

INFORME FINAL P R O Y E C T O FIP N°2004-20

"MONITOREO DE LAS CONDICIONES BIO-OCEANOGRÁFICAS EN LA VIII REGIÓN, AÑO 2004"





REQUIRENTE

CONSEJO DE INVESTIGACION PESQUERA, CIP

EJECUTOR

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

JEFE DE PROYECTO

Dr. Rubén Escribano Veloso

INVESTIGADORES

Dr. Leonardo Castro Dr. Giovani Daneri Dr. Rubén Escribano Dra. Laura Farías Dr. Humberto González Dra. Carmen Morales Dr. Oscar Pizarro Oceanógrafo Sr. Sergio Rosales

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	Página 5
LISTA DE TABLAS	10
LISTA DE FIGURAS	11
 INTRODUCCIÓN 1.1. Objetivo General 1.2. Objetivos específicos 	14 17 17
2. METODOLOGÍA GENERAL	18
 3. RESULTADOS 3.1. Condiciones ambientales 2004-2005 3.2. Distribución espacial de variables bio-oceanográficas durante 	21 21
la primavera de 2004 3 3 Variabilidad mensual de condiciones bio-oceanográficas: estación	21
plataforma (18) 3.4. Variabilidad estacional en condiciones oceanográficas:	102
estación talud (40)	135
 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES 4.1. Condiciones oceanográficas físicasy químicas del sistema frente 	140
a Concepción 4.2. Los componentes biológicos planctónicos en el sistema frente a	140
Concepción 4.3. Modelo conceptual del ecosistema marino VIII Región	144 147
5. REFERENCIAS	152
ANEXOS Anexo 1: Investigadores y personal participante del proyecto Anexo 2: Metodologías empleadas en el estudio Anexo 3: Informe complementario de Crucero de primavera	

Anexo 4: Taller de Difusión del Proyecto

RESUMEN EJECUTIVO

"MONITOREO DE LAS CONDICIONES BIO-OCEANOGRÁFICAS EN LA VIII REGIÓN, AÑO 2004"

El Consejo de Investigación Pesquera ha requerido la participación de científicos para desarrollar una línea de investigación bio-oceanográfica para la VIII Región, a través de un monitoreo ambiental durante el año 2004, combinado con un estudio de la variabilidad espacial de las condiciones oceanográficas durante el período de mayor productividad y actividad biológica en esta región, la primavera. A diferencia de los monitoreos oceanográficos tradicionales, este proyecto ha decidido también incluir el estudio de algunos procesos claves que controlan la productividad y diversidad del ecosistema. Entre tales procesos están la producción primaria, respiración comunitaria, flujo de exportación de materia orgánica, biomasa fitoplanctónica (total y fraccionada), y el análisis de los distintos componentes biológicos en la columna de agua, referidos a pico-, nano-, meso- y macrozooplancton, además del estudio específico del ictioplancton. El Centro Oceanográfico COPAS, de la Universidad de Concepción ha asumido la tarea de iniciar este estudio durante el período julio 2004 - julio 2005.

Para dar cumplimiento a los objetivos del estudio (definidos en los términos básicos de referencia), el Centro COPAS realizó el crucero de primavera 2004. El crucero MOBIO-BIO tomó lugar a bordo del buque científico B/C Abate Molina, durante el período del 12 al 26 de noviembre de 2004. Los resultados del crucero pueden sintetizarse como sigue:

- Las condiciones oceanográficas en la Región VIII durante el crucero realizado revelan condiciones típicas de primavera para la zona, con aguas frías (<13 °C) y más salinas (>34), asociadas a aguas ecuatoriales subsuperficiales (centradas en 200-300 m en la zona oceánica) a lo largo de la costa, pero especialmente manifiestas en un foco de surgencia frente a Punta Lavapié.
- Se manifiesta la presencia de un frente térmico zonal y de una diversidad de flujos y estructuras de mesoescala, incluyendo plumas de surgencia, filamentos, vórtices o remolinos. Los flujos en la región son variados y contrapuestos, tanto en direcciones norte-sur como este-oeste, dependiendo de la zona y algunos abarcan hasta 500 m de profundidad. Los flujos desde la costa transportan aguas más salinas y menos oxigenadas

hacia la zona oceánica mientras que los flujos hacia la costa transportan aguas menos salinas y más oxigenadas.

- \circ La zona de fertilización con nutrientes por parte de la surgencia abarca la franja costera hasta alrededor de 60 millas náuticas mar afuera, no detectándose una utilización completa de nutrientes potencialmente limitantes (nitrato >20 µM, silicato >20 µM), a pesar de las altas biomasa fitoplanctónicas en la franja costera. Además, la distribución de estos nutrientes refleja también un transporte de altas concentraciones mar afuera a través de filamentos de aguas frías.
- Se observan altas concentraciones de clorofila-a en la zona costera (>4 mg m⁻³), especialmente sobre la terraza del Itata (>8 y hasta 17 mg m⁻³), asociadas a las aguas frias de surgencia y extendiéndose hacia la zona oceánica vía filamentos, especialmente en la región alrededor de 36°S y hasta 400 km costa afuera. La mayor parte de esta biomasa fitoplanctónica estuvo asociada a la fracción microplanctónica (>20 µm) y fundamentalmente a diatomeas en cadena.
- El meso- y macro-plancton estuvo representado, en términos de biomasa, por copépodos de mayor tamaño (*Rhyncalanus nasutus y Calanus chilensis*) y eufáusidos (*Euphausia mucronata*), que se concentraron en los primeros 50 m. Los copépodos indicados se congregan principalmente en la franja costera, en asociación con las mayores concentraciones de clorofila-a, mientras que *E. mucronata* se distribuye más ampliamente, asociado a aguas de bajo oxígeno y, por tanto a los centros de surgencia. Numéricamente, los copépodos de menor tamaño (*Paracalanus parvus y Oithona* spp. fueron dominantes y se distribuyeron tanto en la zona costera como en aquella oceánica.
- En el ictioplancton, los huevos y larvas de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de sardina común (*Strangomera betincki*) se concentraron en el estrato de 0-50 m y en la zona muy costera (<20 mn), con excepción de una agregación detectada a las 100 mn en el área norte de la región de estudio, posiblemente relacionada al filamento derivado de las aguas de surgencia en la costa. Los huevos y larvas de merluza (*Merluccius gayi*) se distribuyeron en toda el área de estudio, agregados en el estrato superior (0-50 m).

6

Para cumplir con la segunda parte de los objetivos del estudio (definidos en los términos básicos de referencia), el Centro COPAS realizó cruceros mensuales en una estación de muestreo sobre la plataforma continental, frente a Coliumo (a 18 millas náuticas) en el periodo julio 2004 a julio 2005. Además, dado que el Centro COPAS ya realizaba esfuerzos de muestreo en esta estación desde agosto del 2002, parte de esta información anterior ha sido incorporada para constrastar los resultados del presente estudio. Una estación sobre el talud continental (40 millas náuticas) también fue muestreada en forma estacional (cada 3-4 meses), como complemento a las observaciones sobre la plataforma. Los principales resultados sobre la variabilidad temporal de las condiciones bio-oceanográficas durante el periodo de estudio pueden resumirse de la siguiente forma:

- Durante el periodo de surgencia (octubre-marzo, con vientos predominantes del S-SW), se observa la presencia de aguas más salinas en toda la columna de agua (Est. 18), una mayor estratificación termal (capa mezcla <20 m), y la marcada presencia de una zona de mínimo oxígeno bajo la termoclina. Mientras tanto, el periodo invernal y de transición hacia y desde el periodo de surgencias estacionales, se caracterizó por una columna de agua más homogénea termalmente, con menores salinidades en superficie (estratificación por salinidad), y una mayor oxigenación de la columna de agua.
- La biomasa fitoplanctónica (como clorofila-a total), la producción primaria, así como la abundancia de componentes dominantes en el microplancton (diatomeas) fueron más altas durante el periodo de surgencias en la zona costera. Destaca, sin embargo que áun en esta época no afecta a surgencia costera, se mantienen valores relativamente importantes de biomasa fitoplanctónica y de producción primaria. La respiración comunitaria fue igual o menor que la producción primaria, sugiriendo que en general este sistema se sustenta en su producción. Otros componentes (fracciones pico- y nano-planctónicas, así como el meso- macro-zooplancton) y otros procesos biológicos (flujo vertical) no muestran una estacionalidad marcada.
- El ictioplancton, representado por los estadios tempranos (huevos y larvas) de 3 especies recursos de la zona: anchoveta, sardina común y merluza común, mostró abundancias consistentes con el desove principal de las especies para el período de invierno/primavera de 2004. El segundo desove sin embargo, esperado para finales de verano, estuvo ausente o fue muy reducido dada la baja abundancia de huevos y larvas,

La condiciones generales, océano-climáticas, de la región durante el periodo del monitoreo (julio 2004 a julio 2005), se caracterizaron por constituir un año normal, tipificado internacionalmente como un año de condiciones ENOS (El Niño Oscilación del Sur) neutrales. El monitoreo bio-oceanográfico realizado es consistente con esta caracterización, ya que revela un año de surgencia intensa durante la primavera/verano 2004-2005, altamente productivo y con una zona de mínimo oxígeno muy somera, en ausencia de anomalías oceanográficas. Los valores de producción medidos son de los más altos observados en sistemas de surgencia costera. La alta capacidad productiva se transfiere hacia todos los niveles tróficos, dada la alta abundancia y ocurrencia de todas las fracciones del plancton en estudio.

Un análisis integrado de la información permitió generar un modelo conceptual de estrucutura y funcionamiento del ecosistema marino de la región. La información obtenida para un año de monitoreo, junto a la información de estudio previos, sugieren que la surgencia costera constituye el proceso clave de variabilidad temporal. De esta manera fue posible esquematizar 2 fases principales del sistema: 1) período de surgencia, 2) período de no surgencia, ambos delimitados por una fase de transición. El período de surgencia define un ambiente en el cual coincide una mayor radiación solar, con un levantamiento de la termoclina y oxiclina producto de la surgencia que a su vez promueve el transporte costa-océano. Esta condición genera una mayor agregación de la actividad biológica en una capa estrecha del mar (0-20 m), donde se incrementan en niveles los componentes autotróficos, dominados por diatomeas de mayor tamaño (>20 µm), promoviendo la agregación e incremento del resto de componentes del plancton. Esta condición coincide con el desove de peces sujetos a explotación en la zona. La productividad biológica supera a la respiración comunitaria y se manifiesta en un alto flujo vertical de materia orgánica que no se recicla en la columna de agua, sino que se deposita en los sedimentos. En contraste, el período de no surgencia se caracteriza por un hundimiento de la termoclina y oxiclina, dando lugar a una expansión vertical de la actividad biológica y de los componentes planctónicos. En la ausencia de la surgencia se favorece el transporte hacia la costa y debilitamiento de frentes costeros. Sin embargo, los macro-nutrientes mantienen niveles elevados, permitiendo un sustento de la producción primaria, la cual está posiblemente limitada por una menor radiación solar y disminuída por efecto de hundimiento de la capa de mezcla. La capa de mezcla superior tiende a ser de baja salinidad y es manifiesta una mayor ocurrencia de fitoplancton de menor tamaño, junto a diatomeas solitarias. La columna de agua es altamente oxigenada y el zooplancton presenta una dominancia de estadios tardíos de copépodos y eufáusidos.

Los modelos conceptuales derivados de las observaciones disponibles son aún muy generales para resolver adecuadamente la variabilidad espacial y temporal del ecosistema frente a Concepción. La existencia y persistencia de un programa de monitoreo como el de este proyecto permitirá resolver las partes más fundamentales de este conocimiento. A escalas de tiempo mayores a la estacional, incluyendo aquella derivada de la variabilidad interanual asociada a eventos cálidos El Niño, los efectos de cambios oceanográficos sobre los componentes biológicos planctónicos en esta región son materia de mayores estudios. El acelerado y amplio desarrollo de la tecnología de sensoramiento remoto ha permitido tener más recientemente una percepción mejorada sobre la variabilidad espacial y temporal de los componentes primarios del sistema (como clorofila-a) en esta región; aún así, no se ha caracterizado esta variabilidad más que sobre periodos o áreas muy específicas de la zona. En este sentido, es un gran desafío el que resta por obtener el conocimiento apropiado del ecosistema frente a Concepción para ser aplicado en el manejo de las pesquerías y actividades acuícolas en general en este ecosistema.

Con el objeto de divulgar y discutir los resultados del estudio, el Centro COPAS realizó una serie presentaciones a la comunidad regional y local a través de un Taller de Difusión de resultados. Este evento tomó lugar el día 02 de agosto del 2005 y contó con la presencia de autoridades regionales, representantes de pescadores artesanales, investigadores del área, académicos y estudiantes. Una de las conclusiones importantes del Taller es que la información obtenida en un año de condición normal, constituye ahora una herramienta de alto valor para evaluar y comprender los impactos derivados de un evento cálido (El Niño), frío (La Niña), o los efectos asociados a fenómenos de gran escala como el cambio climático global.

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1. Información resumen de las estaciones de CTD.36Tabla 3.2. Carbono Orgánico Total (COT) en μg/L medidos en la zona
costera y oceánica sobre la transecta de 36° S durante el crucero
de noviembre de 2004.44Tabla 3.3. Principales taxa del mesozooplancton y macrozooplancton
encontrados durante la primavera de 2004 frente a la zona de
Concepción en la capa de 0-200 m.73Tabla 3.4. Regresión múltiple paso-a-paso para determinar la asociación
entre variables ambientales y taxa del zooplancton.79

Página

Tabla 3.5.	Estadística	básica de	e los vientos	registrados	durante el	período	103
------------	-------------	-----------	---------------	-------------	------------	---------	-----

LISTA DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1.	Marco conceptual metodológico del estudio	19
Figura 2.2.	Esquema del diseño de muestreo	20
Figura 3 1	Posición geográfica de las estaciones oceanográficas realizadas	
8	durante el crucero de noviembre de 2004	37
Figura 3.2.	Batimetría de la zona de estudio	38
Figura 3.3.	Campo vectorial del viento superficial para el período del crucero	39
Figura 3.4.	Transporte de Ekman	40
Figura 3.5.	Distribución horizontal de temperatura.	41
Figura 3.6.	Distribución horizontal de salinidad	43
Figura 3.7.	Distribución horizontal de densidad	45
Figura 3.8.	Distribución horizontal de oxígeno disuelto	47
Figura 3.9.	Distribución horizontal de la profundidad de la isoterma de 11°C	49
Figura 3.10	. Distribución vertical de temperatura, salinidad, densidad	
C	y oxígeno disuelto	50
Figura 3.11	Distribución vertical de temperatura, salinidad, densidad	
C	y oxígeno disuelto (transecta 36°00' S)	51
Figura 3.12	. Distribución vertical de temperatura, salinidad, densidad	
C	y oxigeno disuelto (transecta 36°30' S)	51
Figura 3.13	. Distribución vertical de a) temperatura, salinidad, densidad	
C	y oxígeno disuelto (transecta 37°00' S)	52
Figura 3.14	. Distribución vertical de temperatura, salinidad, densidad	
-	y oxígeno disuelto (transecta 38°00' S)	52
Figura 3.15	. Distribución vertical de temperatura, salinidad y	
C	densidad de transectas longitudinales	53
Figura 3.16	. Diagramas T-S para las distintas transectas realizadas durante el crucero	54
Figura 3.17	. Profundidad de la isopicna de 26.5 kg m ⁻³ .	55
Figura 3.18	: Distribución espacial de la concentración de nitrato	57
Figura 3.19	: Distribución espacial de la concentración de nitrito	58
Figura 3.20	: Distribución espacial de la concentración de amonio	59
Figura 3.21	: Distribución espacial de la concentración de fosfato	60
Figura 3.22	: Distribución espacial de la concentración de silicato	61
Figura 3.23	: Distribución vertical de la concentración de nitrato, nitrito	
	y fosfato (transecta 36° S)	62
Figura 3.24	: Distribución espacial de la concentración de oxígeno	65
Figura 3.25	. Distribución superficial de la biomasa fitoplanctónica	68
Figura 3.26	. Distribución de la biomasa fitoplanctónica integrada.	69
Figura 3.27	. Distribución vertical de clorofila-a total	70
Figura 3.28	: Perfiles verticales de radiación PAR	71
Figura 3.29	: Distribución espacial de la biomasa del zooplancton	74
Figura 3.30	: Distribución espacial de componentes dominantes del zooplancton	76
Figura 3.31	: Distribución espacial de componentes dominantes del zooplancton	77
Figura 3.32	: Distribución de huevos de anchoveta Engraulis ringens	
	sardina común Strangomera betincki y motecillo	
	Normanichthys crockeri	81

Figura 3.33. Distribución de huevos de merluza Merluccius gayi	82
Figura 3.34: Distribución de larvas de anchoveta Engraulis ringens,	
sardina común Strangomera betincki y motecillo Normanichthys crockeri	83
Figura 3.35: Abundancia de generos dominante del fitoplancton	86
Figura 3.36: Abundancia de distintas especies del género Chaetoceros	87
Figura 3.37: Abundancia de distintos géneros de cocolitofóridos	88
Figura 3.38: Abundancia de distintos géneros de tintínidos	89
Figura 3.39: Abundancia de larvas nauplii y foraminíferos.	90
Figura 3.40: Abundancia de distintos géneros de dinoflagelados	91
Figura 3.41: Abundancia de pellet fecales de zooplancton	92
Figura 3.42: Distribución superficial de la abundancia del nanoplancton	94
Figura 3.43: Distribución integrada de la abundancia del nanoplancton	95
Figura 3.44: Distribución vertical de la abundancia del nanoplancton autotrófico	96
Figura 3.45: Distribución vertical de la abundancia del nanoplancton heterótrofo	97
Figura 3.46: Distribución superficial de la abundancia del picoplancton	99
Figura 3.47: Distribución vertical de la abundancia del picoplancton heterótrofo	100
Figura 3.48: Distribución vertical de la abundancia del picoplancton autótrofo	101
Figura 3.49: Rosa de los vientos del período	103
Figura 3.50: Componentes Norte y Oeste del viento local	104
Figura 3.51: Datos meteorológicos entre agosto de 2004 y julio de 2005	106
Figura 3.52: Radiación PAR durante el período de agosto 2004 a junio 2005	107
Figura 3.53: Temperatura superficial del mar y su anomalía (julio 2004- junio 2005)	107
Figura 3.54: Evolución temporal de los perfiles de temperatura, salinidad,	
Fluorescencia y oxígeno disuelto en la Estación 18	110
Figura 3.55: Evolución temporal de los perfiles de NO ₃ NO ₂ y NH ₄ en la estación 18.	111
Figura 3.56: Evolución temporal de los perfiles de Concentración de PO ₄ Si y de O ₂	112
Figura 3.57: Evolución temporal de los perfiles de clorofila-a	119
Figura 3.58: Evolución temporal de los perfiles de feopigmentos en Estación 18	
julio 2004 a julio de 2005	120
Figura 3.59: Serie de tiempo de biomasa zooplanctónica	121
Figura 3.60 Composición del meso y macrozooplancton julio-mayo 2005	122
Figura 3.61: Serie de tiempo número de huevos y larvas de peces	123
Figura 3.62: Evoulución temporal de la abundancia de los principales componentes en el	
picoplancton	124
Figura 3.63: Evolución temporal de la abundancia de los principales	
componentes en el nanoplancton	125
Figura 3.64: Abundancia de fitoplancton total y clorofila-a julio 2004 - abril 2005	126
Figura 3.65: Abundancia de los seis taxa más abundantes del fitoplancton julio	
2004 - abril 2005	127
Figura 3.66: Abundancia de las ocho especies más abundantes del del género	
Chaetoceros julio 2004 - abril 2005	128
Figura 3.67: Cambios mensuales en producción primaria (PP),	
Respiración comunitaria (RC) y la razón PP/RC	129

Figura 3.68: Flujo de material particulado total (peso seco), materia orgánica, material litogénico y carbonato, estimados durante el período septiembre 2003

– mayo 2005	132
Figura 3.69: Flujo de carbono de diatomeas, dinoflagelados tecados, tintínidos loricados	
y otros organismos	133
Figura 3.70: Flujo de carbono particulado total (pellet fecales + microplancton)	
y de pellet fecales	134
Figura 3.71: Cambios estacionales en temperatura, salinidad, oxígeno disuelto	
y fluorescencia.	136
Figura 3.72: Cambios estacionales en la concentración de nitrato, nitrito, amonio	
y fosfato	137
Figura 3.73: Cambios estacionales en la concentración de oxígeno disuelto y silicatos	138
Figura 3.74: Cambios estacionales en la concentración de clorofila-a y feopigmentos	139
Figura 4.1: Variabilidad mensual en temperatura, salinidad y oxígeno en la	
Estación 18; 2002-2005	143
Figura 4.2: Modelo conceptual de funcionamiento y estructura del ecosistema	
Marino VIII Región: escala temporal	148
Figura 4.3: Modelo conceptual de funcionamiento y estructura del ecosistema	
Marino VIII Región: escala espacial	150

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de Corrientes Humboldt (SCH) se le reconoce mundialmente por su alta productividad biológica, que sustenta importantes pesquerías en Chile. La alta productividad del SCH se promueve esencialmente por el efecto fertilizador de los afloramientos costeros inducidos por el viento. La influencia del viento promueve la producción nueva por efecto de bombeo de nutrientes desde niveles subsuperficiales hacia la zona eufótica (Barber & Smith, 1981).

Además de la alta producción biológica, el SCH también contribuye considerablemente a la regulación del sistema climático en el hemisferio sur. Un sustancial intercambio de calor y CO_2 entre el océano y la atmósfera ocurre debido a las surgencias de aguas subsuperficiales frías, ricas en nutrientes y saturadas de CO_2 . La surgencia promueve el transporte de calor hacia el océano y la liberación de CO_2 hacia la atmósfera. A su vez, la fertilización de la zona fótica incrementa la producción primaria (incorporación de CO_2) desde la atmósfera y promueve la exportación de carbono hacia los sedimentos y aguas profundas.

Adicionalmente, el SCH posee una intensa y relativamente somera (<100 m) zona de mínimo de oxígeno (ZMO) cerca de la costa (Morales et al. 1999). En la ZMO, los procesos biológicamente-mediados de denitrificación contribuyen al sumidero global de nitrógeno disponible como nutriente en el océano y considerables cantidades del gas invernadero N₂O (por denitrificación y nitrificación) podrían ser liberadas a la atmósfera durante la surgencia. Por otra parte, la circulación cerca del borde oriental del Pacífico Sur juega un papel central en la distribución de calor y sal del océano regional y constituye una importante componente de la circulación termohalina del Pacífico Sur, afectando además las propiedades de las aguas que a través del paso de Drake llegan al Atlántico Sur (Well et al. 2003).

Las características oceanográficas del SCH han sido ampliamente descritas (ver Strub et al. 1998 para revisión). Sin embargo, un menor conocimiento existe sobre la circulación, la variabilidad de las corrientes, los aspectos químicos-biológicos y ecológicos y sus relaciones con la variabilidad ambiental. Recientemente, Daneri et al. (2000) han resumido las tasas de producción primaria en diferentes zonas de Chile, reportando estimaciones tan altas como aquellas encontradas en las productivas aguas frente a Perú. Sin embargo, las vías que permiten la transferencia de esta materia orgánica hacia los niveles tróficos superiores y hacia la producción de recursos pesqueros son desconocidas. De esta manera, existe una urgente necesidad por identificar los componentes claves y los procesos que permitan evaluar el impacto de fenómenos oceanográficos y el cambio climático sobre la productividad del ecosistema marino y sus recursos biológicos. Los componentes del plancton y los procesos que determinan su producción y variabilidad en abundancias son elementos claves que no han recibido la suficiente atención para comprender y prever sus efectos sobre las variaciones en los procesos pesqueros críticos, tales como la sobrevivencia larval y el reclutamiento de los recursos pelágicos y demersales.

Las características anteriores del SCH están sujetas a una fuerte variabilidad interanual causada por el ciclo ENOS (El Niño Oscilación del Sur). La evidencia al presente indica que durante las fases cálidas de ENOS, i.e. El Niño, el transporte de nutrientes hacia la superficie se reduce, causando una marcada disminución de la producción primaria (Barber & Chavez 1983) y el ecosistema marino en conjunto es negativamente afectado (Artnz & Farhbach, 1996). Estudios mas recientes, no obstante sugieren que tales impactos pueden variar ampliamente dependiendo del área y componente biológico a considerar (Ulloa et al. 2001, Escribano et al. 2004).

Dentro del SCH, el ecosistema de surgencia de la Región VIII merece especial atención por la importancia económica y social de sus recursos pesqueros. La región presenta un activo centro de surgencia (Fonseca & Farías 1987), con una fuerte variación estacional. La surgencia se intensifica durante la época de primavera-verano (Shaffer et al. 1999), y durante el invierno ocurre normalmente el hundimiento de aguas, dada la prevalencia de vientos norte. La plataforma continental es relativamente amplia (~40 Km desde la costa), interrumpida por algunos cañones submarinos (Sobarzo 1998). El aporte de agua dulce por los ríos y lluvias son importantes y las bajas salinidades pueden extenderse considerablemente hacia el océano durante el invierno (Strub et al. 1998, Faúndez et al. 2001). Algunos de los valores mas altos de producción primaria (10 g C m⁻² d⁻¹) han sido estimados en esta zona (Daneri et al. 2000), los cuales sostienen una de las mayores pesquerías del mundo (Arcos et al. 2000). La ZMO es más profunda (>100 m) y de menor intensidad (>0.5 ml de $O_2 L^{-1}$) que en la zona norte de Chile (Escribano et al. 2004).

Los peces pelágicos son recursos pesqueros, artesanales e industriales, importantes en la Región VIII. La anchoveta *Engraulis ringens* mantiene una población distribuída entre los 32° y 40° S. Esta población parece distinta y geográficamente separada de la población del norte de Chile (Castro et al. 2002). El recurso jurel *Trachurus murphyi*, constituye una de las mayores

pesquerías en la zona de surgencia entre Valparaíso (33° S) y el Golfo de Arauco (38° S). Esta especie exhibe migraciones de gran escala y se encuentra ampliamente distribuida en el océano Pacífico (Arcos et al. 2000), tal que ha sido difícil identificar y asignar sus poblaciones a localidades geográficas. Los crustáceos Galatheidae son también componentes importantes de la economía pesquera de la región. Entre las 16 especies identificadas en aguas Chilenas (Retamal 1981), solo dos de ellas (*Pleuroncodes monodon* y *Cervimunida johni*) han estado sujetas a explotación. El recurso merluza *Merluccius gayi* también es un componente pesquero importante en la zona. Esta especie habita profundidades entre 200 a 400 m y se alimenta esencialmente de eufáusidos (Melendez 1983, Arancibia 1989). En general, los recursos pesqueros mencionados presentan una fase planctónica y las larvas tienden a congregarse sobre las áreas costeras en la plataforma continental, que actúan como resguardo y como fuente de altas concentraciones de alimento (otros componentes del plancton: pico-, nano-, y micro-plancton) (Arcos et al. 1996).

Los recursos pesqueros de la Región VIII han sufrido fuertes fluctuaciones en abundancia a través de los años. La ausencia de información bio-oceanográfica sistematizada de la zona ha impedido establecer la relación entre los cambios del ambiente y las variaciones en tamaño de los stocks de estos recursos. Tales relaciones constituyen componentes críticos para comprender las variaciones en los rendimientos de pesca y, además, son el principal fundamento técnico definido en la Ley de Pesca para aplicar vedas extraordinarias. En especial, se hace necesario establecer un eventual impacto de fenómenos naturales, como eventos El Niño, sobre las poblaciones de peces pelágicos de esta zona y sobre el ecosistema asociado a estos recursos. Los eventos cálidos y fríos del ciclo ENOS han ejercido una fuerte influencia sobre los ecosistemas y recursos pelágicos de la zona norte de Chile (Escribano et al. 2004) y es muy probable que tales eventos afecten también los recursos pelágicos en la zona centro-sur del país, en particular aquellos de la Región VIII. En el contexto anterior, el Consejo de Investigación Pesquera, teniendo presente lo informado al efecto por la Subsecretaría de Pesca y la conveniencia de desarrollar una línea de investigación bio-oceanográfica para la Región VIII, ha decidido incluir el presente proyecto en el programa de investigación pesquera correspondiente al año 2004. Para tal efecto, y en consideración a la fuerte estacionalidad climática de la región, se ha decidido iniciar los estudios con un crucero durante primavera, período durante el cual se incrementa la productividad y actividad biológica en la zona. Esta presunción, sin embargo requiere también ser verificada a través de un seguimiento estacional a una escala espacial menor.

1.1. OBJETIVO GENERAL

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

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

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

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

3) Desarrollar una serie de tiempo de frecuencia mensual de las variables señaladas en los objetivos específicos 1 y 2, en estaciones seleccionadas, dentro de la zona de estudio.

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

2. METODOLOGÍA GENERAL

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

Para dar cumplimiento al objetivo general del estudio, los investigadores que conforman el equipo científico adoptaron una estrategia de trabajo en conjunto integrando sus especialidades, el conocimiento previo y las capacidades analíticas para los diferentes procesos, variables y componentes en estudio. Para tales fines se ha trabajado sobre la base de un marco conceptual integrado del estudio. El modelo conceptual (Figura 2.1) constituye así el marco de trabajo del equipo científico de la presente propuesta. En este esquema se destacan las variables y procesos físicos-químicos y biológicos y su conexión en el ambiente natural. La premisa fundamental de dicho modelo es que los componentes autotróficos y heterotróficos, así como los procesos y factores que los regulan, constituyen la base biológica que determina en último término la producción biológica de niveles tróficos superiores y, por ende, la producción pesquera de la región.

El enfoque integrado del sistema ha requerido a su vez adoptar aproximaciones metodológicas integradas para la zona de estudio (35-38° S). Para ello se ha contado con recursos y actividades que permitieron cubrir varias escalas espaciales y temporales, tratando de maximizar la información a obtener y optimizar la resolución de las variables a medir y estimar. Este enfoque incluye: 1) recursos satelitales para datos superficiales diarios y semanales en alta resolución de temperatura, biomasa fitoplanctónica, altura del mar, y campos de vientos, 2) estación costera terrestre para información diaria de vientos, luz, presión atmosférica y registro diario de temperatura superficial del mar, 3) monitoreos bio-oceanográficos en escalas mensual y estacional sobre estaciones fijas, en la plataforma continental y sobre el talud, y 4) un crucero bio-oceanográfico para una condición primaveral, que cubre la variabilidad de meso-escala espacial. La Figura 2.2 resume en forma ilustrada el modelo operacional del estudio.



Figura 2.1. Modelo conceptual de los procesos y componentes a estudiar. Aut. = autotrófica, P=picoplancton, N=nanoplancton, M=microplancton, Clo-a = clorofila-a





3. RESULTADOS

3.1. Condiciones ambientales en el Pacífico Sur Oriental durante el período 2004-2005

De acuerdo a los reportes internacionales, climáticos y oceanográficos, el Pacífico Sur se caracterizó por presentar condiciones neutrales de ENOS (El Niño Oscilación del Sur) durante el período 2004-2005. Las anomalías de temperatura en el Pacífico ecuatorial central presentaron varias fluctuaciones con valores positivos y negativos, asociados fundamentalmente a una fuerte actividad de las oscilaciones "Madden-Julian" (MJO).

Las temperaturas superficiales y sub-superficiales incrementaron sustancialmente en el Pacífico Sur Oriental durante abril y mayo de 2005, en asociación a una fuerte onda Kelvin. Anomalías de TSM se incrementaron por cerca de 1°C durante mayo 2005, y para fines del mes anomalías positivas ecuatoriales de TSM mayores que +0.5°C fueron observadas en el Pacífico ecuatorial central, aunque hacia la costa de Sud-América existieron anomalías negativas de TSM. No obstante todas estas oscilaciones, no existió evidencia en todo el período de eventos cálidos que pudieran afectar el Pacífico Sur.

Las observaciones anteriores, sumada a la mayoría de los modelos climáticos de pronósticos, sugirieron que las condiciones neutrales de ENOS prevalecerían durante los meses de invierno 2005. Los modelos pronósticos también predicen que esta condición neutral se mantendrá durante la segunda mitad del año 2005.

3.2. Distribución espacial de meso-escala de variables bio-oceanográficas durante la primavera de 2004.

La Figura 3.1 muestra la posición de las estaciones oceanográficas realizadas durante el crucero. El detalle de cada estación y la profundidad alcanzada en cada uno de los lances de CTD se muestra en la Tabla 3.1.

La batimetría de la zona de estudio presenta una amplia plataforma continental, particularmente entre 36° S y 37° S, su ancho es variable, con la presencia de cañones submarinos, como el cañón del río Bío-Bío e importantes rasgos en la línea de costa, como el Golfo de Arauco (Figura 3.2). Por otra parte, solo al norte de la zona de estudio las profundidades oceánicas exceden 5.000 m, marcando el límite sur de la fosa submarina de Chile Perú.

Información satelital de viento superficial derivada del escaterómetro de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) QuickSCAT fue analizada para conocer las características del viento favorable a la Surgencia durante el crucero. Mayor información sobre QuickSCAT puede ser encontrada en diversos sitios de Internet, por ejemplo, http://winds.jpl.nasa.gov/missions/quikscat.

Durante todo el período del crucero los vientos cerca de la costa presentaron una componente meridional positiva, es decir, los vientos fueron favorables a la surgencia costera (Figura 3.3), aun cuando cerca del 19 de noviembre los vientos se debilitaron en la parte sur de la zona de estudio. La Figura 3.4 muestra el índice de surgencia en tres localidades cerca de la costa para todo el mes de noviembre de 2005. Los índices muestran que el transporte de Ekman superficial hacia fuera de la costa, es decir favorable a la surgencia (valores positivos en la Figura 3.4), alcanzó un máximo al inicio del crucero, durante los días 15 al 17 de noviembre.

3.2.1 Secciones horizontales de Temperatura, Salinidad y Oxígeno disuelto

Temperatura

La distribución superficial de temperatura del mar (realmente medida a 5 dB de presión o 5 m de profundidad) presenta un marcado gradiente zonal (es decir en dirección este-oeste) y una rica estructura de mesoescala cerca de la costa. Los valores decrecen desde ~15.5 °C en la parte norte de la región oceánica a valores <13 °C en la zona costera (Figura 3.5a). Los valores bajos de temperatura superficial cerca de la costa son consistentes con las condiciones de surgencia sugerida por la información de viento. El agua fría cerca de la costa genera un frente térmico horizontal que se extiende en una dirección aproximadamente norte-sur. La isoterma de 14 °C marca aproximadamente el borde externo de esta zona frontal. Hacia la costa, desde la posición de esta isoterma, la temperatura decrece rápidamente, dando lugar a gradientes horizontales de ~1 °C por 15 km (7×10⁻² °C km⁻¹) o 1 °C por 20 km (5×10⁻² °C km⁻¹). En la zona oceánica, al oeste de 76° W, la distribución de temperatura superficial muestra la presencia de un pequeño gradiente orientado en una dirección aproximadamente meridional.

Las temperaturas más bajas observadas a 5 m de profundidad son <13° C y se localizan cerca de la costa, indicando posibles focos de surgencia durante el período de estudio. Una lengua de agua con temperaturas <12° C se extiende desde el sur de Punta Lavapié (~37°15' S)

hacia el norte, dando lugar a un pequeño núcleo frío observado a 36°30' S en las estaciones oceanográficas 23 y 24.

La temperatura a 50 dB (~50 m de profundidad) presenta valores mínimos (~10 °C) sobre la plataforma continental al norte del Golfo de Arauco (Figura 3.5b). Las isotermas más frías tienden a orientarse en forma paralela a la costa dando origen a un gradiente hacia el oeste. Hacia el sur, las isotermas más cálidas, localizadas en la zona oceánica, se curvan hacia el oeste, dando origen a un gradiente hacia el norte en la zona oceánica. La disminución de la temperatura hacia la costa a 50 m de profundidad es consistente con lo observado cerca de la superfície a 5 m de profundidad. Sin embargo, los gradientes son menores y la zona de gradientes se extiende hacia el océano. La isoterma de 14° C, al igual que a 5 m, sigue marcando la región de mayores gradientes, sin embargo esta isoterma se ubica mucho más lejos de la costa.

A diferencia de los campos de temperatura cercanos a la superficie (5 y 50 m de profundidad), las distribuciones horizontales de temperaturas a 100 m de profundidad (Figura 3.5c) y a 200 m de profundidad (Figura 3.5d) presentan menores gradientes cerca de la costa, notando que las isolíneas en la figura correspondiente a 200 m son cada 0.2°C, a diferencia de las figuras anteriores que están cada 0.5°C.

Salinidad

La salinidad cerca de la superficie presenta valores que fluctúan entre 33.4 y 34.2 aproximadamente, salvo una lengua con valores <33.0 en la parte este de la transecta 6, en el extremo sur de la zona de estudio (Figura 3.6a). Los valores más altos se localizan en una franja costera al norte del Golfo de Arauco, es decir, desde la transecta 4 (ubicada a 37° S) hacia el norte. En esta zona, la isoterma de 14° C, representativa del borde externo del frente térmico producido por las aguas frías emergidas junto a la costa, coincide aproximadamente con la isohalina de 33.6. Los valores mayores de salinidad, localizados cerca de la costa, al igual que los valores bajos de temperatura, darían cuenta de la presencia de aguas de surgencia costera, al norte de 37° 30' S.

La Figura 3.6a muestra una franja de bajos valores de salinidad (valores menores a 33.6), centrado en los 74°W 30' S aproximadamente. Este valle en la distribución de salinidad cerca de la superficie resultaría de la advección superficial de aguas relativamente dulces desde el sur y la presencia de aguas salinas cerca de la costa aportadas por la surgencia al norte de 37° 30'S.

A 50 m de profundidad aproximadamente no se observaron salinidades <33.6, salvo en la estación 7 en la transecta norte (Figura 3.6b). Los valores observados a 50 dB son ligeramente mayores a los observados a 5 dB de presión. La región oceánica es dominada por valores cercanos a 33.8 y 33.9, mientras que la zona costera, sobre la plataforma continental, presenta valores >34.3. Esta isohalina tiende a seguir bastante bien la isobata de 200 m, la cual marca el borde de la plataforma continental en la región de estudio. Al igual que la distribución a 5 m, los valores menores observados a 50 m de profundidad (< 33.8) se localizan en una franja aproximadamente paralela a la costa centrada cerca de 74° 30' W.

A 100 m de profundidad (o 100 dB aproximadamente) la salinidad decrece monotónicamente hacia fuera de la costa, desde valores cercanos a 34.6 sobre la plataforma continental, hasta 33.9 – 34 en la zona oceánica (Figura 3.6c). En general las isohalinas se orientan meridionalmente cerca de la costa. En contraste a lo observado cerca de la superficie, a 200 m de profundidad el campo de salinidad tiende a ser homogéneo, los valores fluctúan entre 34.3 y 34.5 con una tendencia a aumentar hacia la costa (Figura 3.6d).

Densidad

Como es usual en oceanografía, la densidad cerca de superficie se representa como σ_t (kg m⁻³), en el entendido que los valores se refieren a σ_t kg m⁻³ + 1000 kg m⁻³. La Figura 3.7a muestra la distribución superficial (5 db) de σ_t en la zona de estudio. El rasgo más notable de la figura es la presencia de un frente de densidad (zona de alto gradiente horizontal) en una amplia región cercana a la costa. El borde oceánico del frente se extiende entre 50 y 150 km hacia fuera de la costa, en correspondencia con el frente térmico. Al igual que la salinidad, la distribución de σ_t cerca de la superficie presenta una franja oceánica (centrada a los 74° 45' W) orientada meridionalmente con valores relativamente bajos (<25.0 kg m⁻³).

El campo de σ_t a 50 m de profundidad (Figura 3.7b) muestra rasgos similares a los observados cerca de la superficie. Las isolineas de densidad se alinean paralelas a la costa, consistentes con la distribución de salinidad y temperatura observada a 50 m de profundidad. Esta decae desde valores >26.4 kg m⁻³ cerca del quiebre de la plataforma continental (con valores >26.6 kg m⁻³ sobre la plataforma continental al norte del Golfo de Arauco) a valores <25.4 kg m⁻³ en la zona oceánica. A 100 m de profundidad (Figura 3.7c), la distribución de densidad es similar a la observada a 50 m, con valores >26.5 kg m⁻³ cerca de la costa y valores <25.8 kg m⁻³ en la

zona oceánica. A esta profundidad (100 m) todavía existe un gradiente relativamente importante de densidad hacia la costa; aunque es menor al observado cerca de la superficie, el cual sigue siendo claramente identificable. A diferencia de lo anterior, a 200 m de profundidad (Figura 3.7d), el campo de densidad es prácticamente homogéneo, con valores entre 26.5 kg m⁻³ y 26.6 kg m⁻³ en casi toda la región.

Oxígeno disuelto

La distribución de oxígeno disuelto observada a 5 m de profundidad (5 dB) en la parte oceánica de la región de estudio es muy homogénea; los valores observados, cercanos a 5.6 mL L^{-1} , se aproximan al valor de equilibrio con la atmósfera para la temperatura, salinidad y presión registrada (Figura 3.8a). Cerca de la costa, los valores caen rápidamente creando un gradiente similar al observado en la temperatura superficial. Asociadas a la lengua de agua fría ubicada cerca de Punta Lavapié –valores de temperatura <12 °C–, se observan concentraciones de oxígeno <4.4 mL L^{-1} , muy por debajo de su valor de equilibrio (~6.1 mL L^{-1} para una temperatura de 12 °C, salinidad de 34 y una atmósfera de presión). Al interior del Golfo de Arauco, las estaciones 41 y 42 presentan altos valores a 5 m de profundidad, sin embargo las concentraciones disminuyen a valores <1 mL L^{-1} a 15 m y 20 m de profundidad respectivamente.

A 50 m de profundidad (~50 dB) la distribución horizontal de oxígeno presenta un notable gradiente cerca de la costa (Figura 3.8b). Los valores decrecen desde 5.6 mL L⁻¹ en la zona oceánica a valores <1 mL L⁻¹ sobre la plataforma continental. Las isolíneas de oxígeno disuelto se orientan aproximadamente paralelas a la costa siguiendo la distribución observada en las otras variables. La isolínea de 2 mL L⁻¹, al igual que la isohalina de 34.3 a 50 m de profundidad, delinea aproximadamente el borde de la plataforma continental. Lejos de la costa, la distribución de oxígeno a 50 m de profundidad presenta muy poca variación, con valores cercanos a 5.6 mL L⁻¹, similares a los observados cerca de la superfície. Esto indicaría una capa superfícial bien oxigenada mayor a 50 m en la región oceánica. Este resultado es consistente con la profundidad de la oxiclina en la zona oceánica mostrada en las secciones verticales (ver resultados más abajo).

A 100 m de profundidad (~100 dB), la zona de alto gradiente zonal se extiende desde la costa hasta los 75° W o 75° 30' W (Figura 3.8c). Cerca de la costa las concentraciones de oxígeno disuelto no superan 1 mL L^{-1} mientras que en la parte oceánica éstas, en general, son superiores a

5 mL L⁻¹. Sin embargo, existen dos lenguas de agua con valores <4.4 mL L⁻¹ en la zona oceánica, una en la parte norte centrada a \sim 76°W y otra en el extremo sur, cerca de 76° 45'W (Figura 3.8c). Como se argumenta más adelante, estas lenguas de aguas con bajo oxígeno están asociadas a procesos físicos que transportan aguas costeras de surgencia hacia el interior del océano (mar adentro).

La distribución de oxígeno disuelto a 200 m de profundidad (aproximadamente 200 dB) muestra gran variabilidad y altos gradientes en la zona oceánica (Figura 3.8d), con valores que van desde \sim 3.2 mL L⁻¹ hasta valores <1 mL L⁻¹. Cerca de la costa los valores son relativamente homogéneos (<1 mL L⁻¹), indicando que el núcleo de la mínima de oxígeno comprende esta profundidad. En contraste, la variabilidad observada en la zona oceánica es indicativa de la presencia de la oxiclina. Este rasgo se puede observar con mayor detalle en las secciones verticales que se describen más adelante. Los valores oceánicos a 36°30' S y 37° S sugieren que aguas oceánicas, con valores de oxígeno ligeramente mayores, son advectadas hacia la costa.

3.2.2 Distribución horizontal de la profundidad de la termoclina

La Figura 3.9a muestra la profundidad de la isoterma de 11 °C, representativa de la base de la termoclina superior. Bajo esta isoterma el gradiente vertical de temperatura se reduce rápidamente (como se verá más abajo un pequeño "thermostad" suele aparecer entre las isotermas de 10 °C y 11 °C). Sin embargo, se debe distinguir este rasgo de la termoclina oceánica permanente, cuya base se ubica por debajo de los 400 m o 500 m de profundidad. En general, la isoterma de 11 °C se encuentra a mayor profundidad lejos de la costa. En la zona oceánica alcanza profundidades mayores a 140 m, mientras que en la plataforma continental en ocasiones no supera los 20 m de profundidad (Figura 3.9a). Desde la costa, su profundidad aumenta rápidamente hasta 120 m los primeros 90–100 km. Las isolíneas de igual profundidad se orientan aproximadamente paralelas a la costa, alcanzando un máximo relativo entre los 74° W y 75° W dependiendo de la latitud.

Por otra parte, el tope superior de la termoclina puede ser representado por la profundidad de la capa isotérmica superficial, la cual puede ser usada como indicador de la profundidad de la capa de mezcla (Figura 3.9b). La capa isotérmica fue estimada considerando valores cercanos a superficie con un gradiente vertical de temperatura <0.04 °C/m. La profundidad de esta capa muestra un patrón complejo, con valores mínimos cerca de la costa y en la parte norte de la zona

de estudio. Los máximos valores se encuentran en la parte sur y se extienden hacia el centro de la región. Cabe mencionar que la profundidad de la capa isotérmica superficial depende estrechamente de la intensidad del viento. Cambios en la intensidad del viento durante el crucero pueden introducir un sesgo en la Figura 3.9b. Un estudio más detallado de la capa de mezcla requiere del análisis de los perfiles verticales de temperatura y densidad en las distintas estaciones. Por ejemplo, los pequeños valores observados en las estaciones oceánicas de las transectas 3 y 4 (estaciones 30 y 40) resultan de un proceso de estratificación estacional. En estas estaciones oceanográficas la temperatura decrece casi linealmente con el aumento de la profundidad, los primeros 100 m (200 m) para el caso de la estación 30 (estación 40) aproximadamente. La baja intensidad del viento durante el período de observación (19/11/2004 para ambas estaciones) no permitió la formación de una capa de mezcla.

3.2.3. Secciones verticales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto

Como se indicó en la sección anterior, durante el crucero de noviembre de 2004 se realizaron 5 transectas orientadas zonalmente y separadas aproximadamente medio grado de latitud. Sin embargo, a 37° 30' S sólo se realizaron 5 estaciones de CTD, tres oceánicas y dos costeras (Figura 3.10). Debido a la gran brecha entre 74° W y 76 °W, la sección a 37° 30' S no fue graficada. Sin embargo, al igual que en la sección anterior, la información de las estaciones realizadas a esta latitud es incluida en el análisis, así como en las secciones meridionales presentadas más abajo.

Transecta Norte (35° 30' S)

La Figura 3.10 muestra la distribución vertical, de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto a lo largo de una sección cercana a los 35° 30' S entre superficie y 500 m de profundidad. Las isolíneas de las distintas variables muestran una zona de alto gradiente sobre los 200 m de profundidad que se inclina hacia la superficie cerca de la costa. Sin embargo, la posición del máximo gradiente y su extensión vertical varía entre las distintas variables.

La isoterma de 15 °C marca el limite superior de la termoclina en la zona más oceánica (Figura 3.10a). En la parte más costera, aguas de 13 °C llegan a superficie, mientras que aguas

con esta temperatura se ubican típicamente bajo los 70 m de profundidad en la zona exterior. En general, las isotermas superiores a 11 °C se inclinan hacia la superficie cerca de la costa. Entre esta isoterma y la de 10 °C existe una pequeña región donde la temperatura varía con profundidad a una tasa menor (denominada frecuentemente "thermostad" en inglés). Este rasgo es característico a lo largo de la costa occidental de Sudamérica. Un rasgo distintivo de la Figura 3.10a es la oscilación de las isotermas <10 °C en dirección zonal. Estas muestran mínimos (mayores profundidades) cerca de la costa y a ~75°45' W. La distribución de salinidad presenta una haloclina que se ubica ligeramente por debajo de la termoclina, con valores entre 33.6 cerca de la superficie y 34.4 a mayor profundidad (Figura 3.10b). En la región oceánica, la isohalina de 34.4 se ubica bajo los 150 m. Hacia el oeste, esta isohalina se inclina hacia arriba hasta alcanzar la superficie junto a la costa. Entre 200 y 400 la transecta muestra una zona relativamente homogénea, con máximos valores de salinidad >34.4, pero no superan los 34.6.

La distribución de densidad (Figura 3.10c) presenta, en general, rasgos similares a la distribución de temperatura, aunque en la región oceánica, la base de la picnoclina está ligeramente por debajo de la base de la termoclina, lo cual es consistente con la posición de la haloclina indicada anteriormente. Bajo los 200 m de profundidad, las isopicnas (<26.2 kg m⁻³) presentan una oscilación similar a la que muestran las isotermas <10 °C. Esta isopicna (26.2 kg m⁻³) es representativa de la base de la picnoclina en esta transecta y en general, en toda la zona de estudio, mientras que la isopicna de 25.8 kg m⁻³ es representativa de la parte media de la termoclina en toda la región.

Como es usual a lo largo de la costa centro y norte de Chile la distribución de oxígeno se caracteriza por una marcado mínimo subsuperficial centrado entre 200-300 m (Figura 3.10d). La zona de mínima concentración de oxígeno es separada por dos zonas de grandes gradientes verticales (oxiclinas). La oxiclina superior se encuentra ligeramente por debajo de la picnoclina y presenta los mayores gradientes. A través de esta región el oxígeno se reduce desde valores cercanos al valor de equilibrio con la atmósfera en superficie (>5 mL L⁻¹), hasta valores <1 mL L⁻¹, en menos de 100 m de profundidad. Es interesante destacar el máximo relativo, con valores superiores a 1 mL L⁻¹, que se observa en la capa mínima de oxígeno (Estación 7 a 74°42' W aproximadamente). Este máximo relativo –que en la Figura 3.10d aparece interrumpiendo la capa mínima de oxígeno– coincide con un mínimo de salinidad en el mismo rango de profundidades (~200-300 m) y con un mínimo relativo en la profundidad de las isotermas inferiores a 10 °C. La

distribución de las distintas variables estaría asociada a la presencia de un vórtice de mesoescala que estaría en su parte occidental (al oeste de la estación 9), transportando aguas costeras de surgencia (con alta salinidad y bajo contenido de oxígeno) hacia el sur. Dinámicamente, este rasgo es consistente con la distribución de densidad y temperatura.

Cambios en la profundidad de las isopicnas (y comúnmente de las isotermas) pueden ser usados para estimar cualitativamente la dirección relativa de los flujos. La inclinación de las isopicnas cerca de la superficie (profundidades <150 m) al este de la estación 8 es consistente con un flujo superficial hacia el norte. Mientras que la inclinación de las isopicnas e isotermas bajo los 200 m al oeste de la estación 9 indicarían la presencia de un flujo hacia el sur, el cual se extendería, al menos hasta 500 m de profundidad. En contraste, al este de la estación 9 el flujo sería hacia el norte, probablemente intensificado cerca de la superficie. Cerca del talud, la inclinación de las isotermas e isopicnas reflejan la presencia de un flujo subsuperficial hacia el sur. La presencia de flujos contrapuestos, comúnmente asociados a vórtices de mesoescala en zonas de surgencia, daría lugar a la heterogéna distribución subsuperficial de oxígeno y salinidad mostradas en las Figuras 3.10b y d.

Transecta 2 (36° S)

A lo largo de esta transecta, particularmente cerca de la costa, la inclinación hacia la superficie de las isolíneas de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno es consistente con un período de surgencia (Figura 3.11). Sin embargo, a diferencia de la transecta ubicada al norte, la isoterma de 10 °C se extiende aproximadamente horizontal a lo largo de toda la sección. Dado que las estaciones de CTD 17 y 18 sólo alcanzaron los 248 m y 311 m de profundidad respectivamente, no se puede resolver adecuadamente en la figura la distribución de las isotermas bajo esta profundidad cerca de la costa (sin embargo, el muestreo en la estación 15 superó los 600 m; para ver en detalle la información ver figuras y datos en el Reporte de Datos de CTD). Al igual que en la transecta ubicada al norte, un pequeño "thermostad" entre 11 °C y 10 °C marca la base de la termoclina superior, la cual se localiza a 120-130 m de profundidad en la zona oceánica (Figura 3.11a).

Sobre los 200 m, las distribuciones de salinidad (Figura 3.11b), densidad (Figura 3.11c) y oxígeno (Figura 3.11d) muestran rasgos similares a los descritos anteriormente en la transecta centrada a los 35°30' S. Sin embargo, a mayor profundidad, la distribución de temperatura y

densidad no muestra oscilaciones zonales, mientras que la distribución de salinidad y oxígeno no insinúa el efecto del vórtice sugerido en la transecta anterior.

Transecta 3 (36° 30' S)

Varios de los rasgos descritos anteriormente se repiten, en general, en las distintas secciones. Sin embargo, es interesante destacar algunas diferencias que reflejan una significativa variabilidad de mesoescala. La inclinación hacia superficie de las diversas isolíneas –cerca de la costa– da cuenta, al igual que las secciones horizontales, del afloramiento de aguas subsuperficiales en toda la región. Sin embargo, a esta latitud, se observa un marcado frente térmico superficial sobre el borde de la plataforma continental (entre las estaciones 24 y 25, Figura 3.12a). Este estaría relacionado con la lengua de agua fría que se extiende hacia el norte desde Punta Lavapié (ver Figuras 3.5a y 3.8a).

Por otra parte, bajo los 250 m, la isoterma de 9°C se inclina rápidamente hacia el fondo cerca del talud continental. Este rasgo, junto con la profundización de las isopicnas observadas bajo los 200 m, es característico de la presencia de un flujo subsuperficial hacia el polo. La distancia vertical entre las isotermas de 9 °C y 11 °C –comparada con la distancia vertical entre las isotermas de 7 °C y 9 °C– refleja una disminución del gradiente vertical de temperatura entre 150 y 300 m aproximadamente, en la región más alejada de la costa. No obstante, este rasgo está debilitado en comparación con lo observado en las secciones anteriores.

La distribución de salinidad cerca de la superficie muestra valores mínimos entre 74° W y 75° W (Figura 3.12b), consistente con la distribución horizontal de salinidad descrita anteriormente para 5 dB. En esta zona, la presencia de una lengua de bajas salinidades se extiende hacia el norte por el lado oceánico de la pluma de agua fría (<12°C) observada cerca de superficie. Por otra parte, la inclinación de las isohalinas cerca de la costa sugiere que los altos valores observados sobre la plataforma continental resultan de la surgencia de aguas que se localizan regularmente bajo los 200 m en la zona oceánica. Tanto las secciones de densidad (Figura 3.12c) como de oxígeno (Figura 3.12d) son consistente con esta idea. Similar a lo observado en las otras transectas, el núcleo de máxima salinidad se localiza cerca de los 250 m de profundidad en toda la sección, coincidiendo con el núcleo de la mínima de oxígeno. Ambas propiedades (el mínimo de oxígeno y el máximo de salinidad), tienden a debilitarse a medida que aumenta la distancia desde el talud.

Transecta 4 (37° S)

Al igual que en las sección ubicada a 36°3' S, en esta transecta también se observa un gradiente térmico horizontal en superficie sobre el talud continental (Figura 3.13). Sin embargo, las isotermas fuera del talud, tienden a distribuirse de manera aproximadamente horizontal. En esta sección, las isopicnas se inclinan monotónicamente hacia la superficie a medida que se aproximan a la costa, incluyendo aquellas ubicadas bajo los 300 m, a diferencia de lo observado en la sección anterior, donde tanto las isotermas como las isopicnas ubicadas bajo los 300 m tienen una inclinación hacia el fondo.

La salinidad presenta un máximo subsuperficial cerca de los 250 m de profundidad, sin embargo, el núcleo salino supera los 35.5 sólo en pequeñas regiones, reflejando una disminución de la salinidad hacia el sur. Este rasgo es consistente con las características de la distribución de oxígeno, en donde los valores <0.5 mL L⁻¹ se restringen a una pequeña zona del talud y la plataforma continental.

A diferencia de lo observado en otras transectas, a 37º S sólo se observaron pequeñas variaciones en las profundidades de las isotermas e isopicnas subsuperficiales. Esto indicaría que los flujos meridionales fueron más bien débiles en esta transecta durante el crucero.

Transecta Sur (38° S)

La distribución zonal de las distintas variables y a diferentes profundidades cambia drásticamente en esta sección (Figura 3.14), cuando se compara con la distribución a 37°S. En superficie aguas de 14 °C se extienden desde la región oceánica hasta la plataforma continental. La parte superior de la termoclina está relativamente bien desarrollada y se inclina hacia la superficie cerca de la costa, pero no irrumpe en superficie como en las secciones anteriores. Bajo la parte superior de la termoclina, la profundidad de las isotermas <10 °C muestran gran variabilidad en la zona oceánica. La profundidad de estas isotermas cambia más de 100 m en una distancia <90 km. Al igual que la temperatura, las isopicnas ubicadas bajo los 200 m de profundidad presentan una importante depresión en la estación 59. Como se indicara anteriormente, en la descripción de la transecta centrada a 35°30' S, cambios importantes en la profundidad de las isotermas) observados en las transectas

zonales, están dinámicamente relacionados a la presencia de flujos meridionales relativamente intensos. Estos flujos se extenderían hasta profundidades >500 m. La inclinación de las isopicnas (e isotermas) al oeste de la estación 59, indicaría la presencia de un flujo hacia el sur, mientras que al este de esta posición, entre la estación 59 y 58, el flujo sería hacia el norte. Tanto la distribución de salinidad como la de oxígeno muestra una importante variabilidad subsuperficial que sería consistente con la presencia de flujos intensos en direcciones opuestas. El flujo hacia el sur estaría advectando aguas subsuperficiales con bajas concentraciones de oxígeno y alta salinidad, mientras que el flujo hacia el norte transportaría aguas subsuperficiales más oxigenadas y de menor salinidad. Al este de la estación 58, el flujo subsuperficial tendería hacia el sur mientras que la inclinación de las isopicnas más superficiales refleja la presencia de un importante flujo hacia el norte cerca de la superficie. El flujo subsuperficial hacia el sur al este de la estación 58 es consistente con un incremento de la salinidad entre 200 y 300 m de profundidad y una reducción del oxígeno entre estas profundidades. Este formaría parte de un rasgo permanente asociado con la presencia de la Corriente Subsuperficial Perú-Chile.

3.2.4. Transectas hidrográficas meridionales

La distancia entre las diferentes transectas permite analizar la distribución de las distintas variables en una dirección meridional aún cuando estas presenten variabilidad de mesoescala significativa. La Figura 3.15 muestra la distribución de temperatura, salinidad y densidad en tres transectas meridionales centradas a 76°42' W (oceánica), 75° W (intermedia) y una transecta cercana al borde de la plataforma continental, siguiendo aproximadamente su contorno.

En la región más oceánica las temperaturas superficiales tienden a aumentar hacia el norte y la parte superior de la termoclina tiende a profundizarse levemente hacia el norte. Este último rasgo es consistente con un flujo superficial hacia la costa. Sin embargo, en la parte sur de la transecta, bajo los 200 m, las isotermas tienden a profundizarse rápidamente hacia el sur. La salinidad sobre los 100 m es relativamente homogénea con valores <34. Entre 200 m y 400 m se localiza un núcleo con máximos valores de salinidad, valores >34.4. Ambas zonas están separadas por una marcada haloclina, cuya profundidad varía entre 100 m y 200 m, alcanzando mayor profundidad en medio de la transecta, cerca de los 37º S. A esta latitud, el núcleo de la zona de máxima salinidad presenta un mínimo relativo, con valores <34.4.

La inclinación de las isotermas subsuperficiales en la parte sur de la transecta oceánica se refleja en el hundimiento de las isopicnas de 26.6 y 26.8 kg m⁻³ en ese lugar. Esta distribución de densidad estaría asociada con un flujo subsuperficial hacia el oeste. En la parte norte de la transecta, desde 36°30' °S hacia el norte aproximadamente, las isopicnas subsuperficiales también reflejarían un flujo relativamente débil hacia el oeste mientras que en la parte central las isopicnas tienden a profundizarse hacia el norte en todas las profundidades. Los flujos sugeridos por la inclinación de las isopicnas son consistentes con la distribución subsuperficial de salinidad. Es decir, los flujos hacia el oeste transportarían aguas salinas costeras hacia el interior del océano, mientras que el flujo hacia la costa transportaría aguas de menor salinidad.

Cabe enfatizar que la existencia y dirección de los distintos flujos mencionados son cualitativas y en cierto modo subjetivas, ya que la distribución de las isopicnas permite evaluar sólo las tendencias en la componente baroclínica del flujo. Un flujo barotrópico importante podría revertir completamente la dirección del flujo total. Sin embargo, el conocimiento del campo de masa, junto con las distribuciones de las distintas propiedades del agua, es una herramienta valiosa para una evaluación preliminar y cualitativa de los flujos.

La transecta intermedia muestra rasgos similares a los descritos anteriormente para la transecta oceánica, aunque la inclinación de las isotermas e isopicnas son menores. La salinidad también muestra un rasgo similar, aunque en superficie se observan salinidades menores y el máximo salino es más intenso consistente con el gradiente costa océano observado en las diferentes secciones zonales. A diferencia de las transectas oceánicas, la transecta cercana a la plataforma continental presenta gran variabilidad, sin embargo, esta es difícil de interpretar, dado que los grandes gradientes zonales pueden introducir importantes variaciones según la estación elegida.

3.2.5 Masas de Agua

La distribución característica de salinidad y oxígeno en la zona de estudio permite reconocer fácilmente las aguas costeras de surgencia y las aguas subsuperficiales. Las secciones verticales mostraron un núcleo salino (>34.5) y de baja concentración de oxigeno (<0.5 mL L-1) junto al talud y centrado entre 200 y 300 m de profundidad. Estas aguas usualmente se aproximan a superficie, extendiéndose hacia la costa junto al talud y la plataforma continental (Figuras 3.10

a 3.14). Aguas con estas características están asociadas en la región a aguas de origen ecuatorial, específicamente a la Masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)

La mayor cantidad de estaciones no superó los 650 m de profundidad, salvo algunas estaciones en la transecta 6 y una en la transecta 5 que sobrepasaron los 1000 m. Cerca de superficie, las salinidades en la región oceánica muestra valores ligeramente >33.8 mientras que cerca de la costa la salinidad aumenta hasta valores >34.2. Por otra parte, una lengua superficial de bajas salinidades ingresa desde el sur cerca de la costa, pero fuera de la plataforma continental. En esta región, durante la época de surgencia, el agua fresca proveniente del sur se mezcla con agua más salina que llega a superficie cerca de la costa.

Para densidades >26 kg m⁻³ (notar que esta isopicna está ubicada en la picnoclina), la estructura de los diagramas T-S está claramente modelada por una reducción abrupta de la salinidad que cambia la densidad de 26 kg m⁻³ a 26.5 kg m⁻³ y acompañada sólo de una pequeña variación de la temperatura (Figura 3.16). Este rasgo es consistente con la presencia del thermostad entre las isotermas de 11°C y 10° C descrito en la sección anterior. La isopicna de 26.5 kg m⁻³ se ubica en el núcleo del máximo salino y la ZMO. Esta isopicna está asociada, además, al núcleo del Agua Ecuatorial Subsuperficial que se distribuye a lo largo de la costa oeste de Sudamérica. Al incrementar la profundidad, el aumento de la densidad está asociado a una reducción de la temperatura y de la salinidad, hasta alcanzar valores ligeramente >27 kg m⁻³. La mayoría de las estaciones termina en un punto cercano al núcleo del Agua Intermedia Antártica (AIAA), con valores de salinidad y temperatura cercanos a 34.26 y 5 °C respectivamente, ubicado cerca de 600 m de profundidad. Las estaciones que superan los 600 m muestran luego un aumento de la salinidad con la profundidad, consistente con la posición del núcleo de AIAA en esta profundidad y al efecto del Agua Profunda del Pacífico, caracterizada por presentar mayores salinidades y menores temperaturas que el AIAA y ubicada a mayores profundidades.

Los puntos con densidades <26 kg m⁻³, ubicados sobre la termoclina, presentan gran variabilidad. Algunas curvas tienden a reducir la salinidad con el aumento de la temperatura (transecta 1), mientras que otras curvas presentan aumento de la temperatura manteniendo relativamente constante la salinidad (transecta 5). Como se mostró en la distribución superficial de salinidad, la transecta 6 presentó valores muy bajos de salinidad en las cercanías a la costa.

Los diagramas T-S muestran que el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) se ubica en una superficie de densidad ~26.5 kg m⁻³, que corresponde al núcleo de la ZMO y máximo intermedio de salinidad. Sobre este núcleo se ubica la haloclina, donde la densidad alcanza rápidamente ~26 kg m⁻³. La presencia de aguas con bajo contenido de oxígeno y relativamente alta salinidad cerca de la superficie refleja la influencia de AESS. Durante el crucero, las aguas superficiales alcanzaron valores ligeramente >25.8 kg m⁻³ cerca de la costa, isopicna que se ubica en medio de la picnoclina y típicamente a 100 m de profundidad en la zona oceánica, estando asociada a la parte superior de la oxiclina y de la haloclina. Sin embargo, sobre la plataforma continental las aguas con densidad de 26.5 kg m⁻³ se encuentran entre 20 y 30 m de profundidad (Figura 3.17). Como se señaló anteriormente, esta densidad es característica del núcleo del AESS.

Estación	Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	z-CTD	z-Sonda
E01	2	21 11 2004	16.24.21	(15)	(°W) 72945-201	(m) 45	(m) 50
EUI	2	21-11-2004	10:34:21	25820.00	72*45.30	45	39
E02	3	21-11-2004	1/:39:18	35°30.00'	/2°51.40'	96	110
E03	2	21-11-2004	19:58:55	35°30.00'	/3°03.50	499	618
E04	6	21-11-2004	22:23:18	35°30.00'	73°15.80'	564	1770
E05	8	22-11-2004	02:34:14	35°30.00'	/3°40.40'	603	4000
E06	9	22-11-2004	06:25:18	35°30.00'	74°11.20'	631	4000
E07	11	22-11-2004	11:01:52	35°30.00'	/4º41./0'	555	4100
E08	12	22-11-2004	14:53:09	35°30.00'	75°12.50'	638	4112
E09	13	22-11-2004	18:29:27	35°30.00'	75°43.20'	640	4120
E10	15	23-11-2004	01:48:47	35°30.00'	76°44.70'	601	4000
E11	11	25-11-2004	00:49:25	36°00.00'	72°53.18'	114	160
E12	10	24-11-2004	22:00:36	36°00.00'	72°59.00'	240	300
E13	9	24-11-2004	20:14:27	36°00.00'	73°11.90'	302	380
E14	7	24-11-2004	17:27:39	36°00.00'	73°24.20'	178	215
E15	6	24-11-2004	13:50:38	36°00.00'	73°48.80'	610	3037
E17	4	24-11-2004	01:24:03	36°00.00'	74°50.80'	248	4000
E18	3	23-11-2004	20:46:08	36°00.00'	75°21.50'	311	4000
E19	2	23-11-2004	16:28:53	36°00.00'	75°52.40'	637	4000
E20	0	23-11-2004	08:00:19	36°00.00'	76°59.30'	592	4100
E21	7	18-11-2004	00:49:32	36°30.00'	73°01.10'	48	54
E22	8	18-11-2004	02:00:49	36°30.00'	73°07.50'	85	89
E23	9	18-11-2004	03:38:15	36°30.00'	73°20.10'	115	120
E24	10	18-11-2004	05:52:58	36°30.00'	73°32.50'	119	144
E25	1	20-11-2004	19:42:29	36°30.00'	73°47.10'	625	2450
E26	0	20-11-2004	16:02:45	36°30.00'	74°28.40'	632	4800
E27	26	20-11-2004	11:24:59	36°30.00'	74°59.40'	314	4250
E28	25	20-11-2004	07:51:59	36°30.00'	75°30.60'	644	4010
E29	24	20-11-2004	04.24.51	36°30 00'	76°01 60'	651	4170
E30	23	19-11-2004	21.18.38	36°30 00'	77°03 90'	650	4080
E31	5	17-11-2004	17:47:55	37°00 00'	73°14 40'	44	44
E32	6	17-11-2004	18:52:26	37°00.00'	73°29 90'	68	70
E33	11	18-11-2004	10:54:51	37°00 00'	73°40 10'	109	118
E34	12	18-11-2004	12:15:50	37°00.00'	73°46 60'	329	353
E35	14	18-11-2004	16:54:36	37°00.00'	74°14 90'	637	3210
E36	15	18-11-2004	20:49:01	37°00.00'	74°45 70'	613	4680
E37	17	19-11-2004	01.15.57	37°00.00'	75°17 20'	6/1	4200
E38	18	19-11-2004	04:59:53	37°00.00'	75°48 60'	652	3700
E30	10	19-11-2004	08.38.21	37°00.00'	76910 70'	630	4000
E37 E40	21	19-11-2004	15:49:40	37°00.00'	70 17.70	644	4000
E40 E41	21	17 11 2004	12:08:00	37°30.00'	73%12.00	80	4070
E41	1	17-11-2004	00:26:02	37 30.00	73 42.80	209	25
E42 E49	1	1/-11-2004	11.26.54	37 30.00	75 50.10	674	207 4122
E40 E40	16	16 11 2004	07:52:00	37 30.20	70 14.00	657	4155
E49 E50	10	16-11-2004	07.32.00	37 30.00	70 43.00	1214	4200
E30 E51	15	10-11-2004	00.21.13	37 30.00	77 48.50	1214	4150
ESI	0	14-11-2004	04:22:55	38'00.00	73*35.20	02	/5
E52	1	14-11-2004	06:18:09	38°00.00'	/3°41./0	99	106
E33	2	14-11-2004	08:20:05	38°00.00'	/ 3~54.40'	1102	162
E54	3	14-11-2004	10:55:21	38°00.00'	74°07.00'	1183	1250
E55	5	14-11-2004	16:23:46	38°00.00'	/4°32.40'	660	4500
E56	6	14-11-2004	21:00:52	38°00.00'	75°04.20'	1063	4400
E57	8	15-11-2004	02:32:52	38°00.00'	75°37.00'	604	3433
E58	9	15-11-2004	06:20:11	38°00.00'	76°07.80'	656	4000
E59	10	15-11-2004	10:01:55	38°00.00'	76°39.00'	660	4000
F60	12	15-11-2004	18:00:19	38°00.00'	77°43.00'	1228	4140

Tabla 3.1. Información resumen de las estaciones de CTD.


Figura 3.1. Posición geográfica de las estaciones oceanográficas realizadas durante el crucero MOBIOBIO, entre el 15 al 25 de noviembre de 2004. Se ilustra adicionalmente las estaciones del monitoreo mensual (E18) y estacional (E40) del período julio 2004 a julio 2005.



Figura 3.2. Batimetría de la zona de estudio.



Figura 3.3. Campo vectorial del viento superficial derivado del satélite QUICKSCAT para el período del crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.4. Transporte de Ekman calculado desde series diarias de viento satelital QUICKSCAT para tres posiciones cercanas a la costa, centradas a 35° 45'S, 36° 45'S y 37° 45'S. Los valores corresponden a transporte de volumen en m³s⁻¹ por 1000 m de costa.



Figura 3.5a. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.5b. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 50 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.5c. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 100 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.5d. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 200 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.6a. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.6b. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 50 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.6c. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 100 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.6d. Distribución horizontal de salinidad (psu) a 200 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.7a. Distribución horizontal de densidad (Kg/m³) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.7b. Distribución horizontal de densidad (Kg/m³) a 50 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.7c. Distribución horizontal de densidad (Kg/m³) a 100 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.7d. Distribución horizontal de densidad (Kg/m³) a 200 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.8a. Distribución horizontal de oxígeno disuelto (mL/L) a 5 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.8b. Distribución horizontal de oxígeno disuelto (mL/L) a 50 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.8c. Distribución horizontal de oxígeno disuelto (mL/L) a 100 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.8d. Distribución horizontal de oxígeno disuelto (mL/L) a 200 dB, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.9a. Distribución horizontal de la profundidad de la isoterma de 11°C, crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.9b. Distribución de la profundidad de la capa de mezcla, crucero MOBIOBIO 2004. La profundidad de la capa de mezcla se estimó aplicando el criterio del gradiente de temperatura, donde este no fuese $> 0.04^{\circ}$ C/m en los primeros metros de profundidad.



Figura 3.10. 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 2004.



Figura 3.11. Distribución vertical de a) temperatura (°C), b) salinidad (psu), c) densidad (Kg/m³) y d) oxígeno disuelto (mL/L), transecta 2 (36°00' S), crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.12. 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 2004.



Figura 3.13. 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 2004.



Figura 3.14. 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 2004.



Figura 3.15. Distribución vertical de temperatura (°C), salinidad (psu) y densidad (Kg/m³) de transectas longitudinales: oceánica (76° 42' W), intermedia (75° 00' W) y costera. Crucero MOBIOBIO 2004.



Figura 3.16. Diagramas T-S para las distintas transectas realizadas durante el crucero MOBIOBIO 2004. Las lineas curvas al interior de cada diagrama representan curvas de igual sigma-t.



Figura 3.17. Profundidad de la isopicna de 26.5 kg m⁻³. Esta isopicna representa el núcleo del Agua Ecuatorial Subsuperficial en la región.

3.2.6. Nutrientes

La distribución espacial de nutrientes durante el crucero de primavera (noviembre 2004), a 3 niveles de profundidad, se describe en esta sección (Figuras 3.18 a 3.22).

El nitrato presentó dos núcleos de máximos valores en superficie en la zona costera, uno en el sector norte (36° S) y otro frente a Punta Lavapié (37°30' S). Los máximos valores alcanzan hasta 30 μ M, mientras que en la zona oceánica los valores son <10 μ M (Figura 3.18A). A los 20 m, los núcleos se extienden en toda la franja costera con valores >30 μ M (Figura 3.18B) y con un núcleo más importante en el Golfo de Arauco (>35 μ M). A los 200 m (Figura 3.18C) las concentraciones de nitrato son más homogéneas, con extensión de valores >20 μ M en el área oceánica y >25 μ M en la zona costera.

El nitrito presenta concentraciones bajas (<1.5 μ M), los máximos valores concentrados en la zona costera con un núcleo frente a Bahía Coliumo (36°30' S), tanto en superficie (Figura 3.19A) como a 20 m (Figura 3.19B), y una distribución más homogénea a profundidad (Figura 3.19C). El amonio presentó concentraciones muy bajas (<0.04 μ M); las mayores concentraciones relativas aparecen en la costa del sector norte de la región, tanto en superficie como a 20 m (Figura 3.20 A y B), mientras que la distribución fue mas heterogénea a 200 m de profundidad, con máximos relativos tanto en la zona costera como oceánica (Figura 3.20C).

El fosfato muestra patrones muy relacionados a la distribución de nitrato, con mayores concentraciones en la franja costera (>3 μ M) y con menores valores en superficie (Figura 3.21A) que a 20 m (Figura 3.21B), y una mayor extensión de los valores mayores en la zona oceánica a los 200 m (Figura 3.21C). Similarmente se comporta el silicato, con concentraciones mayores (>40 μ M) en la zona costera (Figuras 3.22A-C).

Para ilustrar la distribución de principales nutrientes en el plano vertical, se seleccionó la transecta costa-océano a los 36° S. La distribución de nitrato, nitrito y fosfato en esta transecta (Figuras 3.23A-C) está relacionada al desplazamiento costa-océano de la pluma de surgencia visualizada en la distribución superficial de temperatura (Figura 3.5a). Esta sección vertical de nutrientes permite verificar el efecto fertilizador de la surgencia, con el levantamiento de las isolineas con mayores concentraciones de nutrientes hacia la superficie en la zona costera, en los primeros 100 km desde la costa.

56



Figura 3.18: Distribución espacial de la concentración de nitrato (μ M) a 3 niveles de profundidad: A: superficie, B: 20 m y C: 200 m, frente a la VIII Región, durante noviembre de 2004.



Figura 3.19: Distribución espacial de la concentración de nitrito (μ M) a 3 niveles de profundidad: A: superficie, B: 20 m y C: 200 m, frente a la VIII Región, durante noviembre de 2004.



Figura 3.20: Distribución espacial de la concentración de amonio (μ M) a 3 niveles de profundidad: A: superficie, B: 20 m y C: 200 m, frente a la VIII Región, durante noviembre de 2004.



Figura 3.21: Distribución espacial de la concentración de Fosfato (μ M) a 3 niveles de profundidad: A: superficie, B: 20 m y C: 200 m, frente a la VIII Región, durante noviembre de 2004.



Figura 3.22: Distribución espacial de la concentración de Silicatos (μ M) a 3 niveles de profundidad: A: superficie, B: 20 m y C: 200 m, frente a la VIII Región, durante noviembre de 2004.



Figura 3.23: Distribución vertical de la concentración de nitrato (A), nitrito (B) y fosfato (C) en μ M a lo largo de una transecta costa océano a los 36° S frente a la VIII Región, durante noviembre de 2004.

3.2.7. Oxígeno Disuelto

Las mediciones de oxígeno mediante el método Winkler permiten verificar la consistencia de la información obtenida por el sensor de oxígeno del equipo CTDO-F (Figura 3.8). La Figura 3.24 ilustra la distribución espacial de oxígeno a 3 niveles de profundidad. En general, los datos son consistentes con la distribución espacial de oxígeno del CTDO-F. A nivel superficial, existen núcleos de menor concentración de oxígeno en la zona costera asociados a los focos de surgencia, frente a Bahía Coliumo (36°30) y frente a Punta Lavapié (37°30), con concentraciones <3 mL L⁻¹ (Figura 3.24A). A los 20 m la presencia del levantamiento del límite superior de la ZMO se hace evidente en toda la franja costera de los primeros 60 km. En esta capa los valores de oxígeno se reducen a <1 mL L⁻¹ en la zona de los primeros 20 km, incluyendo el interior de las bahías de la región (Figura 3.24 B). A los 200 m, la distribución de oxígeno disuelto revela la presencia de la ZMO que se muestra como una masa de agua que se extiende desde la zona norte de la región y hacia la franja costera y la presencia de aguas más oxigenadas en el sector sur y oceánico del área (Figura 3.24C).

3.2.8. Carbono orgánico

Desde las muestras de agua se obtuvieron mediciones Carbono Orgánico Total (COT), el cual incluye carbono orgánico disuelto (COD) y carbono orgánico particulado (COP). Estas mediciones, obtenidas sobre la transecta meridional de los 36° S (a lo largo de la pluma de surgencia), permiten comparar la zona costera con la oceánica. Los valores encontrados se muestran en la Tabla 3.2, revelando altos valores (1 g L^{-1}) en ambas zonas en superficie y una gradual disminución hacia los 200 m de profundidad.

Tabla 3.2. Carbono Orgánico Total (COT) en μ g/L medidos en la zona costera y oceánica sobre la transecta de 36° S durante el crucero de noviembre de 2004.

	Zona		Zona	
	Oceánica		Costera	
Profundidad				
(m)	Promedio	DS	Promedio	DS
0	919.9	73.1	959.2	76.9
20	881.7	110.8	906.3	67.2
50	849.1	298.9	801.3	72.2
200	730.5	7.2	658.9	56.5



Figura 3.24: Distribución espacial de la concentración de oxígeno (ml/L) a 3 niveles de profundidad: A: superficie, B: 20 m y C: 200 m, frente a la VIII Región, durante noviembre de 2004.

3.2.9. Biomasa del fitoplancton

Durante el crucero de primavera 2004 frente a Concepción (~35-38°S), la distribución de mesoescala de la biomasa del fitoplancton fue evaluada. La biomasa de fitoplancton, representada en este caso por la estimación de clorofila-a que es común a autótrofos, fue evaluada para el total de los componentes (pico-, nano-, y micro-plancton), para las dos fracciones de autótrofos de menor tamaño, el nano- y pico-plancton (<20 μ m), y para la fracción menor o picoplancton (<3 μ m). La representación del nanoplancton por si solo puede ser obtenida por diferencia entre la primera y la segunda fracción mientras que la fracción microplanctónica por si sola queda representada por la clorofila total menos la fracción <20 μ m. Las estimaciones de clorofila-a total y fraccionada se realizaron en todas las estaciones en la profundidad más superficial de muestreo (0 m), excepto en aquellas estaciones en las que no se pudo realizar muestreos biológicos (gran parte de la transecta a 37°30'S). En las estaciones bio-oceanográficas se realizaron muestreos a 7 niveles, entre la superficie y los 100 m de profundidad; este muestreo solo fue abortado para varias de las estaciones en la transecta indicada más arriba. Sobre esta base se calculó además la clorofila integrada (0-100 m o hasta la profundidad máxima si el fondo se encontraba a <100 m).

La distribución superficial de clorofila-a fue heterogénea en el área de estudio, tanto en el sentido costa-océano como en el sentido latitudinal (Figura 3.25). Las máximas concentraciones de clorofila-a total (>8 mg m⁻³) fueron encontraron en la zona más costera sobre la terraza del Itata pero concentraciones altas (>4 mg m⁻³) ocurrieron en toda la franja costera, desde el Golfo de Arauco hasta la zona de la desembocadura del Río Itata, en el límite norte del área de estudio (Figura 3.25A). Además, concentraciones altas ocurrieron más allá de la plataforma continental en el área comprendida entre 35°30' y 36°30' S, hasta unos 200 km desde la costa. El rango de variación de la concentración superficial de clorofila-a total durante el crucero de primavera 2004 fue de 0.1-16.6 mg m⁻³, con un promedio \pm DS de 1.7 \pm 3.3 mg m⁻³.

En general, las concentraciones superficiales de clorofila-a total comparada con la fraccionada dieron cuenta de la mayor proporción de la fracción microplanctónica >20 μ m, toda vez que estas concentraciones fueron altas (>1 mg m⁻³ y >50% del total) y máximas (>8 mg m⁻³ y >80% del total). La fracción <20 μ m aportó concentraciones máximas que en su mayoría no superó 2 mg m⁻³ (Figura 3.25B) mientras que la fracción menor (<3 μ m) solo aportó máximos <0.5 mg m⁻³ (Figura 3.25C). La fracción nanoplanctónica en si (<20 y > 3 μ m) contribuyó de

forma importante (>50%) en algunas estaciones (zona costera a 36-36°30' S) con valores de clorofila total entre 1 y 2 mg m⁻³. Tanto la fracción nanoplanctónica como la picoplanctónica siguieron la misma distribución superficial de la clorofila-a total, con mayores concentraciones en la zona más costera y una extensión de altas concentraciones mar afuera, entre 35°30' y 36°30' S.

La distribución de la clorofila-a integrada total (Figura 3.26A) también revela una alta heterogeneidad espacial, con las mayores concentraciones (>100 mg m⁻²) situadas en la parte costera hacia el norte del Golfo de Arauco y una extensión de altas concentraciones mar afuera; las menores concentraciones integradas (<40 mg m⁻²) fueron encontradas en la parte sur de la zona de estudio (>37°30' S) y en la zona más oceánica. El rango de variación de la clorofila-a integrada durante el crucero de primavera 2004 fue de 8-492 mg m⁻², con un promedio \pm DS de 73 \pm 100 mg m⁻². La imagen satelital de clorofila-a, obtenida durante la realización del crucero (Figura 3.26B), refleja muy bien esta heterogeneidad espacial en la distribución de la biomasa fitoplanctónica y la formación de una pluma o filamento de mayores concentraciones extendiéndose desde la costa hacia el NW en la zona frente a la Terraza del Itata.

La distribución vertical (0-100 m) de la clorofila-a está representada en las varias transectas perpendiculares a la costa realizadas durante el crucero de primavera 2004. De éstas, se graficaron tres a modo de ejemplo y el resto de los datos está representado en las estimaciones de clorofila-a integrada total. Las transectas muestran la máxima concentración de biomasa fitoplanctónica (~18 mg m⁻³) en la zona norte del área de estudio (transecta a 36°S; Figura 3.27A), junto con una mayor extensión costa afuera, comparado con las otras dos transectas hacia el sur del área de estudio (37 y 38°S; Figuras 3.27B y 3.27C, respectivamente). Las concentraciones de biomasa fitoplanctónica en el transecto a 37°S (frente al Golfo de Arauco) fueron altas en la capa superficial (0-10 m) en una estación costera (8-9 mg m⁻³) mientras que en la transecta a 38°S éstas fueron en general muy bajas (<1 mg m⁻³). En cambio, los mayores valores (>6 mg m⁻³) en la transecta a 36°S fueron encontrados en la subsuperficie, entre 20 y 50 m de profundidad, al norte de los máximos en superficie sobre la terraza del Itata (Figura 3.25A).



Figura 3.25. Distribución superficial de la biomasa fitoplanctónica (como clorofila-a, en mg m⁻³) durante el crucero de primavera (noviembre 2004) frente a Concepción (35-38°S). A: clorofila-a total; B: clorofila-a correspondiente a las fracciones nano- y pico-planctónicas (<20 μ m), C: clorofila-a correspondiente a la fracción picoplanctónica (<3 μ m). La fracción microplanctónica está representada por la clorofila-a total menos la fracción <20 μ m. Notar la diferente escala de colores entre las figuras a y B-C.



Figura 3.26. Distribución de la biomasa fitoplanctónica: A como clorofila-a integrada (mg m⁻²) y B: como imagen satelital (13/11/2004) de clorofila-a en la capa superficial (0-25 m, en mg m⁻³) durante el crucero de primavera (noviembre 2004) frente a Concepción ($35-38^{\circ}S$). El color negro sobre el océano en B denota nubes.



Figura 3.27. Distribución vertical de clorofila-a total (mg m⁻³) durante el crucero de primavera (noviembre 2004) en diferentes transectas frente a Concepción. A: 36°S; B: 37°S; C: 38°S. Penetración de la luz

3.2.10. Radiación

El sensor de radiación PAR (Radiación Fotosintética Activa) operó solamente durante la primera transecta meridional (Transecta Sur, 38° S). Durante este período se obtuvieron 3 perfiles de luz en condiciones diurnas, correspondientes a las estaciones 59 (150 mn), 55 (50 mn) y 54 (30 mn). Los valores superficiales (0 m) de luz fluctuaron en el rango de 30 a 150 (μ Einstein seg⁻² m⁻²) de luz PAR incidente. La penetración de luz correspondiente al 1% de luz relativa a superficie alcanzó la profundidad de 56 m a 150 mn de la costa, 55 m a 50 mn de la costa y hasta 45 m en la estación a 30 mn de la costa (Figura 3.28).



Figura 3.28: Perfiles verticales de radiación PAR a 150 mn (Estación 59), 50 mn (Estación 55) y a 30 mn de la costa (Estación 54).

3.2.11. Mesozooplancton y Macrozooplancton

La biomasa del zooplancton integrada en la columna de agua de los primeros 200 m, fluctuó en el rango de 2.6 a 573.7 mg peso seco m⁻², con un promedio de 72.0 mg peso seco m⁻² y un coeficiente de variación de 30%. Este promedio de biomasa corresponde a una biomasa en términos de carbono de 30.7 mg C m⁻².

El estudio de la distribución espacial de la biomasa del zooplancton mostró que las agregaciones principales ocurren en la zona costera, dentro de las primeras 30 mn. No obstante la mayor agregación (>200 mg C m⁻²) se observó a las 50 mn al sur del Golfo de Arauco (Figura 3.29). La distribución estratificada de la biomasa demuestra que la acumulación del zooplancton ocurre esencialmente en la capa de 0-50 m, si bien a profundidades mayores de 50 m también se observa una biomasa importante, ésta no sobrepasa los 25 mg C m⁻², con excepción de una estación cercana a la desembocadura del Río Itata, que presenta un valor cercano a los 40 mg C m⁻²).

El análisis de la composición del mesozooplancton y macrozooplancton se realizó esencialmente sobre las muestras integradas (0-200 m) de la columna de agua. El énfasis fue sobre las especies de alta ocurrencia y dominantes en términos numéricos. Las especies dominantes del meso- y macro-zooplancton y sus abundancias medias se listan en la Tabla 3.3.
Tabla 3.3. Principales taxa del mesozooplancton y macrozooplancton encontrados durante la primavera de 2004 frente a la zona de Concepción en la capa de 0-200 m.

Taxa	Abundancia (individuos m ⁻³)				
Oithona spp	4.6				
Paracalanus parvus	3.5				
Rhyncalanus nasutus	2.6				
Euphausia mucronata	2.6				
Chaetognata	3.1				
Siphonofora	0.9				
Calanus chilensis	0.8				
Larvas de crustácea	0.5				
Pleuromamma gracilis	<0.5				
Amphipoda Hyperidae	<0.5				
Corycaeus typicus	<0.5				



Figura 3.29: Distribución espacial de la biomasa del zooplancton, expresada en mg C, integrada para 3 estratos: 0-200 m (panel superior), 0-50 m (panel medio), y 50-200 m (panel inferior), durante la primavera de 2004 frente a la zona de Concepción.

De los taxa listados en Tabla 3.3, se debe destacar que numéricamente los copépodos son dominantes. Los copépodos ciclopoidea *Oithona* spp. están compuestos por al menos 3 especies, entre las cuales se destaca *Oithona similis*, que es una especie cosmopolita y con una distribución mas bien oceánica, y *Oithona nana* de menor tamaño y que tiende a distribuirse en la zona más costera. En general, *Oithona* es un copépodo de muy pequeño tamaño (<1 mm longitud corporal). La siguiente especie, *Paracalanus parvus*, se le reconoce como un copépodo calanoida de amplia distribución en el hemisferio sur y también de muy pequeño tamaño (~1.5 mm longitud). Por contraste, los copépodos con menor abundancia fueron los de mayor tamaño, como *Rhyncalanus nasutus* (>5 mm en longitud corporal) y *Calanus chilensis* (~3 mm longitud). *Euphausia mucronata* por otra parte es un miembro del macrozooplancton, con un tamaño entre 25 a 35 mm de longitud corporal, al igual que muchas larvas de crustáceos decápodos y anfípodos pelágicos hyperidae. De tal manera, gran parte de la biomasa total de zooplancton está conformada esencialmente por *Euphausia mucronata, Rhyncalanus nasutus* y *Calanus chilensis*.

La distribución espacial (0-200 m) de los principales taxa se ilustra en las Figuras 3.30 y Figura 3.31. Se destaca que solo *Calanus chilensis* y *Rhyncalanus nasutus* tienden a agregarse en la zona costera (<20 mn), pero que el resto de los componentes, incluyendo los copépodos pequeños numéricamente dominantes, *Paracalanus parvus* y *Oithona* spp, se encuentran ampliamente distribuidos sobre toda la zona de estudio.



Figura 3.30: Distribución espacial de componentes dominantes del zooplancton durante la primavera de 2004 en la VIII Región frente a Concepción, en la capa de 0-200 m.



Figura 3.31: Distribución espacial de componentes dominantes del zooplancton durante la primavera de 2004 en la VIII Región frente a Concepción, en la capa de 0-200 m.

La aplicación de una regresión múltiple paso-a-paso, que permite interactivamente incluir o remover el efecto de variables independientes sobre una variable dependiente, demostró que la alta variabilidad de la biomasa integrada del zooplancton no puede ser explicada por las variables ambientales temperatura, clorofila, salinidad ($F_{2, 19} < 3$, P>0.05). No obstante, existió un efecto significativo y negativo por parte de la latitud sobre la biomasa ($F_{2, 19} = 5.7$; P<0.05) y que se explica básicamente por la gran agregación de biomasa observada en la transecta de los 38° S.

La abundancia y distribución espacial de los distintos taxa del zooplancton también se estudió mediante regresión múltiple paso-a-paso, en este caso sobre variable log-normalizadas. Existieron asociaciones significativas entre variables ambientales y la abundancia de algunos taxa, y también asociaciones significativas entre los taxa mismos. Los resultados de estos análisis se resumen en la Tabla 3.4.

La Tabla 3.4 muestra que el eufáusido dominante *E. mucronata* se asocia a la distribución de oxígeno superficial con un coeficiente negativo, sugiriendo que las mayores abundancias de esta especie se localizan sobre los focos de surgencia. Estos focos son muy costeros y ahí proliferan también las larvas Decapoda. Los copépodos de mayor tamaño y dominantes en biomasa, *Calanus chilensis y Rhyncalanus nasutus*, se asocian fuertemente y en forma positiva a la concentración de clorofila-a, la cual no muestra sus mayores valores en los focos de surgencia, sino que en sus alrededores. Ambas especies covarían espacialmente, de ahí su correlación significativa. Los copépodos de pequeño tamaño, numéricamente dominantes, *Paracalanus parvus y Oithona* spp., no se asocian a variables ambientales y covarían espacialmente, con una distribución que cubre toda el área de estudio.

Tabla 3.4. Regresión múltiple paso-a-paso para determinar la asociación entre variables ambientales y taxa del zooplancton encontrados en la capa de 0-200 m, durante la primavera de 2004 frente a Concepción. O₂ (oxígeno disuelto), Clo-a (clorofila-a) corresponden a valores superficiales (1-2 m).

TAXA	Factor	F	Р	
E. mucronata	O ₂ Larvas Decapoda	10.8	0.047 0.003	
R. nasutus	Clo-a C. chilensis E. mucronata	89.4	<0.001 <0.001 <0.001	
C. chilensis	Clo-a E. mucronata R. nasutus	57.3	<0.001 <0.001 <0.001	
P. parvus	Oithona spp.	24.7	< 0.001	
Dithona spp. C. chilensis P. parvus		20.2	0.013 <0.001	

3.2.12. Ictioplancton

El análisis de muestras ictioplanctónicas, separadas desde el zooplancton, permitió determinar la presencia de huevos y larvas de las siguientes especies en orden de abundancia. Anchoveta, Sardina Común, Merluza, Motecillo. La mayoría de los huevos y larvas se concentraron en el estrato de 0-50 m. No se encontraron huevos, ni larvas de anchoveta y sardina común en el estrato de 50-200 m.

La anchoveta *Engraulis ringens* mostró huevos solo en el estrato de 0-50 m y altamente concentrados en la zona muy costera (<20 mn), al igual que la sardina común *Strangomera betincki*, con excepción de una agregación observada a las 100 mn en el área norte de la región, mientras que el motecillo *Normanichthys crockeri* se distribuyó esencialmente en áreas oceánicas (Figura 3.32).

La merluza *Merluccius gayi* presentó huevos distribuidos en toda el área de estudio y agregados en el estrato superior (0-50 m) y con muy bajas abundancias en la capa de 50-200 m (Figura 3.33).

Las larvas se distribuyeron de una manera similar a los huevos. En la capa de 0-50 m se concentraron las larvas de anchoveta, sardina común y motecillo, como se ilustra en la Figura 3.34.



Figura 3.32: Distribución de huevos de anchoveta *Engraulis ringens*, sardina común *Strangomera betincki* y motecillo *Normanichthys crockeri* encontrados durante la primavera de 2004 en la VIII Región en la capa de 0-50 m.



Figura 3.33. Distribución de huevos de merluza *Merluccius gayi* frente a la VIII Región, durante la primavera de 2004 en el estrato de 0-50 m.



Figura 3.34: Distribución de larvas de anchoveta *Engraulis ringens*, sardina común *Strangomera betincki* y motecillo *Normanichthys crockeri* encontrados durante la primavera de 2004 en la VIII Región en la capa de 0-50 m.

3.2.13. Microplancton

La fracción microplanctónica se analizó por separado para los componentes fitoplancton, microzooplancton y detritus, este último conformado esencialmente por pellets fecales de zooplancton de mayor tamaño.

Fitoplancton: Las diatomeas estuvieron principalmente concentradas en las estaciones más costeras. Las mayores concentraciones de células se registraron en la estación 21 y fueron debidas a un crecimiento masivo de *Skeletonema* spp., el género más abundante de diatomeas, que alcanzó una concentración integrada en los primeros 50 m de la columna de agua de 20.8 x 10^9 células por m⁻². Otros géneros que se concentraron casi exclusivamente en la zona costera fueron *Thalassiosira* (con una abundancia de 4.3 x 10^9 células por m⁻² en la estación 31) y *Chaetoceros* (con abundancias de 7.3 x 10^8 células por m⁻² en las estaciones 3 y 21 (Figura 3.35). Las principales especies del género *Chaetoceros* se indican en la Figura 3.36, donde se aprecia que el máximo de abundancia registrado en la estación 3 resultó de un crecimiento masivo de *Ch. debilis* (3 x 10^8 cél. m⁻²), *Ch. curvisetus* (3 x 10^8 cél. m⁻²) y *Ch. constrictus* (1 x 10^8 cél. m⁻²), mientras que el de la estación 21 correspondió a una gran abundancia de *Chaetoceros sp.* (1 x 10^7 cél. m⁻²). Otras especies menos abundantes fueron *Ch. didymus* y *Ch. teres.*

El único género que fue más abundante en aguas oceánicas fue *Pseudonitzschia*, que registró concentraciones máximas entre 3 y 7 x 10^8 células por m⁻² en las estaciones 50 y 60. Especies de los géneros *Leptocylindrus*, *Rhizosolenia* y *Eucampia* presentaron, en promedio, concentraciones uno o dos órdenes de magnitud menores a los géneros costeros dominantes, con abundancias máximas de 15.5 y 1 x 10^7 células por m⁻² y se distribuyeron principalmente en la zona nerítica, cerca del quiebre de la plataforma continental.

Los cocolitofóridos se distribuyeron principalmente en la zona oceánica, siendo el género más abundante *Calciosolenia*, que alcanza una abundancia máxima de 4 x 10⁷ células por m⁻² en la estación 17 (Figura 3.37). Otros géneros abundantes fueron *Rhabdosphaera* (estación 20),

Pontosphaera (estación 18), Syracosphaera (estación 25) y Helicosphaera (estaciones 7, 25 y 37).

Microzooplancton: Los tintínidos se distribuyeron en todos los sectores de la grilla muestreada, con preponderancia entre los 73°30' y 76° W; sin embargo, el género *Hellicostomella* se encontró solamente abundante muy cerca de la costa (estación 3). La estación 25, ubicada cerca del quiebre de la plataforma, concentró las mayores abundancias integradas de muchos géneros, con valores de >30 x 10⁶ ind. m⁻² para el género *Eutintinnus* y >7 x 10⁶ ind. m⁻², para el género *Acantostomella*. Otras estaciones con altos valores de abundancia fueron las 7 y 37, ubicadas en el área oceánica (~120 mn), donde los géneros *Eutintinnus* (>29 x 10⁶ ind. m⁻²), y *Acanthostomella* (>5 x 10⁶ ind. m⁻²) predominaron, respectivamente. Las menores abundancias se obtuvieron en la zona oceánica, al oeste de los 76 °W (Figura 3.38).

Las larvas nauplii de crustáceos se concentraron la zona norte de la grilla de muestreo, principalmente en las estaciones 3 y 19, con valores de 2658 y 2929 x 10^3 ind. m⁻². Los foraminíferos estuvieron distribuidos en toda la grilla, pero predominaron en la zona oceánica, a partir de las 100 mn desde la costa. Las mayores abundancias se registraron en las estaciones 17, 19, 30 y 37, con valores de 345, 315, 299 y 352 x 10^3 ind. m⁻² (Figura 3.39).

Los dinoflagelados estuvieron, en general, más concentrados en la zona oceánica, principalmente fuera de las primeras 100 mn desde la costa, con algunos pequeños núcleos de alta concentración costeros representados por dinoflagelados desnudos y *Protoperidinium* spp. en la estación 3. Altas abundancias de los géneros numéricamente dominantes: *Gonyaulax* (hasta 22.8 x 10⁶ cél. m⁻²) y *Ceratium* (hasta 22.8 x 10⁶ cél. m⁻²) en las estaciones 20 y 30, contribuyen mayoritariamente al patrón de distribución de los dinoflagelados totales (Figura 3.40).

Detritus (pellet fecales de zooplancton): Las concentraciones de pellets fecales de zooplancton, expresadas como mg C m⁻², fueron integradas en la columna de agua hasta 200 m (excepto estaciones costeras someras, donde se integró hasta 50 m). Los pellet fecales de eufáusidos presentaron mayores biomasas en la costa, principalmente en las estaciones 23 y 11 con 606 y 409 mg C m⁻², respectivamente. Los pellets de copépodos y apendicularias se concentraron en la

costa; mientras los primeros presentaron mayores biomasas en la estación 3 (203 mg C m⁻²), los segundos lo hicieron en la estación 1 (17 mg C m⁻²) (Figura 3.41).



Longitud W

Figura 3.35: Abundancia de géneros dominante del fitoplancton, integrados en los primeros 50 m de la columna de agua (ver tabla 1-grilla).



Longitud W

Figura 3.36: Abundancia de distintas especies del género *Chaetoceros* (millones de cél. m⁻²) integrada en los primeros 50 m de la columna de agua.



Figura 3.37: Abundancia de distintos géneros de cocolitofóridos (miles de cél. m⁻²) integrados en los primeros 50 m de la columna de agua.



Longitud W

Figura 3.38: Abundancia de distintos géneros de tintínidos (miles de Ind. m^{-2}) integrados en los primeros 50 ó 200 m de la columna de agua.



Figura 3.39: Abundancia de larvas nauplii y foraminíferos (miles de Ind. m⁻²) integrados en los primeros 50 ó 200 m de la columna de agua.



Longitud W

Figura 3.40: Abundancia de distintos géneros de dinotlagelados (miles de Ind. m^{-2}) integrados en los primeros 50 ó 200 m de la columna de agua.



Figura 3.41: Abundancia de pellet fecales de zooplancton (mg C m^{-2}) integrados en los primeros 50 ó 200 m de la columna de agua.

3.2.14. Nanoplancton

La fracción nanoplanctónica, representada principalmente por flagelados autótrofos (Figura 3.42A) y heterótrofos (Figura 3.42B), fue evaluada durante el crucero de primavera 2004 frente a Concepción (~35-38°S). La distribución de los flagelados autótrofos fue heterogénea en superficie (0 m), con focos de mayor abundancia (> $0.75 \cdot 10^3$ células mL⁻¹) tanto en la costa como mar afuera y una franja intermedia con menores abundancias; un patrón similar siguieron los nanoflagelados heterótrofos. Los valores de abundancia superficial estuvieron en el rango de 0.5- $1.2 \cdot 10^3$ células mL⁻¹ para nanoflagelados autótrofos (promedio ± DS: $0.6 \pm 0.3 \cdot 10^3$ células mL⁻¹) y de $0.1-1.6 \cdot 10^3$ células mL⁻¹ para nanoflagelados heterótrofos (promedio ± DS: $0.6 \pm 0.3 \cdot 10^3$ células mL⁻¹).

La distribución integrada de los nanoflagelados en el área de estudio mostró máximos fuera de la costa en el caso de los autótrofos (Figura 3.43A) y cerca de la costa para los heterótrofos (Figura 3.43B) pero, en general, las variaciones espaciales de mesoescala no fueron marcadas. El rango de variación de la abundancia de nanoflagelados autótrofos fue de 8-135 \cdot 10⁹ células m⁻² (promedio ± DS: 32 ± 23 \cdot 10⁹ células m⁻²) mientras que el de los flagelados heterótrofos fue de 10-59 \cdot 10⁹ células m⁻² (promedio ± DS: 27 ± 11 \cdot 10⁹ células m⁻²).

En la distribución vertical del nanoplancton (0-100 m), se ejemplifican 3 transectas durante el crucero de primavera 2004. En el caso de los nanoflagelados autótrofos (Figura 3.44), las mayores abundancias ocurrieron en las transectas a 36 y 38°S, en forma similar al patrón de distribución superficial (Figura 3.42A), con máximos en la zona oceánica. Los valores en la columna de agua fluctuaron en el rango de $0.01-1.18\cdot10^3$ células mL⁻¹ y los máximos ocurrieron a nivel subsuperficial. En el caso de los nanoflagelados heterótrofos (Figura 3.45), las mayores abundancias ocurrieron en las transectas a 36 y 38°S, en forma similar al patrón de distribución superficial. En el caso de los nanoflagelados heterótrofos (Figura 3.45), las mayores abundancias ocurrieron en las transectas a 36 y 38°S, en forma similar al patrón de distribución superficial (Figura 3.42B), con máximos en la zona costera y oceánica. Los valores en la columna de agua fluctuaron en el rango de $0-1.65\cdot10^3$ células mL⁻¹ y los máximos ocurrieron a nivel superficial.



Figura 3.42: Distribución superficial de la abundancia del nanoplancton $(10^3 \text{ células mL}^{-1})$ durante el crucero de primavera (noviembre 2004) frente a Concepción (35-38°S). Esta fracción estuvo representada principalmente por A: nanoflagelados autótrofos; B: nanoflagelados heterótrofos.



Figura 3.43: Distribución integrada de la abundancia del nanoplancton $(10^6 \text{ células m}^2)$ durante el crucero de primavera (noviembre 2004) frente a Concepción (35-38°S). Esta fracción estuvo representada principalmente por A: nanoflagelados autótrofos; B: nanoflagelados heterótrofos. La integración se realizó entre 0 y 100 m de profundidad, o hasta la profundidad máxima de muestreo en los casos en que la profundidad de la estación fue <100 m.



Figura 3.44: Distribución vertical de la abundancia del nanoplancton autotrófico (10³ células mL⁻¹) durante el crucero de primavera (noviembre 2004) en diferentes transectas frente a Concepción (35-38°S). Esta fracción estuvo representada principalmente por nanoflagelados autótrofos. A: 36°S; B: 37°S; C: 38°S. Rectángulos blancos: sin datos.

1

- 1



Figura 3.45: Distribución vertical de la abundancia del nanoplancton heterótrofo (10³ células mL⁻¹) durante el crucero de primavera (noviembre 2004) en diferentes transectas frente a Concepción (35-38°S). Esta fracción estuvo representada principalmente por nanoflagelados heterótrofos. A: 36°S; B: 37°S; C: 38°S. Rectángulos blancos: sin datos.

3.2.15. Picoplancton

La fracción picoplanctónica, representada por los componentes autótrofos (picofitoplancton, incluyendo principalmente cianobacterias y pico-eucariontes) y heterótrofos (bacterioplancton) fue evaluada durante el crucero de primavera 2004 frente a Concepción (~35-38°S). La distribución en superficie del bacterioplancton (Figura 3.46A) presentó máximos en la zona costera sur (38°S) y mínimos en la zona costera intermedia (37°S), en contraposición a la distribución de máximos y mínimos de clorofila-a total en superficie (Figura 3.25). Además, los valores disminuyeron en las estaciones más oceánicas. Los valores superficiales estuvieron en el rango de 214-2230·10³ células mL⁻¹ (promedio \pm DS: 1324 \pm 711·10³ células mL⁻¹). La distribución en superficie del pico-fitoplancton (Figura 3.46B) mostró máximos en la zona costera a 36 y 38°S,con mínimos a 37°S; esta distribución solo parcialmente refleja los máximos en clorofila-a < 3 µm en superficie (Figura 3.46C); los valores estuvieron en el rango 1-855·10³ células mL⁻¹ (promedio \pm DS: 185 \pm 212·10³ células mL⁻¹). Entre los componentes picofitoplanctónicos dominaron las cianobacterias.

En la distribución vertical del picoplancton (0-50 m), se ejemplifican 3 transectas durante el crucero de primavera 2004. En el caso del bacterioplancton (Figura 3.47), las mayores abundancias ocurrieron en la transecta a 38°S, en forma similar al patrón de distribución superficial (Figura 3.46A). Los valores en la columna de agua fluctuaron en el rango de 107-2766·10³ células mL⁻¹ y los máximos ocurrieron a nivel superficial y subsuperficial. En el caso del pico-fitoplancton (Figura 3.48), las mayores abundancias ocurrieron en las transectas a 36 y 38°S, en forma similar al patrón de distribución superficial (Figura 3.46B). Los valores en la columna de agua fluctuaron en el rango de 0.7-855·10³ células mL⁻¹ y los máximos ocurrieron a nivel superficial y subsuperficial y subsuperficial.



Figura 3.46: Distribución superficial de la abundancia del picoplancton (células mL⁻¹) durante el crucero de primavera (noviembre 2004) frente a Concepción (35-38°S). Esta fracción estuvo representada principalmente por A: bacterioplancton o picoplancton heterótrofo; B: picoplancton autótrofo (cianobacterias y pico-eucariontes).



Figura 3.47: Distribución vertical de la abundancia del picoplancton heterótrofo (células mL⁻¹) durante el crucero de primavera (noviembre 2004) frente a Concepción (35-38°S), en diferentes transectas. Esta fracción estuvo representada principalmente por bacterioplancton. A: 36°S; B: 37°S; C: 38°S.



Figura 3.48: Distribución vertical de la abundancia del picoplancton autótrofo (células mL⁻¹) durante el crucero de primavera (noviembre 2004) frente a Concepción (35-38°S), en diferentes transectas. Esta fracción estuvo representada principalmente por cianobacterias y pico-eucariontes. A: 36°S; B: 37°S; C: 38°S.

3.3. Variabilidad mensual de las condiciones bio-oceanográficas: estación plataforma (18)

3.3.1. Meteorología

La estación meteorológica se activó el 16 de agosto de 2004, registrando cada 10 minutos. Durante el período de mediciones (16/08/2004-04/07/2005) se registraron 9617 calmas de un total de 49138 observaciones, equivalente al 20% del total. Los vientos predominantes durante el periodo fueron del SE y S (52% de las observaciones), con un predomino de magnitudes menores o iguales a 5 m/s (Tabla 3.5; Figuras 3.49 y 3.50). La máxima intensidad se registró el día 23 de mayo (00:40 h), con un valor de 25.2 m/s. El día 5 de septiembre de 2004, durante la situación previa al día de muestreo de la estación 18, se registró una intensidad de 22.5 m/s (07:50 h), día en que se observaron algunas de las mayores intensidades correspondientes a vientos del N (Figura 3.50). Entre el 27 de septiembre (3:50 h) y el 29 (11:40 h) se observó un período de absoluta calma (Figura 3.50). El día que se monitoreó la estación 18 durante noviembre, hubo un predominio de las calmas, seguido por vientos W con magnitudes menores a 5 m/s, y una máxima de 2 m/s. Durante el muestreo de diciembre (día 01), los vientos fueron leves (<3 m/s) durante la mañana y el resto del día permaneció con predominancia de calmas. Mientras, en el muestreo del 11 de enero 2005, el viento predominante fue SE con una intensidad media de 5 m/s y valores máximos de hasta 10 m/s. En el muestreo del 26 de febrero los vientos fueron moderados, con valores máximos de 5 m/s y períodos de calma absoluta. Durante el muestreo realizado el 22 de marzo se registraron vientos leves con magnitudes <4 m/s, predominando los vientos con dirección SE, observándose períodos de completa calma. El día 12 de abril se registró una intensidad media de 2.5 m/s, con magnitudes <4 m/s, observándose predominio de vientos con dirección Sur. Durante el muestreo del día 31 de mayo se registró un predominio de los vientos con dirección SW. Para el mes de junio se observa predominio de vientos S-SE durante la primera quincena, mientras que el resto del mes predominan vientos NW-N, asociados a altas magnitudes (máxima de 15 m/s).

Rango de	Dirección						Total		
magnitud									
(m/s)	Ν	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
>0 a ≤ 5	2424	872	2374	10906	9159	1877	1621	3514	32747
$>5 a \leq 10$	538	12	499	2058	1854	67	50	1043	6121
>10 a	120	53	10	3			12	445	643
≤15 >15 a ≤20	1							9	10
Total	3083	937	2883	12967	11013	1944	1683	5011	39521
	Número de	Calmas de	l período:	9617	-	-	-	total :	49138

Tabla 3.5Estadística básica de los vientos registrados durante el período.



Figura 3.49: Rosa de los vientos del período agosto 2004 a julio 2005 ilustrando la predominancia de viento Sureste



Figura 3.50: Componentes Norte y Oeste del viento local medido en estación de Coliumo para el período agosto 2004 a julio de 2005.

La temperatura del aire (Figura 3.51) muestra una clara fluctuación entre día y noche, presentando menores valores (3.1 °C) el 17 de agosto (07:10 h) y la máxima (31.5 °C) el 12 de septiembre (14:40 h), en este día presentándose la mayor diferencia diurno-nocturna (19.4 °C), en tanto que la menor diferencia se observó el 27 de agosto (2 °C). Durante el período de registro, la presión atmosférica fluctuó entre 990 y 1019 mBar (Figura 3.51), presentándose la mínima el 04 de mayo de 2005 (00:30-00:40 h) y la máxima el 22 de septiembre (00:00-00:10 h). En términos generales se puede hablar de un ciclo anual normal de condiciones, lo que se refleja en las fluctuaciones estacionales del viento, presión y temperatura del aire. También se destaca la tendencia negativa de la presión durante el período agosto 2004 a febrero 2005, mientras que a partir de marzo 2005 los valores comienzan a incrementarse, en asociación a un gradual descenso de la temperatura del aire (Figura 3.51). La radiación, representada por PAR

(Figura 3.52), también conforma este ciclo normal de condiciones estacionales marcadas en la región de estudio.

La temperatura superficial del mar (TSM) medida en la Estación de Biología Marina en Dichato, también muestra un patrón anual caracterizado por la señal estacional (Figura 3.53), con temperaturas que fluctuan entre 11 a 12 °C en invierno y que puede alcanzar hasta valores de 17 °C en primavera verano. No obstante las mayores fluctuaciones se manifiestan en esta última época, asociadas a fases activas y de relajación de la surgencia. La anomalía mensual de temperatura (Figura 3.53), con una base de datos de 20 años, también manifiesta una fuerte variabilidad en cualquier mes del año, con valores positivos o negativos. Esta variación de la anomalía de temperatura no presenta una tendencia en el tiempo, de tal manera que se puede atribuir a las fluctuaciones locales, dada la alta frecuencia en sus cambios.



Figura 3.51: Datos meteorológicos entre agosto de 2004 y el 03 de julio de 2005, registrados en el sector de Coliumo.



Figura 3.52: Radiación PAR expresada como dosis diaria de luz durante el período de agosto 2004 a junio 2005 en estación meteorológica de Coliumo.



Figura 3.53: Temperatura superficial del mar y su anomalía de julio de 2004 a junio de 2005. Serie registrada en la Estación de Biología Marina de la Universidad de Concepción, Dichato, Bahía de Coliumo.

3.3.2. Variabilidad en las condiciones físicas y químicas

Después de un período de alta mezcla en la columna de agua (agosto 2004), la capa superficial mostró un calentamiento, en conjunto a un enfriamiento de las capas más profundas, asociado a las aguas de surgencia, dando lugar a una fuerte estratificación de la columna, característica que persistió hasta el mes de enero 2005, aunque en ese mes se destaca una disminución de la temperatura superficial. Posteriormente, a partir de febrero 2005, la termoclina inicia un paulatino hundimiento, aunque aún con una fuerte estratificación que se mantiene hasta el mes de marzo 2005 (Figura 3.54). En cuanto a la salinidad, a comienzos del monitoreo se destaca la influencia de aguas dulce en superfície, asociadas a precipitaciones y aportes de aguas dulce (escurrimientos desde la costa y ríos) durante el invierno; a medida que la estación de primavera avanza, estos aportes desaparecen y, a su vez, el aporte de aguas más salinas desde el fondo se hace más importante durante los últimos meses por influencia de la surgencia costera. Esta última condición ha persistido hasta marzo de 2005 (Figura 3.54).

El oxígeno disuelto pasa desde una columna de agua bien oxigenada, principalmente por efecto de la mezcla turbulenta por la acción del viento, durante el invierno, a una columna de agua estratificada a mediados de primavera, en la cual en superficie está bien oxigenada y bajo la termoclina (>20 m) se aprecia la influencia de las aguas surgentes en donde se observan los aportes de aguas sub-óxicas. Durante enero 2005, la presencia de la mínima de oxígeno en la zona y su intensificación y levantamiento hasta aguas muy someras (<30 m) es una observación importante de destacar. Esta condición se debilitó ligeramente durante el mes de febrero, dando lugar a una capa superior mas oxigenada y restringiendo la zona de mínimo oxígeno bajo los 40 m, pero aún persistiendo las aguas sub-óxicas durante marzo 2005 y aún con mayor intensidad en abril 2005 (Figura 3.54). Durante el mes de mayo se observa un incremento de agua menos salina y de menor temperatura en superficie, junto con la profundización de la capa de agua superficial más oxigenada. A principios del mes de julio continúan aumentando los niveles de oxígeno en capas más profundas, acompañado de la entrada de agua subsuperficiales.

Los nutrientes en su mayor parte muestran concentraciones relativamente importantes en la capa superficial durante todo el periodo de muestreo en la estación de la plataforma continental. Sin
embargo, las concentraciones de nitrato, fosfato y silicato siguen el patrón de distribución de la ZMO o aguas asociadas a las AESS (Figura 3.55 y 3.56). Es decir, en periodo de surgencia las concentraciones de estos nutrientes se hacen importantes en la capa subsuperficial, el agua que origina la surgencia costera. En el periodo junio a septiembre 2004, sin embargo, con el hundimiento de la ZMO o desaparición en esta estación de muestreo, las concentraciones de estos nutrientes bajan en toda la columna de agua, asociadas a aguas más oxigenadas y menos salinas. Otros nutrientes (nitrito, amonio) muestran variabilidad de mayor frecuencia y sin marcada estacionalidad (Figura 3.55).



Figura 3.54: Evolución temporal de los perfiles de temperatura (A), salinidad (B), fluorescencia (C) oxígeno disuelto (D) en la estación 18.

Concentración de NO3 (µM)



Figura 3.55: Evolución temporal de los perfiles de NO_3 (A), NO_2 (B) y NH_4 (C) en la estación 18.

Concentración de PO4 (µM)



Figura3.56: Evolución temporal de los perfiles de Concentración de PO_4 (A) (μ M), Si (B) y de O_2 (C)

3.3.3. Variabilidad en el plancton

Biomasa fitoplanctónica

La evolución temporal de la biomasa fitoplanctónica, representada por la clorofila-a total (mg m⁻³) mostró fluctuaciones importantes durante el período de estudio (julio 2004 a julio 2005) en la Estación 18 (Figura 3.57A). En la capa superficial (<20 m), altas concentraciones (>5 mg m⁻³) ocurrieron durante periodos de primavera-verano-otoño, mientras que las concentraciones durante el invierno fueron menores (~1 mg m⁻³). Los máximos valores de clorofila-a (>20 mg m⁻³) en la capa superficial (0-20 m) fueron registrados en los meses de octubre 2004 y abril 2005, mientras que valores altos (>10 mg m⁻³) se registraron en los meses de verano (diciembre 2004 a febrero 2005). Bajo la capa superficial de mayor concentración, las concentraciones fueron más bajas (<1 mg m⁻³), excepto en un evento (diciembre 2004), con valores mayores a 1 mg m⁻³.

Durante el periodo de muestreo (julio 2004 a julio 2005) en la Estación 18, la fracción $<20 \ \mu\text{m}$ de la biomasa fitoplanctónica, representando al nano- y pico-plancton (Figura 3.57B), mostró valores más altos (>1 mg m⁻³) en la capa superficial (0-15 m) en primavera-verano, desde octubre 2004 a febrero 2005 (máximo en este mes de 5 mg m⁻³) y luego en Abril y Mayo 2005 (otoño). Las fluctuaciones en la fracción $<3 \ \mu\text{m}$, el picoplancton (Figura 3.57C), fueron menores, con valores más altos (>0.4 mg m⁻³) en muestreos durante primavera, verano, y otoño (máximo de ~1.5 mg m⁻³ en diciembre 2004). En general, no se aprecia una estacionalidad marcada en las fracciones menores de la biomasa fitoplanctónica durante el periodo de muestreo. Además, estas fracciones fueron importantes en contribución toda vez que los valores de clorofila-a total fueron de alrededor o menores a 1 mg m⁻³; la excepción fue en noviembre 2004, cuando los valores de 1 a 3 mg m⁻³ en clorofila-a total estuvieron representado es >80% por estas fracciones.

Los feopigmentos totales en general fueron bajos (<1 mg m⁻³), excepto en algunos de los periodos de altas concentraciones de clorofila-a total (en octubre y diciembre 2004 y enero 2005), con concentraciones ~1 mg m⁻³ (Figura 3.58); las máximas se registraron en diciembre 2004, con valores entre 1 y 4 mg m⁻³ en la columna bajo los 10 m, profundidad a la cual se detectó un máximo subsuperficial de clorofila-a total (>10 mg m⁻³). Además, a la mayor

profundidad (80 m), generalmente se encontró valores ~1 mg m⁻³ durante la mayor parte de los muestreos. En la fracción <20 μ m, los feopigmentos fueron muy similares a los representados por el total mientras que los de la fraccón <3 μ m fueron muy menores comparado con el total. En general, esta distribución de feopigmentos denota una importante sedimentación del material asociado a pigmentos fitoplanctónicos hacia el fondo, material que puede ser re-suspendido en eventos de mezcla.

Biomasa zooplanctónica

Desde el período de invierno a primavera se destaca un gradual incremento en biomasa en ambos estratos muestreados, alcanzando un máximo en octubre para el estrato de 0-50 m y en noviembre para el estrato de 50- 80m. Consecutivamente una leve disminución hacia el mes de diciembre 2004, posteriormente se registra un aumento hacia el mes de enero 2005, para disminuir nuevamente durante el mes de febrero. A pesar de estas fluctuaciones, no se observan cambios bruscos en la biomasa zooplanctónica a la fecha. Durante el mes de marzo no se observa mayor variación en la biomasa de organismos, para el mes de abril se observa un aumento de la biomasa total (estrato integrado 80-0 m) con respecto al mes anterior. Durante el mes de mayo se destaca el aumento en la biomasa medida en el estrato 50-0 m. Para finales del mes de junio se registra una disminución de la biomasa en ambos estratos (Figura 3.59).

Composición del meso y macrozooplancton

El zooplancton estuvo durante todo el período (julio 2004 a mayo 2005) dominado por los copépodos (Figura 3.60), aunque eufáusidos se hicieron presentes en algunos períodos y contribuyendo en forma importante a la biomasa dados sus mayores tamaños. Los copépodos fueron predominado por especies de pequeño tamaño, entre las cuales se destacaron *Paracalanus parvus, Oithona* spp, *Centropages brachiatus* y por dos especies de tamaño cosiderado como grande, *Calanus chilensis* y *Rhyncalanus nasutus*, aunque en menor abundancia (Figura 3.60). Se debe destacar que algunas especies estuvieron presentes todo el año, indicando una continuidad en su reproducción independiente de la estación de año.

Ictioplancton

La presencia de huevos y larvas de anchoveta, sardina y merluza fue normal en el período de julio a septiembre del 2004, que corresponde a la época de mayor reproducción de estas especies (Mujica y Rojas 1980, Balbontín y Fischer 1981) (Figura 3.61).

Durante el mes de septiembre de 2004 se colectaron huevos y larvas de las tres especies objetivos más importantes: anchoveta, sardina común y de merluza común. Mientras que huevos y larvas de anchoveta y sardina común y larvas de merluza común se ubicaron en ambos estratos muestreados, huevos de merluza común sólo se colectaron en el estrato más profundo (50-80 m). De las tres especies y estados de desarrollo, más abundantes fueron huevos y larvas de anchoveta, seguidos de huevos de merluza común. Huevos y larvas de sardina común y larvas de merluza común fueron poco abundantes.

En octubre de 2004 se colectó huevos y larvas de anchoveta y de merluza común y sólo larvas de sardina común. Los huevos y larvas de todas las especies fueron muy poco abundantes en las muestras. De las tres especies y estados de desarrollo, relativamente más abundantes fueron los huevos de merluza común seguidas de larvas de anchoveta. Las más altas abundancia por estrato de huevos de merluza común y las larvas de anchoveta se encontraron en el estrato más somero (0-50m). La presencia de huevos y larvas de anchoveta, aunque en menor cantidad que en el mes precedente, sugiere que esta especie aún se encontraba en su estación reproductiva. La ausencia de huevos de sardina común y de pocas larvas de esta especie indicaría que probablemente se encuentra al final de su periodo de mayor desove, el que normalmente ocurre a mediados de invierno (Mujica & Rojas 1980). La presencia de huevos y larvas de merluza con abundancias similares al mes anterior, indicarían que esta especie mantiene su actividad reproductiva que normalmente tiene un máximo en esta zona entre Agosto y Noviembre (Balbontín y Fischer 1981).

En noviembre de 2004 no se encontró huevos de ninguna de las tres especies principales. Solo se colectó larvas de anchoveta y de merluza común, siendo las densidades de ellas también bajas y similares a las del mes de octubre. Las larvas más abundantes fueron las de Anchoveta en el estrato más superficial (0-50 m). De merluza común, sólo 1 larva fue colectada y correspondió a la muestra integrada (0-80 m).

El ictioplancton a partir de enero de 2005 se caracterizó por una muy baja ocurrencia

(Figura 3.61), lo cual plantea interrogantes respecto al segundo desove de las especies recursos. Una posible explicación se basó en un atraso del desove de finales de verano, dadas las condiciones extendidas de la surgencia de verano hacia marzo/abril 2005. No obstante los muestreos posteriores en mayo y junio que representan más bien condiciones invernales, sugieren que el segundo desove si ocurrió, fue muy reducido.

Abundancia planctónica (pico-a a micro- plancton)

La distribución mensual de la abundancia, distribución vertical y composición dominante de los diferentes grupos planctónicos fue evaluada en los muestreos de la Estación 18, en la serie de tiempo COPAS frente a Concepción, durante el período julio 2004 a mayo/julio 2005.

El principal componente en el picoplancton ($<3 \mu m$) fue el bacterioplancton heterótrofo, incluvendo Bacteria y Archaea; en uno a cuatro órdenes de magnitud menor estuvieron los picoautótrofos, incluyendo principalmente procariontes (cianobacterias) y, en menor medida, fitoeucariontes. La distribución mensual del bacterioplancton (Figura 3.62A) mostró valores máximos (>2000·10³ células mL⁻¹) en los muestreos realizados en verano y otoño 2005 (eneromarzo y mayo 2005), mientras que estos fueron mínimos ($<1000 \cdot 10^3$ células mL⁻¹) en inviernoprimavera 2004. El rango de variación en la abundancia del bacterioplancton durante el periodo de muestreo fue 250-9000·10³ células mL⁻¹. La distribución vertical del bacterioplancton en la capa 0-80 m presentó una alta variabilidad, con mayores valores en la capa superficial en algunos muestreos (septiembre-noviembre 2004; febrero-abril 2005), en otros fue homogéneo en toda la columna de agua (julio 2004-2005 y agosto 2004; enero 2005), mientras que en otros fue más alto en las capas subsuperficiales o más profundas (septiembre-diciembre 2004, mayo 2005). Los pico-autótrofos (Figura 3.62B) presentaron máximos valores (200-400·10³ células mL⁻¹) en muestreos durante primavera 2004 (septiembre v noviembre 2004), v otoño 2005 (marzo 2005), con mínimos valores en invierno 2004-2005 y octibre 2004 (<100·10³ células mL⁻ ¹). Los pico-autótrofos se concentraron en la capa más superficial (0-20 m) durante el período de estudio, excepto en mayo 2005, cuando su distribución fue relativamente homogénea en la columna de agua.

Los principales componentes en el nanoplancton (>3-<20 µm) fueron los nanoflagelados,

distinguidos en componentes autotróficos y heterotróficos; ocasionalmente se presentaron otros grupos taxonómicos. La distribución mensual de los nanoflagelados autótrofos en la columna de agua (Figura 3.63A) mostró valores máximos de abundancia ($>5\cdot10^3$ células mL⁻¹) en el muestreo realizado en febrero 2005, valores altos ($>1\cdot10^3$ células mL⁻¹) en julio 2004-2005, noviembre 2004 y abril 2005, mientras que sus abundancias fueron mínimas ($<1\cdot10^3$ células mL⁻¹) en el resto de los muestreos, sin clara estacionalidad. El rango de variación en la abundancia de este grupo durante el periodo de muestreo fue 0-23·10³ células mL⁻¹ y su distribución vertical (0-80 m) presentó máximos en la capa más superficial (0-20 m). Los nanoflagelados heterótrofos (Figura 3.63B) presentaron máximos valores de abundancia ($>1\cdot10^3$ células mL⁻¹) en los muestreos durante septiembre 2004, en subsuperficie (30-50 m); los mínimos valores ($<0.05\cdot10^3$ células mL⁻¹) fueron observados en primavera 2004 (octubre-noviembre 2004). El rango de variación en la abundancia de este grupo durante el periodo de muestreo superficial (0-20 m) o a nivel subsuperficial. Al igual que en el caso de los nano-autótrofos, no se evidencia una estacionalidad marcada.

En el microplancton las diatomeas constituyeron el grupo dominante del fitoplancton, y presentaron una clara estacionalidad con máximos de abundancia centrados en verano, en particular durante los meses de enero 2005 (5.8×10^6 cél. L⁻¹, a 10 m de profundidad) y durante diciembre 2004 ($2.7 \text{ y } 0.3 \times 10^6$ cél. L⁻¹, a 30 y 80 m de profundidad, respectivamente) (Figura 3.63). La clorofila –a presentó el mismo patrón estacional que las diatomeas con máximas concentraciones durante enero y abril 2005 ($19 \text{ y } 17 \text{ mg m}^{-3}$, a 10 m de profundidad, respectivamente) y diciembre 2004 ($3.0 \text{ y } 1.4 \text{ mg m}^{-3}$, a 30 y 80 m de profundidad, respectivamente) (Figura 3.64).

La Figura 3.64, muestra la distribución de los seis taxa más abundantes de fitoplancton durante el período julio 2004 – abril 2005. El género más abundante fue *Skeletonema* spp. con una abundancia máxima de 5,2 x 10^6 cél. L⁻¹ a 10 m de profundidad durante enero 2005. Thalassiosira spp. presentó a 10 m de profundidad un valores promedio durante todo el período de 1.9 x 10^5 cél. L⁻¹, con un máximo de 1.8 x 10^6 cél. L⁻¹ durante abril 2005. La especie *T*. *subtilis* contribuyó especialmente a este máximo en abundancia y clorofila-a de abril 2005

(Figura 3.65, ver también Figura 3.64). Otros taxa abundantes durante el período de estudio fueron *Chaetoceros* spp., *Pseudonitzschia* spp., *Asterionella* spp. y *Detonula pumila*, los cuales fueron más abundantes en el estrato de 10 m de profundidad.

Diferentes especies del género *Chaetoceros* presentaron sus mayores abundancias en el estrato de 10 m de profundidad, durante diferentes períodos del año. Por ejemplo, Ch. sociales, Ch. compresus, Ch. debilis y Ch. constrictus fueron más abundantes durante octubre 2004, Ch. curvisetus y Ch. decipiens durante diciembre 2004 y Ch. radicans y Ch. convolutus durante febrero 2005. La gran abundancia del género Chaetoceros evidenciada en octubre 2004 (Figura 3.64), fue debido a la gran abundancia de Ch. socialis (5.7 x 10^5 cél. L⁻¹), Ch. compresus (8.2 x (9.3 10^{4} L^{-1}) х L^{-1}) 10^{4} debilis cél. y Ch. (Figura cél. 3.66).



Figura 3.57: Evolución temporal de los perfiles de la biomasa fitoplanctónica, como clorofila-a (en mg m⁻³) total (A), <20 μ m (B) y <3 μ m (C) en la estación 18 desde julio 2004 a julio de 2005.



Figura 3.58: Evolución temporal de los perfiles de feopigmentos (en mg m⁻³) en el total (A) y fracciones $<20 \ \mu m$ (B) y $<3 \ \mu m$ (C) en la estación 18 desde julio 2004 a julio de 2005.



Figura 3.59: Serie de Tiempo de biomasa zooplanctónica en peso seco (A), biomasa C (B) y Biomasa peso seco integrada (C) en la estación 18.



Figura 3.60: Composición del meso y macrozooplancton durante julio y mayo del 2005 en la estación 18 frente a Concepción.



Figura 3.61: Serie de tiempo estación 18: número de huevos y larvas de peces en estratos 0-80 m (A), 80-50 m (B) y 50-0 m (C) en la estación 18 (ind. /100 m^3).



Figura 3.62: Evolución temporal de la abundancia de los principales componentes en el picoplancton ($<3 \mu m$), en 10^3 células mL⁻¹, en la serie de tiempo frente a Concepción, estación 18. Periodo anual: julio 2004 a julio 2005. A: abundancia total de bacterioplancton, incluyendo Bacteria y Archaea; B: abundancia total de pico-autótrofos, incluyendo procariontes (cianobacterias) y fito-eucariontes.



Figura 3.63: Evolución temporal de la abundancia de los principales componentes en el nanoplancton ($<20 \text{ y} >3 \mu\text{m}$), en 10^3 células mL⁻¹, en la serie de tiempo frente a Concepción, estación 18. Periodo anual: julio 2004 a julio 2005. A: abundancia total de nano-autótrofos, predominantemente de flagelados; B: abundancia total de nano-heterótrofos, predominantemente de flagelados.



Figura 3.64: Abundancia de fitoplancton total (barras verdes; cél. $L^{-1} \times 10^5$) y clorofila-a (línea contínua; mg m⁻³) en tres niveles de la columna de agua (10, 30 y 80 m) en la estación 18, durante el período julio 2004 - abril 2005.



Figura 3.65: Abundancia (cél. L^{-1}) de los seis taxa más abundantes del fitoplancton a 10 m (barras rojas) y 30 m (barras naranja) en la estación 18, durante el período julio 2004 - abril 2005.



3.3.4. Productividad primaria y respiración comunitaria

Los valores de producción primaria integrada (PPI) en la columna de agua durante el periodo entre septiembre 2003 y agosto 2005 muestran un rango de 1 a 25.8 g C m⁻² d⁻¹ (Figura 3.67). Se encontraron diferencias significativas entre los valores de PPI obtenidos durante la estación primavera – verano y otoño – invierno de acuerdo al test de Mann – Whitney (U = 224, p < 0.01, n = 56). Durante la estación de primavera – verano se presentan los mayores niveles de PPI, con máximos de 25.8 y 16.7 g C m⁻² d⁻¹ en diciembre del 2004 y enero del 2005, respectivamente. Durante la estación de otoño – invierno los valores medidos fueron <2 g C m⁻² d⁻¹, excepto en abril 2004 y abril 2005 donde se registraron valores altos de 4.4 y 5.2 g C m⁻² d⁻¹, respectivamente. La respiración comunitaria generalmente igualó o fue menor que la producción primaria, sugiriendo que en general este sistema se sustenta en su producción.



Figura 3.67: Cambios mensuales en producción primaria (PP), Respiración comunitaria (RC) y la razón PP/RC expresada en g C $m^{-2} dia^{-1}$ para el período septiembre 2003 a agosto de 2005 en Estación 18 frente a Concepción.

3.3.5. Flujo vertical de material particulado (acoplamiento pelágico-bentónico)

El flujo de material particulado total (peso seco), estimado con trampas cilíndricas ubicadas a 40 m de profundidad (columna de agua de 90 m) fluctuó entre 2 y 15 g m⁻² d⁻¹ y no se evidenció un patrón estacional definido para el periodo entre septiembre 2003 y mayo 2005. Una tasa de sedimentación excepcionalmente alta se registró el 31 mayo 2005, probablemente debido a mayor resuspensión de material desde el fondo y transporte de material particulado de origen fluvial. En los días previos se registró un gran temporal y se colectó partículas grandes de arcillas y minerales en las trampas de sedimento, correspondiendo aproximadamente un 69% a material litogénico. En general, la materia orgánica, litogénica y carbonato, contribuyeron con un 46, 34 y 20% de todo el material sedimentado (Figura 3.68).

El flujo de COP en el periodo fluctuó entre 109 y 575 mg C m⁻² d⁻¹, con un promedio de exportación del carbono particulado (Exportación (%)=Flujo_{Corg} * 100 / PP) de 16.6% (desviación estándar =17%; rango 2-47%, n=7). Es decir, en promedio, un 16.6% de la productividad primaria generada es exportada bajo 40 m de profundidad en la columna de agua de la estación 18.

El flujo vertical de organismos del plancton consistió principalmente de diatomeas, dinoflagelados tecados, ciliados loricados y otros organismos (representados principalmente por nauplii de crustáceos y foraminíferos), con flujos promedio de 10.6, 1.3, 0.4 y 1.7 mg C m⁻² d⁻¹, respectivamente (Figura 3.69). En promedio para el período, las diatomeas representaron el flujo predominante de organismos, contribuyendo con un 76% del flujo de carbono asociado a organismos. Por ejemplo, el 12 de abril de 2005, se obtuvo el mayor flujo de carbono, representado principalmente por diatomeas de gran tamaño (*Coscinodiscus* spp.) o pequeñas pero muy abundantes (*Thalassiosira subtilis*). Los otros componentes como dinoflagelados tecados, ciliados loricados y otros organismos contribuyeron, en promedio, con 10, 3 y 12% de este flujo vertical. Los dos únicos flujos de carbono de organismos donde las diatomeas no contribuyeron mayoritariamente fue el 24 de septiembre de 2003, donde predominaron dinoflagelados tecados de los géneros *Protoperidinium* y *Ceratium*, y el 18 de agosto de 2004, donde el ítem otros, representado por algunos nauplii de micro-crustáceos, predominaron dado su alto contenido de carbono comparado con diatomeas y dinoflagelados.

Los pellets fecales de zooplancton contribuyeron, en promedio, con el 93% del flujo de carbono orgánico particulado sedimentado, comparado con la contribución de diatomeas (5.4%) y microzooplancton (1.7%). De acuerdo al origen de los pellet fecales, los producidos por eufáusidos (flujo promedio de 165 mg C m⁻² d⁻¹; rango 0-807 mg C m⁻² d⁻¹; n=17) contribuyeron con el 90.5% del flujo de carbono fecal, mientras que los pellets producidos por apendicularias (4%), copépodos (0.4%) y otros pellets no identificados (5%), contribuyeron en forma minoritaria (Figura 3.70).



Figura 3.68: Flujo de material particulado total (peso seco), materia orgánica, material litogénico y carbonato, estimados durante el período septiembre 2003 – mayo 2005, en trampas de sedimento cilíndricas ubicadas a 40 m de profundidad en la columna de agua de la Estación 18.



Figura 3.69: Flujo de carbono de diatomeas, dinoflagelados tecados, tintínidos loricados y otros organismos (principalmente nauplii de crustaceos y foraminiferos), estimados durante el período septiembre 2003 – mayo 2005, en trampas de sedimento cilíndricas ubicadas a 40 m de profundidad en la columna de agua de la Estación 18.



Figura 3.70: Flujo de carbono particulado total (pellet fecales + microplancton) y de pellet fecales producidos por eufáusidos, apendicularias, copépodos y otros grupos no identificados. Los flujos fueron estimados durante el período septiembre 2003 – mayo 2005, en trampas de sedimento cilíndricas ubicadas a 40 m de profundidad en la columna de agua de la Estación 18.

3.4. Variabilidad estacional en condiciones bio-oceanográficas: estación talud (40)

3.4.1. Condiciones físicas y químicas

Las condiciones estacionales sobre el talud continental (Estación 40) se reflejan esencialmente en la capa de los primeros 200 m y muestran el efecto de cambios estacionales de masas de agua. Junio del 2004 se caracterizó por la presencia de una masa de agua cálida y más salina superficial, mientras que en noviembre 2004 se observa un enfriamiento superficial y disminución de salinidad, pero con mayor temperatura y salinidad en la capa subsuperficial (50-250 m). Marzo 2005 se caracterizó por un fuerte enfriamiento y disminución de salinidad en todos los 200 m, mientras que junio de 2005 mostró condiciones similares a aquellas de junio 2004 (Figura 3.71). La masa de agua más calida se caracteriza también por condiciones de mayor oxigenacón de la capa superficial, al comparar perfiles de oxígeno de noviembre 2004 y junio de 2005 (Figura 3.71).

La concentración de nutrientes en la Estación 40 se muestra en la Figura 3.72. Se debe destacar que para todos los momentos muestreados los nitratos se mantienen altos (> 2 μ M) en la capa superficial y mayores a 20 μ M desde los 50 m. Los nitritos presentan cambios estacionales importantes al igual que los de amonio en la capa superficial, mientras que el fosfato manifiesta su variabilidad en toda la columna de agua, aunque en un rango estrecho de 2 a 4 μ M.

Los oxígenos medidos por análisis químico revelan la presencia permanente de la OMZ en la capa de 100 a 350 m aproximadamente, con algunos cambios estacionales en su límite superior (oxiclina) (Figura 3.73). Finalmente se destaca una alta concentración de silicatos durante todas las épocas muestreadas y en toda la columna de agua (Figura 3.73).

3.4.2. Variabilidad en el plancton (distribución de fitoplancton)

La biomasa del fitoplancton es menor a 2 mg/m^3 para todas las épocas del año, con excepción de la primavera (noviembre de 2004), durante la cual alcanzó valores de hasta 14 mg/m³ en la capa superior, lo cual constituye un valor muy alto para una condición oceánica.



Figura 3.71: Cambios estacionales en temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fluorescencia en la columna de agua en la zona del talud continental frente a Concepción (Estación 40) durante el período 2004-2005.



Figura 3.72: Cambios estacionales en la concentración de nitrato, nitrito, amonio y fosfato en la columna de agua en la zona del talud continental frente a Concepción (Estación 40) durante el período 2004-2005.



Figura 3.73: Cambios estacionales en la concentración de oxígeno disuelto y silicatos en la columna de agua en la zona del talud continental frente a Concepción (Estación 40) durante el período 2004-2005.



Figura 3.74: Cambios estacionales en la concentración de clorofila-a y feopigmentos en la columna de agua en la zona del talud continental frente a Concepción (Estación 40) durante el período 2004-2005.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

A nivel mundial, existe una tendencia creciente por mejorar la conservación y manejo de los sistemas marinos basado en la implementación de una aproximación ecosistémica, es decir, sustentada en el conocimiento científico integral de las partes relevantes/influyentes y verificada en indicadores de la condición del sistema (Pikitch et al. 2004), por sobre el conocimiento e indicadores específicos de una parte (por ejemplo, una pesquería uni-especifica en una área definida). Dentro de este marco, el sistema de corrientes de Humboldt está compuesto de una serie de ecosistemas, con claras diferencias climatológicas y oceanográficas entre ellos, aunque interconectados entre sí. Entre éstos, la zona frente a Concepción (35-38°S) se destaca por su alta productividad biológica y pesquera (Daneri et al. 2000). El presente proyecto sienta las bases necesarias para mejorar nuestro entendimiento del ecosistema frente a Concepción, a través del inicio de un programa de monitoreo que permita continuamente registrar e integrar datos bio-oceanográficos, que a su vez permita desarrollar modelos operacionales sobre los cuales eventualmente basar una aproximación ecosistémica al manejo de las pesquerías u otras actividades marítimas en la región.

4.1. Condiciones oceanográficas físicas y químicas del sistema frente a Concepción

Por largo tiempo se ha reconocido el impacto de la surgencia costera en las propiedades de las aguas superficiales en la región centro-sur de Chile. En esta región, la surgencia costera aporta aguas de bajas temperaturas, pobres en oxígeno y con salinidades relativamente altas (Strub et al. 1998); además, las aguas de surgencia fertilizan la zona fótica, sin embargo, para la zona de estudio los antecedentes sobre fertilización de esta naturaleza se ha restringido a la zona más costera cercana a las bahías (Ahumada et al. 1991). En general, la surgencia en esta región tiene lugar estacionalmente y se distribuye sobre una extensa banda a lo largo de la costa; además, existen rasgos topográficos particulares del fondo marino y perturbaciones en la línea de costa que favorecen el ascenso de aguas subsuperficiales y la mezcla diapícnica, dando lugar a centros de surgencia de mayor intensidad (Cáceres 1992). Como una resultante de estas interacciones y eventos se genera una distribución altamente heterogénea de las propiedades

hidrográficas a lo largo de la costa. En periodo de invierno y primavera, además, el aporte fluvial de agua dulce modifica significativamente las propiedades del agua de mar en la zona costera (Faundez et al 2001). La región de estudio se ha caracterizado previamente como una de alta energía cinética en la zona de transición costera (ZTC), que se extiende desde la costa hasta 600-800 km mar afuera, otorgándole una amplia abundancia de estructuras de mesoescala (cambios en escalas de decenas a unos pocos cientos de kilómetros), como filamentos, remolinos, jets, y meandros (Hormazabal et al. 2004a). En general entonces, la zona de estudio contiene una alta variabilidad oceanográfica de mesoescala y una marcada estacionalidad en la surgencia, características que se ven reflejadas en los resultados obtenidos en el presente estudio y que deben ser consideradas en cualquier análisis de este ecosistema.

4.1.1. Variabilidad espacial

El crucero de primavera de este proyecto fue planificado para evaluar las condiciones oceanográficas durante la época de surgencia. Tanto las observaciones de magnitud y dirección del viento, como las distintas variables oceanográficas revelan que, efectivamente, el crucero se desarrolló durante un periodo de intensa surgencia. Las propiedades superficiales del agua de mar cerca de la costa (bajas temperaturas, bajo contenido de oxígeno y alta salinidad) contrastan claramente con las propiedades de las aguas oceánicas.

En torno a Punta Lavapié se observó un núcleo de aguas superficiales con propiedades "extremas", es decir, valores más bajos de temperatura, las salinidades más altas y las menores concentraciones de oxígeno. Por largo tiempo esta punta ha sido reconocida como un centro importante de surgencia en la región (Arcos y Salamanca, 1984; Cáceres, 1992; Cuadra et al. 2004) y los resultados del crucero son ampliamente consistentes con esta idea. La lengua de aguas de surgencia, que se extendió hacia el norte desde Punta Lavapié, genera un frente térmico importante en el borde externo de la plataforma continental al norte del Golfo de Arauco, sobre la terraza del Itata, aproximadamente paralelo a la costa y abarca varias decenas de kilómetros mar adentro. Al norte de 36 °S, las aguas de surgencia tendieron a propagarse hacia fuera de la costa, como es reflejado por la distribución de temperatura superficial y temperatura, salinidad, densidad y oxígeno a 50 dB. Esto da origen a un filamento de agua fría, estructura que ha sido

identificada anteriormente en esta región (Cáceres 1992).

Las transectas perpendiculares a la costa y la distribución subsuperficial de oxígeno y salinidad revelan importante actividad de mesoescala. En la parte norte de la zona de estudio, la distribución de las distintas propiedades es consistente con un vórtice anticiclónico, cuya rama del flujo hacia el norte se centra en los 75° W aproximadamente, mientras la rama con flujo hacia el sur se localiza entre las estaciones 9 y 10, es decir entre 75°45' W y el límite exterior de la zona de estudio. Similarmente, las diferentes propiedades en la transecta perpendicular a la costa del extremo sur muestran gran variabilidad espacial, posiblemente asociada a vórtices de mesoescala que generan flujos meridionales en direcciones opuestas, como se indicó en la sección 3.1.2. Por otra parte, las transectas meridionales oceánicas muestran la presencia de un flujo hacia la costa en el centro de la zona de estudio entre los 37° 30'S y los 36°30' S aproximadamente. Este flujo transporta aguas menos salinas y con mayores concentraciones de oxígeno hacia la costa. Estimaciones de velocidad geostrófica basados en las observaciones hidrográficas de este crucero y datos de altimetría satelital (Letelier et al. en preparación) son consistentes con los flujos y vórtices descritos anteriormente.

4.1.2. Variabilidad temporal

Las condiciones oceanográficas físicas durante el período de muestreo anual (julio 2004 a julio 2005) reflejan muy bien la marcada estacionalidad en la zona costera frente a Concepción. Esto es, aguas más salinas en la costa durante el periodo de surgencia (>34) y aguas de menor salinidad durante el periodo invernal-comienzos de primavera. Además, una profundización de la termoclina ocurre en el último periodo mientras que en época de surgencia ésta se hace más somera (20 m en general). La oxiclina varía asociadamente a la termoclina y refleja claramente el levantamiento del límite superior de la ZMO durante el período de mayor surgencia (primavera/verano). Estas condiciones responden a un patrón anual que se repite para otros años en la misma estación 18 (Serie de tiempo del Centro COPAS), como se observa en la Figura 4.1 donde se ilustran los cambios mensuales en temperatura, salinidad y oxígeno desde julio 2002 a agosto 2005.



Figura 4.1: Variabilidad mensual en temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en Estación 18 frente a Concepción durante el período agosto 2002 a agosto 2005.

En relación al efecto fertilizador de la surgencia, el presente estudio aporta, por primera vez, antecedentes sobre la distribución de macro-nutrientes sobre una amplia escala espacial y temporal en la zona frente a Concepción. Durante el crucero de primavera 2004, la mayor concentración de nutrientes en la franja costera refleja la fertilización efectiva de la capa superficial con procesos de surgencia. Esto además está reflejado en la distribución mensual de nutrientes en la Estación 18; sin embargo, los niveles disponibles de nutrientes como nitrato y

silicato durante el periodo anual sugiere que éstos no son limitantes toda vez que no se detectó falta total de los mismos (<1 μ M) en las capas superficiales.

4.2. Los componentes biológicos planctónicos en el sistema frente a Concepción

La alta productividad biológica y pesquera del sistema en la región es comúnmente atribuida al efecto fertilizador de la surgencia costera estacional sobre la capa fótica, proporcionando los nutrientes necesarios para incrementar los niveles de producción en la base de la trama trófica, los productores primarios foto-sintetizadores (Ahumada et al. 1991, Daneri et al. 2000). A esto debe sumarse la acción de otros procesos oceanográficos, como la concentración de componentes biológicos por efecto de estructuras de mesoescala en la zona de transición costera (Hormazabal et al. 2004b). En general, estas últimas estructuras tienden a extender la zona de mayor producción o biomasa de la zona costera hacia la zona oceánica, toda vez que se den las condiciones apropiadas respecto de la dirección de rotación, intensidad y evolución temporal y espacial de las mismas (Hormazabal et al. 2004b).

4.2.1. Variabilidad espacial

El crucero de primavera 2004 refleja la distribución espacial esperada en época de surgencia en la región, con altas biomasas fitoplanctónicas en la zona más costera y sobre la terraza del Itata, al norte del centro de surgencia mayor en Punta Lavapié, y un fuerte gradiente entre la zona costera y oceánica asociada con los gradientes térmicos mayores y paralelos a la costa. A su vez, parte importante de los componentes zooplanctónicos así como las larvas y huevos de anchoveta y sardina común tienden a congregarse en la zona más costera, seguramente como una estrategia de permanecer cerca de la abundante fuente de alimento. Otros componentes dominantes del zooplancton están presentes tanto en la costa como en la zona oceánica mientras que en otros casos, como los huevos y larvas de merluza, tienen una distribución más bien oceánica. Esto refleja que la zona oceánica podría también proporcionar alimento suficiente para estos componentes. Una de las vías en que esto puede ocurrir es a través del transporte de aguas de surgencia hacia la zona oceánica, tal como se refleja en la presencia de un filamento de mayores concentraciones de biomasa fitoplanctónica en la zona entre 35°30'5
y 36°30' S, zona en la que se detectaron algunos aumentos en la abundancia/biomasa de zooplancton e ictioplancton. Este filamento de aguas frías de surgencia y altos valores de clorofila-a parece ser una estructura recurrente en la zona de estudio (Cáceres 1992; Morales et al. en preparación) y merece atención como mecanismo en la exportación de materia orgánica hacia la zona oceánica. Además, existen flujos desde la zona oceánica hacia la costa, como se explicó para las condiciones físicas durante el crucero, que podrían representar vías de retorno hacia la costa de las especies zooplanctónicas y del ictioplancton transportadas mar afuera por las aguas de surgencia.

4.2.2. Variabilidad temporal

La zona costera de la región de estudio, representada por la estación 18 y 40, refleja muy bien el patrón estacional de variabilidad en la biomasa fitoplanctónica, con mayores valores durante el periodo de surgencia y menores en el periodo no afecto a la surgencia. Este patrón, si bien descrito anteriormente para la zona cercana a la Bahía de Concepción (Ahumada et al 1991), es extendible con nuestros resultados a la zona de plataforma y talud frente a Concepción y, especialmente, a la zona de la terraza del Itata. Cabe destacar que las concentraciones de fitoplancton, como clorofila-a, en la plataforma y durante época de surgencia son comparativamente altas respecto de otros sistemas de surgencia. Al mismo tiempo, las mismas concentraciones durante el periodo de no-surgencia son relativamente altas respecto de otros sistemas marinos, considerando que concentraciones iguales o superiores a 1 mg m⁻³ son catalogadas comúnmente como aguas eutróficas.

En general, se ha caracterizado a los sistemas de surgencia costera por la mayor relevancia de los componentes fitoplanctónicos de mayor tamaño (>20 um), el micro-fitoplancton. En la zona de estudio, el análisis de las fracciones de tamaño predominantes en el fitoplancton viene por primera vez a ser caracterizado para un período anual en la plataforma sobre la terraza del Itata. Destaca, tanto en las proporciones de clorofila-a asociada al fitomicroplancton como en la composición de este componente, que efectivamente domina en periodo de surgencia la presencia de diatomeas, especialmente las formadoras de cadena (*Skeletonema, Chaetoceros*). Sin mostrar estacionalidad marcada, los grupos fitoplanctónicos de menor tamaño, especialmente los autótrofos nanoflagelados, aparecen en forma importante en

algunas ocasiones. Estas apariciones obedecerían a eventos gatillados a escalas menores de las que son posibles de percibir por este estudio y merecen atención, toda vez que ello implicara un cambio de estructura que afectara eventualmente a los restantes componentes de la trama trófica en la zona costera.

La producción primaria también presenta una marcada estacionalidad sobre la terraza del Itata, con máximos en periodo de surgencia. Del mismo modo que la biomasa fitoplanctónica, los menores valores de producción primaria durante la época de no-surgencia son comparativamente altos respecto de otros sistemas marinos y pueden ser catalogados como aguas eutróficas toda vez que la producción primaria esté en el rango 0.8-1.4 g C m⁻² d⁻¹ (Montecino et al 2004). En sistemas con alta producción biológica es esperable que una fracción importante de la producción primaria sea exportada del sistema en la forma de sedimentación directa del fitoplancton (Legendre & Rassoulzadegan, 1996). Sin embargo, los presentes resultados revelan que la mayor parte de la exportación de carbono desde las capas superficiales ocurre en la forma de desechos particulados o pellets fecales de zooplancton y, en particular de eufáusidos. Esto sugiere que una parte importante de la producción primaria estaría siendo transferida a zooplancton y luego a niveles tróficos mayores en el sistema de surgencia frente a Concepción, especialmente durante la época de surgencia.

La estacionalidad en el zooplancton, considerando la totalidad de los componentes mesoy macro-zooplanctónicos, excepto el ictioplancton, no es evidente durante el periodo de estudio (julio 2004-julio 2005) en la estación costera sobre la terraza del Itata. Sin embargo, y como se reconoce con anterioridad, los huevos y larvas de sardina común y anchoveta son más abundantes durante el periodo de invierno en esta zona (Castro et al. 2000, 2002). Sin duda que la mayor potencialidad de retención de huevos y larvas durante los periodos de menor advección mar afuera jugaría un rol fundamental en esta estrategia; por lo demás, los niveles de alimento para larvas de peces durante el periodo invernal parecen no ser limitantes, ya sea en términos de fitoplancton o microzooplancton, en esta zona costera. Posiblemente los juveniles de estos peces sean los que dependan en mayor medida de mayores concentraciones de alimento durante el periodo primaveral y estival. En general, los factores que afectan la sobrevivencia de huevos y larvas de los principales recursos de peces pequeños pelágicos en la región de estudio involucran un conjunto de condiciones que deberían ser abordadas tanto en programas de monitoreo intensos/permanentes como en forma experimental, antes de poder generar un modelo conceptual y operacional aplicable al manejo de los recursos biológicos en el ecosistema frente a Concepción.

4.3. Modelo conceptual de estructura y funcionamiento

Una primera aproximación a la conceptualización de la estructura y funcionamiento del ecosistema marino de la región se puede adoptar sobre la base de una escala temporal y de una escala espacial. La información obtenida para un año de monitoreo, junto a la información de estudio previos, sugieren que la surgencia costera constituye el proceso clave de variabilidad temporal. De esta manera es posible esquematizar 2 fases principales del sistema: 1) período de surgencia, 2) período de no surgencia, ambos delimitados por una fase de transición. La Figura 4.2. ilustra un modelo conceptual del ecosistema.

El período de surgencia define un ambiente en el cual coincide una mayor radiación solar, con un levantamiento de la termoclina y oxiclina producto de la surgencia que a su vez promueve el transporte costa-océano. Esta condición genera una mayor agregación de la actividad biológica en una capa estrecha del mar (0-20 m), donde se incrementan en niveles los componentes autotróficos, dominados por diatomeas de mayor tamaño (>20 µm), promoviendo la agregación e incremento del resto de componentes del plancton. Esta condición se encuentra asociada al desove de peces. La mayor productividad biológica (PP) supera ampliamente a la demanda por respiración comunitaria microplanctónica (RC), sugiriendo que el sistema en este periodo es productor neto de materia orgánica hacia otros niveles tróficos superiores o para exportación. En este periodo se manifiesta un flujo vertical de materia orgánica bastante menor que la magnitud de la producción primaria y principalmente en la forma de material fecal, sugiriendo que la exportación es mínima pero que predomina el traspaso a niveles tróficos superiores. Por otro lado, el período de no-surgencia se caracteriza por un hundimiento de la termoclina y oxiclina, dando lugar a una expansión vertical, y posiblemente "dilución", de la actividad biológica y de los componentes planctónicos. En ausencia de surgencia se favorece el transporte hacia la costa (vientos desde el norte) y un fuerte debilitamiento de frentes costeros. Los macro-nutrientes mantienen niveles elevados, posiblemente por aporte fluvial, permitiendo

un sustento de la producción primaria pero probablemente limitada por una menor radiación solar y disminuida por efecto de hundimiento de la capa de mezcla. La capa de mezcla superior tiende a ser de baja salinidad y es manifiesta una mayor ocurrencia de fitoplancton de menor tamaño, junto a diatomeas solitarias. La columna de agua es altamente oxigenada y el zooplancton presenta una dominancia de estadios tardíos de copépodos y eufáusidos. El flujo vertical de materia orgánica (exportación) es relativamente más importante respecto de la producción primaria pero en magnitud es menor que los niveles observados durante la época de surgencia. Además, posiblemente la resuspensión de materia orgánica previamente sedimentada sea recurrente en esta época.



PERIODO SURGENCIA - TRANSICION - PERIODO NO-SURGENCIA Figura 4.2: Modelo conceptual de funcionamiento del ecosistema marino de la región de Concepción que incorpora la variabilidad temporal de la surgencia (estacional). PP y RC son la producción primaria y respiración comunitaria (microplancton), respectivamente. FV es el flujo vertical de carbono.

El estudio de la variabilidad espacial corresponde a una situación de primavera. En tal contexto, adquiere relevancia la variabilidad costa-océano, en la medida en que los principales procesos derivados de la surgencia se manifiestan cercanos a la costa. Las observaciones durante el crucero de primavera son consistentes con un patrón de distribución de los componentes planctónicos altamente agregados en la franja costera, además de la fuerte agregación en el plano vertical, lo que en cierto modo los hace más vulnerables a los procesos/forzantes que ocurren en este volumen de agua. La estructuración de este sistema se puede ilustrar de acuerdo a modelo conceptual modificado desde Escribano et al. (2004), propuesto para un período de surgencia en una condición neutral del ciclo ENOS (Figura 4.3). En este esquema se destaca la presencia de la ZMO en la capa intermedia (150-450 m) en aguas oceánicas, ingresando a la zona fótica en la zona costera y favoreciendo el flujo de nutrientes hacia el estrato iluminado; a su vez esto genera una ambiente subóxico que restringe a la capa oxigenada superficial la distribución vertical de la mayoría del plancton, así como la de huevos y larvas de peces, mientras que algunos grupos son exitosos bajo esta condición (ej. Eufáusidos). Además, esta condición genera importantes cambios en las transformaciones y flujos de carbono y nitrógeno en el sistema, lo que a su vez incide en la productividad del mismo y en la estructura de las comunidades en este ecosistema.



Figura 4.3: Modelo conceptual del ecosistema marino de la VIII Región ilustrando la variabilidad espacial costa-océano. Esquema modificado desde Escribano et al. (2004).

Sin duda que los modelos conceptuales derivados de las observaciones disponibles son aún muy generales para resolver adecuadamente la variabilidad espacial y temporal del ecosistema frente a Concepción. La existencia y persistencia de un programa de monitoreo como el de este proyecto permitirá resolver las partes más fundamentales de este conocimiento. Sin embargo, a escalas de tiempo mayores a la estacional, incluyendo aquella derivada de la variabilidad interanual asociada a eventos cálidos El Niño, los efectos de cambios oceanográficos sobre los componentes biológicos planctónicos en esta región (Escribano et al. 2004) son prácticamente desconocidos. El acelerado y amplio desarrollo de la tecnología de sensoramiento remoto ha permitido tener más recientemente una percepción mejorada sobre la variabilidad espacial y temporal de los componentes primarios del sistema (como clorofila-a) en esta región; aún así, no se ha caracterizado esta variabilidad más que sobre periodos o áreas muy específicas de la zona. En este sentido, es un gran desafío el que resta por obtener el conocimiento apropiado del ecosistema frente a Concepción para ser aplicado en el manejo de las pesquerías y actividades acuícolas en general en este ecosistema.

5. REFERENCIAS

- Ahumada, R., Matrai, P., Silva, N. et al. 1991. Phytoplankton biomass distribution and relationship to nutrient enrichment during an upwelling event off Concepción Bay (Chile). Boletín de la Sociedad de Biología, Concepción (Chile) 62, 7-19.
- Arancibia H. 1989. Distribution patterns, trophic relationships and stock interactions in the demersal fish assemblage off central Chile. Dr. rer. Nat. Thesis. University of Bremen, German, 221 pp.
- Arcos, D., Salamanca, M., 1984. Distribución de clorofila y condiciones oceanográficas superficiales frente a Chile central (latitudes 32°S-38°S, Febrero 1982), *Biol. Pesq. (Chile)*, 13, 5-14.
- Arcos, D. F, Nuñez, S., Acuña, A., 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 Oceanologica 4(1): 21-58
- Arcos, D. F., Cubillos, L.A., Nuñez, S.P., 2000. The jack mackerel fishery and El Niño 1997-98 effects of Chile. Progress in Oceanography 49, 597-617.
- Arntz WE, Fahrbach, E., 1996. El Niño Experimento Climático de la Naturaleza. Fondo de Cultura Económica, Mexico, DF, 312
- Balbontín F., Fischer, F., 1981. Ciclo sexual y fecundidad de la merluza *Merluccius gayi gayi*, en la costa de Chile y factores ambientales asociados. Rev. Biol. Mar. y Oceanografía 32(1): 45-66.
- Barber RT, Chavez, E.P., 1983. Biological consequences of El Niño. Science 22: 1203-1210.
- Barber RT, Smith, R.L., 1981. Coastal upwelling ecosystems. In: A.R. Longhurst (ed) Analysis of Marine Ecosystems. Academic Press, pp. 31-68.
- Cáceres, M, Vórtices y filamentos observados en imágenes de satélite frente al área de surgencia de Talcahuano, Chile central. *Invest. Pesq (Chile)* 37, 55-66, 1992.
- Castro, L., Hernández, E., Llanos, A., 2000. Environmental influences on wimter spawning of the anchoveta Engraulsi ringens off central Chile. Marine Ecology Progress Series 197, 247-258.
- Castro L, A. Llanos, JL. Blanco, E Tarifeño, R Escribano, Landaeta, M., 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 No. 16: 42-45
- Cuadra, P. P., F. Rodríguez, Gallardo, C., 2004. Space-time characterization of Punta Lavapie upwelling system through SS NOAA/AVHRR images. Gayana (Concepc.) v. 68 n. 2 supl. TII Proc. Concepción.
- Daneri G, Dellarossa V, Quiñones R, Jacob B, Montero R, Ulloa O., 2000. Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. Marine Ecology Progress Series; Vol. 197: 41- 49, 2000.
- Escribano, R. Daneri, D., Farías, L., Gallardo, V.A., González, H.E., Gutierrez, D., Lange, C., Morales, C.E., Pizarro, O., Ulloa, O., Braun, M., 2004. Biological and chemical consequences of the 1997-98 El Niño in the Chilean coast upwelling system: a síntesis. Deep Sea Research, Part II, 51, 2389-2412.

- Faúndez, P.B, Morales, C.E., Arcos, D., 2001. Variabilidad espacial y temporal en la hidrografía invernal del sistema de bahías frente a la VIII región (Chile centro-sur). Revista Chilena de Historia Natural 74, 817-831.
- Fonseca TR, Farías, M., 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. Investigaciones Pesqueras 34: 33-46.
- Kana, T., Glibert, O.M., 1987. Effect of irradiances up to 2000 μEm²s⁻¹ on marine Synechococcus WH 7803-I. Growth, pigmentation and cell composition. Deep-Sea Research 34, 479-516
- Hormazabal, S.E., Shaffer, G., Leth, O., 2004a. The coastal transition zone off Chile. Journal of Geophysical Research 109, .
- Hormazabal, S.E., Pizarro, O, Letelier, J., 2004b. Mesoscale eddies and pelagic fishery off central Chile (33-40°S). Gayana 68 (2), 291-296.
- Legendre, L. and F. Rassoulzadegan. 1996. Food-web mediated export of biogenic carbon in oceans: hydrodynamic control. Marine Ecology Progress Series 145, 179-193.
- Melendez R. 1983. Alimentación de *Merlucius gayi* (Guichenot) frente a Chile Central (36°05-36°50). Boletín Museo Nacional de Historia Natural de Chile. 40: 145-152.
- Montecino, V., Astoreca, R., Alarcon, G., Retamal, L., Pizarro, G., 2004. Bio-optical characteristics and primary productivity during upwelling and non-upwelling conditions in a highly productive coastal ecosystem off Central Chile (36°S). Deep Sea Research 51(20-21), 2413-2425.
- Morales, C.E., Hormazabal, S.E., Blanco, J.L., 1999. Interannual variability in the mesoescale distribution of the depth of the upper boundary of the oxygen minimum layer off northern Chile (18-24S): Implications for the pelagic system and biogeochemical cycling. Journal of Marine Research 57, 909-932.
- Mujica, A. & O. Rojas. 1980. Estudio de la reproducción, fecundidad y desove de la sardina común (*Clupea strangomera bentincki*) y la anchoveta (*Engraulis ringens*) de la zona de Talcahuano. En: Programa Perspectivas de desarrollo de las pesquerías nacionales. Subprograma Dinámica Poblacional de Sardina y Anchoveta, Zona de Talcahuano. Informe Técnico IFOP AP 80-3. CORFO.
- Pitkitch, E.K. Dantora, C S Babcock, E A Bakun, A Bonfil, R Conover, D O Dayton, P
- Doukakis, P., Fluharty, D., Heneman, B., Houde, E D., Link, J., Livingston, P A., Mangel, M.,
- McAllister, M K., Pope J., Sainsbury K J., 2004. Ecosytem-based fishery management. Science 305, 346-347.
- Retamal M. 1981. Catálogo ilustrado de los crustáceos decápodos de Chile. Gayana, Zoología 44: 1-110.
- Shaffer, G., Hormazabal, S., Pizarro, O., Salinas, S., 1999. Seasonal and interannual variability of currents and temperature off central Chile. Journal of Geophysical Research 104 (C12), 29,951-29,961.
- Sobarzo, M., 1998. Surgencia costera sobre una plataforma continental limitada por cañones submarinos, Concepción Chile Central. Tesis para el grado de Doctor en Oceanografía, Universidad de Concepción.
- Strub P, J Mesias, V Montecino, Rutland, J., 1998. Coastal ocean circulation off western South America. In: A. Robinson & K. Brink (eds.) The Sea, Vol.2. The Global coastal ocean. First Workshop on Coastal Ocean Advanced Science and Technology Studies (COASTS)

IOC, Liege. John Wiley & Sons, Inc.

- Ulloa, O., Escribano, R., Hormazabal, S., Quinonez, R., Gonzalez, R, 2001. Evolution and biological effects of the 1997-98 El Niño in northern Chile. Geophysical Research Letters. 28: 1591-1594
- Well R., Roether, W. Stevens D. P., 2003. An additional deep-water mass in Drake Passage as revealed by He data. Deep-Sea Research I, 50, 1079-1098.