundancia y composición, y las variables bio-oceanográficas indicadas en el objetivo 3.1, fue tratado mediante técnicas de análisis multivariado, tales como regresión múltiple paso-a-paso, análisis de componentes principales y conglomerados. La distribución espacial de componentes del plancton se analizo y represento mediante técnicas de análisis espacial, que incluyen métodos geoestadísticos (Goovaerts, 1997) para la construcción de contornos.

4.3 Objetivo específico 3:

Determinar las variaciones mensuales en la zona costera de las variable señaladas en 3.1 y 3.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras dentro de la zona de estudio.

4.3.1. Serie de tiempo

Para estudiar la variabilidad temporal de las condiciones bio-oceanográficas se realizaron muestreos mensuales en tres estaciones en una transecta costa-océano, durante una escala anual (12 meses de muestreo). Desde costa a océano se muestrearon las estaciones ubicadas a 5, 12 y 18 mn sobre la plataforma continental en la terraza del Itata, las cuales se denominaran Estación 5, Estación 12 y Estación 18 (Fig. 3) con profundidades que van desde los 30, 50 y 90 m de profundidad, respectivamente. Esta zona de muestreo está sometida a impactos locales directos de los procesos que ocurren en la plataforma interna, incluyendo las bahías aledañas en la VII Región. 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.





Las mediciones realizadas en las tres estaciones incluyen muestreo de macrozooplancton, meso-zooplancton e ictioplancton y se obtuvo información de las variables bio-oceanográficas usando un perfilador oceanográfico. Solamente, en la Estación 18, se realizó un muestreo integrado de las variables básicas, como parte del estudio de Serie de Tiempo de la Estación 18. El análisis de tal información indicó que la estación 18 refleja de manera apropiada la variabilidad bio-oceanográfica estacional e intra-estacional, especialmente referida al forzamiento ejercido por la surgencia costera en la zona (Escribano & Schneider, 2007; Sobarzo et al., 2007).

4.3.2. Métodos de muestreo y análisis en las estaciones de monitoreo mensual

En las estaciones de la transecta mensual (Estaciones 5, 12 y 18) se realizaron perfiles de CTDO-Fluorescencia-PAR y muestreos del macro-meso e ictioplancton. En la Estación 18, se obtuvo muestras de agua a 12 profundidades con botellas Niskin, para estimaciones de salinidad, concentraciones de oxígeno disuelto y nutrientes, y abundancia y biomasa (clorofila-a medida y carbono estimado) del fitoplancton.

Además, se realizaron muestreos a 2 profundidades con botellas de 30 L para estimar abundancia y composición de microplancton, que requiere de mayores volúmenes para un análisis apropiado. Para el estudio del ictioplancton, mesozooplancton y macrozooplancton, se realizaron lances oblicuos de red Tucker Trawl de 1 m^2 de apertura y malla de 200 micrones para muestrear los estratos 0.50 m y 50-80 m e integrado en la Estación 18, estratos 0.20 m, 20-45 m e integrado en la Estación 12, y 0-10 m, 10-25 m e integrado en la Estación 5.

4.3.3. Análisis de muestras e información

Los métodos de análisis de muestras para todas las variables son los mismos indicados para los objetivos 3.1. y 3.2. La información proveniente de cada estación fue mantenida en una base de datos que se actualiza mensualmente y constituye 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, químico y variables biológicas.

4.4 Objetivo específico 4:

Estimar las siguientes tasas biológicas: producción primaria, flujo vertical de material orgánico (acoplamiento pelágico-bentónico) y su variabilidad mensual en estaciones seleccionadas de la zona de estudio.

En la estación 18, se realizó los estudios para estimar mensualmente las tasas de producción primaria bruta (PPB), respiración comunitaria del plancton (RC) y flujo vertical de material particulado (FV). Los métodos a aplicar consistían en estimaciones *in situ* de cambios en la concentración de oxígeno disuelto. Para ello se utilizó un sistema de incubación consistente en 5 cubos de acero inoxidable con portabotellas posicionados diagonalmente dentro del cubo, los cuales fueron dispuestos verticalmente en las mismas profundidades desde las cuales fueron extraídas las muestras. De cada profundidad se obtuvieron 15 submuestras, las cuales fueron incubadas en botellas de borosilicato de 125 ml de capacidad nominal. Inicialmente se seleccionó 5 profundidades para estimar PPB y RC de acuerdo al perfil de fluorescencia y luz proveniente del perfil CTDO-fluorescencia-PAR. En forma simultánea a la incubación para PPB y RC, se puso en el agua una trampa de sedimentos boyante, la cual fue acoplada al sistema de incubación para PPB y RC.

El flujo vertical de material particulado fue estimado mediante trampas de sedimento cilíndricas pareadas de 122 cm² de área de colecta y una razón altura: diámetro de 8,3. Las trampas fueron instaladas mensualmente en la Estación 18, por períodos que fluctúan entre 8 y 12 horas. En estas muestras se estimó los flujos de seston, materia orgánica total y fracción litogénica. Además, se estimo los flujos de material biológico como microplancton (diatomeas, tintínidos, nauplii de crustáceos) y detritus (pellet fecales de zooplancton).

Métodos de medición y análisis

Para estimar tasas de Productividad Primaria Bruta (PPB) del fitoplancton y tasas de Respiración Comunitaria (RC), la cantidad de oxígeno producida por fotosíntesis y consumida por respiración se midió utilizando 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 fueron estimadas utilizando una versión semi-automatizada del método Winkler (Williams & Jenkinson, 1982; Knap et al., 1993) basada en un detector fotométrico de punto final (Dosimat Metrohom 665 de 5 ml de capacidad y un registrador Cole Parmer). Los valores integrados de tasas de PP y RC 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 fueron 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).

4.5. Objetivo específico 5:

Determinar la distribución superficial de las variables temperatura del mar, clorofilaa y anomalía del nivel del mar por medio de percepción remota. La frecuencia mínima de análisis debe ser al menos mensual. Y asociar estas variaciones espaciotemporales con la actividad pesquera.

Tal como se indica en la sección correspondiente al objetivo 3.1, las mediciones realizadas durante el crucero de primavera-verano y durante los cruceros mensuales a las estaciones ubicadas a 18, 12 y 5 mn de la costa fueron complementadas con información satelital sobre distribución de la temperatura superficial (imágenes AVHRR procesadas por la NASA-EE.UU, producto Pathfinder), concentración de clorofila-a superficial (imágenes SeaWiFS procesadas por la NASA utilizando la versión 3 del algoritmo OC4), nivel del mar (producto AVISO) y estrés del viento (derivados de QuikSCAT) para días previos y durante el crucero.

La información recopilada desde esta variedad de fuentes, sensores y resoluciones fue sometida a un control de calidad y posterior interpolación con el fin de llevar todas las imágenes a una misma grilla espacial, sobre la cual se estimo escalas de auto-correlación espacial, y se realizo un análisis de correlación entre la estructura espacial de las variables ambientales y las estimaciones de tasas biológicas descritas para el objetivo 3.4, además de la información sobre desembarcos y actividad de la flota pesquera que se encuentre disponible, y que fueron extraídos de los anuarios estadísticos de pesca del Servicio Nacional de Pesca (SERNAPESCA).

5. RESULTADOS

5.1. Objetivo específico 1:

Determinar la distribución espacial, a nivel de meso-escala (km), de las variables biooceanográficas 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.

La posición geográfica de las estaciones oceanográficas realizadas en el crucero y la batimetría de la zona de estudio se muestra en la figura 4. La información de posición, fecha y profundidad de muestreo de cada una de las estaciones está resumida en la Tabla 1. Además, esta tabla, informa sobre las estaciones que fueron muestreadas en su totalidad, ya que hubo estaciones que fueron imposibles de realizar debido a las condiciones de mal tiempo imperando en las horas de muestreos de cada estación.

5.1.1. Vientos

Durante enero de 2011 los vientos fueron predominantemente hacia el norte, es decir favorables a la surgencia, con magnitudes típicas de 3 m/s. Eventos intensos de vientos favorables a la surgencia fueron seguidos de periodos de vientos débiles o con una componente hacia el sur. La figura 5a muestra la serie de tiempo de los vientos durante enero de 2011. El ciclo diario del viento (Fig. 5b) muestra que los vientos en enero de 2010 fueron, en general, máximos a fines de la tarde. Con estos vientos se calculó el transporte de Ekman perpendicular a la costa. El cual es un índice de la surgencia costera para la región de estudio.

5.1.2. Transporte Ekman

En la figura 6 se muestra el índice de surgencia para el mes de enero de 2011. El viento utilizado en ésta estimación fue medido en una estación meteorológica ubicada en Punta Lavapié. El índice positivo indica que transporte de Ekman es hacia fuera de la costa. Los resultados muestran condiciones favorables para la surgencia costera en gran parte del mes de enero. A comienzos y a fines del período del crucero (20-28 enero) se observó un incremento en los valores de transporte, separados por un período de relajamiento entre el 24 y 26 de enero. Se debe mencionar que los períodos de

intensificación y relajamiento de las condiciones de surgencia son aproximadamente entre 5-6 días.

5.1.3. Condiciones oceanográficas

La distribución horizontal de temperatura, salinidad, sigma-t y oxígeno disuelto se muestran en las Figuras 7, 8, 9,10, para las profundidades de 5, 10, 30, 50, 100, 200 m.

• Temperatura

La distribución horizontal de temperatura muestra un fuerte gradiente paralelo a la costa en los niveles superficiales (5, 10, 30 m), siendo más marcado en el nivel de 30 m. La temperatura hacia la costa de éste frente se mantiene alrededor de los 11°C, en cambio hacia la zona oceánica pueden llegar a los 17°C. Al interior del Golfo de Arauco se observa un aumento de temperatura a los 5 y 10 m de profundidad. A los 50 m también es posible observar este gradiente pero no es tan marcado como en las profundidades más someras. Las temperaturas en este nivel fluctúan entre los 9°C y 14°C. La distribución horizontal de temperatura a los 100 y 200 metros es más homogénea que las profundidades superficiales. A los 100 m las temperaturas son levemente inferiores a 10°C en la zona costera y cercana a los 11 °C en la zona oceánica. En tanto a los 200 la temperatura es inferior y fluctúa entre los 9°C y 10°C.

• Salinidad

En la distribución superficial de salinidad a 5 y 10 m, al norte de Punta Lavapié y hacia costa, se observa una zona con valores superiores a 34. En el área más costera la salinidad es alrededor de 34.5. Desde Punta Lavapié hacia la zona oceánica y al sur de ésta se observa una disminución de valores de salinidad centrados en los 33.5 (niveles de 5, 10 m). A los 30 y 50 metros de profundidad se observa un gradiente paralelo a la costa. En cambio hacia la zona oceánica de este frente las salinidades son más homogéneas con valores que fluctúan entre 33.5 y 33.9. Una distribución similar se puede a los observar a los 100 m. A los 37.5° S y desde los 75°W hacia el océano se observa un aumento de salinidad (> 34). A los 200 metros la salinidad es homogénea, con valores cercanos a los 34.5.

• Densidad

La distribución de densidad entre los 5 y 30 m presenta un marcado gradiente paralelo a costa. Los valores de densidad en la zona costera son mayores a 26 kg/m³ y en la zona oceánica inferiores a 25 kg/m³. A los 50 m la distribución de densidad es similar al observado en las profundidades mas somera pero con un gradiente menor y valores más homogéneos lo que fluctúan entre 25.2 a 26.4 kg/m³. A los 100 y 200 m la densidad es más homogénea mostrando un leve aumento en la zona oceánica a 37.5°S de latitud.

• Oxígeno

La distribución del oxígeno disuelto a los 5m y 10m es relativamente homogénea en la zona oceánica del área de estudio, concentraciones cercanas a los 5.5-5.7 mL L⁻¹. Al norte de Punta Lavapié y en la zona costera el oxígeno disminuye a concentraciones menores a 1 mL/L. Al interior del Golfo de Arauco se observa un aumento en la concentración de oxígeno y una disminución cerca alrededor de la Isla Santa María, siendo más notorio a los 5 m. También se observan 3 núcleos donde la concentración de oxígeno es mayor 6 mL/L (36°S, 37.5°S y 40°S de latitud).

A los 30 y 50 metros la distribución de oxígeno es relativamente similar, con concentraciones de oxígeno menor a 2 mL/L cerca de la costa y a lo largo de ésta. En tanto en la zona oceánica las concentraciones de oxígeno son más homogéneas, entre 5.5-5.7 mL/L. Además, a los 30 m se puede observar un núcleo con concentraciones de oxígeno mayor a 6 mL/L, el cual no muestra la distribución superficial de 50 m.

A los 100 m se observa una ampliación del área de bajo contenido de oxígeno hacia la zona oceánica. Tal como se observó en las profundidades mas someras, las concentraciones de oxígeno fueron menor a 1 mL/L al norte de Punta Lavapié, en cambio al sur de ésta localidad las concentraciones son alrededor de 2.5 mL/L. En la zona oceánica las concentraciones de oxígeno son mayores a 4 mL/L, excepto a los 37.5° S donde éstas son menores a < 3.2 mL/L.

A los 200 m de profundidad la distribución de oxígeno es relativamente homogénea al norte de los 38°S, con concentraciones inferiores a 1 mL/L. Al sur de ésta latitud y hacia la zona oceánica se puede observar un leve aumento en el contenido de oxígeno >

2mL/L, el cual coincide con una leve disminución de salinidad <34.3 a esa misma profundidad.

Tal como se observó en las variables de temperatura, salinidad y sigma-t, existe un gradiente de oxígeno paralelo a la costa, el que es más marcado en las profundidades de 10, 30, 50, 100 m. Este gradiente también se observó a los 5 m, pero al norte del Golfo de Arauco

• Transecta latitudinal

En este crucero se realizaron 10 transectas orientadas zonalmente y separadas aproximadamente medio grado de latitud. La enumeración de las transectas se muestra en la figura 4. Debido a las condiciones desfavorables de tiempo no se lograron completar todas las secciones siendo las más afectas las ubicadas al norte de Punta Lavapié.

Al norte de Punta Lavapié la extensión hacia el océano de las transectas no sobrepasó las 60 millas náuticas, y solo en algunas estaciones se midió por debajo de los 300 m. En la zona costera, la distribución de temperatura observada en las transectas 1, 2, 3 y 4 (Fig. 11, 12, 13, 14) presenta una elevación, hacia la superficie, de las isotermas mayores o igual a 11°C, generando un marcado gradiente de temperatura longitudinal es superficie, donde el límite exterior observado sería la isoterma de 15°C. Esta elevación hacia la superficie de las isolíneas también se puede observar en la salinidad, densidad y oxígeno. Así los valores de salinidad, densidad y oxígeno son >34.2, >26.4 kg/m³ y < 1 mL/L, respectivamente. Al interior de Golfo de Arauco, se observan valores de temperatura > 14°C, salinidad < 34, oxígeno > 6 mL/L y una disminución en la densidad < 25.4 kg/m³.

La transecta 5 (Fig. 15) presenta estaciones más oceánicas y profundas que las secciones anteriores. Tal como éstas últimas se observa un fuerte gradiente horizontal en superficie cerca de la costa. La isoterma de 11°C que llega a la superficie en las costera, hacia el océano se mantiene casi horizontal y a una profundidad media que bordea los 70 metros. Esto muestra claramente que las aguas más frías que se observan en superficie hacia la costa provienen desde estas aguas oceánicas y más profundas. En la costa la salinidad presenta valores > 34.4, concentraciones de oxígeno <4 mL/L,

valores característicos de agua más profunda y oceánica. En la zona oceánica ésta agua se encuentra entre los 100 y 400 metros de profundidad, con salinidades > 34.4 y concentraciones de oxígeno < 3 mL/L. En la longitud ~ 75.50°W (estación 35), debajo de los 200 metros se observan oscilaciones en las isotermas (7-9°C) e isopicna de 28.8 kg/m³. En ésta misma longitud se observa un núcleo de bajo contenido de oxígeno (< 0.5 mL/L) y alta salinidad (> 34.5). Este rasgo estaría asociado a la presencia de vórtices de mesoescala.

Las transectas 6, 7 ,8 ,9 y 10, ubicadas en la zona sur del área de estudio, entre los 38°S y 40°S, se muestran respectivamente en las figuras 16, 17, 18, 19 y 20. En la transecta 6 aun es posible observar un marcado gradiente superficial en las distintas variables, asociada a la elevación de las respectivas isolíneas. En cambio en las otras transectas, este gradiente en menos marcado en las distintas variables, con temperaturas > 11°C, salinidades < 34, densidades $< 26 \text{ kg/m}^3$ y concentraciones de oxígeno > 2 mL/L. Hacia el zona oceánica, entre los 150 y 400 metros la concentración oxígeno medida es levemente superior a lo encontrado más el norte. No obstante lo anterior, aun se puede observar concentraciones levemente inferiores a 1 mL/L. Las salinidades medidas en esta región son levemente inferiores a 34.5. En la transecta 7, estación 40, se observa una elevación de las isolíneas ubicadas bajo los 300 metros, en temperatura (8°C), salinidad (34.4), densidad (26.8 kg/m³) y oxígeno (2 mL/L). Esto podría estar asociado a estructuras de mesoescala.

• Transecta longitudinal

La figura 21 muestra la distribución meridional de las variables de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno. La temperatura observada en la sección oceánica, la cual se extiende entre los 37.5° S y 40.0°S, en la longitud 74.5°W, muestra ser relativamente homogénea en los primeros 40 metros (>17°C), excepto en la parte al sur de la sección, donde se observan temperaturas inferiores a 15°C. En general las isotermas, sobre los 200 metros de profundidad, tienden a inclinarse de norte a sur, siendo más someras hacia latitudes más altas, incluso llegando a la superficie. Esta inclinación también se observa en las isopicnas. Al norte de los 39°S y entre los 100 y 400 m, se observa un núcleo de agua con bajo contenido de oxígeno (< 2 mL/L) y salinidades > 34.4.

La transecta costera considera las estaciones ubicadas en el borde de la plataforma continental (~ isobata 200 metros) desde la superficie hasta 70 metros de profundidad. En todas las variables se puede observar un levantamiento de las isolíneas a 37° de latitud, esto se debería a un efecto topográfico generado por la cercanía de la Isla Santa María. Si descartamos este efecto podemos observar algunos rasgos interesantes en las distintas variables. Las isotermas e isopicnas y las líneas de igual contenido de oxígeno tienden a profundizarse hacia el norte. Las aguas al norte de Punta Lavapié son más salinas, con valores que superan los 34 psu. En ésta zona las concentraciones de oxígeno no son tan bajas debido a que las estaciones utilizadas no son las más costeras, donde el contenido de oxígeno es < 1 mL/L.

• Isotermas y capa de mezcla

La profundidad de las isotermas de 11, 12 y 13° son más someras a lo largo de toda la zona costera que en zona oceánica, incluso llegando a la superficie. En la zona oceánica, de acuerdo a los datos, la profundidad de éstas sobrepasa los 50 metros de profundidad. En tanto la profundidad de la isoterma de 8°C es superior a los 290 metros en toda la zona de estudio (Fig. 22). La distribución horizontal de la capa mezcla (Fig. 23), en general, presenta profundidades menores hacia la costa (< 10 m). En tanto en la zona oceánica ésta puede llegar a los 40 metros.

5.1.4. Masas de agua

Las distintas figuras analizadas anteriormente dan cuesta de un rasgo característico en la zona de estudio, que es la presencia de masa de agua de origen ecuatorial Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Esta masa de agua se caracteriza por presentar valores de salinidad ~34.5 y concentraciones de oxígeno < 2 mL/L. En la zona oceánica, la AESS se encontraría entre los 200 y 400 metros de profundidad, donde se observaron salinidades > 34.5 y concentraciones de oxígeno < 0.5 mL/L. La ubicación de esta masa de agua en la zona costera es muy somera, llegando agua de sus características a la superficie. Un análisis más detallado de la profundidad de la AESS se puede realizar utilizando la distribución horizontal de la isopicna de 26.5 kg/m³, la que estaría asociada al núcleo de ésta masa de agua. Respecto a esto último se debe mencionar que esto no es tan evidente en los diagramas T/S de este crucero pero si en los anteriores. Si observamos los diagramas T/S (Fig. 24, 25), la isopicna asociada al núcleo de la AESS podría ser levemente mayor, pero se debe considerar que en algunos

casos las transectas no tienen estaciones oceánicas (norte de Punta Lavapié) y en otros casos, secciones al sur de los 38°S, las masa de agua presenta temperaturas más bajas, entre 9° y 10°C y salinidades de 34.4, esto último es consistente a lo encontrado en otros cruceros FIP, donde el monitoreo abarcó hasta los 40°S. En la figura 26 se puede observar que la profundidad de la isopicna es menor en la zona costera, muy cerca de la superficie ~40-60, siendo más somera al norte al norte de Punta Lavapié (~40 m). En la zona oceánica la profundidad del núcleo es > 150 m.

5.1.5. Altura dinámica

A partir de la data hidrográfica se calculó la altura dinámica para la zona de estudio. La figura 27 se muestra los resultados de éste cálculo. Debido a que las estaciones ubicadas al norte del Golfo de Arauco no registran profundidades mayores a 500 metros, y con la finalidad de abarcar esta área se utilizaron dos profundidades de referencia, 200 y 500. Los resultados muestran, tal como se ha observado en cruceros anteriores, una disminución de la altura hacia la costa, que generaría un flujo hacia el norte, paralelo a la costa. Esto es consistente a lo observado en los datos de altimetría, anomalías de nivel del mar y topografía dinámica (Fig. 28).

En general, los resultados muestran que las condiciones oceanográficas observadas en este crucero son típicas de la estación de verano para la zona, las cuales han sido reportadas en anteriores cruceros FIP. La surgencia costera, así como estructuras de mesoescala son los principales procesos que afectan la variabilidad espacial de las condiciones oceanográficas en la zona de estudio. Por otra parte, es importante señalar que las condiciones observadas en el Pacífico ecuatorial durante el veraro de 2011 correspondieron a condiciones frías o a la fase La Niña del ciclo ENOS. En la figura 29 se muestra uno de los índices utilizados en la identificación del ciclo ENOS. Este índice está basado en las anomalías de temperatura superficial en la regiónecuatorial.

La distribución horizontal de los primeros metros de las distintas variables hidrográficas, muestran un marcado gradiente este-oeste sobre a plataforma continental, el cual se extiende paralelo a la costa en toda la región estudio. El bajo contenido de oxígeno (< 1 mL/L), el máximo relativo de salinidad (>34.5), el aumento de la densidad y aguas más frías observadas en superficie, se debería al transporte de agua más profundas y oceánicas, asociada a la masa de agua AESS, consistente a una

intensificación de la surgencia costera. Esto proceso fue más intenso al norte de Punta Lavapié, donde se observaron los máximos valores de salinidad (>34.5) y concentraciones de oxígeno > 0.5 mL/L.

5.1.6. Información satelital

En los primeros días del crucero la información satelital indicó la presencia de surgencia activa a lo largo de toda la franja costera de las VIII y IX Regiones, con un foco de mayor intensidad frente a Lirquén (36°30') (Fig. 30). Esta condición se mantuvo durante los días siguientes al crucero (Fig. 31). Estudios previos han mostrado que fuera de la plataforma y talud continental la variabilidad temporal y espacial de las corrientes superficiales y del nivel del mar es dominada por fluctuaciones de mesoescala (Hormazabal et al, 2004). La figura 32 muestra las corrientes geostróficas en superficie derivadas de altimetría satelital. En esta figura se observan importantes rasgos de mesoescala, los cuales son típicos de la zona de estudio.

La información in situ derivada de los perfiles de CTD muestra una estructura espacial muy similar a aquella observada en las imágenes satelitales, con aguas más frías en la franja costera y un frente a los 36°30S indicando un foco de mayor intensidad frente a Concepción (Fig. 7a). El incremento en la salinidad (<34.0) en la franja mas costera también indica el ascenso de aguas ecuatoriales subsuperficiales indicando la presencia de surgencia activa (Fig. 8a). Valores menores de oxígeno disuelto coinciden con lentes fríos de surgencia costera (Fig. 10a). Finalmente, la presencia de marcados gradientes horizontales de densidad revelan la presencia de frentes costeros inducidos por el proceso de surgencia de aguas más frías (Fig. 9a).

5.1.7. Penetración de la luz

A través de las mediciones de luz PAR por el sensor del CTDO se pudo estimar el coeficiente de extinción de la luz y estimar la profundidad de la capa fótica, para aquellas estaciones en que se pudo realizar perfiles de CTDO en las horas del mediodía (11 AM a 14 PM).

El coeficiente de extinción de la luz fluctuó en el rango de 0.02 a 0.07 m-1, con un promedio de 0.05 m-1. Los valores menores estuvieron en la zona oceánica y mayores en el área costera, asociados a las agregaciones de fitoplancton.

La zona fótica promedio en el área costera fue de 18 m con un mínimo de 14 m en el Golfo de Arauco, mientras que su máxima profundidad alcanzó los 68 m en el área más oceánica en el sector norte de la zona de estudio.

Estación	Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	z-CTD	z-Sonda
			Local	(S)	(W)	(m)	(m)
001	001	2011-01-20	12:50	35°29.939'	72°33.689'	21.6	24.0
002	002	2011-01-20	15:10	35°29.800'	72°34.300'	32.1	39.5
003	003	2011-01-20	18:00	35°30.000'	72°43.000'	32.3	40.0
004	004	2011-01-20	21:10	35°29.800'	72°52.000'	98.0	119.0
005	005	2011-01-20	23:55	35°30.000'	73°02.900'	372.0	504.0
009	010	2011-01-21	21:20	36°00.000'	72°48.000'	41.9	48.0
010	009	2011-01-21	19:43	36°00.000'	72°52.000'	135.4	157.0
011	011	2011-01-21	23:31	36°00.000'	72°59.000'	262.3	300.0
012	008	2011-01-21	17:30	35°59.000'	73°02.800'	246.6	354.0
013	007	2011-01-21	16:10	36°00.600'	73°13.200'	316.3	373.0
014	006	2011-01-21	12:21	35°59.800'	73°33.500'	485.9	1050.0
015	012	2011-01-22	08:07	36°29.000'	72°56.000'	10.5	16.0
016	013	2011-01-22	09.15	36°30 000'	73°01 500'	44.9	50.0
017	014	2011-01-22	11.18	36°30 100'	73°07 200'	86.3	88.0
018	015	2011-01-22	13.36	36°30 116'	73°19 657'	97.8	117.0
019	015	2011-01-22	15.30	36°30,100'	73°32 200'	101.9	135.0
020	017	2011-01-22	18.33	36°29 830'	73°57 027'	378.1	1000.0
020	017	2011-01-22	01.52	36°30 000'	74900 000'	251.7	1000.0
022	018	2011-01-23	18.15	37%00.034'	73º12 816'	231.7	35.0
023	024	2011-01-23	17.02	36%50.000'	73 12.810	55.8	50.6
024	023	2011-01-23	17.02	36%50,000'	73 17.400	55.0 64.0	39.0 74.0
025	022	2011-01-23	12.16	30 39.000 37°00 100'	73 23.000	65.6	74.0
020	021	2011-01-23	15.10	37 00.190 27º00 000'	75 50.555	261.6	72.0 500.0
027	020	2011-01-23	11:48	37 00.000 26%50 022'	75 46.000	251.0	2000.0
028	019	2011-01-23	09.03	30 39.922 27º20 220'	74 14.119	17.2	20.0
029	025	2011-01-24	00:07	57 50.520 27820 0511	73 37.438	17.5	20.0
030	020	2011-01-24	01:14	37°30.051	73"42.200	/1.8	84.0
031	027	2011-01-24	02:30	37°29.000	73°48.000°	203.1	229.2
032	028	2011-01-24	04:35	37°30.000	74°01.000°	399.9 595.0	500.0
033	029	2011-01-24	07:36	37°30.000	74°14.000°	585.0	2000.0
034	030	2011-01-24	10:39	37°30.139	74°39.341	588.0	4500.0
035	031	2011-01-24	15:12	37°30.281	75°11.301	561.1	4000.0
036	032	2011-01-24	18:40	37°30.000	75°42.000	329.5	3900.0
037	036	2011-01-25	11:15	38°00.417	73°30.101	37.0	40.0
038	035	2011-01-25	10:13	38°00.084'	73°34.722'	62.6	72.0
039	034	2011-01-25	09:05	38°00.014'	73°41.423'	98.3	107.0
040	033	2011-01-25	06:55	38°00.000'	73°54.000′	126.3	160.0
043	037	2011-01-25	15:29	38°30.000'	73°32.000′	26.1	28.0
044	038	2011-01-25	16:23	38°30.000'	73°37.000'	34.7	40.0
045	039	2011-01-25	17:35	38°30.000'	73°47.000'	36.6	37.8
046	040	2011-01-25	19:24	38°30.464'	73°57.390'	46.7	53.0
047	041	2011-01-25	21:20	38°30.181'	74°10.109'	488.8	2000.0
048	042	2011-01-26	00:25	38°30.000'	74°35.000'	586.3	2732.0
049	043	2011-01-26	05:16	38°30.000'	75°07.000'	595.8	4000.0
050	044	2011-01-26	08:42	38°30.341'	75°39.665'	589.3	4000.0
051	050	2011-01-27	02:40	39°00.000'	73°20.000'	11.3	15.0
052	049	2011-01-27	01:20	39°00.000'	73°25.000'	31.0	36.0
053	048	2011-01-27	00:20	39°00.000'	73°31.000'	47.7	57.0
054	047	2011-01-26	22:10	39°00.000'	73°44.000'	144.0	154.0
055	046	2011-01-26	20:46	39°00.259'	73°57.539'	497.5	518.0

Tabla 1. Información resumen de las estaciones de CTD.

Continuación Tabla 1.	•
-----------------------	---

Estación	Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	z-CTD	z-Sonda
			Local	(S)	(W)	(m)	(m)
056	045	2011-01-26	17:10	39°00.240'	74°23.323'	596.9	2000.0
057	051	2011-01-27	07:11	39°30.582'	73°17.497'	16.7	24.0
058	052	2011-01-27	08:12	39°30.278'	73°22.402'	26.9	29.0
059	053	2011-01-27	09:40	39°30.204'	73°29.100'	41.5	46.0
060	054	2011-01-27	11:38	39°30.312'	73°42.323'	72.0	80.0
061	055	2011-01-27	14:15	39°30.321'	73°55.251'	252.3	290.0
062	056	2011-01-27	16:55	39°30.000'	74°21.000'	573.9	1400.0
063	057	2011-01-27	21:00	39°30.000'	74°54.000'	582.6	3700.0
064	058	2011-01-28	01:20	39°30.000'	75°26.000'	610.8	4000.0
065	064	2011-01-28	17:50	40°00.000'	73°43.000'	41.0	54.0
066	063	2011-01-28	16:20	40°00.000'	73°49.000'	89.4	106.0
067	062	2011-01-28	15:20	40°00.000'	73°55.000'	152.0	164.0
068	061	2011-01-28	13:01	40°00.145'	74°08.367'	395.1	446.0
069	060	2011-01-28	11:23	40°00.390'	74°21.985'	582.9	1150.0
070	059	2011-01-28	07:44	40°00.584'	74°48.500'	601.9	2000.0



Figura 4. Posición geográfica de las estaciones oceanográficas realizadas durante el Crucero MOBIOBIO (Enero 2011). Las líneas punteadas corresponden a la batimetría de la zona de estudio. El cuadrado azul indica la posición de la estación meteorológica.



Figura 5. Diagrama de vectores de la velocidad del viento registrada en Punta Lavapié (37°10'S 73°36'W) durante enero de 2011 (a). La barra en el borde derecho inferior muestra la escala (en m/s) y la flecha superior la dirección del norte geográfico. Los datos son promedios horarios basados en observaciones cada 10 min. También se muestra el ciclo diario del viento (b).



Figura 6. Transporte de Ekman. Los valores corresponden a transporte de volumen en m^3s^{-1} por 1000 m de costa. La serie de viento utilizada fue obtenida de una estación meteorológica ubicada en Punta Lavapié. La doble flecha indica el período en el cual se realizaron las mediciones de CTD.



Figura 7. Distribución horizontal de temperatura (°C) a distintas profundidades (m): 5 (A); 10 (B); 30 (C); 50 (D); 100 (E) y 200 (F). Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 8. Distribución horizontal de salinidad (psu) a distintas profundidades (m): 5 (A); 10 (B); 30 (C); 50 (D); 100 (E) y 200 (F). Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 9. Distribución horizontal de densidad (kg/m³) a distintas profundidades (m): 5 (A); 10 (B); 30 (C); 50 (D); 100 (E) y 200 (F). Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 10. Distribución horizontal de oxígeno disuelto (mL/L) a distintas profundidades (m): 5 (A); 10 (B); 30 (C); 50 (D); 100 (E) y 200 (F). Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 11. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m³) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 1 (35°30' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 12. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m^3) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 2 (36°00' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 13. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m³) y d) oxigeno disuelto (mL/L), transecta 3 (36°30' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 14. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m³) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 4 (37°00' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 15. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m³) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 5 (37°30' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 16. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m³) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 6 (38°00' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 17. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m³) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 7 (38°30' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 18. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m³) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 8 (39°00' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 19. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m³) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 9 (39°30' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 20. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (kg/m³) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 10 (40°00' S), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 21. Distribución vertical de temperatura (°C), salinidad (psu), densidad (kg/m³) y oxígeno (mL/L) de transectas longitudinales: oceánica (74° 30'S, línea azul) y costera (línea roja). Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).


Figura 22. Distribución horizontal de la profundidad de las isotermas de 8°C (A), 11 °C (B), 12 °C (C) y 13°C (D), Crucero MOBIOBIO (Enero 2011).



Figura 23. Distribución de la profundidad de la capa de mezcla, Crucero MOBIOBIO (Enero 2011). La profundidad de la capa de mezcla se estimó aplicando el criterio del gradiente de temperatura. La diferencia de temperatura y profundidad de referencia utilizada fue de 0.2°C y 5 metros, respectivamente.



Figura 24. Diagramas T-S para las transectas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 realizadas durante el Crucero MOBIOBIO (Enero 2011). Las líneas curvas al interior de cada diagrama representan curvas de igual sigma-t.



Figura 25. Diagramas T-S para las transectas 7, 8, 9 y10 realizadas durante el Crucero MOBIOBIO (Enero 2011). Las líneas curvas al interior de cada diagrama representan curvas de igual sigma-t.



Figura 26. Profundidad de la isopicna de 26.5 kg m⁻³. Esta isopicna representa el núcleo del Agua Ecuatorial Subsuperficial en la región.



Figura 27. Distribución horizontal de alturas dinámicas. Profundidad de referencia 500 dbar (A) y 200 dbar (B).



Figura 28. Topografía dinámica en cm (A y B) y anomalías del nivel del mar en cm (C y D) correspondiente a los días 21 (A y C) y 27 de enero de 2011 (B y D). Las imágenes fueron obtenidas desde el sitio de Aviso (<u>http://www.aviso.oceanobs.com/duacs/</u>) y corresponden al resultado de la combinación de varios satélites.



Figura 29. Anomalías de temperatura superficial del mar en la región Niño3.4, período enero-2008 / mayo-2011. Esta región se extiende entre 5°N y 5°S y entre 170°W y 120°W. Los períodos cálidos (fríos) están asociados a anomalías superiores (inferiores) a 0.5°C (-0.5°C) por 5 meses consecutivos La flecha indica aproximadamente la fecha en que se realizó el crucero (Enero-2011).



Figura 30. Temperatura superficial del mar de acuerdo a data MODIS para las regiones VIII y IX con fecha 21 de Enero del 2011.



Figura 31. Temperatura superficial del mar de acuerdo a data MODIS para las regiones VIII y IX con fecha 24 de Enero del 2011.



Figura 32. Corrientes geostróficas satelitales para las regiones VIII y IX con fecha 24 de Enero del 2011.

5.1.8. Distribución de macronutrientes

a) Distribución superficial de nutrientes

Las concentraciones superficiales de los principales nutrientes inorgánicos variaron entre 0.1 y 22.5 μ mol L⁻¹ para nitrato, 0 y 2.2 μ mol L⁻¹ para nitrito, 0.1 y 3.29 μ mol L⁻¹ para fosfato (Tabla 3). Dichas concentraciones corresponden a valores típicamente encontrados en la zona central de Chile durante periodos de surgencia activa, particularmente en meses de verano.

Las distribuciones espaciales de estos tres nutrientes en superficie fueron consistentes entre sí (Fig. 33, 34, 35) y se condicen con los patrones hidrográficos y atmosféricos ya descritos para el período de observación. Sin embargo, los valores promedio (7.63 \pm 7.25 µmol L⁻¹; NO₃ et 1.37 \pm 0.96 µmol L⁻¹ PO₄ respectivamente) obtenidos son menores que los reportados durante el crucero FIP 2008-20 realizado en enero 2009. Esta diferencia puede ser indicativa de condiciones de mayor producción primaria y por ende mayor tasa de consumo respecto de la acumulación de nutrientes por surgencia.

En efecto, las concentraciones de nitrato muestran una marcada variabilidad espacial dominada por la presencia de un frente hidrográfico a la altura de 74°W (Fig. 33). Los valores superficiales se mantuvieron bajo 2.5 μ mol L⁻¹ en estaciones oceánicas (> 74°W) y sobre 8 μ mol L⁻¹ en estaciones costeras. En algunos casos se registraron valores bajo 5 μ mol L⁻¹ lo que indican de una intensa actividad fitoplanctónica producto del proceso de surgencia costera (e.g. Estación 17). La misma tendencia se observó en las concentraciones de fosfato, con valores sobre y bajo 1 μ mol L⁻¹ en estaciones costeras y oceánicas respectivamente.

Desde el punto de vista latitudinal, las concentraciones máximas de macronutrientes se registraron en la transecta 1 (35.5°S) y disminuyeron hacia el sur (Fig. 33).

Esto es particularmente evidente en las concentraciones superficiales de nitrito, que superaron los 2 μ mol L⁻¹ en estaciones al norte de Punta Lavapié y se mantuvieron cercanas a 0 al sur de la transecta 5 (Fig. 34).

El régimen estoquiométrico de la zona de estudio se encuentra influenciado por la presencia de aguas pobres en oxigeno de origen ecuatorial (AESS) en particular al norte de Punta Lavapié. Las altas concentraciones de NO_2 reflejan la interacción de procesos aeróbicos y anaeróbicos en los primeros 200 m de la columna de agua y en particular en estaciones costeras influenciadas por la amplia plataforma continental a la altura de los $36^{\circ}S$.

Basado en las concentraciones superficiales de nutrientes, es posible estimar el índice P*, representativo del exceso de P respecto del nitrógeno en el compartimiento disuelto inorgánico. La figura 36 indica una tendencia hacia valores más altos cerca de la costa, lo que refleja la condición de aguas deficitarias en nitrógeno respecto del fósforo en los centros de surgencia costera de la zona. Por su parte, el índice N*, que refleja el déficit de N respecto de P también muestra una diferencia entre estaciones costeras y oceánicas siendo estas últimas cercanas a 0 mientras que los valores costeros pueden llegar a sobrepasar valores de 12-15 (Fig. 37). Finalmente, las distribuciones de N* y P* muestran un déficit sostenido de nitrógeno respecto del fosfato en toda la zona de estudio pero concentrado en áreas cercanas a la costa. Esto sugiere la influencia de procesos biológicos asociados a aguas pobres en oxígeno disuelto, sobre todo al este del frente ubicado alrededor de los 74°W. Dichos procesos (por ejemplo desnitrificación) son responsables de la pérdida de nitrato (gracias a su transformación en nitrógeno molecular) y acumulación de nitrito en estaciones cercanas a la costa como es el caso en las transectas 1 a 3, ubicadas al norte de punta Lavapié.

b) Distribución vertical de nutrientes

En general, los perfiles de nitrato y fosfato en función de la profundidad para todas las transectas, muestran que las mayores concentraciones están en los primeros 50 m. (Fig. 38), y una marcada variabilidad espacial que se condice con lo observado en la distribución superficial de nutrientes.

En conjunto, las secciones verticales de nitratos, nitritos y fosfatos a lo largo de las transectas permitieron visualizar la escala de variabilidad de la zona de surgencia costera y su efecto sobre la distribución de propiedades físico-químicas en la región de estudio. Por ejemplo, existe una diferencia marcada en la estructura vertical de nitratos y nitritos al sur y al norte de Pta. Lavapié, que dice relación con cambios notorios en la

topografía costera y batimetría de la plataforma continental en el área de estudio. El filamento con bajas concentraciones superficiales de nitrato (ca. 10μ M) que se proyecta siguiendo los 74°W (Fig. 39, 40) es claramente visible en la distribución superficial de NO₃. Asimismo, la influencia de la zona de surgencia de agua ecuatorial subsuperficial pobre en O₂ es clara al favorecer la acumulación de NO₂, que alcanzan concentraciones superiores a 2 µmol L⁻¹, en particular en la transecta 3. A partir de la transecta 5, los valores de nitrito en la columna de agua fueron cercanos a 0.

En particular, la primera transecta muestra concentraciones de nitrato cercanas a 0 en la zona central y superiores a 10 μ mol L⁻¹ en la zona costera y en las estaciones más alejadas de la costa, ambas zonas de alto consumo de nitrato. La misma tendencia se acentúa en las transectas 2 y 3 con concentraciones de nitrato que superan los 20µmol L^{-1} en los primeros 50 m de la columna de agua en las estaciones costeras (Fig. 36, 37) mientras que en estaciones alejadas de la costa las concentraciones son cercanas a 5. La transecta 4 presenta bajas concentraciones de nitrato (cerca de 0) en la capa superficial de la columna de agua (15m) mientras que bajo los 20 m se observan concentraciones por sobre los 20 μ mol L⁻¹. Esto evidencia la influencia del golfo de Arauco donde la capa de mezcla alcanza sólo 10m y donde la actividad fitoplanctonica es alta. En dicha transecta el consumo de nitrato puede ser significativo registrándose valores inferiores al resto de las transectas en superficie. La transecta 5 y 6 muestras aun la influencia de una intensa remoción de nutrientes, ya que las concentraciones en los primeros 20 metros de la columna de agua en estaciones oceánicas son significativamente inferiores a las concentraciones costeras y los valores máximos de nutrientes se encuentran en la superficie. La misma tendencia se registra en las transectas 8 a 10. Esta tendencia general es también observada en la distribución de PO₄.

La distribución vertical de nitrito refleja la variación latitudinal marcada con altos valores al norte de Punta Lavapié (Fig. 39 a 48). La tendencia general muestra un máximo primario de NO₂ ubicado a los 25 m con concentraciones máximas sobrepasando los 5 μ moles L⁻¹. También se observo un máximo secundario de nitritos a una profundidad de 50 m y con concentraciones próximas de 4 μ moles L⁻¹.

Estación	Fecha	Lat S	Long W	Profundidad (m)
1	20-01-2011	-35,299	-72,337	0 - 5 - 10 - 20
2	20-01-2011	-35,298	-72,343	0 - 5 - 10 - 25
3	20-01-2011	-35,300	-72,430	0 - 5 - 10 - 25 -30
4	20-01-2011	-35,298	-72,520	0 - 5 - 10 - 25 -50
9	21-01-2011	-36,000	-72,480	0 - 5 - 10 - 25 -50
10	21-01-2011	-36,000	-72,520	0 - 5 - 10 - 25 -50
11	22-01-2011	-36,000	-72,590	0 - 5 - 10 - 25 -50
12	21-01-2011	-35,590	-73,028	0 - 5 - 10 - 25 -50
14	21-01-2011	-35,598	-73,335	1 - 5 - 10 - 20 - 25 -50
15	23-01-2011	-36,290	-72,560	0 - 5 - 10
16	22-01-2011	-36,300	-73,015	0 - 5 - 10 - 25 - 50
17	22-01-2011	-36,301	-73,072	0 - 5 - 10 - 25 - 50
18	22-01-2011	-36,301	-73,197	0 - 5 - 10 - 25 - 50
23	23-01-2011	-37,003	-73,128	0 - 5 - 10 - 25 - 50
24	23-01-2011	-36,599	-73,174	0 - 5 - 10 - 25 - 50
25	23-01-2011	-36,590	-73,230	0 - 5 - 10 - 25 - 50
26	23-01-2011	-37,019	-73,366	0 - 5 - 10 - 25 - 50
29	24-01-2011	-37,303	-73,375	0 - 5 - 10
31	24-01-2011	-37,290	-73,480	0 - 5 - 10 - 25 - 50
32	24-01-2011	-37,300	-74,100	0 - 5 - 10 - 25 - 50
34	24-01-2011	-37,301	-74,394	0 - 5 - 10 - 25 - 50 - 75 - 100 - 200
37	25-01-2011	-38,042	-73,301	0 - 5 - 10 - 25
38	25-01-2011	-38,008	-73,347	0 - 5 - 10 - 25
39	25-01-2011	-38,001	-73,412	0 - 5 - 10 - 25 - 50
40	25-01-2011	-38,000	-73,540	0 - 5 - 10 - 25 - 50
43	25-01-2011	-38,300	-73,320	0 - 5 - 10 - 20
44	25-01-2011	-38,300	-73,370	0 - 5 - 10 - 20
45	25-01-2011	-38,300	-73,470	0 - 5 - 10 - 20
46	25-01-2011	-38,305	-73,574	0 - 5 - 10 - 25 - 40
48	26-01-2011	-38,300	-74,350	0 - 5 - 10 - 25 - 50 - 75 - 100 - 200
50	26-01-2011	-38,303	-75,397	0 - 5 - 10 - 25 - 50 - 75 - 100 - 200
51	27-01-2011	-39,000	-73,200	0 - 5 - 10
52	27-01-2011	-39,000	-73,250	0 - 5 - 10 - 25
53	27-01-2011	-39,000	-73,310	0 - 5 - 10 - 25 - 40
54	26-01-2011	-39,000	-73,440	0 - 5 - 10 - 25 - 50
56	26-01-2011	-39,024	-74,233	0 - 5 - 10 - 25 - 50 - 75 - 100 - 200
57	27-01-2011	-39,306	-73,175	0 - 5 - 10
58	27-01-2011	-39,303	-73,224	0 - 5 - 10 - 25
59	27-01-2011	-39,303	-73,291	0 - 5 - 10 - 25
60	27-01-2011	-39,303	-73,423	0 - 5 - 10 - 25 - 50

Tabla 2. Posición geográfica de las estaciones muestreadas y respectivas profundidades estudiadas en el análisis de nutrientes.

62	27-01-2011	-39,300	-74,210	0 - 5 - 10 - 25 - 50 - 75 - 100 - 200
64	28-01-2011	-39,300	-75,260	0 - 5 - 10 - 25 - 50 - 75 - 100 - 200
65	28-01-2011	-40,000	-73,430	0 - 5 - 10 - 25 - 40
66	28-01-2011	-40,000	-73,490	0 - 5 - 10 - 25 - 50
67	28-01-2011	-40,000	-73,500	0 - 5 - 10 - 25 - 50
68	28-01-2011	-40,001	-74,084	0 - 5 - 10 - 25 - 50
70	28-01-2011	-40,006	-74,485	0 - 5 - 10 - 25 - 50 - 75 - 100 - 200

Tabla 3. Concentraciones superficiales de nutrientes (nitrato y fosfato) y razón N:P para las estaciones muestreadas durante el crucero FIP 2009-39.

Estación	Lat S	Long W	NO ₃ (μmol L ⁻¹)	ΡΟ 4 (μmol L ⁻¹)	N:P
1	-35,299	-72,337	12.7	2.73	5.36
3	-35,300	-72,430	5.6	2.61	2.25
4	-35,298	-72,343	11.5	1.65	7.36
9	-36,000	-72,480	20.5	2.6	7.96
11	-36,000	-72,590	2	0.84	2.59
14	-35,598	-73,335	2.1	0.42	5.32
15	-35,300	-72,430	15.8	2.7	6.67
16	-36,300	-73,015	22.5	2.82	8.19
17	-36,301	-73,072	1.1	1.01	1.34
18	-36,301	-73,072	4.9	0.85	6.01
23	-37,003	-73,128	2.05	0.6	8.13
24	-36,599	-73,174	1.9	0.14	13.73
26	-37,019	-73,366	14.7	1.97	7.49
29	-37,303	-73,375	16.6	1.68	10.05
31	-37,290	-73,480			
32	-37,300	-74,100	1.4	0.27	5.34
38	-38,008	-73,347	0.4	1.85	1.19
50	-38,303	-75,397	3.4	0.07	48.07
51	-39,000	-73,200	14.38	2.03	7.39
52*	-39,000	-73,250	6.9	1.6	4.53
60	-39,303	-73,423	10.4	1.33	7.96
64	-39,300	-75,260	2.2	0.4	5.48
67	-40,000	-73,500	2.9	1.07	2.83
68	-40,001	-74,084	1.3	0.65	2.04
70	-40,006	-74,485	2.3	0.27	8.34

*= concentraciones a 5 m de profundidad.



NO3 (μ mol/ L)

Figura 33. Concentraciones superficiales de NO_3 durante el crucero FIP 2009-39



NO2 (µ mol/ L)

Figura 34. Concentraciones superficiales de NO₂ durante el crucero FIP 2009-39.



PO4 (µ mol/ L)

Figura 35. Concentraciones superficiales de PO₄ durante el crucero FIP 2009-39.



Figura 36. Distribución superficial de valores del índice P* (Deutsch et al, 2007).



Figura 37. Distribución superficial de valores del índice N* (Gruber & Sarmiento, 1997).



Figura 38. Distribución de los perfiles de nitrato y fosfato en función de la profundidad.



Figura 39. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 1 del crucero FIP 2009-39.



Figura 40. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 2 del crucero FIP 2009-39.



Figura 41. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 3 del crucero FIP 2009-39.



Figura 42. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 4 del crucero FIP 2009-39.



Figura 43. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 5 del crucero FIP 2009-39.



Figura 44. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 6 del crucero FIP 2009-39.



Figura 45. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 7 del crucero FIP 2009-39.



Figura 46. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 8 del crucero FIP 2009-39.



Figura 47. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 9 del crucero FIP 2009-39.



Figura 48. Distribución de nitrato, nitrito y fosfato (μ mol L⁻¹) en la transecta 10 del crucero FIP 2009-39.

5.1.9. Variabilidad espacial en la biomasa fitoplanctónica y feopigmentos

En la caracterización de la distribución espacial de la clorofila (Cl-a) y feopigmentos, las estimaciones en la superficie (0 m) se realizaron en casi todas las estaciones de muestreo programadas (90% del total) mientras que las estimaciones en la columna de agua se realizaron estación por medio, de acuerdo a lo programado, pero solo se cubrió parcialmente (43% del total), en ambos casos por que las condiciones meteorológicas adversas no lo permitieron. La mayor parte de las estaciones programadas en la zona más oceánica (>74°W) y norte (<37°S) fueron las que se perdieron de muestreo. Las estadísticas descriptivas básicas de estas estimaciones se presentan en la Tabla 4.

La distribución superficial de la Cl-a total fue heterogénea en el área de estudio (Fig. 49a) con tres focos costeros ($<74^{\circ}W$) de máximos valores ($>4 \text{ mg m}^3$): a) frente a la Bahía de Concepción y Golfo de Arauco, b) entre el continente e Isla Mocha, y c) frente a Punta Galera en el extremo sur. Menores concentraciones ($<0,5 \text{ mg m}^3$) se presentaron mayoritariamente en el sector más oceánico. Las distribuciones de las clorofila-a fraccionadas indican que el microplancton (Fig. 49b) y nanoplancton (Fig. 49c) fueron importantes contribuyentes en la zona más costera, el primero en todos los casos de las más altas concentraciones; al aporte de picoplancton (Fig. 49d) fue menor ($<0,2 \text{ mg m}^3$) en toda la zona, con algunos máximos ($>0,2 \text{ mg m}^3$) extendidos en la zona costera al norte de Golfo de Arauco. Este tipo de distribución de la Cla-a en la zona de estudio es característico para la época de primavera-verano cuando ocurren procesos de surgencia (e.g. Morales et al., 2007).

En términos de valores integrados de CI-a en la capa más superficial (0-25 m), las distribuciones del total y las fracciones fueron similares a las encontradas en superficie (Fig. 50 a-c), excepto en el caso del picoplancton (Fig. 50d) que mostró máximos en las zonas más oceánicas y en los extremos norte y sur. Las estadísticas básicas de estas estimaciones se presentan en la Tabla 5.

Los feopigmentos totales (Fig. 51a), productos de degradación de la Cla-a, en la superficie (0 m) fueron relativamente bajos ($<1 \text{ mg m}^{-3}$) en la zona más oceánica y máximos ($>2 \text{ mg m}^{-3}$) en el sector frente a Bahía de Concepción y Golfo de Arauco. Los feopigmentos totales integrados (0-25 m; Fig. 51b) mostraron una distribución similar a

la de la superficie pero además destacan otros dos focos al norte y sur de la zona de estudio. Las estadísticas básicas de estas estimaciones se presentan en la Tabla 6.

En cuanto a la distribución vertical en la columna de agua, las estimaciones de Claa total y fraccionada se realizaron en 5 niveles de profundidad entre la superficie y 50 m (Fig. 52). Los mayores valores de Cla-a total estuvieron ubicados en las estaciones más costeras y, mayoritariamente, entre los 0 y 25 m de profundidad. En las transectas 1 y 2, los valores de Cla-a total fueron relativamente bajos (<2 mg m⁻³) a excepción de la estación costera 2 (máximo de 6 mg m⁻³) que además estuvo dominada por el microplancton (Fig. 51a). En las transectas 3 y 4 (sector frente a Bahía Concepción-Golfo de Arauco) se ubicaron los máximos de la zona de estudio (>10 mg m^3), focalizados en la zona costera y atribuibles mayoritariamente al microplancton (Fig. 51b). En las transectas 5 y 6 (Fig. 52c), la CI-a total se distribuyó homogéneamente en la columna de agua y los valores fueron relativamente bajos ($<2 \text{ mg m}^3$), con dominancia del nanoplancton. En las transectas 7 y 8 (Fig. 52d), otro máximo en Cla-a total se presentó en la estación 44 en la zona más costera, dominado por el microplancton; adicionalmente, las fracciones menores de Cla-a presentaron máximos en la estación 54 también ubicada en la zona más costera. En las transectas 9 y 10 (Fig. 52e), se presentaron valores relativamente bajos de Cla-a total, excepto en las estaciones 58 y 68, donde el microplancton dominó. Sin embargo, en esta última estación (68), los valores fueron relativamente altos también en las fracciones menores de Cla-a. En la fracción picoplanctónica destaca la presencia de algunos máximos relativos a nivel subsuperficial, explicando las diferencias entre las distribuciones superficiales e integradas en la Fig. 50d.

Los análisis de asociación entre las variables oceanográficas y las concentraciones de clorofila-a durante el crucero arrojaron los siguientes resultados de correlaciones (test no paramétrico de Spearman). A nivel superficial (0 m; Tabla 7), las concentraciones de Cla-a total fracción nanoplactónica estuvieron correlacionadas y en la significativamente y negativamente con la temperatura y positivamente con la densidad (sigma-t) superficiales, aunque débilmente ($|\mathbf{r}| < 0.3$) mientras que las otras fracciones de Cla-a no mostraron asociación. La Cla-a total así como todas las fracciones se correlacionaron positivamente con el oxígeno superficial, aunque a niveles moderados $(|\mathbf{r}| = 0.3-0.4)$ mientras que no hubo correlación significativa con la salinidad superficial. Por otro lado, los feopigmentos totales superficiales se correlacionaron fuertemente $(|\mathbf{r}|>0.4)$ y negativamente con la temperatura y positivamente con la salinidad y la densidad a nivel superficial mientras que esto no sucedió con el oxígeno superficial.

En relación a las concentraciones de Cla-a en la capa superficial (0 a 25 m; Tabla 8), donde se distribuye la mayor parte, el total y las fracciones se correlacionaron, aunque débilmente (|r|<0.3) en la mayor parte de los casos, con la temperatura (negativamente) y la densidad (positivamente), excepto en el caso de la fracción picoplanctónica. Además, se correlacionaron positivamente con el oxígeno, excepto en la fracción microplanctónica. La salinidad estuvo asociada significativamente solo con la Cl-a total pero a niveles muy débiles (|r|<0.2). A su vez, los feopigmentos estuvieron moderada a fuertemente correlacionados (|r|>0.37) a temperatura, salinidad, densidad y muy débilmente al oxígeno. En términos generales, la distribución espacial (vertical y horizontal) de la Cla-a aparentemente no responde linealmente a variaciones en salinidad y moderadamente o débilmente a temperatura, densidad, y oxígeno.

Tabla 4. Descriptores básicos de las concentraciones de clorofila-a $(mg \cdot m^{-3})$ total y fraccionada a nivel superficial (0 m), crucero FIP Enero 2011.

Clorofila- a	n	Media	Ds	Mediana	Rango
Total	63	4,1 ±	5,3	1,7	0,2 - 26,4
Microplancton	63	2,6 ±	4,4	0,6	0,01 - 22,2
Nanoplancton	63	1,4 ±	1,5	0,9	0,02 - 6,5
Picoplancton	63	0,2 ±	0,2	0.1	0,01 - 1,0

Tabla 5. Descriptores básicos de las concentraciones de clorofila a integrada ($mg \cdot m^{-2}$; 0-25 m) en el total y fraccionada. Crucero FIP Enero 2011.

Clorofila-a	n	Media	Ds	Mediana	Rango
Total	27	$71,3 \pm$	109,8	42,1	4,3 - 492,8
Microplancton	27	$40,5 \pm$	88,4	7,8	0,2 - 447,2
Nanoplancton	27	27,4 ±	42,1	17,2	2,5 - 227,9
Picoplancton	27	3,4 ±	2,7	1,9	0,4 - 10,6

Tabla 6.	Descriptor	es básicos	de las	concer	ntraciones	de	Feopigmentos	totales	a	nivel
superfici	ial (mg m^{-3})	e integrado	o (mg∙i	n ⁻²). Cr	ucero FIP	En	ero 2011.			

Feopigmentos	n	Media	Ds	Mediana	Rango	
Totales (0 m)	63	1,4 ±	2,9	0,6	0,02 - 21,3	
Totales (0-25m)	27	20,4 ±	22,4	14,9	1,7 - 93,6	

Tabla 7. Análisis de correlación entre clorofila-a y variables oceanográficas con datos de crucero FIP 2009 (enero 2011): data superficial (0 m). N= número de datos y p= nivel de significancia: * = <0.05; ** < 0.01; *** < 0.001.

Variables	Ν	Spearman R	р
T° - Cla-a Total	71	-0.26	0.03 *
T° - Cla-a Microplancton	71	-0.17	0.16
T° - Cla-a Nanoplancton	71	-0.24	0.04 *
T° - Cla-a Picoplancton	71	0.05	0.70
T° - Feopigmentos Totales	71	-0.47	0.00***
S – Cla-a Total	71	0.19	0.12
S – Cla-a Microplancton	71	0.07	0.58
S – Cla-a Nanoplancton	71	0.18	0.14
S - Cla-a Picoplancton	71	0.02	0.90
S – Feopigmentos Totales	71	0.41	0.00***
O – Cla-a Total	71	0.33	0.01 **
O – Cla-a Microplancton	71	0.34	0.00 ***
O – Cla-a Nanoplancton	71	0.26	0.03 *
O – Cla-a Picoplancton	71	0.36	0.00 ***
O – Feopigmentos Totales	71	-0.10	0.42
D – Cla-a Total	71	0.30	0.01 **
D – Cla-a Microplancton	71	0.18	0.12
D – Cla-a Nanoplancton	71	0.26	0.03 *
D - Cla-a Picoplancton	71	0.02	0.87
D - Feopigmentos Totales	71	0.54	0.00***

Tabla 8. Análisis de correlación entre clorofila-a y variables oceanográficas con datos de crucero FIP 2009 (enero 2011): data (0 - 25 m). N= número de datos y p= nivel de significancia: * = <0.05; ** < 0.01; *** < 0.001.

Variables	Ν	Spearman R	Р
	1.00		
T° - Cla-a Total	139	-0.32	0.00^{***}
T° - Cla-a Microplancton	139	-0.28	0.00***
T° - Cla-a Nanoplancton	139	-0.25	0.00***
T° - Cla-a Picoplancton	139	0.02	0.86
T° - Feopigmentos Totales	139	-0.50	0.00***
S – Cla-a Total	139	0.19	0.03*
S – Cla-a Microplancton	139	0.14	0.09
S – Cla-a Nanoplancton	139	0.11	0.21
S - Cla-a Picoplancton	139	0.06	0.46
S – Feopigmentos Totales	139	0.37	0.00***
O – Cla-a Total	139	0.18	0.03*
O – Cla-a Microplancton	139	0.14	0.11
O – Cla-a Nanoplancton	139	0.23	0.01**
O – Cla-a Picoplancton	139	0.29	0.00 ***
O – Feopigmentos Totales	139	-0.18	0.03*
D – Cla-a Total	139	0.33	0.00***
D – Cla-a Microplancton	139	0.28	0.00***
D – Cla-a Nanoplancton	139	0.24	0.00***
D - Cla-a Picoplancton	139	0.02	0.78
D - Feopigmentos Totales	139	0.52	0.00***


Figura 49. Distribución de la clorofila-a (mg m-3) durante el crucero FIP 2009 (Enero 2011); a) Cla-a total, b) fracción microplanctónica, c) fracción nanoplanctónica y d) fracción picoplanctónica.



Figura 50. Distribución de clorofila-a integrada (0-25 m; mg m⁻²) durante el crucero FIP 2009 (Enero 2011); a) Clorofila-a total, b) fracción microplanctónica , c) fracción nanoplanctónica y d) fracción picoplanctónica.



Figura 51. Distribución de feopigmentos totales durante el crucero FIP 2009 (Enero 2011): a) en la superficie (0 m; mg m³) y b) en la capa superficial (0-25 m; (mg m⁻²).



Figura 52. Distribución vertical de clorofila–a (mg m⁻³) en la columna de agua (0-50 m) durante el crucero FIP 2009 (Enero 2011), incluyendo Cla-a total, fracción microplanctónica , nanoplanctónica y picoplanctónica. Cada gráfico agrupa las estaciones de dos transectas: a) 1 y 2, b) 3 y 4, c) 5 y 6, d) 7 y 8, e) 9 y 10.

5.2. Objetivo específico 2:

Determinar la abundancia, distribución espacial y composición del plancton, incluyendo el macrozooplancton, ictioplancton, huevos y larvas de anchoveta, sardina y jurel, mesozooplancton y microplancton de la zona de estudio durante el período de surgencia de la región y su asociación con las variables biooceanográficas indicadas en 3.1.

5.2.1. Microplancton

a) Distribución y abundancia de fitoplancton

Los resultados de la biomasa integradas de diatomeas en los primeros 10 m de la columna de agua (μ g C m⁻²) evidenciaron una variabilidad y un patrón de distribución espacial desde zonas oceánicas a costeras. En particular, las mayores abundancias se ubicaron en la zona de la plataforma continental, principalmente en las estaciones asociadas a la desembocadura de los ríos Bio-Bío e Itata (Fig. 53).

Se identificaron diatomeas céntricas y penadas, siendo las céntricas las dominantes en términos de la distribución espacial y biomasa (con un ~90% las diatomeas totales)(Fig. 53). Se identificaron 10 géneros de diatomeas de los cuales los más importantes fueron *Leptocylindrus, Thalassiosira y Chaetoceros* (Fig. 54), con 132,8 - 61,0 y 15,8 µg C m⁻² que en promedio, representan ~90% de la biomasa total de diatomeas de la grilla muestreada (Tabla 9). En algunas estaciones, dominaron géneros como *Pseudo-nitzschia* (>40%, E65), y *Eucampia* (30%, E62). Las especies que lideraron en abundancia fueron *Leptocylindrus danicus, Thalassiosira spp, Chaetoceros compresus* y *Chaetoceros radicans*, con promedios de 132,7 - 59,4 - 7,2 y 6,4 µg C m⁻², respectivamente.

El promedio de la biomasa integradas de diatomeas de todas las estaciones fueron de 221,6 μ g C m⁻² y las máximas abundancias integradas se presentaron en las estaciones E24 - E23 - E11 y E25 con 2757,9 - 1812,8 - 1317,7 y 1233,2 μ g C m⁻² respectivamente. En contraste las estaciones E22 - E36 - E54 - E27 presentaron las mínimas abundancias integradas que fluctuaron entre 0,1 y 0,4 μ g C m⁻² (Tabla 10). Con respecto a los 2 niveles de la columna de agua analizados (0 y 10 m), las biomasas

totales de diatomeas mostraron alta variabilidad, concentrándose principalmente en los 10 m de profundidad (Tabla 11). La biomasa promedio de diatomeas en superficie y 10 m de profundidad, fue de 20 y 27 μ gC L⁻¹, respectivamente (Tabla 11). El estrato de los 10 m presentó las máximas biomasas en las estaciones costeras E24, E11 y E23 con 356,91 - 229,8 y 158,4 μ g C L⁻¹, constituyendo un 57% de la biomasa de todas las estaciones en este estrato. En contraste, las menores abundancias se observaron en las estaciones oceánicas E50, E54 y E48 con 0,02 - 0,03 y 0,04 μ g C L⁻¹, respectivamente (Tabla 11). En superficie las mayores biomasas se registraron en las estaciones conteras E23 - E24 y E10 con 204 - 195 y 54 μ g C L⁻¹.

La abundancia promedio de diatomeas totales para 0 y 10 m de profundidad fue de 125011,3 y 186851,7 células L⁻¹ respectivamente, con un incremento en el estrato de 10 m (Tabla 12). Las estaciones con mayor abundancia en superficie fueron E23, E24 y E25 con un rango de 1.056.800 y 701.360 células L⁻¹, mientras que las mínimas fueron en la E35 y E64 con 140 y 240 células L⁻¹. En el nivel de 10 m de profundidad las estaciones E24, E10 y E11 registraron las mayores abundancias con valores entre 2.009.200 y 1.017.360 células L⁻¹, las mínimas se ubicaron en las estaciones E54, E50 y E48 con valores de 80, 160 y 280 células L⁻¹ (Tabla 12).

En esta grilla evidenció cambios respecto a muestreos realizados en Enero de 2009, donde la biomasa y la abundancia fueron menores (comparado con el FIP 2008-20). Las diatomeas céntricas dominaron excesivamente más que las penadas, además que incrementaron las diatomeas de origen más oceánico como *Leptocylindrus spp*, *Thalassiosira spp* y *Eucampia spp* a diferencia de años anteriores con dominancia de diatomeas más de origen costero-nerítico como *Skeletonema spp* y *Chaetoceros spp*. Tabla 9. Biomasa integrada promedio (0-10m; μ g C m⁻²) y porcentaje (%) para géneros de diatomeas céntricas y penadas dominantes identificadas en la grilla FIP 2009-39.

Género	$\mu g C m^{-2}$	%
Diatomeas céntricas		
Leptocylindrus spp.	132,8	61,9
Thalassiosira spp.	61,0	28,4
Chaetoceros spp.	15,8	7,3
Eucampia spp.	2,8	1,3
Guinardia spp.	3,4	1,5
Diatomeas penadas		
Pseudonitzschia spp	2,1	91,6
Thalassionema spp	0,1	1,1
Asterionella spp	0,2	7,2

			-			
Estaciones	Fecha	µg C m⁻²		Estaciones	Fecha	µg C m⁻²
	20.01.11	20.8	-	F.37	25.01.11	8.7
F.2	20.01.11	53.5		E.38	25.01.11	21.2
F.3	20.01.11	76.1		F.39	25.01.11	193.9
E.4	20.01.11	8.1		E.40	25.01.11	60.2
E.9	21.01.11	20.0		E.43	25.01.11	40.9
E.10	21.01.11	476.0		E.44	25.01.11	410.9
E.11	21.01.11	1317.7		E.45	25.01.11	680.4
E.12	21.01.11	0.8		E.46	25.01.11	71.1
E.14	21.01.11	3,0		E.48	26.01.11	, 0,4
E.15	22.01.11	10,6		E.50	26.01.11	0,4
E.16	22.01.11	102,9		E.51	27.01.11	32,3
E.17	22.01.11	475,9		E.52	27.01.11	20,6
E.18	22.01.11	140,6		E.53	27.01.11	159,6
E.21	22.01.11	0,2		E.54	26.01.11	0,3
E.22	23.01.11	0,1		E.56	26.01.11	9,3
E.23	23.01.11	1812,8		E.57	27.01.11	203,9
E.24	23.01.11	2757,9		E.58	27.01.11	129,7
E.25	23.01.11	1233,2		E.59	27.01.11	1,2
E.26	23.01.11	511,5		E.60	27.01.11	2,3
E.27	23.01.11	0,4		E.62	27.01.11	36,1
E.29	24.01.11	113,4		E.64	28.01.11	1,2
E.30	24.01.11	32,0		E.65	28.01.11	7,0
E.31	24.01.11	180,2		E.66	28.01.11	12,8
E.32	24.01.11	0,9		E.67	28.01.11	105,6
E.34	24.01.11	3,2		E.68	28.01.11	115,1
E.35	24.01.11	11,5		E.70	28.01.11	55,1
E.36	24.01.11	0,2				
				Promedio		211,6

Tabla 10. Biomasa diatomeas totales ($\mu g \ C \ m^{-2}$) para cada estación de la grilla FIP 2009-39.

Estaciones	Fecha	μg	C L ⁻¹	-	Estaciones	Fecha	μg	C L ⁻¹
		0 m	10 m				0 m	10 m
E.1	20.01.11	2,0	2,1	-	E.37	25.01.11	0,1	1,7
E.2	20.01.11	5 <i>,</i> 9	4,8		E.38	25.01.11	1,4	2,8
E.3	20.01.11	6,1	9,2		E.39	25.01.11	14,9	23,9
E.4	20.01.11	0,7	1,0		E.40	25.01.11	7,7	4,4
E.9	21.01.11	0,7	3,3		E.43	25.01.11	5,1	3,1
E.10	21.01.11	54,3	40,9		E.44	25.01.11	78,9	3,3
E.11	21.01.11	33,7	229,8		E.45	25.01.11	41,1	94,9
E.12	21.01.11	1,3	1,1		E.46	25.01.11	8,7	5,5
E.14	21.01.11	0,4	0,2		E.48	26.01.11	0,0	0,1
E.15	22.01.11	0,5	1,6		E.50	26.01.11	0,1	0,1
E.16	22.01.11	10,4	10,2		E.51	27.01.11	0,3	6,1
E.17	22.01.11	45,6	49,5		E.52	27.01.11	1,7	2,4
E.18	22.01.11	13,3	14,8		E.53	27.01.11	16,3	15,6
E.21	22.01.11	0,0	s.d.		E.54	26.01.11	0,0	0,0
E.22	23.01.11	0,0	s.d.		E.56	26.01.11	1,1	0,8
E.23	23.01.11	204,1	158,4		E.57	27.01.11	39,7	1,0
E.24	23.01.11	194,7	356,9		E.58	27.01.11	4,0	21,9
E.25	23.01.11	135,1	111,5		E.59	27.01.11	0,1	0,1
E.26	23.01.11	37,3	65 <i>,</i> 0		E.60	27.01.11	0,0	0,4
E.27	23.01.11	0,1	s.d.		E.62	27.01.11	6,0	1,3
E.29	24.01.11	10,0	12,7		E.64	28.01.11	0,0	0,2
E.30	24.01.11	6,4	s.d.		E.65	28.01.11	0,7	0,7
E.31	24.01.11	10,6	25,4		E.66	28.01.11	2,2	0,4
E.32	24.01.11	0,1	0,1		E.67	28.01.11	16,3	4,8
E.34	24.01.11	0,3	0,3		E.68	28.01.11	10,3	12,7
E.35	24.01.11	0,1	2,2		E.70	28.01.11	8,3	2,7
E.36	24.01.11	0,0	s.d.					
					Promedio		19,6	27,3

Tabla 11. Biomasa de diatomeas totales (μ g C L⁻¹) para 0 y 10 m en las estaciones de la grilla FIP 2009-39. s.d.= sin datos

Estaciones	Fecha	célul	as L ⁻¹	-	Estaciones	Fecha	célul	as L ⁻¹
		0 m	10 m				0 m	10 m
E.1	20.01.11	58520	109000	-	E.37	25.01.11	1740	19500
E.2	20.01.11	266200	241600		E.38	25.01.11	6700	10900
E.3	20.01.11	148960	248000		E.39	25.01.11	81280	129040
E.4	20.01.11	12080	15000		E.40	25.01.11	39660	23760
E.9	21.01.11	32200	26900		E.43	25.01.11	32900	18300
E.10	21.01.11	620960	1299000		E.44	25.01.11	322800	30600
E.11	21.01.11	309680	1017360		E.45	25.01.11	187320	376400
E.12	21.01.11	5720	6900		E.46	25.01.11	46120	28960
E.14	21.01.11	2340	1660		E.48	26.01.11	1140	280
E.15	22.01.11	5280	57400		E.50	26.01.11	780	160
E.16	22.01.11	46000	43800		E.51	27.01.11	3280	43800
E.17	22.01.11	415840	206000		E.52	27.01.11	15760	14000
E.18	22.01.11	73700	77320		E.53	27.01.11	77840	48240
E.21	22.01.11	780	s.d.		E.54	26.01.11	1340	80
E.22	23.01.11	760	s.d.		E.56	26.01.11	25740	15640
E.23	23.01.11	1056800	902800		E.57	27.01.11	126800	25400
E.24	23.01.11	1054800	2009200		E.58	27.01.11	35300	218600
E.25	23.01.11	701360	556200		E.59	27.01.11	900	800
E.26	23.01.11	205360	359000		E.60	27.01.11	500	4000
E.27	23.01.11	880	s.d.		E.62	27.01.11	31780	19240
E.29	24.01.11	53600	55600		E.64	28.01.11	240	200
E.30	24.01.11	34000	s.d.		E.65	28.01.11	8000	14200
E.31	24.01.11	55040	133160		E.66	28.01.11	35520	5700
E.32	24.01.11	560	760		E.67	28.01.11	192240	103120
E.34	24.01.11	2120	4840		E.68	28.01.11	126280	387920
E.35	24.01.11	140	16340		E.70	28.01.11	59560	42200
E.36	24.01.11	400	s.d.					
					Promedio		125011,3	186851,7

Tabla 12. Abundancia de diatomeas totales (células L⁻¹) para 0 y 10 m en las estaciones de la grilla FIP 2009-39. s.d. = sin datos.



Figura 53. Biomasa fitoplanctónica integrada (0-10 m) de diatomeas totales (A), diatomeas céntricas (B) y diatomeas penadas (C) en las estaciones bio-oceanográficas de la grilla FIP 2009-39.



Figura 54. Biomasa fitoplanctónica integrada (0-10 m) de los géneros de diatomeas dominantes; *Leptocylindricus* (A), *Thalassiosira* (B) y *Chaetoceros* (C), en las estaciones bio-oceanográficas de la grilla FIP 2009-39.

b) Microzooplancton

Los análisis de microzooplancton total (>20 μ m), muestran que la biomasa promedio integrada a 10 m superiores de la columna de agua en la zona de estudio es de 215,8 μ g C m⁻², Este grupo presento las mayores biomasas cerca de la plataforma continental, aunque algunas estaciones oceánicas (entre los 36 y 38° S) tuvieron altas biomasas de microzooplancton (Fig. 55), las máximas biomasas se reportaron en las estación costera E24 con 1927,6 μ g C m⁻² y las mínimas en la E60 con 0,8 μ g C m⁻² (Tabla 13).

De los principales grupos que componen el microzooplancton total, los más representativos fueron nauplios de crustáceos, dinoflagelados tecados y ciliados loricados, representando en promedio un 61, 31 y 2% de la biomasa total del microzooplancton total, respectivamente.

La biomasa promedio integrada a 10 m de profundidad de dinoflagelados totales es de 80.6 μ g C m⁻², con máximo en las E24 y E23 con 1177.8 y 1055.9 μ g C m⁻², mientras que las menores biomasas de este grupo se encontramos en las E21 y E54 con 0.3 y 0.5 μ g C m⁻², respectivamente.

Los géneros más representativos de los dinoflagelados tecados fueron *Protoperidinium spp., Diplopsalis spp.* y *Scrippsiella spp.*, correspondiendo al 48, 40 y 7% del total de la biomasa de los dinoflagelados tecados ((Fig. 56, Tabla 14). La biomasa promedio de dinoflagelados tecados para 0 y 10 m fue de 7.5 y 6.3 μ g C L⁻¹. En superficie, los dinoflagelados tecados presentaron biomasas máximas en las E23 y E24 con 101.3 y 100.8 μ g C L⁻¹ respectivamente, y mínimas en las E14 y E60 con 0.03 y 0.02 μ g C L⁻¹ respectivamente (Tabla 13). A 10 m de profundidad, las máximas biomasas se presentaron en las estaciones costeras E24 y E23 con 100.1 y 93.7 μ g C L⁻¹. Mientras que las mínimas para este estrato se encontraron en las E14 y E60 con 0.04 y 0.02 μ g C L⁻¹ (Tabla 13).

El promedio de la biomasas de ciliados totales integrada a 10 m de profundidad fue de $5.2 \ \mu g \ C \ m^{-2}$ con máximos en las E25 y E24 con 34.4 y 29.6 $\ \mu g \ C \ m^{-2}$, respectivamente (Fig. 55). En contraste, las menores biomasas se encontraron en las E4 y E59 ambas con

0.1 μ g C m⁻² (Tabla 15). Los ciliados loricados (tintínidos) estuvieron representados principalmente por 3 géneros: *Helicostomella spp., Parundella spp.* y *Tintinnopsis spp.*, los cuales contribuyeron, en promedio con 33, 5 y 3% de la biomasa total de tintínidos en todas las estaciones analizadas ((Fig. 57 Tabla 14). La biomasa promedio de tintínidos para 0 y 10 m fueron de 0.5 y 0.4 μ g C L⁻¹, respectivamente. En superficie, las máximas biomasas de tintínidos fueron encontradas en las estaciones E25 y E10, con 4.7 y 1.9 μ g C L⁻¹, mientras que las menores biomasas se encontraron en las estaciones E68, E67 y E59 con <0.002 μ g C L⁻¹; respectivamente. El estrato de 10 m presentó las mayores biomasas, en particular en las estaciones E24 y E10, con 3.1 y 1.7 μ g C L⁻¹. Las menores biomasas se encontraron en las estaciones E14, E68 y E4 con un valor <0.004 μ g C L⁻¹ (Tabla 13).

La biomasa integrada de las larvas nauplios de crustáceos se concentraron preferentemente en el sector costero, cerca de la plataforma continental y en algunas estaciones oceánicas (Fig. 55). El promedio de las biomasas totales integradas de todas las estaciones analizadas fue de 130.9 μ g C m⁻² con las máximas biomasas en las estaciones E24 y E10, con 846.5 y 778.6 μ g C m⁻², mientras que en las estaciones E18, E23, E28, E30 y E60 no se registraron nauplios de crustáceos (Tabla 15). La biomasa promedio de nauplios de crustáceos para 0 y 10 m fue de 10.4 y 17.4 μ g C L⁻¹ respectivamente. Las máximas biomasas en superficie fueron encontradas en la estación E24 con 94.3 μ g C L⁻¹, mientras que no fueron registrados nauplios de crustáceos en las estaciones E66, E65, E60, E43, E30, E28, E23 y E18. El estrato de 10 m presentó las mayores biomasas en las estación E10 con 117.3 μ g C L⁻¹, mientras que las estaciones E60, E59, E54, E23 y E18 no registraron nauplios de crustáceos (Tabla 13).

Estación	Fecha	Cilia	ados	Dinofla	gelados	Nau	ıplios	Pellet feca	les totales
				Teca	ados				
		0m	10m	0m	10m	0m	10m	0m	10m
E1	20.01.11	0.22	0.38	2.92	1 40	6.82	3.03	0.000067	0.000747
E2	20.01.11	0,22	0,56	1 41	2 77	3 71	3,68	0.001549	0.000879
E3	20.01.11	0.48	0.48	1 81	1 22	20.48	11.52	0.000782	0.000739
E3	20.01.11	0,40	0.02	0.14	0.10	1 58	0.46	0.001333	0.001318
E9	21.01.11	0,01	0,56	4 04	4 4 5	22.67	17.92	0.001292	0.001615
E10	21.01.11	2 15	1 79	5.04	3.85	38.40	117 33	0.003590	0.000614
E10	21.01.11	0.73	0.80	3.26	1.93	23.04	26.07	0.000681	0.005181
E12	21.01.11	0.11	0.08	0.24	0.23	1.66	0.29	0.000021	0.000196
E14	21.01.11	0.06	0.04	0.03	0.04	1,00	0.63	0.000314	0.000320
E15	22.01.11	1.83	1.12	12.80	5.49	7.01	8,18	0.001730	0.001821
E16	22.01.11	1.26	1.31	7.37	5.17	17.60	21.03	0.001057	0.001534
E17	22.01.11	2.02	2.02	8,15	8 48	27.20	78.58	0	0.000290
E18	22.01.11	0.09	0.04	0.96	0.59	0.00	0	0.002678	0.000972
E21	22.01.11	0.16	s/d	0.05	s/d	0.35	s/d	0.000047	s/d
E22	23.01.11	0.27	s/d	0.13	s/d	2.11	s/d	0.000395	s/d
E23	23.01.11	0.83	1.86	101.37	93.73	0	0	0	0.000748
E24	23.01.11	2.31	3.63	100.90	100.11	94.30	75.00	0.001072	0
E25	23.01.11	5.33	1.55	60.73	16.31	15.09	94,58	0.000485	0.000409
E26	23.01.11	0.13	0.04	3.34	3.50	6.72	4.69	0.000600	0.001441
E28	23.01.11	0.28	s/d	0.69	s/d	0	s/d	0.000035	s/d
E29	24.01.11	0,08	0,07	2,63	0,47	6,13	1,47	0,000904	0,003551
E30	24.01.11	0.19	s/d	1.45	s/d	0	s/d	0.001920	s/d
E31	24.01.11	0,31	0,25	4,22	3,24	2,45	8,53	0,001901	0,000804
E32	24.01.11	0,65	0,26	0,66	0,83	4,00	5,33	0,000249	0,000568
E34	24.01.11	0,06	0,12	0,36	0,22	6,02	4,05	0,000015	0,000024
E35	24.01.11	0,18	0,23	0,24	0,31	0,72	0,51	0,000070	0
E36	24.01.11	0,13	s/d	0,54	s/d	2,83	s/d	0,000114	s/d
E37	25.01.11	0,16	0,09	0,54	0,73	8,53	17,33	0,001246	0,001825
E38	25.01.11	0,05	0,05	0,26	0,36	2,67	1,56	0,001933	0,003004
E39	25.01.11	0,45	0,23	0,58	1,12	2,80	4,60	0,000969	0,002490
E40	25.01.11	0,21	0,08	0,31	0,48	0,77	0,80	0,000755	0,001047
E43	25.01.11	0,62	0,58	1,64	2,84	0	16,00	0,000958	0,000804
E44	25.01.11	1,19	0,22	1,92	2,18	32,00	53,53	0,001965	0,000758
E45	25.01.11	0,98	1,20	2,68	1,89	25,60	23,04	0,000339	0,000559
E46	25.01.11	0,07	0,05	0,30	0,26	4,61	5,28	0,002604	0,001599
E48	26.01.11	0,12	0,13	0,57	0,64	10,24	7,36	0,000042	0,000004
E50	26.01.11	0,16	0,21	0,17	0,33	3,00	2,46	0,000031	0,000014
E51	27.01.11	1,31	1,39	15,34	8,73	11,43	11,38	0,000572	0,000709
E52	27.01.11	0,79	0,14	4,40	6,48	1,23	28,16	0,000292	0,000467
E53	27.01.11	1,01	0,32	3,86	1,37	19,07	32,00	0,000901	0,002549
E54	26.01.11	0,02	0,02	0,06	0,02	0,37	0	0,003476	0,004399
E56	26.01.11	0,04	0,06	1,21	1,58	8,29	9,13	0,000057	0,000011
E57	27.01.11	2,47	0,59	18,76	2,37	10,00	15,00	0,001192	0,000264
E58	27.01.11	0,35	0,36	0,23	1,48	4,00	30,51	0,000370	0,000497
E59	27.01.11	0,00	0,02	0,04	0,13	1,92	0	0,000902	0,000505
E60	27.01.11	0,02	0,02	0,02	0,08	0	0	0,000112	0,002083
E62	27.01.11	0,10	0,07	2,08	1,47	20,63	26,56	0,000048	0,000099
E64	28.01.11	0,41	0,28	0,51	0,37	2,94	2,46	0,000066	0,000048
E65	28.01.11	0,03	0,11	1,46	1,50	0	1,33	0,001318	0,000708
E66	28.01.11	0,03	0,03	0,51	0,15	0	5,33	0,001610	0,002954
E67	28.01.11	0,03	0,06	1,32	0,59	23,20	36,08	0,000053	0,000405
E68	28.01.11	0,05	0,04	1,29	0,93	9,57	16,22	0,001618	0,003694
E70	28.01.11	0,23	0,17	12,28	12,37	37,60	6,53	0,000006	0
Promedio		0,60	0,49	7,51	6,35	10,42	17,41	0,000874	0,001151

Tabla 13. Biomasa por estrato (0-10m; μ g C L⁻¹) de microzooplancton; ciliados, dinoflagelados tecados, nauplios de crustáceos y pellet fecales totales en las estaciones de la grilla FIP 2009-39.

Tabla 14. Biomasa integrada promedio (0-10 m; µg C m ⁻²) y porcentaje (%) para los
géneros dominantes de microzooplancton (dinoflagelados tecados y ciliados loricados)
en la grilla FIP-2009-39.

Género	µg C m⁻²	%
Dinoflagelados tecado	S	
Protoperidinium spp.	32	48
Diplopsalis spp.	26,6	40
Scrippsiella spp.	4,9	7
Ciliados loricados (tin	tínidos)	
Helicostomella spp.	1,7	33
Parundella spp.	0,2	5
Tintinnopsis spp.	0,1	3

Tabla 15. Biomasa integrada (0-10m; μ g C m ⁻²) de microzooplancton; ciliados totales,
dinoflagelados tecados y nauplios de crustáceos en las estaciones de la grilla FIP 2009
39.

Estación	Fecha		Dinoflagelados	
		Ciliados	Tecados	Nauplios
E1	20.01.11	3,00	21,59	49,22
E2	20.01.11	5,33	20,90	36,93
E3	20.01.11	4,80	15,15	160,00
E4	20.01.11	0,15	1,23	10,19
E9	21.01.11	6,43	42,44	202,93
E10	21.01.11	19,71	44,43	778,67
E11	21.01.11	7,62	25,94	245,53
E12	21.01.11	0,94	2,32	9,79
E14	21.01.11	0,47	0,36	8,16
E15	22.01.11	14,74	91,45	75,94
E16	22.01.11	12,85	62,72	193,14
E17	22.01.11	20,19	83,13	528,89
E18	22.01.11	0,64	7,74	0,00
E21	22.01.11	0,78	0,25	1,73
E22	23.01.11	1,37	0,64	10,56
E23	23.01.11	13,43	975,50	0,00
E24	23.01.11	29,66	1005,02	846,50
E25	23.01.11	34,40	385,19	548,32
E26	23.01.11	0,85	34,20	57,07
E28	23.01.11	1,40	3,47	0,00
E29	24.01.11	0,75	15,52	38,00
E30	24.01.11	0,93	7,25	0,00
E31	24.01.11	2,78	37,31	54,93
E32	24.01.11	4,54	7,47	46,67
E34	24.01.11	0,91	2,91	50,36
E35	24.01.11	2,05	2,77	6,17
E36	24.01.11	0,64	2,71	14,14
E37	25.01.11	1,20	0,55	129,33
E38 E30	25.01.11	0,32	5,10	21,10
E39 E40	25.01.11	5,58 1.45	0,40	7.84
E40 E43	25.01.11	6.03	22 43	80.00
E43 F44	25.01.11	7.05	20.49	427.64
E44 F45	25.01.11	10.88	20,49	243 20
E46	25.01.11	0.63	2 80	49 44
E48	26.01.11	1 27	6.08	88.00
E50	26.01.11	1.86	2.50	27.26
E51	27.01.11	13.48	120.32	114.03
E52	27.01.11	4.69	54.39	146.93
E53	27.01.11	6.65	26.17	255.33
E54	26.01.11	0,17	0,43	1,84
E56	26.01.11	0,49	13,94	87,10
E57	27.01.11	15,31	105,64	125,00
E58	27.01.11	3,51	8,55	172,53
E59	27.01.11	0,13	0,85	9,60
E60	27.01.11	0,20	0,52	0,00
E62	27.01.11	0,87	17,72	235,97
E64	28.01.11	3,47	4,42	27,01
E65	28.01.11	0,67	14,75	6,67
E66	28.01.11	0,34	3,32	26,67
E67	28.01.11	0,47	9,55	296,40
E68	28.01.11	0,47	11,11	128,96
E70	28.01.11	2,00	123,23	220,64
Promedio		5,26	66,29	130,93



Figura 55. Biomasa integrada (0-10m; μ grC m⁻²) de microzooplancton total (A) y grupos dominantes, nauplios (B), dinoflagelados tecados totales (C) y ciliados totales (D) en las estaciones bio-oceanográficas del crucero FIP 2009-39.



600 a 1200
300 a 600
100 a 300
40 a 100
30 a 40
20 a 30
10 a 20
0 a 10

Figura 56. Biomasa del microzooplancton integrada (0-10m; μ grC m⁻²) de dinoflagelados totales (A) y los géneros dominantes *Protoperidinium spp.* (B), *Diplopsalis spp.* (C) y *Scrippsiella spp.* (D) en las estaciones bio-oceanográficas del crucero FIP 2009-39.



Figura 57. Biomasa del microzooplancton integrada (0-10m; μ grC m⁻²) de Tintínidos totales (A) y los géneros dominantes *Helicostomella spp.* (B), *Parundella spp.* (C) y *Tintinnopsis spp.* (D) en las estaciones bio-oceanográficas del crucero FIP 2009-39.

5.2.2. Variabilidad espacial de mesozooplancton y macrozooplancton

Durante el Crucero se recolectaron 45 muestras zooplanctónicas integradas, la profundidad de recolección fue en función de la profundidad de cada estación muestreada (Tabla 2). Las estaciones muestreadas para el zooplancton durante el día y la noche representaron el 73 % y 27% respectivamente, del total de las estaciones muestreadas.

En términos de biomasa zooplanctónica expresada como mg C m^{-3} , se encontraron valores promedio de 5,7 ± 4,95 mgCm⁻³, con valores entre 0, 22-19, 14 mg C m^{-3} . La figura 58 muestra la distribución espacial de biomasa zooplanctónica, que se encuentra principalmente concentrada a la zona costera y principalmente en 3 zonas con mayor concentración: el sector sur (35°S), en el sector central (37°S) y en la zona sur del área muestreada entre los 38,5°S y 39°S. Esta distribución muy asociada a la costa se ha observado en los cruceros FIP anteriores, sugiriendo centros de activa producción pelágica.

Los resultados de los análisis de muestras zooplanctónicas, reflejan una alta diversidad de sus componentes, se identificaron y contabilizaron más de 20 grupos taxonómicos, siendo el grupo de los copépodos que presentaron la mayor abundancia (> 99%), luego el grupo del zooplancton gelatinoso y eufáusidos, representado por la especie *Euphausia mucronata* en las estaciones muestreadas (Tabla 16). En la mayoría de los casos, los grupos están representados por muy bajas abundancias (Fig. 59).

La distribución vertical, examinada entre las estaciones muestreadas durante el día y durante la noche, mostró que existen grupos que se encontraron tanto en las estaciones de día como de noche, principalmente los taxas más numerosos, mientras otros se encontraron principalmente en el día o en la noche (Fig. 60).

El grupo dominante encontrado durante el crucero espacial FIP 2009-39, fueron los copépodos, que presentaron una alta diversidad. Se identificaron y contabilizaron un total de 40 especies, siendo las especies que dominaron *Oithona setigera, Acartia tonsa, Oithona similis* y *Paracalanus indicus* con más del 89% del total de la abundancia de

los copépodos. Estas especies se han reportado como especies asociadas a las zonas costeras y representan al grupo de pequeños tamaños entre los copépodos (0,8 y 1.8 mm). La Tabla 17 muestra el listado de las especies de copépodos encontradas, su abundancia numérica y relativa. Mientras que la figura 61 muestra la distribución en abundancia numérica y relativa de las especies más abundantes.

En relación a la distribución espacial, los copépodos se encontraron principalmente, concentrados en la franja costera dentro de las 30-40 millas desde la costa. En los 39°S y hacia el sur, se encontraron algunos centros de presencia de especies copépodos, posiblemente de especies de origen de aguas intermedias antárcticas y de influencia oceánica (Fig. 62).

Las especies de copépodos se encontraron abundantes tanto en las muestras colectadas durante el día como en aquellas muestras nocturnas. Sin embargo, nuestros resultados no permiten estimaciones de migraciones verticales diurnas-nocturnas, ya que se muestrea siguiendo la grilla de muestreo, en estaciones diurnas o en estaciones nocturnas (Fig. 63)

En cuanto, al zooplancton gelatinoso, se observó que este componente estuvo representado por 7 grupos de gelatinosos, siendo los más abundantes las Apendicularias y Chaetognatos, con más del 40% de dominancia, como lo observado en los cruceros previos (Tabla 18). La figura 64, muestra la distribución en abundancia de los grupos de gelatinosos encontrados durante el Crucero FIP 2009-39.

La distribución espacial, mostró que el zooplancton gelatinoso se encuentra muy asociado a la zona costera, similar patrón a los otros taxas. Además, se observaron dos sectores con mayor abundancia, a los 36°S y a los 38,5°S, siendo este último, asociado a un centro de mayor concentración de productividad (Fig. 65). En relación a las distribuciones vertical diurnas-nocturnas, se observó que este grupo puede encontrarse tanto en el día como en la noche, con mayores abundancias nocturnas de Chaetognatos, Medusas, Ctenoforos y Siphonoros, mientras que los Doliolidos se observaron mayoritariamente, en las muestras diurnas (Fig. 66).

Los eufáusidos mostraron una distribución espacial más homogénea, presentando altos valores de abundancia, principalmente en la costa, pero también hacia las estaciones más oceánicas muestreadas (Fig. 67) y se presentaron tanto en las muestras diurnas como nocturnas. Cabe destacar que la red empleada para el muestro de zooplancton, puede subestimar las abundancia de este grupo, debido a la evasión que pueda suceder por partes de estos organismos.

En términos generales, el componente zooplanctónico está concentrado a la franja costera de la zona de mayor productividad asociadas a los centros de surgencias de las costas de las VIII y IX regiones. Este patrón ya ha sido observado en los cruceros anteriores, evidenciando un activo centro productivo observado en los periodos de primavera-verano.

TAXAS	Ν	%
Copépodos	16,2	99,6
Eufáusidos	12,2	0,1
Gelatinosos	11,9	0,1
Poliquetos	11,7	0,05
L. Naupli	11,6	< 0,05
Anfípodos	10,9	< 0,05
N. Cirripedio	10,6	< 0,05
Ostracodo	9,8	< 0,05
L. Pluteus	9,7	< 0,05
L Decápodo	9,6	< 0,05
L cypris	9,5	< 0,05
L. gastrópodo	9,2	< 0,05
L. Stomatópodo	8,7	< 0,05
Radiolarios	7,9	< 0,05
Foranmineros	7,5	< 0,05
Mysidacea	7,2	< 0,05
Isopodos	7,0	< 0,05
Briozoo	6,8	< 0,05
Siphonoforos	6,7	< 0,05
Cladocera	5,3	< 0,05
Pteropodo	2,3	< 0,05
Radiolario	< 0,1	< 0,05

Tabla 16. Abundancia numérica, (N, Ln ind m⁻³) y abundancia relativa (%) de los grupos taxonómicos encontrados durante el Crucero FIP 2009-39 en Enero de 2011.

Especie	Ν	%	
Oithona setigera	18.13	56.9722384	
Acartia tonsa	16.94	17.3180528	
Oithona similis	16.15	7.89216361	
Paracalanus indicus	16.05	7.13250918	
Centropages brachiatus	15.07	2.68298653	
Oncaea sp.	15.01	2.51571428	
Calanus chilensis	14.54	1.57900086	
Peurommama abdominalis	14.33	1.27993906	
Metridia lucens	14.26	1.19631091	
Rhincalanus nasutus	13.47	0.54213206	
Oncaea mediterranea	13.22	0.42095804	
Acartia danae	12.66	0.23975584	
Pluerommama gracilis	11.12	0.05159902	
Calanoides patagoniensis	10.39	0.02494342	
Clausocalanus jobei	10.35	0.02380681	
Ctenocalanus citer	10.29	0.02243248	
Aetideus armatus	10.27	0.02212039	
Augaptilus sp.	10.25	0.02164255	
Clytemnestra rostrata	9.65	< 0.01	
Drepanopus forcipatus	9.57	< 0.01	
Triconia conifera	9.53	< 0.01	
Microsetella norvegica	9.13	< 0.01	
Metridia lucens	8.64	< 0.01	
Saphirina sp.	8.46	< 0.01	
Oculosetella gracilis	8.41	< 0.01	
Oncaea media	8.37	< 0.01	
Calocalanus stiliremis	7.98	< 0.01	
Eucalanus hyalinus	7.65	< 0.01	
Microsetella rosea	7.47	< 0.01	
Candacia catula	6.75	< 0.01	
Haloptilus sp.	6.46	< 0.01	
Heterorhabdus sp.	5.27	< 0.01	
Gaetanus sp.	4.68	< 0.01	
Lucicutia flavicornis	4.58	< 0.01	
Oithona sp.	< 0.001	< 0.01	
Candacia sp.	< 0.001	< 0.01	
Clausocalanus acuicornis	< 0.001	< 0.01	
Oithona plumifera	< 0.001	< 0.01	
Eucalanus attenuatus	< 0.001	< 0.01	
Corycaeus sp	< 0.001	< 0.01	

Tabla 17. Abundancia numérica, (N, Ln ind m⁻³) y abundancia relativa (%) de las especies de copépodos encontradas durante el Crucero FIP 2009-39 en Enero de 2011.

TAXAS	Ν	%
Apendicularias	66876	46,1
Chaetognatos	44996	31,0
Salpas	17739	12,2
Hidromedusas	9440	6,5
Ctenoforos	4793	3,3
Siphonoforos	844	0,6
Doliolidos	426	0,3

Tabla 18. Abundancia numérica, (N, ind m⁻³) y abundancia relativa (%) del zooplancton gelatinoso encontrado durante el Crucero FIP 2009-39 en Enero de 2011.



Figura 58. Distribución espacial de la biomasa zooplanctónica durante el Crucero FIP N° 2009-39 en Enero de 2011, frente a las costas de las VIII y IX regiones.



Figura 59. Distribución en la abundancia de los grupos taxonómicos encontrados durante el Crucero FIP N° 2009-39 en Enero de 2011, frente a las costas de las VIII y IX regiones. La barra verde indica la abundancia numérica y la línea negra a la abundancia relativa



Figura 60. Distribución relativa de los grupos taxonómicos encontrados en las estaciones de día y de noche en el Crucero FIP N° 2009-39 en Enero de 2011, frente a las costas de las VIII y IX regiones.



Figura 61. Distribución en abundancia numérica y relativa de las especies de copépodos encontradas durante el crucero FIP N° 2009-39, frente a las costas de las VII y IX regiones



Figura 62. Distribución espacial del grupo de copépodos encontrados durante el Crucero FIP N° 2009-39 en Enero de 2011, frente a las costas de las VIII y IX regiones.



Figura 63. Distribución de las especies de copépodos encontradas en las estaciones diurnas y nocturnas del Crucero FIP 2009-39



Figura 64. Distribución en abundancia numérica y relativa del zooplancton gelatinoso encontrado durante el crucero FIP N° 2009-39, frente a las costas de las VII y IX regiones.



Figura 65. Distribución espacial del zooplancton gelatinoso encontrado durante el Crucero FIP N° 2009-39 en Enero de 2011, frente a las costas de las VIII y IX regiones.



Figura 66. Distribución del zooplancton gelatinoso durante las estaciones de muestreos diurnas y nocturnas en el Crucero FIP N° 2009-39, frente a las VIII y IX regiones.



Figura 67. Distribución espacial de Eufáusidos encontrados durante el crucero FIP 2009-39 en Enero de 2011, frente a las VIII y IX regiones.
5.2.3. Ictioplancton

De un total de 45 estaciones muestreadas, 7 estaciones presentaron huevos de anchoveta, ninguna presentó huevos de sardina común, y solo 1 presentó huevos de merluza común (Tabla 19). A nivel larval, solo 1 estación (en la VII región) presentó larvas de anchoveta (en estado preflexión) mientras que larvas preflexión o postflexión de las otras dos especies no fueron encontradas en ninguna estación (Tabla 20).

Otras especies de importancia comercial tales como *Normanichthys crockeri (mote)*, *Stromateus stellatus (pampanito)*, *Hipoglossina macrops* (lenguado de ojos grandes) y *Scomberesox saurus (agujilla)*, también presentaron huevos en la zona de estudio (Tabla 21). Entre estas especies, *N crokeri* presentó 5 estaciones con huevos, *S. stellatus* presentó 7 estaciones con huevos, *H macrops* mostró 1 estación positiva con huevos y *S. saurus* presentó 2 estaciones con huevos.

En términos de abundancia, la Anchoveta presentó el mayor número total de huevos y mayores promedios de huevos por estación considerando todas las estaciones o sólo las estaciones positivas. en todas las regiones (Tabla 22). Considerando solo las estaciones positivas, las mayores concentraciones de huevos se ubicaron en la IX región (236 huevos/100m³) y luego en la VII (149 huevos/100m³). Como se indico arribas. No hubo huevos de sardina común. En la única estación con huevos de merluza común la abundancia de éstos fue baja (3 huevos/100m³).

Entre las otras 4 especies de importancia comercial, *S stellatus* (pampanito) fue la que presentó mayores abundancias en todas las regiones consideradas, con un rango que fue desde 258 huevos promedio en la VII región (estaciones positivas) hasta 15 huevos/100m³) en la IX región (Tabla 23). *N crockeri* presento abundancias entre 8 y 39 huevos/100m³ (estaciones positivas) en las IX y XIV regiones, mientras que *H macrops* y *S saurus* presentaron abundancias promedios menores a 3 huevos/100m³ en las estaciones positivas.

La distribución de huevos y larvas de las especies objetivo y de las demás especies de importancia comercial fue costera a diferencia de los mictófidos (*Hygophum bruuni*, *Protomyctophum (hierops) chilensis, Lampanyctus iselinoides*) y Sternoptichidae

(Maurolicus parvipinnis) que presentaron una distribución más amplia sobre la plataforma continental y zona adyacente. Huevos de anchoveta ocurrieron principalmente a lo largo de la zona costera de la VIII región y en una sola área de la IX región (Fig. 68). Los huevos de merluza común solo ocurrieron en el norte del área muestreada (Fig. 69). Los huevos de mote se ubicaron sólo en la costa de la IX región, a diferencia de los de pampanito que se distribuyeron a lo largo de toda la costa en el área completa de estudio (Fig. 70). Los huevos de lenguado solo se ubicaron en una estación costera en la zona media y los de agujilla sobre la plataforma continental en la IX región (Fig. 71). A diferencia de las lavas postflexión de Hyguphum bruuni presentes sobre la plataforma continental de la VIII región (Fig. 72), las larvas de las demás especies de mictofidos y de M. parvipinnis se ubicaron sobre la plataforma continental y zona adyacente pero al sur de Punta Lavapié (37º 20'S) (Fig. 73, 74, 75). Comparando la distribución de huevos y larvas del presente crucero con las distribuciones costa océano de enero del 2010 (éste último se llevo a cabo solo en la VIII región) se aprecia una similitud en cuanto a que las especies de importancia comercial se habrían ubicado en la franja más costera y las especies de mictófidos y Sternoptichidae (M. parvipinnis) se habrían ubicado más espaciadamente sobre la plataforma continental y zona adyacente.

Tabla 19. Estaciones totales por regiones, estaciones con huevos de anchoveta, sardina común y merluza común, y el porcentaje que representan las estaciones por región con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por región, correspondiente al crucero FIP2009-39.

		Anchoveta		Sardina comúr	Sardina común		Merluza común	
Desián	Estaciones	Estaciones	0/	Estaciones	0/	Estaciones	0/	
Region	totales	positivas	%	positivas	%	positivas	%	
VII	8	2	25	0	0	1	13	
VIII	8	3	38	0	0	0	0	
IX	18	2	11	0	0	0	0	
XIV	11	0	0	0	0	0	0	

Tabla 20. Estaciones totales por regiones, estaciones con larvas en preflexión de anchoveta, sardina común y merluza común, y el porcentaje que representan las estaciones por región con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por región, correspondiente al crucero FIP2009-39.

		Anchoveta		Sardina comú	Sardina común		Merluza común	
Deción	Estaciones	Estaciones	0/	Estaciones	0/	Estaciones	%	
Region	totales	positivas	%	positivas	%	positivas		
VII	8	1	13	0	0	0	0	
VIII	8	0	0	0	0	0	0	
IX	18	0	0	0	0	0	0	
XIV	11	0	0	0	0	0	0	

Tabla 21. Número de estaciones totales por regiones, estaciones con huevos de *Normanichthys crockeri, Stromateus stellatus, Hipoglossina macrops* y *Scomberesox saurus*, y el porcentaje que representan las estaciones por región con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por región, correspondiente al crucero FIP2009-39.

		M. crocker	ri	S. stellatu	\$	H. macrops		S. saurus	5
Región	Estaciones totales	Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%
VII	8	0	0	1	13	0	0	0	0
VIII	8	0	0	1	13	0	0	0	0
IX	18	4	22	4	22	1	6	1	6
XIV	11	1	9	1	9	0	0	1	9

Tabla 22. Número total de huevos (suma) de anchoveta, sardina común y merluza común por región, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones en la región y considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos 100m³).

ANCHOVETA							
Región	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
VII	299	37	102,73	149	200,91	292	7
VIII	36	4	8,14	12	9,92	23	4
IX	473	26	108,35	236	316,53	460	13
XIV	0	0	0	0	0	0	0
			MELUZA	COMÚN			
Región	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
VII	3	0,3	0,91	3	0	3	-
VIII	0	0	0	0	0	0	0
IX	0	0	0	0	0	0	0
XIV	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 23. Número total de huevos (suma) de *Normanichthys crockeri*, *Stromateus stellatus*, *Hipoglossina macrops* y *Scomberesox saurus* por región, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones en la región y considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos 100m⁻³).

			N. cr	ockeri			
Región	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
VII	0	0	0	0	0	0	0
VIII	0	0	0	0	0	0	0
IX	33	2	3,76	8	3,04	13	6
XIV	39	4	11,84	39	0	39	-
			S. ste	llatus			
Región	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
VII	258	32	91,17	258	0	258	-
VIII	32	4	12,25	35	0	35	-
IX	62	3	7,29	15	10,86	20	4
XIV	65	6	19,73	65	0	65	-
			Н. тс	icrops			
Región		Promedio	SDEV	Promedio	SDEV Estacionas	Máxima	Mínima
region	Suma	Total estaciones	Total estaciones	Estaciones Positivas	Positivas	abundancia	abundancia
VII	Suma 0	Total estaciones 0	Total estaciones 0	Estaciones Positivas 0	Positivas 0	abundancia 0	abundancia 0
VII VIII	Suma 0 0	Total estaciones 0 0	Total estaciones 0 0	Estaciones Positivas 0 0	Positivas 0 0	abundancia 0 0	abundancia 0 0
VII VII IX	Suma 0 0 1	Total estaciones 0 0 0,1	Total estaciones 0 0 0,25	Estaciones Positivas 0 0 1	Positivas 0 0 0	abundancia 0 0 1	abundancia 0 0 -
VII VIII IX XIV	Suma 0 0 1 0	Total estaciones 0 0 0,1 0	Total estaciones 0 0 0,25 0	Estaciones Positivas 0 0 1 1 0	Positivas 0 0 0 0 0	abundancia 0 0 1 0	abundancia 0 0 - 0
VII VIII IX XIV	Suma 0 0 1 0	Total estaciones 0 0 0,1 0	Total estaciones 0 0 0,25 0 <i>S. sci</i>	Estaciones Positivas 0 0 1 0 1 0 wurus	Positivas 0 0 0 0 0	abundancia 0 0 1 0	abundancia 0 0 - 0
VII VIII IX XIV Región	Suma 0 0 1 0 Suma	Total estaciones 0 0 0,1 0 Promedio Total estaciones	Total estaciones 0 0 0,25 0 SDEV Total estaciones	Estaciones Positivas 0 0 1 0 UUTUS Promedio Estaciones Positivas	Positivas 0 0 0 0 0 0 0 SDEV Estaciones Positivas	abundancia 0 0 1 0 Máxima abundancia	abundancia 0 0 - 0 Mínima abundancia
VII VIII IX XIV Región VII	Suma 0 0 1 0 Suma 0	Total estaciones 0 0 0,1 0 Promedio Total estaciones 0	Total estaciones 0 0 0,25 0 SDEV Total estaciones 0	Estaciones Positivas 0 0 1 0 <i>turus</i> Promedio Estaciones Positivas 0	Positivas 0 0 0 0 0 0 SDEV Estaciones Positivas 0	abundancia 0 0 1 0 Máxima abundancia	abundancia 0 0 - 0 Mínima abundancia
VII VIII IX XIV Región VII VIII	Suma 0 0 1 0 Suma 0 0	Total estaciones 0 0,1 0 0 Promedio Total estaciones 0 0	Total estaciones 0 0 0,25 0 SDEV Total estaciones 0 0	Estaciones Positivas 0 0 1 0 1 0 0 <i>turus</i> Promedio Estaciones Positivas 0 0	Positivas 0 0 0 0 0 0 0 SDEV Estaciones Positivas 0 0 0	abundancia 0 0 1 0 Máxima abundancia 0 0	abundancia 0 0 - 0 Mínima abundancia 0 0
VII VIII IX XIV Región VII VIII IX	Suma 0 0 1 0 Suma 0 0 1	Total estaciones 0 0 0,1 0 Vromedio Total estaciones 0 0 0 0,1	Total estaciones 0 0,25 0 SDEV Total estaciones 0 0 0,33	Estaciones Positivas 0 0 1 0 1 0 0 <i>turus</i> Promedio Estaciones Positivas 0 0 1	Positivas 0 0 0 0 0 0 0 SDEV Estaciones Positivas 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	abundancia 0 0 1 0 Váxima abundancia 0 0 1	abundancia 0 0 - 0 0 Mínima abundancia 0 0 0 -



Figura 68. Distribución de huevos (a) y larvas en preflexión (b) de anchoveta, *Engraulis ringens*.







Figura 70. Distribución de huevos de mote, *Normanichthys crockeri* (a) y pampanito, *Stromateus stellatus* (b).



Figura 71. Distribución de huevos de lenguado, *Hippoglossina macrops* (a) y agujilla, *Scomberesox saurus* (b).



Figura 72. Distribución de larvas en preflexión (a) y postflexión (b) del pez linterna, *Hygophum bruuni*.



Figura 73. Distribución de larvas en preflexión (a) y postflexión (b) de *Maurolicus parvipinnis*.



Figura 74. Distribución de larvas en preflexión (a) y postflexión (b) de pez linterna, *Protomyctophum (hierops) chilensis.*



Figura 75. Distribución de larvas en preflexión de Lampanyctus iselinoides.

5.3. Objetivo específico 3:

Determinar las variaciones mensuales en la zona costera de las variable señaladas en 3.1 y 3.2, con observaciones realizadas en, a lo menos, 3 estaciones costeras dentro de la zona de estudio.

El centro COPAS mantiene desde agosto del 2002 a la actualidad, una serie de tiempo oceanográfica en la Estación 18 ubicada en el centro de la plataforma continental frente a bahía Coliumo. Esta estación es visitada mensualmente, dependiendo de las condiciones climáticas. En la mayoría de los cruceros mensuales se realizó 3 lances de CTD hasta 80 m, y se colectó muestras de agua de mar con botellas a 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, y 80 m. En cada crucero, la data de CTD se usa para obtener un perfil vertical promedio de temperatura, salinidad y densidad (sigma t). La concentración de oxígeno disuelto se determina de las muestras de agua de mar mediante el método de Winkler modificado. Adicionalmente, de las muestras de agua de mar a distintas profundidades se ha obtenido submuestras para nutrientes, clorofila (fraccionada), microzooplancton y para otros análisis y determinaciones tales como producción primaria y respiración comunitaria. En el presente informe se entregan los resultados de los análisis de las muestras y observaciones del periodo correspondiente a este proyecto (2009), que corresponde a información de la serie de tiempo (hidrografía, nutrientes, mesozooplancton, ictioplancton, producción primaria y respiración comunitaria).

5.3.1. Forzamiento física y variabilidad hidrográfica

La inspección de series de tiempo ambientales para todo el periodo cubierto por los monitoreos mensuales de la Estación 18 (2002-2011) muestra gran variabilidad interanual en forzamiento atmosférico, entradas de agua dulce y condiciones de superficie en el área (Fig. 76). El esfuerzo de viento meridional exhibe un marcado ciclo anual (Fig. 76a), con intensificación de viento favorable a la surgencia (valores positivos) en meses de primavera-verano, y periodos de viento favorable a la subsidencia (valores negativos) en invierno. Esta fluctuación estacional ha variado sustancialmente entre años durante el periodo cubierto por la serie de tiempo, y ha redundado especialmente en diferencias entre inviernos. Es destacable la virtual ausencia de vientos favorables a la subsidencia en el invierno de 2007, y la intensificación del esfuerzo meridional hacia el polo en el invierno de 2008 (Fig. 76a).

Las entradas de agua dulce en el área, estimadas mediante los caudales de los ríos Itata y Bío Bío (Fig. 76b) mostraron variaciones interanuales consistentes con los cambios en forzamiento por viento. Los inviernos de 2007 y 2010 fueron particularmente secos y coincidieron con periodos en la que la temperatura superficial del mar registrada por el sensor MODIS-Aqua (Fig. 76c) fue anómalamente baja y consistente con la anomalía de TSM registrada en la región El Niño 1+2. Las condiciones locales observadas en estos dos inviernos, por lo tanto, reflejaron fluctuaciones de escala regional.

El análisis de la data hidrográfica en la Estación 18 (Fig. 77) mostró que las condiciones frías detectadas por el satélite en 2007 y 2010 fueron consistentes con cambios en la estructura térmica de la columna de agua. Además, se observa que durante la primavera verano de 2010-2011 la capa superficial alcanzó temperaturas similares a las observadas en 2005-2006.

Durante el periodo 2010-2011 se observaron condiciones típicamente esperadas para la época de surgencia activa, con un incremento en la temperatura superficial a valores de 14-15°C y el concurrente ascenso de la isoterma de 11°C hasta ca. 20 m de la superficie. Un ascenso similar se observó para isohalinas e isopicnas características del AESS, con concentraciones de oxígeno disuelto <2 mL L⁻¹ (Sobarzo et al. 2007). Las concentraciones de oxígeno disuelto a 10 m de profundidad llegaron a valores $<2mL L^{1}$ durante Enero 2011, período en que los vientos favorables a la surgencia soplaron en forma persistente en toda la región de estudio. A escala estacional, la temperatura de los 10 primeros metros de la columna de agua siguió muy cercanamente el ciclo anual de flujo neto de calor superficial (Fig. 78a), resultando en una capa de mezcla somera y cálida desde Noviembre a Abril. Las oscilaciones de las isotermas bajo los 15 m de profundidad responden principalmente a la interacción entre vientos favorables a la surgencia costera, que predominan en primavera y verano, y los que favorecen el hundimiento en invierno. La distribución vertical de la salinidad (Fig. 78b) en los primeros 20 m está determinada en una escala estacional por el ciclo de descarga de agua dulce por ríos y precipitación, mientras que bajo los 25 m depende del patrón estacional de surgencia. La distribución del oxígeno disuelto (Fig. 77c, 78c) responde marcadamente al efecto de la surgencia en primavera y verano, y en casos extremos la isolínea de 0.5 mL L⁻¹ puede ascender hasta los 20 m de profundidad en meses de verano, donde aguas hipóxicas alcanzarían la capa fótica. La mayor oxigenación de las

capas más profundas en meses de invierno (notoriamente en los inviernos de 2005 y 2006), responde al efecto combinado del mayor aporte de agua dulce y al hundimiento de las capas superficiales propiciado por un predominio de vientos meridionales orientados hacia el polo (Fig. 76).

Con los registros de la estación meteorológica de Coliumo se determino un predominio de los vientos SE+S (49 % de las observaciones) y magnitudes menores o iguales a 5 m/s, con observaciones correspondientes a periodos de completa calma (18 % del total de observaciones) (Fig. 79). La velocidad del viento mostró valores, en general, menores a 5 m/s, registrando valores en un rango de entre 1-8,91 m/s.

Para todo el período 2004 a 2011 la energía del viento se concentra mayormente en el eje Norte-Sur con valores positivos durante la primavera y verano, sin observarse tendencias (Fig. 80 ab). La magnitud del viento fluctúa diariamente y tampoco muestra tendencias temporales (Fig. 80c).

La temperatura del aire mantiene una periodicidad estacional marcada con valores altos (>20 °C) en verano y alrededor de 10 °C en invierno y sin tendencias temporales (Fig. 80d), mientras que la presión atmosférica muestra la tendencia inversa a la temperatura con mínimos de <1000 dBar (Fig. 80e).

La radiación fotosintética PAR mantiene una periodicidad estacional muy marcada con ciclos de mayor intensidad total diaria en verano y máximos usualmente en diciembre y mínimos en junio (Fig. 81).



Figura 76. Variabilidad en el forzamiento atmosférico (A), descargas de agua dulce (B) y TSM (C) en el área donde se encuentra la Estación 18. Los datos de viento corresponden a estrés meridional acumulado sobre períodos de 1 semana y provienen de imágenes QuikSCAT y ASCAT para un pixel centrado en 36°37.5'S y 73°37.5'W. Los datos de caudal para los ríos Itata y BioBio fueron obtenidos de la Dirección General de Aguas. Los datos de TSM provienen de imágenes semanales MODIS-Aqua para un píxel (resolución de 4 km) centrado en 36°30'S, 73°7.5'W.



Figura 77. Serie de tiempo de la estructura vertical de (A) temperatura, (B) salinidad, \mathbb{C}) oxígeno disuelto y (D) densidad en la Estación 18 entre Agosto 2002 y Marzo 2011. Los símbolos negros sobre el panel superior corresponden a las fechas de muestreo. Los contornos blancos en C y D corresponden a una concentración de oxígeno de 0.5 mL L⁻¹ y una densidad sigma-t de 27, respectivamente.



Figura 78. Climatologías mensuales de la estructura vertical de (A) temperatura, (B) salinidad, (C) oxígeno disuelto y (D) densidad en la Estación 18. En los cálcubs se utilizaron observaciones colectadas entre Agosto 2002 y Marzo 2011.



Figura 79. Rosa de los vientos del período de Agosto 2004 hasta Febrero de 2011.



Figura 80. Datos meteorológicos entre Setiembre de 2004 y Febrero de 2011, registrados en el sector de Coliumo. A) Componente norte del viento, B) Componente Este, C) Magnitud horaria del viento, D) Temperatura promedio diario del aire y E) Promedio diario de presión atmosférica.



Figura 81. PAR acumulado diariamente de Agosto 2004 hasta Febrero de 2011



Figura 82. Temperatura superficial del mar y su anomalía del 2004 hasta Febrero de 2011. Serie de datos registrados en la Estación de Coliumo.

5.3.2. Variables químicas de la columna de agua

Durante el año 2010, las concentraciones superficiales de los principales nutrientes inorgánicos variaron entre 5 y 21µmol L-1 para nitrato, 0 y 0.5 µmol L⁻¹ para nitrito, 0.2 y 2 µmol L⁻¹ para fosfato (Tabla 24). Los valores máximos de nitrato y nitrito en superficie se registraron en Abril 2010, mientras que para fosfato, las mayores concentraciones superficiales se registraron en Noviembre y Diciembre 2010 (sólo se cuenta con datos a partir de Setiembre 2010). Los valores mínimos se registraron en primavera (Setiembre y Octubre 2010) para nitrito y nitrato.

Para el periodo Setiembre-Diciembre 2010 se registra una progresión superficial de la razón NO_3 :PO₄ desde valores próximos a 24 hasta valores cercanos a 3 en periodo de primavera (Tabla 25). Esto se debe a la influencia progresiva de surgencia de aguas desnitrificadas de origen ecuatorial (AESS) y la evolución batimétrica de la zona de mínima de oxigeno donde procesos responsables de la pérdida de nitrógeno respecto del fósforo predominan en la columna de agua (desnitrificación y anamox).

La integración de concentraciones sobre la columna de agua para NO₃ y PO₄ refleja la progresión hacia condiciones de surgencia activa con mayores valores hacia la época de primavera – verano (~ 2 mmol m⁻²). Sin embargo, en Diciembre de 2010 los valores se condicen con un alto consumo de nutrientes por parte de la comunidad fitoplanctónica, que coinciden con valores históricos de producción primaria del orden de 1-2 g C m⁻³ d⁻¹ (Fernández, data sin publicar).

Distribución vertical de nutrientes durante el año 2010, serie de tiempo Estación 18 En general, los perfiles de nitrato y fosfato muestran un aumento en función de la profundidad para todas las fechas de muestreo, y una marcada variabilidad temporal que se condice con lo observado en las características hidrográficas de este periodo (Fig. 83 y 84).

En conjunto, las secciones verticales de nitratos, nitritos y fosfatos a lo largo del año muestran concentraciones bajas en superficie durante los periodos de surgencia activa. La ubicación de la nitraclina estuvo centrada en el estrato de 10-20 m durante el año. Se observan asimismo acumulaciones subsuperficiales de NO₃ en los meses de Marzo, Agosto y Noviembre 2010 a 50 m de profundidad. Estas acumulaciones que bordean los $30 \ \mu mol \ L^{-1}$ representan un exceso respecto a las capas adyacentes de alrededor de 10 $\mu mol \ L^{-1}$. Por el contrario, se observan bajas concentraciones asociadas probablemente a consumo local en los estratos próximos a 80 m de profundidad en los meses de Abril, Mayo, Octubre y Diciembre 2010. Esta condición está asociada en primavera a la aparición de acumulaciones de nitrito vía procesos anaeróbicos.

Durante la primera mitad del año 2010 se observaron concentraciones de nitrito por debajo de los 0.5 μ mol L⁻¹, con máximos entre los 10 y 20 m de profundidad. Estos máximos están ligados a la actividad nitrificante y fitoplanctónica. A partir de Setiembre 2010, la activación progresiva de la surgencia costera se acompañada de valores mayores de nitrito en la columna de agua y la presencia de máximos secundarios a profundidades próximas a los 80 m (> 1 μ mol L⁻¹). Estas acumulaciones subsuperficiales son indicativas de condiciones subóxicas asociadas a procesos anaeróbicos (e.g. desnitrificación) y aeróbicos facultativos (nitrificación).

La data disponible para fosfato permite observar la progresión entre Setiembre y Diciembre 2010, desde valores cercanos a 0 en superficie predominantes hasta Octubre 2010 hasta el periodo de surgencia activa en el que se encuentran valores de entre 1 y 2 μ mol L⁻¹ en los primeros 30 m de profundidad.

Fecha	Lat S	Long W	NO_3 (μ mol L ⁻¹)	NO ₂ (μmol L ⁻¹)	PO₄ (μmol L ⁻¹)	NO ₃ :PO ₄
29/04/2010	-36,513	-73,123	21.8	0.49		
30/05/2010	-36,513	-73,123	10.4	0.3		
2/07/2010	-36,513	-73,123				
29/07/2010	-36,513	-73,123	5.4	0.3		
31/08/2010	-36,513	-73,123	13.6	0.42		
29/09/2010	-36,513	-73,123	5.3	0.09	0.21	24
26/10/2010	-36,513	-73,123	5.05	0.25	0.2	25
02/12/2010	-36,513	-73,123	18.6	0.6	1.9	9
28/12/2010	-36,513	-73,123	5.25	0.2	1.59	3

Tabla 24. Concentraciones superficiales de nutrientes mayores para la Estación 18 (serie de tiempo COPAS).

Fecha	Lat S	Long W	ΣNO ₃ (mmol m ⁻²)	ΣPO ₄ (mmol m ⁻²)
29/04/2010	-36,513	-73,123	1.5	
30/05/2010	-36,513	-73,123	1.5	
2/07/2010	-36,513	-73,123		
29/07/2010	-36,513	-73,123	1.7	
31/08/2010	-36,513	-73,123	2.3	
29/09/2010	-36,513	-73,123	1.1	0.55
26/10/2010	-36,513	-73,123	1.3	0.18
02/12/2010	-36,513	-73,123	2.1	0.2
28/12/2010	-36,513	-73,123	1.0	0.25

Tabla 25. Concentraciones de nutrientes mayores integrados sobre la columna de agua para el periodo 2010 (serie de tiempo COPAS).



Figura 83. Variación mensual de nitratos en la Estación 18 para el período Abril a Diciembre de 2010.



Figura 84. Variación mensual en nitritos y fosfatos en la Estación 18 para el período Abril a Diciembre de 2010.

5.3.3. Biomasa de fitoplancton

a) Distribución de la biomasa de fitoplancton

La distribución temporal de la biomasa del fitoplancton (clorofila-a y feopigmentos totales y fraccionados) fue evaluada en muestreos mensuales realizados en la Estación 18, entre Julio 2009 y Marzo 2011. La Cla-a total mostró marcadas fluctuaciones estacionales, con altas concentraciones (>10 mg m³) principalmente durante los muestreos de primavera y verano (Fig. 85a). Además, las mayores concentraciones (>2 mg m⁻³) se ubicaron en la capa más superficial (<30 m) durante la mayor parte del periodo, extendiéndose a profundidades de 50 m en los muestreos de primavera verano. La Cla-a en la fracción microplanctónica se comportó de manera similar a la Cla-a total (Fig. 85b) mientras que la fracción representada por el nanoplancton contribuyó de una forma similar durante todo el periodo (sin grandes fluctuaciones), los mayores valores (>0,4 mg m⁻³) ubicados en la capa más superficial (0-30 m) y con algunos máximos puntuales en Setiembre 2009 y Enero 2011, ambos coincidentes con máximos en la Cla-a total (Fig. 85c). La Cl-a picoplanctónica fue un componente minoritario del total y mostró una estacionalidad más marcada que el nanoplancton, con máximos (>0,1 mg m⁻³) en distintos periodo del año y algunos coincidentes con máximos en Cla-a total (Fig. 85d). Las dos fracciones menores de Cla-a fueron importantes contribuyentes en las capas subsuperficiales durante la mayor parte del periodo. Los feopigmentos totales presentaron una distribución similar a la Claa total (Fig. 85e). Las estadísticas básicas de estas estimaciones se detallan en la Tabla 26.

Los análisis de asociación entre las variables oceanográficas y las concentraciones de clorofila-a durante la serie temporal en la Estación 18 arrojaron los siguientes resultados. En la capa superficial (0-30 m; Tabla 27), donde se concentra la mayor parte de la Cla-a, las correlaciones fueron significativas para las fracciones menores de Cla-a con la temperatura (negativa) y oxígeno (positiva), en forma moderada para el nanoplancton (|r|=0.3) y fuerte (|r|>0.4) para el picoplancton. Además, el picoplancton se correlacionó negativamente y fuertemente con la densidad y débilmente con la salinidad. En cambio, la Cla-a en la fracción microplanctónica se correlacionó significativamente y positivamente con la salinidad y la densidad. La Cla-a total no

mostró asociación con ninguna de estas 4 variables. Los feopigmentos en la capa superficial estuvieron correlacionados significativamente solo con la densidad en forma positiva pero débil. (Tabla 27). Estos resultados sugieren que los máximos estacionales del fitoplancton en la fracción microplanctónica se distribuyen en las costa preferentemente durante periodos de surgencia, asociado a aguas de mayor salinidad, mientras que los máximos de picoplancton lo hacen en la situación de no surgencia, asociado a aguas de menor salinidad y densidad en la capa superficial. Los máximos estacionales en la fracción nanoplanctónica están, en cambio, más bien asociados a aumentos en temperatura en la capa superficial.

Variabilidad temporal y vertical de diatomeas

Los análisis de las muestras de diatomeas obtenidas en la Estación 18 frente a Concepción, durante el período Mayo 2010 - Febrero 2011, presentaron variabilidad estacional y vertical. En términos generales, las diatomeas cuantificadas estuvieron representadas durante todo el período de estudio principalmente por diatomeas céntricas (Fig. 86). Los géneros *Chaetoceros, Thalassiosira, Skeletonema* y *Leptocylindrus,* fueron los dominantes, los cuales representaron en promedio más de 90% de la abundancia total de diatomeas (Fig. 87).

La abundancia promedio de las diatomeas en superficie fue de 137.090 células L^{-1} , siendo ~2 veces mayor a la registrada a 10 m (promedio 83.330 células L^{-1}). Las máximas abundancias en superficie y a 10 m de profundidad fueron en Enero del 2011 (4,7 x 10⁵ células L^{-1}) y Diciembre 2010 (3,9 x 10⁵ células L^{-1}) (Tabla 28).

Los géneros de diatomeas correspondientes a *Chaetoceros* y *Thalassiosira*, fueron los dominantes durante el período primavera-verano de la serie de tiempo de Concepción. Las principales especies del género *Chaetoceros* fueron *C. compressus*, *C. debilis*, *C. radicans* y *C. socialis*. Estos taxas aportan en promedio con el 30% de las abundancias totales de diatomeas del período de estudio. La máxima abundancia se registró durante el 18 de Enero del 2011 con 4,7 x 10^5 células L⁻¹ en superficie, contribuyendo el género *Chaetoceros* con un 87% (4,1 x 10^5 células L⁻¹) del total de diatomeas. Mientras que *Skeletonema* y *Leptocylindrus* en general registraron bajas abundancia, incrementando solo en el período de primavera-verano (Fig. 87). En general, en superficie la abundancia de diatomeas fue casi el doble (promedio 137.090 cél. L⁻¹) que a 10 m de

profundidad (promedio 83.330 cél. L^{-1}). Además, en el estrato de 0 m había la abundancia promedio 137.090 células L^{-1} , superando el estrato de 10m con un promedio 83.330 células L^{-1} (Tabla 28).

5.3.4. Penetración de la luz

Las mediciones mensuales del sensor PAR en la Estación 18 permitieron estimar las variaciones en la penetración de la luz y la profundidad de la capa fótica, definida como aquella a la cual se encuentra el 1% de luz incidente en superficie. Los perfiles verticales de luz están sujetos a fuertes variaciones dependiendo de la hora de muestreo y nubosidad presente. Para estimar entonces la profundidad de la capa fótica solo se utilizaron perfiles obtenidos al mediodía, en el rango de las 11 AM y 14 PM.

El coeficiente de extinción que mide la cantidad de luz que se extingue por metro de profundidad fluctuó en el rango de 0.04-0.07 m⁻¹, con un promedio anual de 0.048 m⁻¹ (Fig.88). La capa fótica tuvo entonces una profundidad media anual de 21.6 m y su variación estacional se muestra en la figura 85.

Pigmentos	N	Media DS	Mediana	Rango
Clorofila-a				
Total	120	$2,2 \pm 3,4$	0,5	0,02 - 16,3
Microplancton	120	$1,6 \pm 3,0$	0,08	0,00 - 14,9
Nanoplancton	120	$0,5 \pm 0,6$	0,2	0,00 - 2,9
Picoplancton	120	$0,06 \pm 0,1$	0,03	0,00 - 0,8
Feopigmentos Totales	120	$1,1 \pm 1,5$	0,6	0,01 - 10,8

Tabla 26. Descriptores de clorofila-a y feopigmentos totales en la columna de agua (0-80 m) serie de tiempo Estación 18, entre Julio 2009 y Marzo 2011.

Tabla 27. Análisis de correlación entre clorofila-a y variables oceanográficas con datos
de serie de tiempo Estación 18 (Julio 2009 – Marzo 2011): data (0 - 30 m). N= número
de datos y p= nivel de significancia: $* = <0.05$; $** < 0.01$; $*** < 0.001$.

Variables	Ν	Spearman R	Р
T° - Cla-a Total	67	0.01	0.91
T° - Cla-a Microplancton	67	-0.08	0.52
T° - Cla-a Nanoplancton	67	0.31	0.01**
T° - Cla-a Picoplancton	67	0.45	0.00***
T° - Feopigmentos Totales	67	-0.01	0.91
S – Cla-a Total	67	0.22	0.07
S – Cla-a Microplancton	67	0.35	0.00***
S – Cla-a Nanoplancton	67	0.09	0.46
S - Cla-a Picoplancton	67	-0.24	0.05*
S – Feopigmentos Totales	67	0.34	0.01
O – Cla-a Total	67	0.17	0.16
O – Cla-a Microplancton	67	0.07	0.55
O – Cla-a Nanoplancton	67	0.33	0.01**
O – Cla-a Picoplancton	67	0.49	0.00 ***
O – Feopigmentos Totales	67	0.02	0.87
D – Cla-a Total	67	0.16	0.20
D – Cla-a Microplancton	67	0.30	0.02*
D – Cla-a Nanoplancton	67	-0.11	0.37
D - Cla-a Picoplancton	67	-0.46	0.00***
D - Feopigmentos Totales	67	0.24	0.05*

	Células L ⁻¹		
Fecha	0 m	10 m	
30.05.10	1920,0	120,0	
00.06.10	s.d.	0,0	
01.07.10	1200,0	260,0	
29.07.10	3440,0	280,0	
31.08.10	1028,6	1380,0	
00.09.10	s.d.	0,0	
26.10.10	132640,0	118000,0	
00.11.10	s.d.	0,0	
02.12.10	138960,0	146640,0	
28.12.10	416400,0	394440,0	
18.01.11	474720,0	337080,0	
28.02.11	63500,0	1760,0	
promedio	137089,8	83330	

Tabla 28. Abundancia de diatomeas totales (células L^{-1}) 0 y 10 m de profundidad en la Estación 18. s.d. = sin datos.



Figura 85. Distribución temporal de clorofila-a y feopigmentos (mg m⁻³) en la serie de tiempo frente a Concepción, Estación 18. Período anual: Julio 2009 - Marzo 2011. a) Clorofila-a total, b) fracción microplanctónica, c) fracción nanoplanctónica, d) fracción picoplanctónica, y e) feopigmentos totales.



Tiempo (día, mes, año)

Figura 86. Abundancia de diatomeas en dos estratos de profundidad (0 y 10 m) en la Estación 18 para el período Mayo 2010 a Febrero 2011. (A) Diatomeas totales, (B) Diatomeas céntricas y (C) Diatomeas penadas. s.d. = sin datos.



Figura 87. Abundancia de los principales géneros de diatomeas en dos estratos de profundidad (0 y 10 m) en la Estación 18 para el período Mayo 2010 a Febrero 2011. (A) *Chaetoceros spp*, (B) *Thalassiosira*, (C) *Skeletonema* y (D) *Leptocylindrus*. s.d. = sin datos.



Figura 88. Variaciones mensuales en el coeficiente de extinción de la luz y profundidad de la capa fótica en la Estación 18 durante el año 2010.

5.3.5. Distribución y abundancia de microzooplancton

La distribución vertical y abundancia del microzooplancton mostró una alta variabilidad estacional. Con un marcado aumento a inicios de primavera (Octubre 2010) y una muy baja abundancia en otoño-invierno (Mayo-Julio 2010) (Fig. 89).

Los principales componentes del microzooplancton observados en las muestras, fueron los dinoflagelados y los ciliados loricados, los que en conjunto representaron ~92% de las abundancias totales de estos organismos en todo el período en estudio. La abundancia de dinoflagelados totales alcanzó en promedio 710 ind L⁻¹, alcanzando las mayores densidades promedios en los dos muestreos tomados en Diciembre del 2010 (12 y 28 de Diciembre) con 1918 y 1570 ind L⁻¹ respectivamente. Los géneros de dinoflagelados más abundantes fueron *Protoperidinium spp., Scrippsiella spp., Diplopsalis spp., Corythodinium spp., Dinophysis spp.* y *Gonyaulax spp.* (Fig. 90) Estos géneros representaron ~ 86% del total de dinoflagelados en el período de estudio.

La abundancia de ciliados loricados totales, mostró una alta variabilidad temporal, con un promedio de 171 ind L⁻¹ en el período en estudio y un aumento a inicios de primavera (Octubre 2010). Los géneros de tintínidos más abundantes fueron *Helicostomella spp., Tintinnopsis spp.* y *Eutintinnus spp.* los que corresponden a más del 95% de los conteos totales y a un promedio del 18% del microzooplancton en todos los estratos analizados para el período en estudio. El género *Helicostomella* fue el más abundante y *Eutintinnus* el más escaso, siendo detectado sólo durante el verano (Fig. 91).



Figura 89. Abundancia estratificada (0-10 m; ind L^{-1}) de microzooplancton total entre 0 y 10 m de profundidad en la Estación 18, para el período Mayo 2010 a Febrero 2011.



Figura 90. Abundancia $(0-10 \text{ m}; \text{ ind } \text{L}^{-1})$ de dinoflagelados a 0 y 10 m de profundidad en la Estación 18, para el período de Mayo 2010 a Febrero 2011.



Figura 91. Abundancia estratificada (0-10 m; ind L^{-1}) de tintínidos de 0 y 10 m de profundidad y sus principales géneros en la Estación 18, para el período Mayo 2010 a Febrero 2011.
5.3.6. Biomasa y variabilidad temporal del meso-macrozooplancton

a) Biomasa zooplanctonica

Durante el período Enero a Diciembre 2010 la biomasa de zooplancton en la Estación 18, en promedio de la capa de 0-80 m fluctuó en el rango de 1.1-55.8 mg C m⁻³, con un promedio anual de 20.9 n C m⁻³ y con un coeficiente de variación de 24%. Los máximo de biomasa se manifiestan en el período primavera de cada año de acuerdo al seguimiento desde el año 2004 a Febrero 2011 (Fig. 92).



Figura 92. Abundancia estratificada (0-10 m; ind L^{-1}) de tintínidos de 0 y 10 m de profundidad y sus principales géneros en la Estación 18, para el período Mayo 2010 a Febrero 2011.

b) Composición del meso y macrozooplancton

Durante el período Enero a Diciembre 2010 el zooplancton estuvo dominado por el grupo Copepoda (>80%) en las 3 estaciones de monitoreo (Tabla 29). Las apendicularias y nauplios de copépoda también fueron abundantes. Los nauplios dominaron sobre otros taxa, junto a apendicularias y larvas de decápoda, cuando no se consideran los copépodos (Tabla 29). La dominancia de copépoda se ilustra en la figura 93.

Dentro de las especies de Copepoda, los calanoideos *Paracalanus indicus* y *Acartia tonsa* dominaron durante el ciclo anual (Tabla 30). *P. indicus* dominó casi todo el año, con excepción de Noviembre y Diciembre 2009 cuando *Clausocalanus* sp. Estuvo más abundante (Fig. 93, 94).

	Abundancia (%)			
	Grupos E 5	Grupos E 12	Grupos E 18	
Copépodos	82.2	83.5	88.1	
Larva nauplii	10.6	4.2	4.6	
Apendicularias	2.9	8.4	3.3	
Zoea	1.8	0.4	0.8	
Nauplio cirripedio	0.5	0.2	0.1	
Siphonoforo	0.5		0.5	
Anfipodos	0.2	0.6	1	
Ctenoforos	0.2			
L. Mysidacea	0.2			
Larva cypris	0.2			
Eufausido		0.2		
Furcila		0.6	0.3	
Poliquetos		0.7	0.2	
Quetognatos		0.5	0.4	
Total %	100	100	100	

Tabla 29. Abundancia (%) de zooplancton considerando los copépodos

Tabla 30.	Abundancia	(%)	de copépodos
-----------	------------	-----	--------------

	Abundancia (%)			
	Grupos E 5	Grupos E 12	Grupos E 18	
Paracalanus cf. Indicus	59	58	43	
Acartia tonsa	19	16	11	
Calanoides patagoniensis	8	9	8	
Clausocalanus sp.	5		2	
Oithona sp.	4	9	15	
Drepanopus forcipatus	3	5	5	
Ctenocalanus sp	1	1		
Rhyncalanus nasutus	1	1	3	
Oncaea sp.	0.2	1	2	
Centropages brachiatus	0.1	0.4		
Metridia lucens		0.3	4	
Pleuromamma sp.			6	
Total %	100	100	100	



Figura 93. Taxa dominantes del zooplancton en Estaciones 5, 12 y 18 de la serie de tiempo frente a Concepción durante el 2010.



Figura 94. Especies dominantes de Copepoda Estaciones 5, 12 y 18 de la serie de tiempo frente a Concepción durante el 2010. Los valores son promedios de la 3 estaciones de monitoreo.

5.3.7. Ictioplancton

Estación 18

La información de ictioplancton de la serie de tiempo de la Estación 18 entre Enero del 2009 a Diciembre del 2010 son mostrados en la figura 95, donde se muestra también los periodos (rectángulos sombreados) considerados históricamente como de mayor desove. Una inspección general de la data de abundancia de huevos de las 3 especies objetivo (*Engraulis ringens, Strangomera bentinci y Merluccius gayi*) reveló a) una marcada estacionalidad en sus periodos de máxima abundancia en la estación de máximo desove del 2009 pero diferencias el 2010, b) la ausencia de un máximo notorio de huevos de sardina común el 2010, c) una concordancia temporal en las máximas abundancias entre larvas de las 3 especies en 2009 pero concordancia sólo entre larvas de anchoveta y sardina común el 2010, y d) en estas dos últimas especies, la presencia de los máximos larvales tardíamente en el plancton (Noviembre).

La inspección de la data de ictioplancton en una escala temporal mayor (serie de tiempo de la Estación 18 entre Junio 2004 a Julio 2009; Fig. 96) muestra que a) existe una alta variabilidad interanual en abundancia de las tres especies, b) que las abundancias de huevos y larvas de anchoveta han sido muy bajas durante los últimos 3 años, b) aunque ha habido variaciones en abundancia de huevos y larvas de anchoveta durante el periodo completo, sus abundancias han sido siempre superiores a las de sardina común y merluza común y d) que inter-anualmente las 3 especies fluctúan asincrónicamente (años con muy altas abundancias de huevos de una especie no coinciden con máximos de otras especies).

Estación 5

La información obtenida de la nueva serie de tiempo costera de la Estación 5 (Fig. 97) mostró que las abundancias de las tres especies es mucho mayor en la estación costera que en la Estación 18, b) que contrario a lo observado en la Estación 18, existe una tendencia a un aumento en las abundancias de las 3 especies durante los últimos años, y c) que ha habido un corrimiento en la estacionalidad de los máximos de huevos y larvas desde meses invernales hacia mediados-fines de primavera. Las causas de estas diferencias entre localidades (abundancia entre Estaciones 18 & 5) y en la estacionalidad de los máximos de huevos y larvas en el plancton es probable que sea el

resultado de diferencias en las zonas de desove (por ejemplo, más cercano a la costa en anchovetas y sardinas) y, posiblemente, a procesos oceanográficos conducentes a retención en la zona costera. Los diagramas de distribución de huevos y larvas de las 3 especies objetivo durante el crucero estacional de enero 2011 reiteran el patrón de distribución costero de estas especies.

Los análisis de asociación entre las variables oceanográficas y biomasa de zooplancton (mg/m^3) , huevo $(ind/100m^3)$ y larvas de peces $(ind/100m^3)$ con datos de la serie de tiempo (Enero 2010 – Febrero 2011) mostraron los siguientes resultados de correlaciones (test no paramétrico de Spearman). A nivel superficial (Tabla 31), la temperatura se correlaciono positivamente (|r|<0.43) con el número de larvas de peces, en tanto que la correlación con la biomasa de zooplancton y el número de huevos de peces fue negativa y débil. Con la salinidad las correlaciones fueron negativas, siendo la más significativa con el número de larvas (|r|<0.54), con el oxigeno superficial las correlaciones fueron positivas y débiles, excepto en el caso del número de huevos que fue negativa. En términos generales, el número de larvas de peces aparentemente responde linealmente a variaciones en temperatura, salinidad y oxígeno.

Tabla	31.	Análisis	de	correlación	entre	variables	oceanográficas	con	biomasa	de
zooplaı	nctor	$n (mg/m^3)$, hu	evos (ind/10	00m ³) y	v larvas (in	$d/100 \mathrm{m}^3$) de pec	es co	n datos de	e la
serie de	e tie	mpo (En	ero	2010 - Febr	ero 20	011): data	superficial (0 n	n). N=	= número	de
datos y	p = r	nivel de s	igni	ficancia: * =	< 0.05	; ** <0.01;	*** <0.001.			

Variables	Ν	Spearman R	p-value
T° - Biomasa zooplancton	13	-0.27	0,414
T° - Huevos de peces	13	-0.03	0,249
T° - Larvas de peces	13	0.43	0,509
S - Biomasa zooplancton	13	-0.15	0,143
S - Huevos de peces	13	-0.26	0,076
S - Larvas de peces	13	-0.54	0,044
O ₂ - Biomasa zooplancton	13	0.08	0,790
O_2 - Huevos de peces	13	-0.14	0,365
O_2 - Larvas de peces	13	0.26	0,327



Figura 95. Abundancia de huevos y larvas (ind/100m³) de las tres especies objetivo en la Estación 18, Enero 2009 – Diciembre 2010.



Figura 96. Abundancia de huevos y larvas (ind/100m³) de las tres especies objetivo en la Estación 18 a lo largo de la serie de tiempo Julio 2004 – Febrero 2011.



Figura 97. Abundancia de huevos y larvas $(ind/100m^3)$ de las tres especies objetivo en la Estación 5, Julio 2007 – Febrero 2011.

5.4. Objetivo específico 4:

Estimar las siguientes tasas biológicas: producción primaria, flujo vertical de material orgánico (acoplamiento pelágico-bentónico) y su variabilidad mensual en estaciones seleccionadas de la zona de estudio.

5.4.1. Producción primaria y respiración comunitaria

Las mediciones in situ de producción primaria (PP) y respiración comunitaria (RC) estuvieron disponibles para el período Enero del 2010 a Marzo del 2011. Se obtuvieron mediciones a 4 profundidades dentro de la capa fótica (<30 m) y la PP y RC se estimó integrando la capa fótica, e integrando la PP bruta para un día completo.

La PP bruta estuvo en el rango de 0,7 a 3,4 g C m⁻² día⁻¹, siendo el menor valor en Julio de 2010 y el máximo en Marzo del 2011. El promedio anual fue de 2,38 g C m⁻² día⁻¹.

La RC fue máxima en Octubre del 2010 con 13,83 g C m⁻² día⁻¹ y mínima en Febrero de 2011 con 1,5 g C m⁻² día⁻¹, y con un promedio anual de 3,94 g C m⁻² día⁻¹.

Los cambios en PP bruta y RC durante el ciclo anual se muestran en la figura 98, donde se ilustra que a pesar de las variaciones estacionales, la PP se sostiene através del ciclo anual. Se debe destacar también la alta RC que indica que una gran parte del C fijado por PP es rápidamente respirado, ingresando a la trama trófica microbiana.



Figura 98. Producción primaria bruta y respiración comunitaria y sus fluctuaciones a través del año en la Estación 18 frente a Concepción, durante el año 2010 a 2011.

5.4.2. Flujo vertical de Carbono orgánico

El material particulado total exportado desde los 40 m superficiales de la columna de agua, que incluye material litogénico (ML) y material orgánico total (MO), presentó una alta variabilidad, con valores de ML entre 0.7 y 4 veces superior a la MO. Los flujos promedio de ML y MO durante el período de Mayo 2010 y Marzo 2011 fueron de 6791 y 3008 mg m⁻² día⁻¹, alcanzando las mayores tasas de exportación de ML y MO durante Mayo del 2010 con 21659 y 7800 mg m⁻² día⁻¹ y las menores durante fines de Diciembre del 2010 con 2070 y 707 mg m⁻²día⁻¹, respectivamente (Fig. 99).

Tasas de sedimentación de elementos biogénicos

Los principales contribuyentes al flujo de MO en la E18 frente a Concepción fueron pellet fecales de zooplancton, microfitoplancton y microzooplancton, con una amplia dominancia de pellets fecales (70% del total). Sin embargo, los componentes biogénicos identificables en análisis de microscopía contribuyen con un bajo porcentaje de la MO total (rango 0.3 a 3%) y la mayor parte de esta MO no puede ser identificada (Fig. 100).

El flujo de carbono fecal fue altamente variable y estuvo representado durante todo el período de estudio promediando 28.8 mgC m⁻² día⁻¹. El máximo flujo se presentó en Julio 2010 con 157.5 mgC m⁻² día⁻¹ y los mínimos durante Diciembre 2010 y Enero 2011 con 1.7 y 2.6 mgC m⁻²día⁻¹. Los principales componentes fecales estuvieron representados por fecas de eufáusidos, copépodos y material fecal indeterminado (material amorfo y parcialmente degradado). De estos, el material fecal indeterminado representó 69% del total de material fecal cuantificado (Fig. 101).

El flujo de componentes microplanctónicos observado en las trampas de sedimento estuvo representado principalmente por diatomeas, dinoflagelados y ciliados. El promedio del carbono exportado por estos organismos fue de 2 mgC m⁻² día⁻¹, con valores máximos en primavera-verano (3.6 mgC m⁻² día⁻¹) y mínimos en Mayo y Junio 2010 con 0.03 y 0.2 mgC m⁻² día⁻¹ respectivamente (Fig. 102).



Figura 99. Flujo de material litogénico (ML) y orgánico (MO) obtenido por el método gravimétrico, en la Estación 18 frente a Concepción.



Figura 100. Principales componentes encontrados en las muestras de trampa de sedimento en la Estación 18 frente a la costa de Concepción a 40 m de profundidad durante Mayo 2010 y Febrero 2011.



Figura 101. Principales componentes fecales observados en las muestras de trampa de sedimento en la Estación 18 frente a la costa de Concepción a 40 m de profundidad durante Mayo 2010 y Febrero 2011.



Figura 102. Principales componentes microplanctónicos observados en las muestras de trampa de sedimento en la Estación 18 frente a la costa de Concepción a 40 m de profundidad entre Mayo 2010 y Febrero 2011.

5.5. Objetivo específico 5:

Determinar la distribución superficial de las variables temperatura del mar, clorofilaa y anomalía del nivel del mar por medio de percepción remota. La frecuencia mínima de análisis debe ser al menos mensual. Y asociar estas variaciones espaciotemporales con la actividad pesquera.

Condiciones promedio y escalas de variabilidad

Los campos de promedios mensuales de TSM, clorofila superficial y anomalía del nivel del mar obtenidos desde imágenes MODIS y AVISO para el periodo 2002-2011 (Fig. 103-108) reflejaron el predominio de la surgencia costera como proceso modulador de las condiciones oceanográficas sobre la plataforma continental.

La TSM mostró una distribución promedio que delimita claramente el borde de la plataforma continental, y que refleja el efecto de la topografía y batimetría costera sobre los patrones espaciales de afloramiento de agua sub-superficial de baja temperatura en meses de primavera-verano. Las bajas temperaturas en dicha época se concentraron alrededor de las principales puntas y cabos en la región (Fig. 103, 104), mientras que en periodos de invierno se concentran en zonas costeras afectadas por descargas de ríos. Tanto en las climatologías de promedio mensual de TSM calculados a partir de imágenes satelitales durante el periodo Agosto 2002 - Marzo 2011 (Fig. 103), como en las imágenes mensuales calculadas para el periodo Marzo 2010 a Febrero 2011 (Fig. 104) se observó la aparición persistente de aguas cálidas al interior del Golfo de Arauco. Esta característica está probablemente asociada a un efecto de sombra de surgencia generado por Punta Lavapié, y tiene implicancias tanto para la productividad de aguas costeras en esta zona como para la retención de huevos y larvas de pequeños pelágicos. Finalmente, las condiciones de TSM observadas en el periodo Marzo 2010 - Febrero 2011 (Fig. 104) fueron consistentes con el ciclo estacional observado históricamente, aunque la extensión de la banda costera de agua superficial fría en Febrero 2011 fue mucho mayor que el promedio (Fig. 104).

La distribución promedio de clorofila-a superficial (Fig. 105, 106) muestra una franja costera con concentraciones > 5 mg m-³ restringidas a profundidades < 100 m y con una

clara discontinuidad en la zona del cañón del río Itata. Las concentraciones > 10 mgm³ se encuentran a sotavento de las principales puntas en la región (Pta. Lavapié, Tumbes y Carranza), y llegan a valores cercanos a los 20 mg m-³ al interior del Golfo de Arauco. La inspección de imágenes mensuales de Cl-a para el periodo Marzo 2010 – Febrero 2011 (Fig. 106) indicó que en los meses de Enero y Febrero 2011 las concentraciones de clorofila estuvieron muy por debajo de los promedios mensuales históricos (Fig. 105).

Los campos promedio mensuales de anomalía del nivel del mar calculados para el todo el periodo con imágenes satelitales AVISO disponibles (1992-2011) mostró un marcado patrón costa-océano entre Octubre-Noviembre y Marzo-Abril, con valores negativos en la costa y positivos en aguas oceánicas, consistentes con lo esperado para la época de surgencia. Este gradiente costa-océano en ANM se ve intensificado en el periodo Enero-Marzo, y se invierte en el periodo Mayo-Julio (Fig. 107), periodo en el cual predomina la subsidencia forzada por eventos de viento meridional dirigido hacia el polo. Durante el periodo Marzo 2010 a Febrero 2011 (Fig. 108) se observaron condiciones en general consistentes con la climatología recién descrita, destacándose la intensificación del gradiente costa-océano en ANM durante Febrero 2011.

Las series de tiempos de TSM, clorofila-a superficial y anomalía del nivel del mar extraídas desde imágenes satelitales para la Estación 18 (Fig. 109) mostraron claramente las fluctuaciones estacionales. La TSM mostró mínimas en Julio y máximas en Enero-Febrero, y episodios de disminución abrupta en TSM durante el verano, correspondientes a los episodios de surgencia costera. Se observaron además variaciones interanuales que ya habían sido detectadas en las mediciones de columna de agua en la Estación 18, en particular el invierno anómalamente frío en 2007. También se observó con claridad el ciclo anual de la clorofila superficial, y su alta variabilidad tanto a escala interanual como sinóptica en meses de primavera-verano. La anomalía del nivel del mar, en tanto, mostró patrones estacionales menos claros, con una intensificación de anomalías negativas durante meses de primavera en 2004, 2007 y 2010, y un episodio extremo de anomalía negativa a comienzos de 2010.

Al comparar las mediciones correspondientes al periodo 2010-2011 con las climatologías calculadas para las series recién descritas (Fig. 110), se observaron

temperaturas y nivel del mar anómalamente bajos durante el invierno de 2010, seguidas por concentraciones de clorofila anómalamente bajas en la primavera de 2010 y primeros meses de 2011. Las concentraciones de clorofila se acercaron al promedio histórico en Febrero de 2011, periodo en que se realizó el crucero de monitoreo bio-oceanográfico.

Asociación entre variabilidad ambiental y actividad pesquera

Los análisis de correlación cruzada entre las series de tiempo de TSM, clorofila y ANM (previamente convertidas a series de promedios mensuales) y las series mensuales de anomalías en los desembarques mensuales de la figura 111 (i.e. desviaciones de ajustes armónicos calculados sobre el periodo 2002-2009), sólo mostraron correlaciones significativas (p<0.01) para la sardina común y los valores mensuales de clorofila superficial integrada (r = 0.36, lag -5), y anomalía del nivel del mar (r = -0.32, lag -5). Estos resultados indican que, sobre el periodo estudiado, desembarques anómalamente altos de sardina se registran 5 meses después de que en la plataforma continental frente a Concepción se detectan aumentos en las concentraciones de clorofila superficial y anomalías negativas de nivel del mar. Considerando que los mayores desembarques de sardina común se observan en Abril de cada año, este resultado indicaría que la surgencia intensa a fines de primavera podría tener un impacto positivo sobre el recurso capturado a fines de verano y comienzos de otoño.

Aunque en la escala mensual no se detectó ninguna asociación estadísticamente significativa entre la variabilidad ambiental y los desembarques de anchoveta en la Región del Bío Bío, los valores integrados sobre periodos anuales (Fig. 112) indicaron una alta y significativa correlación positiva entre la clorofila acumulada y la anomalía anual en los desembarques de anchoveta (r=0.87, p=0.012), sugiriendo que años con veranos más productivos conducen a mayores desembarques de este recurso. Consistente con este resultado se observaron correlaciones negativas, aunque no significativas, entre los desembarques de anchoveta y la anomalía de TSM y nivel del mar (Fig. 112). En ambos casos, el año 2003 se escapó del patrón general mostrado por los otros años.

Como es sabido, los desembarques no constituyen un índice de abundancia per se. Sin embargo, estos datos son un indicador de la actividad pesquera y muestran un patrón estacional e interanual que podría tener relación con los cambios en las condiciones bio oceanográficas registradas en la región durante los últimos 10 años.



Figura 103. Campos promedio de Temperatura Superficial del Mar (°C) calculados para cada mes en la región de estudio a partir de 400 imágenes satelitales MODIS-Aqua colectadas durante el periodo Agosto 2002 – Marzo 2011. Los contornos negro y rojo indican temperaturas de 14°C y 12°C. El asterisco negro indica la posición de la Estación 18.



Figura 104. Imágenes mensuales de Temperatura Superficial del Mar (°C) en la región de estudio, derivadas de imágenes semanales MODIS-Aqua colectadas entre Marzo 2010 y Febrero 2011. Los contornos negro y rojo indican temperaturas de 14°C y 12°C. El asterisco negro indica la posición de la Estación 18.



Figura 105. Campos promedio de clorofila-a superficial (mg m⁻³) calculados para cada mes en la región de estudio a partir de 400 imágenes satelitales MODIS-Aqua colectadas durante el periodo Agosto 2002 – Marzo 2011. El contorno negro indica concentraciones de 1 mg m⁻³. El asterisco negro indica la posición de la Estación 18.



Figura 106. Imágenes mensuales de clorofila-a superficial (mg m⁻³) en la región de estudio, derivadas de imágenes semanales MODIS-Aqua colectadas entre Marzo 2011 y Febrero 2011. El contorno negro indica concentraciones de 1 mg m⁻³. El asterisco negro indica la posición de la Estación 18.



Figura 107. Campos promedio de anomalía del nivel del mar (cm) calculados para cada mes en la región de estudio a partir de 954 imágenes semanales AVISO correspondientes al periodo 1992 –2011. El contorno negro corresponde a 0 cm. El símbolo blanco indica la posición de la Estación 18.



Figura 108. Imágenes mensuales de anomalía del nivel del mar (cm) en la región de estudio, derivadas de imágenes AVISO colectadas entre Marzo 2010 y Febrero 2011. El contorno negro corresponde a 0 cm. El símbolo blanco indica la posición de la Estación 18.



Figura 109. Variabilidad temporal de (A) TSM, (B) clorofila-a (Cl-a), y (C) anomalía del nivel del mar (ANM) en la plataforma continental frente a Concepción. Las series de tiempo de TSM y Cl-a corresponden a promedios semanales de imágenes MODIS-Aqua para un pixel centrado en la Estación 18. La serie de tiempo de ANM corresponde a valores semanales extraídos de imágenes Aviso para un píxel de 1/3 de grado (ca. 30 km) centrado en 36°38.25'S, 73°00'W.



Figura 110. Climatologías de (A) TSM, (B) clorofila-a y (C) anomalía del nivel del mar, calculadas desde imágenes satelitales disponibles para el área de la Estación 18. Los símbolos y líneas de error grises corresponden al promedio ± 1 DS. Las líneas azules, verde y roja muestran la variabilidad registrada para TSM, CI-a y ANM durante el período Marzo 2010–Marzo 2011.



Figura 111. Variación mensual de los desembarcos de sardina y anchoveta en la región del Bio Bio (A) durante el período cubierto por la serie de tiempo de la Estación 18. Los paneles B y C presentan series de promedios mensuales para variables estudiadas a partir de imágenes satelitales para la región.



Figura 112. Asociación entre la variabilidad interanual de TSM, clorofila a superficial y ANM en la Estación 18 del Centro COPAS, y los desembarques registrados para sardina común (paneles superiores) y anchoveta (paneles inferiores) en la Región del Bío Bío. Cada símbolo corresponde a un año. Los valores asociados a desembarques corresponden a la sumatoria de anomalías mensuales, calculadas con base en un análisis armónico de las series de tempo de la figura anterior.

6. DISCUSION

6.1. Condiciones bio-oceanográficas durante el Crucero verano 2011

El crucero estival del proyecto FIP 2009-39 pudo cumplir con éxito los objetivos planteados, en el sentido en que se pudo cubrir toda el área de estudio, con mediciones de variables físicas, químicas y biológicas en un tiempo relativamente pequeño (10 días). La ventaja de una alta cobertura espacial en un menor tiempo, es que se pueden mitigar los efectos de la dependencia temporal de los patrones espaciales observados.

En un plano vertical fue posible también cubrir la capa fótica con mayor esfuerzo de muestreo y además incluir mediciones subsuperficiales hasta los 200 m, donde se manifiesta principalmente la dinámica de la termoclina, nutriclina y oxiclina. Adicionalmente se puedo obtener información del ambiente mesopelágico (>500 m) en varias zonas de la región más oceánica.

El análisis de la información obtenida nos indica que las condiciones de la zona de surgencia de las Regiones VIII y IX estuvieron dominadas por una surgencia activa, inducida por vientos dominantes de dirección S y SW. La manifestación de la surgencia activa origina una estructura física espacial caracterizada por una banda costera (<30 mn) de menor temperatura, mejor oxígeno superficial y mayor concentración de clorofila-a. No obstante la presencia de bahías, el golfo de Arauco y las puntas, también originan estructura espaciales distintivas, entre las cuales se destacan cuerpos de agua más cálidos en bahías y en el Golfo de Arauco, atribuibles a sombras de surgencia, y presencia de frentes asociados a puntas, como por ejemplo frente a Punta Lavapié. Esta estructura de mesoescala pueden también influir en la distribución de organismos del plancton en general.

Las condiciones de surgencia observadas son típicas de un verano neutral, o sujeto a una condición fría La Niña, desde el punto de vista de mayor escala en el Pacífico. El seguimiento en el tiempo de las condiciones en la estación 18 del estudio de serie de tiempo del Centro COPAS (Escribano & Schneider, 2007), claramente indica que estas Regiones han estado sujetas a condiciones frías La Niña, al menos durante los últimos 5

años. Las observaciones durante el crucero de verano del 2011 ratifican una condición de fuertes y persistentes vientos S y SW, bajas temperaturas superficiales en la zona de surgencia (<15 °C), presencia de remolinos de mesoescala y una zona de mínimo de oxígeno somera (<50 m) en la zona de surgencia. Sobre la base de la climatología de TSM, ANM y Clorofila-a satelital, el período del crucero refleja condiciones relativamente mas frías que un verano promedio histórico, pero que en conjunto no debieran considerarse como anomalías extremas, sino que básicamente responden a la condición fría La Niña que prevalece en el Pacífico Sur Oriental.

6.2. Características hidrográficas y procesos de meso-escala

La información obtenida in situ dan cuenta de un rasgo característico en la zona de estudio, que es la presencia de masa de agua de origen ecuatorial Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), confirmando la presencia de surgencia activa en el área de estudio. Por otra parte, el análisis de información meteorológica, así como satelital confirman una situación de surgencia intensa en la zona, durante el verano de 2011, con período más activos y también de relajación que se manifestaron durante el crucero. Estas condiciones son típicas de verano para la región (Strub et al., 1998; Escribano et al., 2004; Sobarzo et al., 2007), sugiriendo la ausencia de anomalías oceanográficas extremas en la región.

6.3. Patrones espaciales y variaciones en la comunidad planctónica

Una surgencia activa debería gatillar el aumento de macronutrientes en la capa fótica, no obstante los valores superficiales de nutrientes no son muy altos, comparados al monitoreo en Enero del año 2008 (Crucero FIP 2008-20). Esta diferencia puede ser indicativa de condiciones de mayor producción primaria y por ende mayor tasa de consumo respecto de la acumulación de nutrientes por surgencia.

En relación a los componentes biológicos, es notable la distinción de diferentes zonas dentro del área de estudio caracterizadas por agregaciones de fitoplancton, microplancton y zooplancton. La zona costera afecta a la surgencia claramente agrega los componentes biológicos, pero para algunos organismos como eufáusidos y gelatinosos es posible hallar agregaciones también en la zona de transición costera. Se sugiere al respecto un importante transporte de plancton desde la zona de surgencia hacia el área más oceánica producto de una alta actividad de mesoescala, derivadas de los filamentos de surgencia y remolinos. Estos procesos de mesoescala obedecen a la circulación de surgencia en esta región (Morales et al., 2010).

En el análisis de la estructura comunitaria de los componentes biológicos se pudo constatar que se mantienen los principales taxa planctónicos observados en cruceros previos para diferentes condiciones entre primavera y verano. En el microplancton predominan las diatomeas de mayor tamaño formadoras de cadenæ, siendo la clorofilaa en su fracción >micrones dominante en la biomasa del fitoplancton. En relación al zooplancton, aunque las especies dominantes han sufrido algunos cambios, en general son los copépodos pequeños ciclopoideo quienes controlan la abundancia en toda el área de estudio, mientras que el macrozooplancton se encuentra más alejado de la costa y en menores concentraciones.

En relación al ictioplancton se pudo observar que al menos para las especies de más importancia comercial, la condición de verano no es de desove, dada la baja presencia de huevos y larvas de peces. También se pudo constatar que los estadios tempranos de peces tienden a agregarse en la zona más costera afecta a la surgencia, excepto por algunas especies como mictófidos que se distribuyen en áreas más oceánicas. Todas estas observaciones son consistentes con estudios previos sobre la distribución de huevos y larvas de peces en esta región.

6.4. Variabilidad temporal en condiciones bio-oceanográficas – Series de tiempo

La serie de tiempo ambiental para todo el periodo cubierto por los monitoreos mensuales de la Estación 18 (2002-2011) muestra gran variabilidad interanual en forzamiento atmosférico, entradas de agua dulce y condiciones de superficie en el área. Además el ciclo anual es característico y predecible por su fuerte estacionalidad de la surgencia (Sobarzo et al., 2007). Sin embargo, la fluctuación estacional ha variado

sustancialmente entre años durante el periodo cubierto por la serie de tiempo, y ha redundado especialmente en diferencias entre inviernos. Estas diferencias se manifiestan asociadas a cambios en pluviosidad y aporte de los ríos Itata y Bio-Bio al mar. Se sugiere que estos cambios obedecen a variaciones climáticas de la cuenca del Pacífico derivadas de condiciones El Niño y La Niña, de carácter débil. Estas variaciones no obstantes no se ven reflejadas en cambios mayores en las condiciones químicas y biológicas de la columna de agua.

Los macronutientes también presentan un ciclo estacional, caracterizado por un mayor aporte de N derivado de la surgencia a la capa fótica (<30 m) y una notable disminución de N superficial hacia finales de verano, asociado al mayor consumo por parte del fitoplancton. Este ciclo anual es característico de la zona y no ha mostrado mayores variaciones entre el 2002 al 2010. La biomasa de fitoplancton también muestra esta fuerte señal estacional y sus mayores concentraciones se presentan usualmente en la transición de primavera a verano (Diciembre) de cada año, pudiendo superar los 50 mg Clorofila m⁻³. Estos cambios en biomasa se asocian al ciclo estacional de producción primaria en la zona de surgencia (Montero et al., 2007).

La estructura de los componentes planctónicos por otra parte, puede sufrir cambios importantes estacionales e interanuales. En la escala estaciona, el fitoplancton es dominado por flagelados, ciliados y diatomeas de pequeño tamaño (<50 micrones) en el otoño e invierno, mientras que desde el inicio de la primavera y hasta fines de verano las diatomeas formadoras de cadenas controlan la biomasa. Estos cambios son predecibles en el ciclo anual (Anabalón et al., 2007). No obstante, debe destacarse que los florecimientos de fitoplancton tienden a ser monoespecíficos (Herrera & Escribano, 2006), y las especies que controlan estos "blooms" varían fuertemente año a año.

Los componentes del meso y macrozooplancton también sufren cambios importantes en su estructura cuando se analizan como especies. El único patrón predecible en el ciclo anual es el aumento global del zooplancton y su biomasa en la zona de surgencia durante la primavera. Este patrón obedece a una agregación reproductiva en esta época (Escribano et al., 2007), pero también puede deberse a un efecto de agregación del zooplancton producto del ascenso de la ZMO y formación de frentes costeros en primavera (Escribano et al., 2004; Thiel et al., 2007). Las especies por otra parte varían

en forma impredecibles en sus a abundancias estacionales y en el orden de dominancia en los cambios interanuales.

6.5. Condiciones hidrográficas y su impacto en la actividad pesquera de las Regiones VIII y IX

El análisis de desembarques de recursos pesqueros, que incluyen sardina común y anchoveta, en relación a la variabilidad en TSM, ANM y Clorofila-a para los últimos 10 años sugiere una conexión entre la productividad primaria promovida por la surgencia durante la primavera-verano y los desembarque de otoño e invierno de estos recursos en el años siguiente. Aunque los desembarques no son una estimación de abundancia de los recursos, ellos reflejan el estado de la actividad de explotación. Estos resultados sugieren, que en la medida en que las regiones sostengan una surgencia activa e intensa en primavera-verano y que ésta promueva una alta producción primaria, los recursos anchoveta y sardina deberían sostener exitosamente sus poblaciones desde el punto de vista ambiental.

7. CONCLUSIONES

- a) El análisis integrado de la información derivada del crucero espacial y de la serie temporal mensual reafirma la alta productividad de sistema de surgencia de Chile centro/sur, y su dependencia de la surgencia inducida por los vientos S y SW. El período 2010 y 2011 manifiestan con claridad la alta producción biológica, asociada a una surgencia activa de mayor intensificación en primavera-verano.
- b) El proceso de surgencia manifiesta una fuerte estacionalidad, caracterizada por una intensificación de los vientos S y SW en la primavera y verano. Esta estacionalidad se manifiesta también en el ciclo anual de nutrientes, producción biológica, biomasa de fitoplancton y el desove de peces pelágicos y demersales. La producción primaria y el fljujo vertical de C sin embargo manifiestan sus propios regímenes estacionales, pudiendo incluso ser mayores en invierno. Esto se explica por una alta tasa de respiración comunitaria en invierno, sobrepasando la producción primaria, y un major flujo vertical de C en invierno derivado de la mayor producción de material fecal del zooplancton.
- c) La estacionalidad de ecosistema de surgencia es predecible año a año de acuerdo a la variabilidad oceanográfica observada en la serie de tiempo del 2002 al 2011. Las variaciones mayores interanuales se asocian a cambios en la pluviosidad que afectan la columna de agua, y a cambios en la estructura comunitaria de componentes biológicos en el fitoplancton y zooplancton. Aunque se observan cambios interanuales en variables oceanográficas durante los últimos 10 años, no se observan tendencias y ciclos de mayor escala. Se sugiere que eventuales tendencias o ciclos pudieran detectarse sobre la base de series de mayor extensión temporal (>10 años).
- d) Debe destacarse que todo el período observacional, 10 años de serie de tiempo y 12 meses de nutrientes y productividad primaria, ha estado sujeto a una condición esencialmente fría, con surgencia intensa y ausencia de eventos cálidos notables. Esta ha sido la condición general del Pacífico. Aunque el 2009 se anunció El Niño en el Pacífico Ecuatorial, éste no se manifestó en la costa Chilena, ni menos en nuestra región de estudio. Solamente el invierno de 2006 mostró una ligera anomalía

cálida en la costa Chilena, aunque no muy clara en esta región y al parecer sin mayor impacto en la productividad y componentes biológicos.

e) Es importante enfatizar la relevancia y pertinencia de contar con la información ambiental para el manejo, protección y entendimiento de este ecosistema marino. Los resultados de hecho sugieren una conexión entre recursos biológicos y la productividad del sistema. Los cambios climáticos que se están desarrollando en el océano global y la presión antrópica que se está ejerciendo sobre el ecosistema marino, pudieran reflejarse en las variables sujetas a este tipo de estudio. Cambios de mayor escala no obstante requieren de series observacionales sostenidas en el tiempo y de mayor extensión temporal.

8. REFERENCIAS

Ahumada, R., 1989. Producción y destino de la biomasa fitoplanctónica en un sistema de bahías en Chile central: una hipótesis. Biología Pesquera 18, 53-66.

Anabalón, V., Morales, C. E., Escribano, R., M.A., Varas, 2007. The contribution of namo and microplanktonic assemblages in the surface layer under dfferent hydrographic conditions in10 the upwelling area off central Chile, Prog. Oceanogr., 75, 396–414

Arcos, D., R.E. Wilson, 1984. Upwelling and distribution of Chl-a within the bay of Concepción, Chile. Estuarine, Coastal and Shelf Science 18, 25-35.

Arcos, D., N. Navarro, 1986. Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (lat. 37°S). Investigación Pesquera 33, 91-98.

Arcos, D., S.P. 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, 21-58.

Arcos, D., L.A. Cubillos, S.P. Núñez, 2001. The jack mackerel fishery and El Niño 1997-98 effects off 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.

Barber, R.T., R.L. Smith, 1981. Coastal upwelling ecosystems. In: Longhurst, A.R. (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 14, 45-84.

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 (Chile) 36, 27-38.

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 16, 42-45.

Cubillos, L.A., S. Núñez, D. Arcos, 1998. Producción primaria requerida para sustentar el desembarque de peces pelágicos en Chile. Investigaciones Marinas 26, 83-96.

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

Daneri, G., V. Dellarossa, R. Quiñones, B. Jacob, P. Montero, O. Ulloa, 2000. Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. Marine Ecology Progress Series 197, 41-49.
Deutsch, C., Sarmiento, J., Sigman, D., Gruber, N., Dunne, J. 2007. Spatial coupling of nitrogen inputs and losses in the ocean. Nature, Vol 445. doi:10.1038/nature05392

Dugdale, R.C., J.J. Goering, 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. Limnology and 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.

Eppley, R.W., B.J. Peterson, 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. Nature 282, 677-680.

Escribano, R., G. Daneri, L. Farías, VA. Gallardo, H. González, D. Gutiérrez, C. Lange, C. Morales, O. Pizarro, O. Ulloa, M. Braun, 2004. Biological and chemical consequences of the 1997-98 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. Deep-Sea Research, Part II. 51: 2389-2411

Escribano, R., W. Schneider, 2007. "The structure and functioning of the coastal upwelling system off central/southern Chile." Progress In Oceanography 75(3): 343-347.

Escribano, R., C.E. Morales, 2011. Spatial and temporal scales of variability in the coastal upwelling and coastal transition zones off central-southern Chile (35–40°S). Progress in Oceanography doi:10.1016/j.pocean.2011.07.019.

Farías, L., M. Graco, O. Ulloa, 2004. Nitrogen cycling in continental shelf sediments of the upwelling ecosystem off central Chile. Deep-Sea Research II 51, 2491-2505.

Faúndez, P.B., C.E. Morales, D. Arcos, 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, T., M. Farías, 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. Investigación Pesquera (Chile) 34,

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 matforming sulphur bacterium Thioploca. Nature 374, 713-715.

Goovaerts, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, New York.

Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling K., 1983, Methods of seawater analysis, (2nd edn.) Verl. Chem., Weinheim, 419 pp.

Gruber, N. & J.L. Sarmiento, 1997. Global patterns of marine nitrogen fixation and denitrification. Global Biogeochem. Cycles, 11(2), 235-266.

Herrera, L., Escribano, R., 2006. Factors structuring the phytoplankton community in the upwelling site off El Loa River in northern Chile. Journal of Marine Systems 61, 13-38.

Hormazábal, S., G. Shaffer, O. Leth, 2004. Coastal transition zone off Chile. Journal of Geophysical Research 109, doi:10.1029/2003JC001956.

Hormazábal, S., Nuñez, S., Arcos, D., Espíndola, F., Yuras, G., 2004. Mesoscale eddies and pelagic fisheries off central Chile. Gayana 68 (1), 291–296.

Knap, A.H., A. Michaels, R. Dow, R. Johnson, K. Gundersen, J. Soænsen, A. Clos, F. Howse, M. Hammer, N. Bates, A. Doyle, T. Waterhouse, 1993. U.S. Joint Global Flux Study, Bermuda Atlantic Time- Series Study. Bats Method Manual Version 3, 108 pp.

Lluch-Belda, D., R. Crawford, T. Kawasaky, A. MacCall, R.A. Parrish, R.A. Schwartzlose, P.E. Smith, 1989. World-wide fluctuations of sardine and anchovy stocks: the regime problem. South African Journal of Marine Science 8, 195-205.

Mann, K.H., J.R.N. Lazier, 1996. Dynamics of marine ecosystems. Biological-physical interactions in the ocean, 2nd. Blackwell Science, Malden.

Mann, K.H., R.N. Lazier, 1991. Dynamics of the marine ecosystems: biologicalphysical interactions in the oceans. Blackwell Scientific Publication, 464 pgs.

Margalef, R., 1978. What is an upwelling ecosystem? In: Boje, R., M. Tomczak (Eds.), Upwelling ecosystems. Springer-Verlag

McCullagh, P., J.A. Nelder, 1989. Generalized Linear Models. 2nd Ed. Chapman & Hall Parsons, T.R., Y. Maita, C. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, New York.

Morales, C.E., Torreblanca, M.L., Hormazabal, S., Correa-Ramírez, M., Nuñez, S., Hidalgo, P., 2010. Mesoscale structure of copepod assemblages in the coastal transition zone and oceanic waters off central-southern Chile. Progress in Oceanography 84, 158-173.

Morales C.E., González H.E., Hormazabal S.E., Yuras G., Letelier J., Castro L.R., 2007. The distribution of chlorophyll-a and dominant planktonic components in the coastal transition zone off Concepción, central Chile, during different oceanographic conditions. Progress in Oceanography 75: 452-259.

Montero, P., Daneri, G., Cuevas, L.A., González, H.E., Jacob, B., Lizárraga, L., Menschel, E., 2007. Productivity cycles in the coastal upwelling area off Concepción: the importance of diatoms and bacterioplankton in the organic carbon flux.Progress in Oceanography 75, 518–530.

Parsons, T.R., Y. Maita, C. Lalli, 1984. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, New York.

Peterson, W.T., D. Arcos, G. Mcmanus, H. Dam, D. Bellantoni, T. Johnson, P. Tiselius, 1988. The nearshore zone during coastal upwelling: daily variability and coupling between primary and secondary production of 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, Goteborg, Sweden

Rykaczewski, R.R., D.M. Checkley, 2008. Influence of ocean winds on the pelagic ecosystem in upwelling regions. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 105, 1965-1970.

Ryther, J.H., 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. Science 166, 71-76.

Shaffer, G., O. Pizarro, L. Djurfeldt, S. Salinas, J. Rutlant, 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., S. Hormazábal, O. Pizarro, S. Salinas, 1999. Seasonal and interannual variability of currents and temperature over the slope of central Chile. Journal of Geophysical Research 104, 29951-29961.

Silva, N., S. Neshyba, 1979. On the southern most extension of the Peru-Chile undercurrent. Deep-Sea Research 26, 1387-1393.

Silva, N., 1983. Masas de agua y circulación en la región norte de Chile (latitud 18°S-32°S). Ciencia y Tecnología del Mar. (Valparaíso) 7, 47-84.

Sobarzo, M., 1998. Surgencia costera sobre una plataforma continental limitada por cañones submarinos, Concepción Chile Central. Ph.D. Thesis. Departamento de Oceanografía. Universidad de Concepción, Concepción

Sobarzo, M., Bravo, L., Donoso, D., Garcés-Vargas, J., Schneider, W., 2007. Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over the continental shelf off central Chile. Progress in Oceanography 75, 363–382.

Strickland T. C., Fitzgerald J. W. and Swank W. T. 1984. Mobilization of recently formed forest soil organic sulfur. Canadian Journal of Forest Research 14, 63-67.

Strub, P.T., J.M. Mesías, V. Montecino, J. Rutlant, S. Salinas, 1998. Coastal ocean circulation off western South America. In: Robinson, A.R., K.H. Brink (Eds.), The Sea, 11. John Wiley & Sons, New York, pp. 273-313.

Thiel, M., Macaya, E., Acuña, E., Arntz, W., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P., Castilla, J.C., Castro, L.R., Cortés, M., Dumont, C.P., Escribano, R., Fernández, M., Lancellotti, D.A., Gajardo, J.A., Gaymer, C.F., Gómez, I., González, A.E., González, H.E., Haye, P.A., Illanes, J.-E., Iriarte, J.L., Luna-Jorquera, G., Luxoro, C., Manríquez, P.H., Marín, V., Muñoz, P., Navarrete, S.A., Pérez, E., Poulin, E., Sellanes, J., Sepúlveda, A., Stotz, W., Tala, F., Thomas, A., Vargas, C.A., Váquez, J.A., Vega,

J.M.A., 2007. The Humboldt Current System of northern-central Chile. Oceanographic processes, ecological interactions and socio-economic feedback. Oceanography and Marine Biology 45, 195–344.

Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 9, 1-39.

Williams, P.l., N.W. Jenkinson, 1982. A transportable microprocessor controlled precise Winkler titration suitable for field station and shipboard use. Limnology and Oceanography 27, 576-584.

9. ANEXO 1.- PERSONAL PARTICIPANTE

Nombre	Institución	Responsabilidad
Pamela Hidalgo	COPAS	Jefe de proyecto, coordinadora general, análisis espacial y de serie de tiempo. Componente Macro y Mesozooplancton.
Leonardo Castro	UDEC	Ictioplancton.
Oscar Pizarro	UDEC	Oceanografía física, data satelital y meteorológica.
Fabián Tapia	UDEC	Coordinación base de datos.
Camila Fernández	COPAS	Nutrientes, producción nueva y regenerada.
Giovanni Daneri	COPAS/CIEP	Producción primaria, oxígeno.
Humberto González	U. Austral-Chile	Flujos verticales, microplancton.
Rubén Escribano	UDEC	Coordinación serie de tiempo.
Carmen Morales	UDEC	Clorofila-a in situ.
Marcelo Fuentes	UDEC	Bases de datos, boletines.
Muestreadores (6)	COPAS	Toma de datos en las estaciones oceanográficas.
Técnico de laboratorio	COPAS	Análisis de las muestras de agua de mar (nutrientes).

Composición y organización de equipo profesional y técnico.

10. ANEXO 2.- PUBLICACIONES

Accepted Manuscript

Preface

Spatial and temporal scales of variability in the coastal upwelling and coastal transition zones off central-southern Chile (35-40°S)

Ruben Escribano, Carmen E. Morales

PII: DOI: Reference:	S0079-6611(11)00073-5 10.1016/j.pocean.2011.07.019 PROOCE 1116
To appear in:	Progress in Oceanography
Received Date:	6 July 2011
Accepted Date:	7 July 2011



Please cite this article as: Escribano, R., Morales, C.E., Spatial and temporal scales of variability in the coastal upwelling and coastal transition zones off central-southern Chile (35-40°S), *Progress in Oceanography* (2011), doi: 10.1016/j.pocean.2011.07.019

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Spatial and temporal scales of variability in the coastal upwelling and coastal transition

zones off central-southern Chile (35-40°S)

Ruben Escribano and Carmen E. Morales

Guest Editors

Center for Oceanographic Research in the eastern South Pacific (COPAS), Department of

Oceanography, University of Concepción, P.O. Box 160 C, Concepción, Chile.

rescribano@udec.cl, camorale@udec.cl

C^V

Key Words: Coastal Upwelling, Coastal Transition Zone, spatial and temporal scales, ecosystem components, observational systems.

1. Introduction

Eastern boundary current systems (EBCs) in the oceans are well known as regions where wind-driven upwelling provides higher nutrient concentrations which stimulates higher levels of biological production along the coastal band (Mackas et al., 2006; Freon et al., 2009). In turn, the enhancement in the ecosystem productivity is strongly linked to location of the main world fisheries (Cury and Roy, 1989; Checkley et al., 2009). Air-sea exchanges of greenhouse gases and heat is also intense in EBCs due to the upwelling of subsurface water masses and, thereby, these regions can have an important impact on the planet's climate (Bakun and Weeks, 2004; Naqvi et al., 2009). In addition, EBCs have been recognized as regions of relatively high levels of eddy kinetic energy and intense mesoscale activity which contribute to enhanced coastal-ocean exchanges of seawater properties and organic and inorganic matter within the so-called Coastal Transition Zone (Brink and Cowles, 1991; Barton and Aristegui, 2004). Productivity in this zone can be stimulated by the upwelling of water and nutrients within eddies (by eddy pumping or other processes) and/or by their advection from the coastal zone through filaments and eddies (Chaigneau et al., 2009; Keister et al., 2009).

In EBCs, the temporal and spatial scales of variability in the environment and in the biological components are highly dynamic and usually are coupled. For example, temporal variation may determine the magnitude of the net production during a given period, such as the annual cycle (Carr and Kearns, 2003; Montero et al., 2007), while spatial heterogeneity can provide transient or semi-permanent habitats where biological or biogeochemical processes may influence the whole community production and structure (Cury et al., 2000; Falkowski and Oliver; 2007). In coastal upwelling ecosystems, the biogeochemical processes and the biological

components/communities usually display a strong dependence upon several scales of temporal and spatial variation in the oceanographic environment (Yachi and Loreau, 1999; Herrera and Escribano, 2006). In this sense, a better understanding of the ecosystem structure and functioning in EBCs is tightly linked to having available an *in situ* observational system which periodically monitors most of the ecosystem components over time and space. Unfortunately, today most EBCs lack such a system (Freon et al., 2009), except for the recording of the environmental and biological variability in surface waters through satellite imagery.

The Humboldt Current System (HCS) represents the EBC system of the eastern South Pacific Ocean (Fig. 1) and it covers a relatively extensive latitudinal range (from close to the Equator to $\sim 40^{\circ}$ S) along which distinct seasonal patterns in the oceanographic and meteorological settings can be found. On this basis, several sub-regions can be distinguished: Peru (5-18°S), northern Chile (18-30°S), and central-southern Chile (30-42°S) although some recent EBC comparative synthesis have treated the HCS as a single system, focusing on only one of these sub-regions (Chavez and Messié, 2009; Freon et al., 2009). A large effort has been made during the last decade to describe the main aspects of the structure and functioning of the ecosystems in each sub-region (Morales and Lange, 2004; Escribano and Schneider, 2007; Thiel et al., 2007; Chavez et al., 2008; Montecino and Lange 2009; Ulloa and Pantoja, 2010). The use of satellite remote sensing of water column properties and dynamics, together with phytoplankton total biomass, has greatly contributed to understand the extent of spatial and temporal variations of these parameters in the HCS (Yuras et al., 2005; Correa-Ramirez et al., 2007; Echevin et al., 2008; Thomas et al., 2009). Nevertheless, a critical issue relates to the lack of sustained *in situ* observational systems in the HCS that include several of the ecosystem components and processes. Modeling efforts and predictions on the eventual changes in these ecosystems due to

local, regional, and global processes can only be representative and validated if our knowledge of their spatial and temporal variations can be greatly improved in the coming years and decades.

The HCS off central Chile (Fig. 1) accounts for a large fraction (>30%) of total fish landings in Chile, the fishery being based on pelagic species (mostly horse mackerel, anchovy and sardines) and demersal fish (Chilean hake), reaching more than 4 million tons a year in the past 10 years (Thiel et al., 2007; Montecino and Lange, 2009). Despite the economic and social importance of its fisheries, the understanding of the sources and leading scales of variability in the living resources, as well as in the pelagic and benthic environments and components, and in its remarkably high levels of productivity is far behind that known for other EBCs. Focusing on this limitation, the Center for Oceanographic Research in the eastern South Pacific (COPAS) has been running a time series in the HCS off Concepción, located off central-southern Chile (Fig. 1). There, a fixed coastal station (Station 18, ~36°S) has been consistently sampled since 2002, including a large range of the ecosystem variables (i.e. meteorological, physical, chemical, molecular, biological, ecological, biogeochemical, and paleoceanographic aspects). In addition, this effort has been complemented with analyses of satellite time series data and with oceanographic cruises of extensive spatial coverage within this sub-region.

This special volume summarizes some of the advancements made in the characterization of the spatial and temporal variability of the ecosystem in the coastal upwelling zone (CUZ) and coastal transition zone (CTZ) off central-southern Chile, and in the exploration of the forcing factors. Our goal is to provide: i) a more comprehensive framework to the attempts to compare the structure and functioning of EBCs, their leading scales of variability in the oceanographic, biogeochemical, and ecological domains, and ii) a stronger data base for the purposes of modeling and predicting the changes in the system in response to natural or man-induced

perturbations, such as the El Niño Southern Oscillation (ENSO), fishing pressure, coastally trapped waves, and/or ongoing climate change.

2. The central-southern Chile CUZ and CTZ ecosystems: knowns and unknowns

The oceanographic, biogeochemical, and ecological characteristics of the HCS off centralsouthern Chile have been summarized by several authors, especially during the last 10 years (Strub et al., 1998; Morales and Lange, 2004; Montecino et al., 2006; Escribano and Schneider, 2007; Thiel et al., 2007; Montecino and Lange, 2009). Briefly, this sub-region exhibits strong seasonal upwelling during the austral spring and summer period, with important upwelling centers at Punta Nugurne (~36°S), Punta Lavapié (~37°S), and Punta Galera (~40°S). The continental shelf is relatively wide (50-60 km) in some areas (e.g. the Itata Terrace) and extremely narrow at submarine canyons (i.e. the BioBio and the Itata canyons). The coastal area is mostly influenced by the following water masses: Subantarctic Surface Water (SAAW) and Equatorial Subsurface Water (ESSW). The latter is associated with an Oxygen Minimum Zone (OMZ), so that very low oxygen conditions ($<0.5 \text{ mL L}^{-1}$) in the water column (>20 m depth) and over the sediments in the continental shelf and shelf break areas are present mostly during the upwelling period. Rivers (i.e. Itata and Bio-Bio) and relatively high levels of precipitation also contribute to the variations in the structure of the water column (i.e. lower salinity, enhanced stratification) during the winter season. The CTZ in this region is characterized by moderate levels of eddy kinetic energy which generate intense mesoscale activity out to 600-800 km from the coast. Although seasonal variability in the oceanographic setting has been characterized in

many of the existing studies and synthesis on this sub-region, the extent to which this entire system (CUZ and CTZ) responds to local and remote forcing and the manifestation of these responses in the spatial and temporal domains remain to be assessed.

Primary productivity in the coastal waters of the HCS off central-southern Chile is among the highest in the world oceans (up to 5-10 g C m⁻² d⁻¹). However, its trophic transfer to pelagic fishes (i.e. the "traditional" food web), which sustain most of the fisheries in this sub-region, does not appear to be the main pathway; instead, microbial food webs are apparently more relevant. Phytoplankton biomass and autotrophic photosynthetic production, as well as metazooplankton biomass and abundance, all display a high degree of seasonality in the coastal ecosystem, in parallel with the changes in oceanographic conditions. However, the level of variability at other, lower or higher frequencies is still poorly known, as are the spatial scales of variability other than those revealed by satellite imagery. On the other hand, the biogeochemical dynamics and community structure in the system are strongly modulated by the presence of the OMZ. The effects the OMZ over the pelagic and benthic communities has been tackled in several studies, providing new knowledge on the structure and functioning of ecosystems under low oxygen waters or anoxia. Nevertheless, the time-space intensification/weakening of the OMZ layer in terms of its effect upon the ecosystem functioning and fisheries production is still unknown. Overall, we believe that COPAS efforts during the last 8 years have contributed to make available today a collection of time series data on the ecosystem off central-southern Chile, the advances in knowledge being represented in the results of the present volume.

3. Spatial and temporal variability in the CUZ and CTZ region off central-southern Chile: advances

In this special volume, 17 studies related to the understanding of the spatial and temporal variability of the oceanographic environment, biogeochemical and the biological components, and living resources of the ecosystems linked to the CUZ and CTZ off central-southern Chile have been included. These studies represent a valuable contribution to understand in greater depth the system: several studies combine the temporal and the spatial dimensions of the changes, while previous studies focused mainly on the temporal variability at St. 18 (e.g. Escribano and Schneider, 2007). Moreover, a number of them now include the CTZ, where the influence of upwelling is still noticeable but which has been poorly studied until very recently (e.g. Morales et al., 2007, 2010). In addition to the analysis of data derived from the COPAS time series at St. 18 (www.copas.cl), some of the studies in this issue include spatial surveys in the area around the fixed station or larger scales. In particular, annual field surveys have been performed during the upwelling season (2004 through 2011) covering a large part of the CUZ and CTZ, as part of a monitoring program supported by the Chilean Fishery Research Fund (FIP). Also, ship of opportunity cruises from several sources as well as satellite-gathered time series data complement the results of some of the studies included in this issue. These studies have been organized in three inter-connected themes, as derived from the conceptual diagram of the ecosystem represented in Fig. 2.

3.1. Past and present environmental variability and nutrient cycling

A comprehensive study of the spatial and temporal environmental variability of a large part of the HCS region (10 to 40° S), including 11 years of satellite data on surface chlorophyll-a, wind, and altimetry, is presented by **Correa-Ramírez et al**. (in press). These results indicate that wind stress and Rossby wave propagation govern the annual chlorophyll-a signal in the CUZ and the CTZ. Also, they show that eddy kinetic energy amplifies this signal off Peru and central-southern Chile. In the oceanic zone, the wind stress curl controls the seasonal increase in chlorophyll-a in austral spring. The interannual chlorophyll-a variability, also a significant mode, appears to be closely associated with El Niño perturbations and is transmitted from the coast towards the oceanic region via Rossby waves and mesoscale eddies. Complementing the understanding of the environmental factors that are relevant to the ecosystems in the HCS off central-southern Chile, Hernandez et al. (in press) analysed the variation of incident solar radiation (PAR and UVR) and evaluated the factors modulating it in the CUZ off Concepción. Their results reflect a coupling between the different solar radiation wavelength bands and some atmospheric variables (i.e. cloudiness, winds, and ozone) over several temporal and synoptic spatial scales. In turn, these patterns of variation generate recurrent conditions that might modulate biological processes over different time scales. The authors suggested that, because the surface solar irradiance patterns observed off Concepción respond to a regional meteorological system, their results are likely to apply to other relevant upwelling centers in the HCS.

A large number of studies on the productivity of coastal upwelling areas in EBCs have been concerned with the availability of new nutrients (i.e. nitrate) in the euphotic zone, as a key environmental variable in stimulating high rates of primary production in the upper layer. In areas where upwelling is highly seasonal, such as off central-southern Chile, the processes contributing to this production during the non-upwelling season are far less clear. Moreover,

nitrate availability in the euphotic layer in the HCS ecosystems is controlled to a high degree by the presence of a shallow OMZ, where processes such as denitrification and anammox can contribute to its loss or limitation. In this regard, the study by Molina et al. (in press) focused on the contribution of different microbial components and metabolisms to ammonium cycling, together with estimating carbon assimilation processes in the water column during the nonupwelling period in the CUZ off Concepcion. They found intense ammonium transformations; bacterioplankton contributed the most to its production whereas aerobic ammonium oxidizers (upper layer) and eukaryotes (OMZ) accounted for most of its consumption. Also, nitrification oxidized an important proportion of the ammonium and provided a source of regenerated nitrate. They estimated that integrated rates of chemosynthesis represent a large proportion (51%) of the total dark carbon fixation, a relevant contribution considering that the integrated photosynthetic rates are usually low during the non-upwelling period. In Galán et al. (in press), the phylogenetic affiliation and seasonal variability in the abundance of planktonic anammox bacteria were studied at St. 18. Their results showed the presence of a single anammox bacterialike ribotype, phylogenetically associated with an OMZ subcluster within the Candidatus Scalindua clade. Also, they describe a clear seasonal pattern in the temporal and vertical distribution of anammox cells; relatively high abundances and large cells were found in the subsurface during the upwelling compared with the non-upwelling season, when the cells were predominantly associated with the bottom layer. They concluded that the anammox planktonic assemblages are favoured by the environmental conditions associated with the occurrence of seasonal, wind-driven, coastal upwelling. On the other hand, Cornejo and Farías (in press) tackled another theme relevant to the nitrogen (N) cycle in EBCs, that is, the potential loss of N via the formation of N₂O in the coastal band off central Chile during the upwelling season. Their

results show that the surface layer was most of the time a source of N_2O to the atmosphere but the flux showed important meridional variability. Also, the highest N_2O accumulation was found in the oxycline and in the OMZ. Overall, the authors estimated that this coastal area could make an important contribution of N_2O to the atmosphere during the upwelling season.

Two studies in this issue covered the paleoceanographic variability in the oceanographic setting and productivity in the upwelling area off Concepción. Sanchez et al. (in press) analyzed the variability of siliceous microorganisms in the water column and their preservation in the underlying sediments at St. 18, as well as their sedimentary record. Their reconstruction revealed a marked decrease in diatom accumulation rates beginning in the late 19th and continuing throughout the 20th century, accompanied by increasing concentrations of lithogenic particles and freshwater diatoms. They argue that these changes occurred simultaneously with increasing temperatures, suggesting an intensification in the influence of ENSO-like variability in the ocean-climate system off central-southern Chile during the past ~150 years. On the other hand, Muñoz et al. studied the sediment trace metal geochemistry and biogenic deposition on the shelf area off Concepción and evaluated their use as paleoproductivity and paleoxygenation proxies. Their results suggest that the variability in the trace metal distribution is determined by redox conditions and the organic carbon flux to the bottom. Based on this, the authors described several periods of lower and higher oxygenation in the sediments within the last 6,000 years, and revealed that the latter lasts longer and is associated with lower levels of productivity and a higher influence of terrestrial input.

Altogether, the studies in this section document a strong interplay between the temporal and spatial changes in the meteorological and oceanographic conditions in the upwelling zone off

central Chile, variations which directly or indirectly affect the ecosystem structure and productivity, as detailed in the following sections.

3.2. Planktonic systems: temporal and spatial variability

Two studies analyze the variability of primary production in the area off Concepción but from different perspectives. A short note by Daneri et al. (in press) summarizes the effects of shortterm (days) environmental variability upon the community structure and primary production during the upwelling season in the nearshore. Their results showed that the variability in primary production is tightly coupled to the high frequency fluctuations in local upwelling conditions. Temporal changes in primary production in the high frequency domain have been seldom studied in the HCS off central-southern Chile (but see Peterson et al., 1988) and it remains to be assessed whether this source of variability is or not a dominant mode whereas most of the efforts up to date have focused on the seasonal scale (e.g. Montero et al., 2007). The study by Iriarte et al. (in press) assessed the small spatial variability in planktonic structure and primary production in the upwelling area under river influence during upwelling and non-upwelling periods. Their results showed that greater primary production and phytoplankton biomass, dominated by microplankton, represented a response to upwelling-forced variability rather than to the influence of freshwater inputs. The predominantly river-induced conditions of the non-upwelling period and the proximity to the river-influenced area led to a dominance of pico- to nanoplankton primary production and biomass. In studying the spatial and temporal variation in the plankton during the upwelling season in the CUZ off Concepcion, Morales and Anabalón (in press) found that most of the spatial variability in chlorophyll-a and microbial abundances was not

significant but data variability was high; water-column structure explained an important part of the spatial variability but the responses of the planktonic components were linear or non-linear. They concluded that, for the most part, St. 18 adequately represents the mean oceanographic conditions and the structure of planktonic communities in the coastal waters during spring. However, they suggested that spatial variability needs to be taken into account in the interpretations of temporal changes at this fixed station as well as in assessments of carbon flow within, and exportation processes from, this upwelling system.

Three studies in this special issue focused on the metazooplanktonic components and the spatial and/or temporal variability in composition, distribution and abundance. Manríquez et al. (in press) examined the spatial structure of the zooplankton community in the coastal upwelling system off Concepcion as assessed by automated image analysis. Spatial patterns in the size structure of the zooplankton community were found, together with a strong coupling to the physical and chemical structure of the water column. They also found a strong influence of the temporal scales over the spatial patterns of distribution, such that time-dependent effects resulting from zooplankton behavior (e.g. vertical migration) act over time scales shorter than the spatial observations and need to be taken into account. In the same context, Hidalgo et al. (in press) described the spatial diversity patterns in copepods, the dominant group in the zooplankton, and their close link to upwelling variation off Concepcion. They incorporated copepod size in the analysis of species diversity and concluded that the degree to which the composition is affected by upwelling forces depends on the organism size. Similar responses in the spatial patterns of diversity were found in euphausiids in the CUZ and CTZ by **Riquelme**-Bugueño et al. (in press). However, this group exhibited more structured assemblages of species, possibly influenced by much longer (> 6 months) life cycles compared to the copepods.

3.3. Variability in living resources

The extent of the spatial and temporal variability in the recruitment of resources in the upwelling area off central-southern Chile, several of which have a high economic importance, is analyzed in four studies. Landaeta and Castro (in press) describe the temporal variability in the reproductive activity of the Chilean hake (Merluccius gavi), a demersal fish. They found that the highest reproductive activity takes place during the austral spring, with large egg aggregations near the shelf break, and that recently hatched larvae consumed their yolk-sac in 3-4 days. In contrast, during the secondary reproductive peak, hake spawned nearshore and the relatively large yolk-sac volume provided endogenous nourishment for at least 5 days. A strong decline occurred after 2002 in adult biomass and body size, coinciding with a variation in spawning locations and a decline in egg size. These changes, as well as those associated with another important resource, jack mackerel (Trachurus murphy), may be related to biological responses to environmental forcing acting over the interannual scale but the impact of increased fishing on populations cannot be discarded (Brochier et al., 2009). It appears, however, that a longer (>10 years) observational window is required to assess these population responses to large-scale environmental forcing.

Two studies in this issue focus on the effects of spatial and temporal environmental variability upon anchovy (*Engraulis ringens*) eggs and larvae in waters off central-southern Chile, using a modeling approach. **Parada et al**. (in press) analyzed the spatial and seasonal variability in larval transport in association with the patterns of across- and alongshore water circulation, using an IBM (individual-based model) coupled to a hydrodynamic ROMS (Regional Ocean Modelling

System) model. The model was capable of spatially and temporally reproducing the occurrence of pre-recruits in the historical nursery zones (35-37°S) and it also identified the zone off Lebu-Corral (38-40°S) as one of high retention and high pre-recruit index (a proxy for transport success to the nursery area), although field data on pelagic fish pre-recruitment in the latter zone are scarce. These simulations results are the first of this kind for the area of study and provide several insights on the mechanisms that might be involved in the definition of the spawning/nursery areas for small pelagic fish and the implications this may have on recruitment variability. Using a similar approach, Soto-Mendoza et al. (in press) examined the influence of spatial and temporal variability in the spawning zones on the transport and survival of the early stages of anchovy in central-southern Chile. The simulation results were compared with the abundance and distribution of eggs and yolk-sac larvae found during field surveys. The results showed that variability in spawning modulated the survival of eggs and yolk-sac larvae and that the model results on transport of the early stages had an important south-north direction. They also found that the greatest sources of eggs and larvae to the pre-recruitment zones came mostly from four spawning zones and that retention occurred in all of them. Mortality due to temperature and advective losses had a latitudinal trend, being more intense at higher latitudes (38-40°S).

The study by **Yannicelli et al**. (in press) analyzed the distribution of the squat lobster (*Pleuroncodes monodon*) planktonic larvae by combining field observations and a modelling (IBM-ROMS coupled model) approach and, based on this, the extent of the retention/transport of the larvae in the area off Concepcion was evaluated. Pelagic retention areas, where all larval stages aggregated, were identified over the Itata terrace, where the shelf area is wider. The IBM simulations showed that the largest contribution to the recruiting larvae came from release sites

close to the nursery, although larvae released further north could also contribute to recruitment if hatching occurred later in the upwelling season. The contribution of vertical behavior to larval success was also important, as was the former's interaction with the site and time of larval release. These results stress the relevance of coastal circulation (affected by topography) on the persistence of the population in the coastal area, and the modulation of temporal variability.

4. Synthesis

The CUZ and CTZ off central-southern Chile are part of one of the most highly productive regions in the HCS. In this region, COPAS has devoted nearly 8 years of intensive research on the oceanographic, biogeochemical, biological-ecological, and sedimentary aspects of the ecosystems, covering different temporal and spatial scales. A summary of the main findings concerning the variability in the ecosystem components and processes in the spatial and temporal dimensions, along with the factors/controls behind them is presented in this special issue and, as a conceptual diagram, in Fig. 2.

A key aspect stressed in the studies included in this issue is the strong modulation of the environmental, community, biogeochemical, and fisheries components by seasonal upwelling variation. But beyond this strong signal –perhaps the most studied dimension in this system– other sources of upwelling variability are relevant, as stressed in the studies in this issue, in particular the interannual variability which seems well connected to variation in the strength and frequency of upwelling events, and possible length of the upwelling season each year. This source of variability may ultimately determine important changes in community structure and

productivity, as revealed by paleoceanographic proxies, biogeochemical cycling and in the fisheries. Other sources of temporal variation (e.g., daily, weekly, intra-seasonal, etc.) are also expressed in the CZU and CTZ ecosystems, and as part of the coastal upwelling process, but we know far less of them at present.

The most important contribution, however, in the understanding of the variability in the ecosystems under study comes from the incorporation of the spatial dimension (from submesocale to regional patterns) in this issue. The addition of this dimension has provided a different perspective on the temporal changes at all scales and, certainly, it stresses the relevance of combining these dimensions as the only way to understand and predict the variations in the ecosystem in response to disturbances, such as fishing pressure, contamination, and climatic events. All of these findings are, perhaps, not new in the general knowledge on EBCs but it is the first time that these findings are detailed in a comprehensive set of interconnected studies concerning the ecosystems off central-southern Chile.

Acknowledgements

We are indebted to all reviewers, who devoted their precious time in assisting us and ensuring that the submitted manuscripts resulted in high quality scientific papers. The COPAS Center and the COPAS Time Series Study are funded by CONICYT (the Chilean Commission for Science and Technology) through its FONDAP Program (Grant 15010007). Additional support for the Time Series Study has been provided by the Chilean Fishery Research Fund (FIP) through several grants (FIP 2004-20, FIP 2005-1, FIP 2006-12; FIP 2007-10; FIP 2008-20; FIP 2009-39). We thank the crew of the L/C Kay Kay and L/C Kay Kay II of the University of Concepción,

and many students and technicians who have been enthusiastic participants in the demanding fieldwork.

References

- Bakun, A., Weeks, S. J., 2004. Greenhouse gas buildup, sardines, submarine eruptions, and the possibility of abrupt degradation of intense marine upwelling ecosystems. Ecological Letters 7, 1015–1023.
- Barton, E.D., Aristegui, J., 2004. The Canary Islands coastal transition zone—upwelling, eddies and filaments. Progress in Oceanography 62, 67–69.
- Brink, K., Cowles, T., 1991. The coastal transition zone experiment. Journal of Geophysical Research 96, 14637–14647.
- Chaigneau, A., Eldin, G., Dewitte, B., 2009. Eddy activity in the four major upwelling systems from satellite altimetry (1992–2007). Progress in Oceanography 83, 117-123.
- Carr, M.-E., Kearns, E.J., 2003. Production regimes in four Eastern boundary current systems. Deep-Sea Research II 50, 3199–3221.
- Chavez, F.P., Messié, M., 2009. A comparison of eastern boundary upwelling systems. Progress in Oceanography 83, 80–96.
- Chavez, F.P., Bertrand, A., Guevara-Carrasco, R., Soler, P., Csirke, J., 2008. The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future.Progress in Oceanography 79, 95–105.

- Checkley, D.M., Alheit, J., Oozeki, Y., Roy, C., 2009. Climate change and small pelagic fish. Cambridge University Press, Cambridge, 408 pp.
- Cornejo, M., Farías, L., in press. Meridional variability of the vertical N2O structure and air-sea fluxes off central Chile (30°-40°S). Progress in Oceanography.
- Correa-Ramírez, M.A., Hormazábal, S., Yuras, G., 2007. Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29°–39°S). Geophysical Research Letters 34, L12604, doi:10.1029/2007GL029541.
- Correa-Ramírez, M., Hormazabal, S., Morales, C.E., in press. Spatial patterns of the annual and interannual chlorophyll-a variability in the Peru-Chile Current System. Progress in Oceanography.
- Cury, P., Roy, C., 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 46, 670-680.
- Cury, P., Bakun, A., Crawford, R.J.M., Jarre, A., Quiñones, R.A., Shannon, L.J., Verheye, H.M., 2000. Small pelagic in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in "wasp-waist" ecosystems. ICES Journal of Marine Science 57, 603–618.
- Daneri, G., Lizárraga, L., Montero, P., González, H., Tapia, F., in press. Wind forcing and shortterm variability of phytoplankton and heterotrophic bacterioplankton in the coastal zone of Concepcion upwelling system (Central Chile). Progress in Oceanography.
- Echevin, V., Aumont, O., Ledesma, J., Flores, G., 2008. The seasonal cycle of surface chlorophyll in the Peru upwelling system: a modelling study. Progress in Oceanography 79, 167-176.
- Escribano, R., Schneider, W., 2007. The structure and functioning of the coastal upwelling system off central/southern Chile. Progress in Oceanography 75, 343-347.

- Falkowski, P. G., Oliver, M. J., 2007. Mix and match: How climate selects phytoplankton. Nature Reviews Microbiology 5, 813-819.
- Freon, P., Barange, M., Aristegui, J., 2009. Eastern Boundary Upwelling Ecosystems: Integrative and comparative approaches. Progress in Oceanography 83, 1–14.
- Galán, A., Molina V., Belmar, L., Ulloa, O., in press. Temporal variability and phylogenetic characterization of planktonic anammox bacteria in the coastal upwelling ecosystem off central Chile. Progress in Oceanography.
- Hernández, K., Yannicelli, B., Montecinos, A., Ramos, M., Gonzalez, H., Daneri, G., in press.
- Temporal variability of incidental solar radiation and modulating factors in a coastal upwelling area (36°S). Progress in Oceanography.
- Herrera, L., Escribano, R., 2006. Factors structuring the phytoplankton community in the upwelling site off El Loa River in northern Chile. Journal of Marine Systems 61, 13-38.
- Hidalgo, P., Escribano, R., Fuentes, M., Jorquera, E., Vergara, O., in press. How coastal upwelling influences spatial patterns of size-structured diversity of copepods off centralsouthern Chile (summer 2009). Progress in Oceanography.
- Iriarte, J.L., Vargas, C.R., Bermúdez, JR, Urrutia, H., Tapia, F., in press. Primary production and plankton carbon biomass in a river-influenced upwelling area off Concepción, Chile. Progress in Oceanography.
- Keister J.E., Peterson W., Pierce S., 2009. Zooplankton distribution and cross-shelf transfer of carbon in an area of complex mesoscale circulation in the northern California Current. Deep-Sea Research Part I 56, 212–231.
- Landaeta, M., Castro, L.E., in press. Seasonal and annual variation in Chilean hake Merluccius gayi spawning locations and egg size off central Chile. Progress in Oceanography.

- Mackas, D.L., Strub, P.T., Thomas, A., Montecino, V., 2006. Eastern ocean boundaries panregional overview. In: The Sea. The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses. Harvard Press, pp. 21–59 (Chapter 10).
- Manríquez, K., Escribano, R., Riquelme-Bugueño, R., in press. Spatial structure of the zooplankton community in the coastal upwelling system off central-southern Chile in spring 2004 as assessed by automated image analysis. Progress in Oceanography.
- Molina, V., Morales, C.E., Farías, L., Cornejo, M., Graco, M., Eissler, Y., Cuevas, L.A., in press. Potential contribution of planktonic components to ammonium cycling in the coastal area off central-southern Chile during non-upwelling conditions. Progress in Oceanography.
- Montecino, V., Strub, T., Chávez, F., Thomas, A., Tarazona, J., Baumgartner, T., 2006. Bio-physical interactions off Western South-America. In: Robinson, A.R., Brink, K.H. (Eds.),
 The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses. The Sea, vol. 14, pp. 329–390 (Chapter 10).
- Montecino, V., Lange, C.B., 2009. The Humboldt Current System: ecosystem components and processes, fisheries, and sediment studies. Progress in Oceanography 83, 65-79.
- Montero, P., Daneri, G., Cuevas, L.A., González, H.E., Jacob, B., Lizárraga, L., Menschel, E., 2007. Productivity cycles in the coastal upwelling area off Concepcion: The importance of diatoms and bacterioplankton in the organic carbon flux. Progress in Oceanography 75, 518-530.
- Morales, C.E., Lange, C.B., 2004. Oceanographic studies in the Humboldt Current System off Chile: an introduction. Deep-Sea Research Part II 51, 2345–2348.
- Morales, C.E., González, H.E., Hormazabal, S.E., Yuras, G., Letelier, J., Castro, L.R., 2007. The distribution of chlorophyll-a and dominant planktonic components in the coastal transition

zone off Concepción, central Chile, during different oceanographic conditions. Progress in Oceanography 75, 452–469.

- Morales, C.E., Torreblanca, M.L., Hormazabal, S., Correa-Ramírez, M., Nuñez, S., Hidalgo, P., 2010. Mesoscale structure of copepod assemblages in the coastal transition zone and oceanic waters off central-southern Chile. Progress in Oceanography 84, 158-173.
- Morales, C.E., Anabalón, V.S., in press. Phytoplankton biomass and microbial abundances during the spring upwelling season in the coastal area off Concepción, central-southern Chile: variability around a time series station. Progress in Oceanography.
- Muñoz, P., Dezileau, L., Sellanes, J., Lange, C., Cárdenas, L., in press. Sediment trace metal geochemistry at the upwelling center off Concepción, Chile (36° S): an evaluation as paleoproductivity and paleoxygenation proxies. Progress in Oceanography.
- Naqvi, SWA, Bange, HW, Farias, L., Monteiro, PMS, Scranton, MI, Zhang, J., 2009. Coastal hypoxia/anoxia as a source of CH₄ and N₂O. Biogeosciences Discussion 6, 1–69.
- Parada, C., Colas, F., Soto-Mendoza, S., Castro, L.E., in press. Effects of seasonal variability in across- and alongshore transport of anchoveta (*Engraulis ringens*) larvae on model-based pre-recruitment indices off central Chile. Progress in Oceanography.
- 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.
- Riquelme-Bugueño, R., Nuñez, S., Jorquera, E., Valenzuela, L., Escribano, R., Hormazabal, S., in press. The influence of upwelling variation on the spatially-structured euphausiid community of central-southern Chile in 2007-2008. Progress in Oceanography.

- Sanchez, G., Lange, C., González, H., Vargas, G., Muñoz, P., Cisternas, C., Pantoja, S., in press. Siliceous microorganisms in the upwelling center off Concepción, Chile (36°S): Preservation in surface sediments and downcore fluctuations during the past ~150 years. Progress in Oceanography.
- Soto-Mendoza, S., Parada, C., Castro, L., Colas, F., Schneider, W., in press. Modeling transport and survival of anchoveta eggs and yolk sac larvae in the coastal zone off central-south Chile: assessing spatial and temporal spawning parameters. Progress in Oceanography.
- Strub, P., Mesías, J., Montecino, V., Ruttlant, J., 1998. Coastal ocean circulation off western
 South America. In: Robinson, A., Brink, K. (Eds.), The Global coastal ocean. The Sea, Vol.
 11. John Wiley and Sons, Inc., N.Y., pp. 273-313.
- Thiel. M., Macaya, E.C., Acuña, E. et al. (other 25 authors), 2007. The Humboldt Current system of northern and central Chile. Oceanographic Processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. Oceanography and Marine Biology: An Annual Review 45, 195-344.
- Thomas, A.C., Brickley, P., Weatherbee, R., 2009. Interannual variability in chlorophyll concentrations in the Humboldt and California Current Systems. Progress in Oceanography 83, 386–392.
- Ulloa, O., Pantoja, S., 2009. The oxygen minimum zone of the eastern South Pacific. Deep-Sea Research II 56, 987-991.
- Yachi, S., Loreau, M., 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment : the insurance hypothesis. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 96, 1463–1468.
- Yannicelli, B., Castro, L.E, Parada, C., Schneider, W., C., Colas, F., Donoso, D., in press.Distribution of *Pleuroncodes monodon* larvae over the continental shelf of south central

Chile: field and modelling evidence for partial local retention and transport. Progress in Oceanography.

Yuras, G., Ulloa, O., Hormazabal, S., 2005. On the annual cycle of coastal and open ocean satellite chlorophyll off Chile (18°-40°S). Geophysical Research Letters 32, L23604.

Figure Captions

Figure 1: The Humboldt Current System (HCS) in the South eastern Pacific Ocean (off western South America, left panel), the HCS region off central Chile (upper-right panel), and the area of study off central-southern Chile (bottom-right panel). Details of the bathymetry (in meters) are shown for the region and area of study, including the coastal upwelling zone (shelf areas) and the adjacent coastal transition zone. In the area of study, the coastal upwelling zone off Concepción is shown in detail, including the location of the COPAS time series Station 18 (star), on the shelf (Itata Terrace) off Coliumo Bay, and Station 40 (diamond) over the continental slope.

Figure 2: Conceptual diagram illustrating the ecosystems in the coastal upwelling zone (CUZ) and coastal transition zone (CTZ) of central-southern Chile in the context of the topics included in this issue. The spatial and temporal dimensions are shown as strongly linked aspects of the variability in the environment, the communities, the fisheries, and the biogeochemical cycling during the past and the present times; in turn, each component influences or affects, directly or indirectly, other components (e.g. stratification on community structure, organic matter on OMZ intensity, eddies on phytoplankton biomass, anammox on nitrogen availability, advection on the survival of larval fish, etc.). Also, the ecosystems components and processes generate active exchanges of properties and materials between and outside their boundaries, leading to export, advection, and/or retention of them, depending on the spatial and temporal dimension of the forcing behind (e.g. outflux of N₂O to the atmosphere, coastal advection of plankton to the CTZ, export of organic matter to the sediments, retention of larvae in coastal embayments, river input of nutrients).





- The Central/southern upwellings system off Chile is highly productive •
- This works summarizes recent findings for this system on the basis of time series observations •
- Scales of variability are integrated over spatial and temporal dimensions •
- Physical, chemical and biological variation is integrated over a common framework •

s and the second second

11. ANEXO 3.- CALIBRACION CTD
Actividades realizadas muestreo CTDO-F-PAR

El equipo utilizado fue un CTD SeaBird modelo 19 PLUS (SN: 4764) que contaba con sensores de oxígeno disuelto (modelo SBE 43), fluorescencia y PAR (ambos modelo WetLab). Los números de serie para los diferentes sensores utilizados en el CTD-O y sus fechas calibración, se detallan en la **Tabla 1**.

La configuración final del CTD para realizar esta campaña se detalla en la **Tabla 2** y el protocolo de medición en terreno fue el siguiente:

1. Se observaba la superficie del mar, para evitar contaminar la celda de conductividad con aceite u otra substancia ajena al agua de mar.

2. El equipo se encendía en cubierta y después de esperar 1 minuto, se introducía inmediatamente al agua

3. Se bajaba a tres metros y se estabilizaba por 3 minutos, para luego subir a superficie4. Se procedía a realizar el perfil hasta la profundidad deseada subiéndolo inmediatamente una vez que se alcanzaba la profundidad.

5. Una vez en cubierta se apagaba inmediatamente.

6. La profundidad era medida con un contámetro instalado en el guinche de la embarcación.

Procesamiento de datos

El procesamiento de los datos se realizó en dos etapas. En la primera etapa, se utilizaron las rutinas propuestas por el fabricante para el CTD Reabrid modelo 19 plus, con el software SBE Data Procesan de Reabrid. A continuación se describen los módulos del programa utilizado.

DATA CONVERSION: Convierte los datos originales en formato hexadecimal a formato ASCII y en unidades de ingeniería. Las variables de salida fueron presión, temperatura, conductividad, concentración de oxígeno disuelto, fluorescencia (en Volts) y PAR.

SECTION: Se seleccionaron los datos correspondientes a la bajada y subida del CTD, eliminando los datos correspondientes al periodo de estabilización de los sensores.

WILL EDIT: Marca como malos los datos escapados, en base a la desviación estándar de un bloques de 20 datos. Este modulo se aplicó tres veces para cada perfil y los datos marcados fueron eliminados.

FILTER: Este modulo es un filtro de paso bajo que se aplica sobre una o más columnas de datos, cumpliendo el rol de suavizar las altas frecuencias (cambios rápidos). Para producir cero desfase el filtro es aplicado hacia adelante y hacia atrás a través de los datos, se utilizaron constantes de tiempo típicas, recomendadas por el fabricante, 0.5 s para la temperatura y conductividad, y 1.0 s para la presión.

ALIGN CTD: Alinea en el tiempo las observaciones de los demás sensores respecto al sensor de presión, intentando que los datos obtenidos correspondan a la misma parcela de agua. Se aplicó para el sensor de temperatura un rezago de 0.5 s.

Para el sensor de oxígeno, que suele presentar mayor rezago y variabilidad en su desfase, se aplicó un desfase de 3.0 s.

CELL THERMAL MASS: Remueve el efecto de la "masa termal de la celda" de las mediciones de conductividad. Esta corrige las pequeñas diferencias de conductividad producidos por fuertes cambios de temperatura. Los valores utilizados corresponden a los recomendados por el fabricante (Arpa=0.004 y 1/beta=8).

Posteriormente se verificó que efectivamente se eliminaran estas variaciones graficando los perfiles de conductividad y temperatura, eliminando datos donde aun se presentaron valores de conductividad anómalos (spines) en puntos de fuertes gradientes de temperatura.

LOOP EDIT: Elimina los datos menores a cierta velocidad, mínimo valor de velocidad para considerar el dato es 0.25 m s^{-1} .

WINDOW FILTER: Este módulo filtra los datos, el cual calcula un valor promedio tomando en cuenta los valores de datos alrededor de un punto central. El tamaño de la ventana utilizado fue 5 puntos.

DERIVE: Permite derivar distintas variables. En este caso se derivaron las variables de Salinidad, Sigma-t y Oxigeno disuelto (usando una ventana de 2 s para el cálculo de la concentración de oxígeno disuelto, como valor por defecto).

BIN AVERAGE: Este programa permite promediar los datos a intervalos elegidos por el usuario en función de la presión. El valor utilizado en este caso fue de 1.0 dar.

SPLIT: Separa los datos de subida y bajada, en archivos diferentes.

En la segunda etapa se utilizó el software Mitla donde se eliminaron las inversiones de densidad (valores menores a 0 kg m⁻³). Además con este software se realizaron las graficas y se extrajeron algunos datos representativos de cada perfil (Temperatura, Salinidad, Sigma-t, Oxígeno disuelto, Fluorescencia y Par).

Sangar	Número de	Fecha de
Sensor	serie	calibración
Temperatura	4764	09-sep-10
Conductividad	4764	09-sep-10
Presión	4764	07-sep-10
Oxígeno	0742	20-sep-10
Fluorómetro	2691	23-sep-10
PAR	20189	08-oct-10

Tabla 1. Serial numbers and calibration date (SBE 4764).

Tabla 2 .Configuración CTD(SBE 4764).

Variable	Configuración
Scans per second	10
Minimum conductivity frequency for pump turn on	3027
Pump delay	40
Battery type	Alkaline
External voltages	3

12. ANEXO 4.- TALLER DIFUSION FIP 2009-39

TALLER DE DIFUSIÓN RESULTADOS FIP 2009-39

El día 06 de Junio del 2011, se realizó en la Sala Minera Escondida del Edificio Biólogo Marino de la Universidad de Concepción, el Taller de Difusión de Resultados del Proyecto FIP 2009-39. Al taller fueron invitados miembros de la Subsecretaría de Pesca, Servicio Nacional de Pesca, Instituto de Investigaciones Pesqueras, Consejo Zonal de Pesca, Instituto de Fomento Pesquero, Gobernación Marítima y capitanías de Puerto locales, además de investigadores de la Universidad de Concepción, Universidad Austral de Chile, entre otros.

Durante el taller, se expuso resultados tanto de un crucero estacional realizado frente a las costas de la VIII y IX Región enero del 2011, así como resultados de la serie de tiempo de monitoreo oceanográfico a una estación ubicada en la plataforma continental de la VIII Región, ambas actividades insertas dentro del proyecto FIP 2009-39, y que han contado con el apoyo de Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur oriental (COPAS). En el taller, y además de la presentación del proyecto, se realizaron 4 exposiciones con resumen de los resultados más importantes, programa de conferencias que se presenta a continuación.

Finalmente, en el Taller se discutieron sobre la variabilidad ambiental, los potenciales patrones de variabilidad que se han observado durante los diferentes Proyectos FIP y principalmente, sobre el rol y difusión de la información hacialos sectores competentes, tales como la subsecretaria de Pesca y área pesquera artesanal.

En el ámbito de información obtenida durante el presente Proyecto FIP 2009-39, tanto a escala espacial como temporal, se complementan con lo obtenido anteriormente, en el cual los principales patrones de la variabilidad ambiental se evidencia a escalas temporales mayores, de lo que el proyecto puede cubrir. No obstante, la complementación y continuidad de la serie de Proyectos FIP iniciado en el año 2004, ejecutados por el Centro COPAS, sobre las condiciones bio-oceanográficas de las octavas y novenas regiones, han sido relevantes para compilar la información bio oceanográfica de la zona, las cuales se ven reflejadas en las diversas publicaciones como resultados de estos proyectos.

Sin embargo, un punto importante sobre la discusión, fue la conectividad de la información generadas en estos proyectos, hacia los componentes institucionales públicas como privadas, tales como la subsecretaría de Pesca y el Consejo Zonal de Pesca. Claramente, se discutió la carencia de conectividad entre estos sectores y los objetivos alcanzados por los Proyectos FIP realizados en la región, y la necesidad de generar las instancias, tales que permitan obtener la información oportuna parala toma de decisiones correspondientes.

Como conclusión del Taller, para subsanar la falta de conectividad de la información generada, se discutió la posibilidad de realizar un Taller de trabajo con las organizaciones respectivas y presentes en el Taller, con la finalidad de direccionar la información disponible y accesibilidad a los entes competentes regionales. Para ello, se acordó la organización del Taller entre los representantes de la Subsecretaría de Pesca, representada por la Sra. Lilian Troncoso y los académicos del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción, quienes han sido participantes activos de los proyectos FIP desde 2004 a la fecha, en el estudio o de la variabilidad bio-oceanográfica de las octava y novena regiones.

TALLER DE DIFUSION FIP 2009-39

MONITOREO DE LAS CONDICIONES BIO-OCEANOGRÁFICAS EN LAS VIII Y IX REGIONES, AÑO 2009 LUNES 6 DE JUNIO DE 2011

Sala Minera Escondida, Edificio Biólogo Marino

Universidad de Concepción

15:00 - 15:10 h	Introducción del Taller : Dra. Pamela Hidalgo		
15:10 - 15:35 h	Serie Temporal : Dr. Fabián Tapia		
15:35 - 16:00 h	Condiciones Hidrográficas Crucero Estacional : Dr. Oscar Pizarro		
16:00 - 16:15 h	Café		
16:15 - 16:45 h	Condiciones bio-químicas Crucero Estacional : Dra. Carmen Morales		
16:45 - 17:00 h	Discusión y cierre del Taller		

INVITACIONES TALLER DIFUSION FIP 2009-39

Señor. Maximiliano Alarma Secretario Ejecutivo Fondo de Investigación Pesquera Bellavista 168, Piso 21. Valparaíso psantander@subpesca.cl

Sr. Ludwig Ziller. Director Zonal de Pesca Talcahuano <u>lziller@subpesca.cl</u> f:2236062

Sr. Marcelo Moreno Toledo Director Regional Servicio Nacional de Pesca Talcahuano mmorenot@sernapesca.cl

Sra. Lilian Troncoso Sub Directora Servicio Nacional de Pesca Talcahuano <u>ltroncoso@sernapesca.cl</u>

Sr. Aquiles Sepúlveda O. Director Instituto Investigación Pesquera Talcahuano asepulveda@inpesca.cl

Sr. Sergio Núñez Jefe Depto Pesquería Instituto de Investigación Pesquera Talcahuano <u>snunez@inpesca.cl</u>

Dr. Eduardo Tarifeño Consejero Nacional de Pesca Concepción etarifen@udec.cl Sr. Cecilia Palma Directora Jefe Base IFOP Talcahuano <u>cpalma@ifop.cl</u> f: 2589045

Sr. CN LT Luis Burgos V. Gobernador Marítimo Talcahuano talcahuano@directemar.cl F: 2547222 – 2266101

Sr. T1 LT Carlos Cerda Espejo Capitán de Puerto Lirquén-Tomé <u>cplirquen@directemar.cl</u> f: 2385136 - 2650351

Dr. Ramón Ahumada B. Decano Facultad Universidad Católica de la Ssma. Concepción rahuma@ucsc.cl

Sr. Pablo Cofre Presidente Sindicato Pescadores Dichato <u>stidichato@gmail.com</u>

Dr. Marcus Sobarso Director Departamento de Oceanografía Universidad de Concepción

Dra. Carina Lange Director Centro COPAS

N°	Participante	Firma
1	RUBEN ESCRIBANO	(4A)
2	NICOLAS BRALIC	AAT
3	Alex RiRA R.	
4	Leissing Frederick	flington
5	Enke Meeringf	Encloster
6	CLAUBIA KURIOZ	adrest
7	L. Antonio Gerras	(AF
8	Edvardo Tarifpúo	ETS
9	Sandra Cahien Villamera	Edidetter CO
10	Valentina Valdis Castro	deutrum dela CALS
11	Kath Dono fo Ferez	FIT W/
12	CHENER E. MULACES //	NONDE
13	Lilian Trancesco Génez	TAR
14	joiner Monsolves +1.	Att
15	VEROMICH RUEDA LEVIL	Prinche Terriel
16	CSON HEALTO	TAAL .
17	2500 20 Mar Manual	1 better
18	MARIA SDE CURUAS	the second
19	Tabita Contreros Frienks	Table Contraros TS
20	Francisco kuitor D.	·
21	Flischeth Tece Olive.	Atter
22	ignardo Cista C	III -
23	FABIAN TAPIA	fofai.
24		0
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		

Lista Asistencia a Taller de Difusión de resultados del Proyecto FIP 2009-39 **"Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas en las VIII y IX regiones, año 2009".**