

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR Y GEOGRAFÍA
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Condiciones oceanográficas (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto,
clorofila y focos de surgencia) en la zona centro-sur de Chile ($35,5^{\circ}$ S- 40° S)
durante la primavera austral de 2014

Trabajo de Titulación para optar al Título de Oceanógrafo

por

Úrsula Melanie Hauser Fuentes

2015

Comisión de Titulación

Profesor Guía: Dr. Jaime Letelier Pino

Profesor: Dr. Eduardo Quiroga Jamett

Profesor: M. Sc. Sergio Salinas Marchant

AUTORIZACIÓN DE USO

Al presentar este Trabajo de Titulación como último requisito para la obtención del título de Oceanógrafo, autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente de ella. Autorizo además reproducciones parciales o totales de este documento sólo para fines académicos.

Úrsula Melanie Hauser Fuentes

A los que siempre confiaron en mí!

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jaime Letelier, profesor guía e impulsor de esta tesis, por compartir sus conocimientos y por la oportunidad de permanecer en el Laboratorio de Oceanografía Física y Satelital de la Universidad de Valparaíso, donde conocí a maravillosas personas a quienes también agradezco; Darly, Rodrigo, Vania, Manuel y en especial a Mónica por su gran apoyo y tiempo dedicado a resolver todas mis consultas.

Al profesor M. Sc. Sergio Salinas por aceptar inmediatamente ser parte de mi comisión y por darse el tiempo de aportar a mi trabajo, a pesar del poco tiempo que disponía para entregar.

A los profesores integrantes de la asignatura Seminario de Titulación; Dr. Eduardo Quiroga, Dr. Juan Díaz, Dr. Samuel Hormazabal, por contribuir en mi formación profesional a lo largo de la carrera, por sus sugerencias y críticas de gran valor y por sobre todo a Dra. Marcela Cornejo, quien a pesar de no ser parte de mi comisión dedicó tiempo para darme una corrección previa de este documento.

A mis compañeros, Victoria, Erika, Constanza, Javiera, Katherine y Tomás, que con los años se convirtieron en grandes amigos.

A mi mami y mi hermana, por su apoyo incondicional, motivarme a dar un paso más, darme aliento cuando lo necesité y en especial por confiar siempre en mí.

En particular quiero agradecer a L. Guillermo, por ser parte fundamental en mi vida, por comenzar y finalizar este proceso conmigo, darme las energías para salir adelante, incluyendo todos los obstáculos que debimos pasar, porque ¡Somos UNO!

ÍNDICE

Portada de presentación	
Comisión de Titulación.....	i
AUTORIZACIÓN DE USO	ii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	vii
INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes generales	1
Surgencia costera	2
Importancia Biológica.....	3
OBJETIVOS	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Área de estudio.....	6
Fuente de datos.....	6
Procesamiento de datos	7
Imágenes satelitales.....	8
RESULTADOS	9
Condiciones oceanográficas, Objetivo específico I.	9
Temperatura	9
Distribución horizontal Superficial	9
Distribución horizontal sub-superficial.....	10
Temperatura superficial del mar satelital (TSM).....	12
Salinidad.....	13
Distribución horizontal superficial.....	13
Distribución horizontal sub-superficial.....	13

Densidad.....	15
Distribución Horizontal superficial.....	15
Distribución horizontal	16
Oxígeno disuelto	17
Distribución superficial.....	17
Distribución horizontal	18
Condiciones oceanográficas: Objetivo específico II.....	20
Distribución vertical de temperatura.....	20
Distribución vertical de salinidad	23
Distribución vertical de densidad.....	26
Condiciones oceanográficas: Objetivo específico III	32
Distribución horizontal de Clorofila-a	32
Distribución vertical de Clorofila-a	33
Clorofila-a satelital.....	36
Objetivo específico IV	37
Condiciones oceanográficas, Objetivo específico V.....	38
Anomalías del nivel del mar y velocidades geostróficas satelitales	38
Superficial	38
Vertical.....	39
DISCUSIÓN	42
CONCLUSIÓN.....	45
REFERENCIAS.....	46

RESUMEN

El centro- sur de Chile, forma parte del sistema de corrientes de Humboldt que constituye una de las áreas de mayor productividad biológica en el Pacífico sur oriental, la cual se sustenta esencialmente en la surgencia costera.

Entre el 9 y 20 de octubre de 2014, se realizó el crucero oceanográfico “Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas entre la VIII y IX regiones, año 2014”, con el objetivo de determinar la distribución espacial a nivel de mesoescala, de las condiciones oceanográficas en la columna de agua (entre la superficie y los 200 m de profundidad), combinando información in-situ y satelital. Los resultados satelitales se separaron en dos fases: del 9 al 15 de octubre y del 16 al 23 de octubre.

Se utilizaron datos de CTD provenientes de 92 estaciones oceanográficas distribuidas en 10 transectas perpendiculares a la costa, entre Constitución y Valdivia (35,5°S y 40°S) a las cuales se sumo información de viento de barco y viento de la estación meteorológica del SERVIMET en el puerto de Talcahuano. Además se incorporó información satelital de temperatura y clorofila.

Los resultados de datos *in situ* mostraron una franja costera de bajas temperaturas y altas concentraciones de clorofila, validando las imágenes obtenidas con la data satelital.

Durante el primer periodo (muestreado entre los 35,5° S- 37,5° S) donde la surgencia fue activa se observó un transporte hacia el ecuador, mientras que para el segundo período donde (muestreado entre los 38° S- 40°S) las condiciones ambientales favorecieron al hundimiento y la advección de aguas oceánicas hacia la costa.

La zona oceánica del área de estudio presentó remolinos ciclónicos y anticiclónicos de mesoescala, éstos últimos, modificaron la columna de agua cientos de metros en el período de crucero y reforzaron el flujo hacia el norte a lo largo de la costa para la primera fase y para la segunda fase, el flujo hacia el norte se vio reforzado desde los 36,5°S hasta 37,5° S, mientras que desde los 38,5° S hacia el sur se visualizó un circuito ciclónico con anomalías del nivel del mar ~2 cm en la banda costera, que empuja aguas hacia la costa entre Puerto Saavedra y Corral.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes generales

A lo largo de los sistemas de borde oriental de los océanos, se encuentran localizados los centros de mayor productividad biológica (Barber & Smith, 1981).

En el Océano Pacífico Sur Oriental se ubica el sistema de Corrientes Humboldt (Sturb *et al.* 1998) que incluye los sistemas de surgencia costera de Perú y Chile (Morales & Lange, 2004). En este sistema, la fuente principal del agua de la surgencia es el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), que se caracteriza por tener una alta concentración de nutrientes y un bajo contenido de oxígeno disuelto que aflora a la zona eufótica (Sievers & Silva, 1982; Silva, 1983).

Además, a lo largo de la costa de Chile y en particular en la zona centro sur, se encuentra el Agua SubAntártica (ASAA), el Agua Intermedia Antártica (AIAA) y el Agua Profunda del Pacífico (APP) (Fig. 1). Mientras que el AESS se desplaza hacia el polo, las aguas de origen antártico y APP se desplazan hacia el norte (Sievers & Silva, 1982; Silva, 1983).

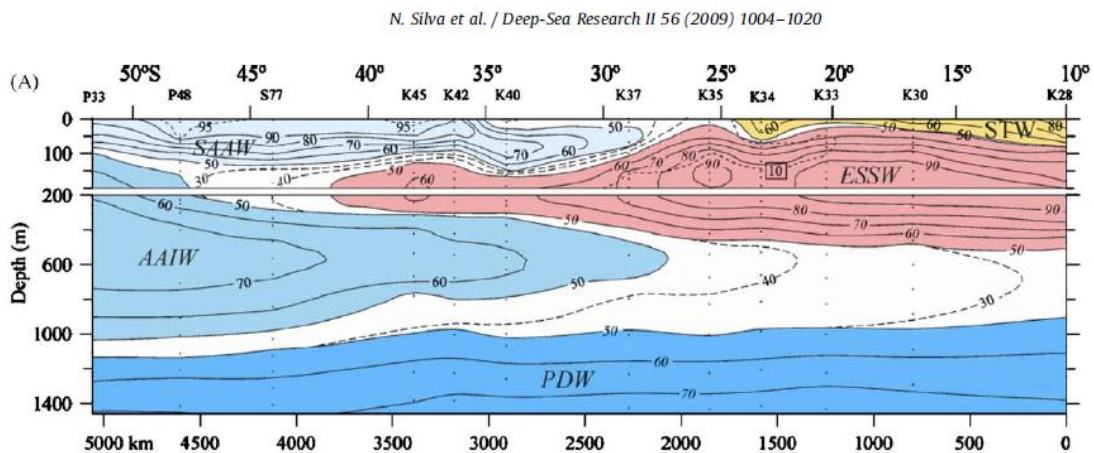


Figura 1. Sección longitudinal del porcentaje de participación de masas de agua entre los 10° S y los 50° S. tomado de Silva et al., 2009. ESSW= AESS, SAAW= ASAA, AAIW= AIAA, PDW= APP (Silva *et al.*, 2009).

En este sistema de corrientes, el viento a lo largo de la costa tiene una señal anual con máximos entre primavera y verano (Soto-Mardones *et al.* 2004) con una dirección predominante hacia el ecuador favoreciendo la surgencia.

Surgencia costera

La surgencia que se manifiesta en los sistemas de borde oriental está asociada a puntos topográficos específicos como puntas, penínsulas, cabos y bahías (Fonseca & Farías, 1987), donde se desarrollan focos que están distribuidos heterogéneamente a lo largo de la costa.

La surgencia costera en estos sistemas de borde oriental, es manejada por el esfuerzo del viento que genera un transporte hacia el oeste de las aguas superficiales. El esfuerzo del viento sobre la superficie del mar y la rotación terrestre dan como resultado este transporte (Smith, 1968). El ascenso de aguas de menor temperatura y mayor densidad, que posteriormente se desplazan al oeste promueve la formación de un frente de surgencia (Fig 2) (Fedorov, 1985). Este frente, puede ser interpretado, desde el punto de vista de gradientes de densidad, como una manifestación superficial de la piconclina, aun cuando los gradientes horizontales son modificados significativamente por advección, mezcla, transporte de Ekman, flujos de calor y boyantes (Bowman & Esaias 1978, Peliz *et al.* 2002).

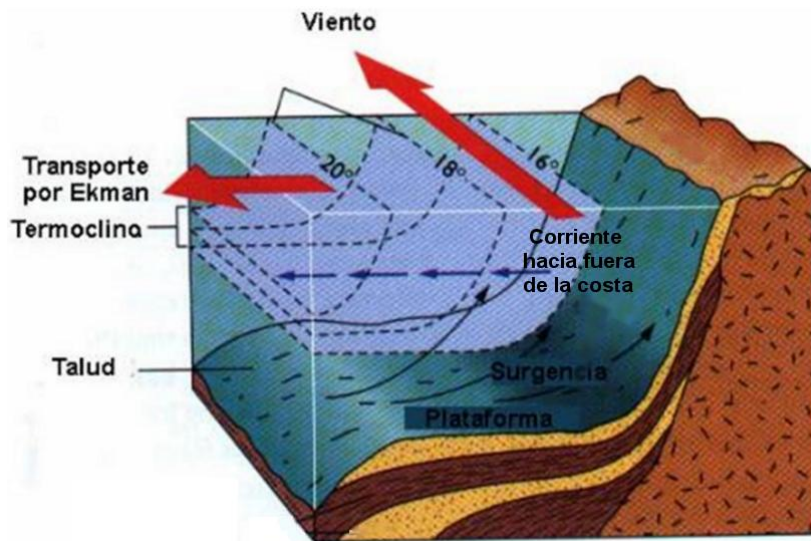


Figura 2. Diagrama de un sistema de surgencia local, ubicado en borde oriental del hemisferio sur y que muestra esquemáticamente la topografía, el viento, el transporte de Ekman y la formación del frente de surgencia (Pinet 2000).

En el sistema de Humboldt (Perú- Chile) se desarrollan dos importantes áreas de surgencia las que se ubican en el centro de Perú (~14,5° S) y centro-sur de Chile (~36,5° S) (Strub *et al.* 1998). A lo largo de la costa chilena, la ocurrencia de surgencia costera se produce en casi todo el litoral (Otárola, 2009), De este modo, el norte de Chile (18°- 30°S) se caracteriza por una surgencia que puede ocurrir durante todo el año (Fonseca & Farías,

1987; Escribano *et al.*, 2004), mientras que el centro sur de Chile (30-41°S), específicamente frente a Concepción, se caracteriza por una surgencia de carácter estacional, con mayor intensidad durante primavera-verano (Cáceres & Arcos, 1991; Sobarzo *et al.*, 2001b, 2007).

En la zona centro sur (30°- 42° S) de Chile, donde la plataforma continental es más ancha y la variabilidad anual de los vientos es mayor, se han identificado y descrito diversos focos de surgencia (Arcos & Salamanca, 1984; Fonseca & Farías, 1987), con una fuerte variación estacional y una duración típica de una semana, que representan un fenómeno local debido a la intensidad y persistencia estacional de los vientos locales (Barbieri *et al.*, 1995), por lo que la extensión espacial de la ésta puede alcanzar centenas de kilómetros (Cáceres 1992, Montecinos 1991, Thomas, 1999). En la zona centro sur se han identificado cinco focos de surgencia importantes: Punta Curaumilla (33°00'S), Punta Topocalma (34°10'S), Punta Nugurne (35°57'S), Punta Lavapie (37°15'S) y Punta Galera (40°00'S) (Cáceres 1992; Fonseca & Farías 1987; Letelier *et al.*, 2009). En la zona centro-sur se alberga una importante actividad pesquera industrial y artesanal, cuya productividad biológica se sustenta esencialmente en la surgencia costera (Escribano *et al.*, 2005), la que se intensifica en la época de primavera- verano (Strub *et al.* 1998).

Importancia Biológica

Los ecosistemas de surgencia responden a la interacción océano – atmósfera, a través del estrés del viento (Herrera, 2003). Es un proceso físico de implicancias biológicas clave en la productividad de los ecosistemas marinos costeros (Marine *et al.*, 1993) del sistema de borde oriental. El comportamiento y distribución de los recursos están relacionados con el medio ambiente, por ende, los cambios en el medio físico condicionan de manera importante la cobertura geográfica de los recursos y su abundancia (García, 2006).

En términos ecológicos, la surgencia costera permite el enriquecimiento de la capa superficial con nutrientes provenientes de las aguas superficiales incrementando la productividad biológica que permite albergar una importante actividad pesquera industrial y artesanal en la zona (Escribano, *et al.*, 2004). La productividad se puede reflejar en términos de producción primaria con una alta abundancia de fitoplancton que expresa también en términos de altas concentraciones de clorofila-a (Davies, 2009) por lo que la especificación de las zonas productivas está relacionada con la distribución y concentración del fitoplancton. La duración en el tiempo de la distribución del fitoplancton, se regirá por factores físicos, como la circulación y surgencia costera (Rocha, 2001).

Los patrones de retención y enriquecimientos de ciertas zonas costeras se debe a la presencia de frentes de surgencia (Letelier, 2010) que generan inestabilidades en las

corrientes a lo largo de la costa reforzando la formación de remolinos de mesoescala asociados a la expansión de las zonas de surgencia (Fedorov, 1985; Letelier 2010; Alvarado 2015).

Los cambios estacionales e interanuales que afectan a la zona de estudio hace necesario establecer, mediante monitoreo periódicos las condiciones oceanográficas dominantes. El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar las condiciones oceanográficas presentes durante la primavera de 2014 en términos de la temperatura, salinidad, densidad, oxígeno y clorofila-a y la intensidad de los procesos de surgencia en la zona de estudio.

OBJETIVOS

Objetivo General

Caracterizar las condiciones oceanográficas (temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto, clorofila-a y focos de surgencia) en la zona centro-sur de Chile (35,5° S-40°S), durante la primavera austral de 2014.

Objetivos Específicos

1.- Caracterizar la distribución horizontal en la superficie y a los 25, 50, 100 y 200 m de profundidad de la temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto.

2.- Caracterizar la distribución vertical de la temperatura, salinidad, densidad y oxígeno durante octubre de 2014.

3.- Caracterizar la distribución horizontal y vertical de la clorofila-a en la zona de estudio durante octubre de 2014.

4.- Caracterizar los procesos de surgencia en la zona de estudio durante octubre de 2014.

5.- Analizar la distribución horizontal de las corrientes geostróficas en la zona de estudio durante el periodo de cruce en 2014.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra situada en el centro-sur de Chile, entre Constitución y Valdivia ($35,5^{\circ}$ - 40° S).

Fuente de datos

Los datos utilizados para esta investigación incluyen 92 estaciones oceanográficas realizadas durante crucero de Monitoreo Bio-Oceanográfico en la región de estudio (Fig.1), entre el 9 y 20 de octubre del 2014, proporcionados por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). Las variables oceanográficas medidas corresponden a temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y fluorescencia, registradas por medio de CTD Sea Bird SBE 19 plus, hasta una profundidad no superior a 600 m.

Se muestrearon 10 transectas perpendiculares a la costa, a partir de 1 mn desde la costa hasta 100 mn, separadas por medio grado de latitud una de la otra, las que se numeraron de 1 a 10, comenzando a los $35,5^{\circ}$ S hacia el sur. La conformación de cada transecta se puede apreciar en la tabla 1.

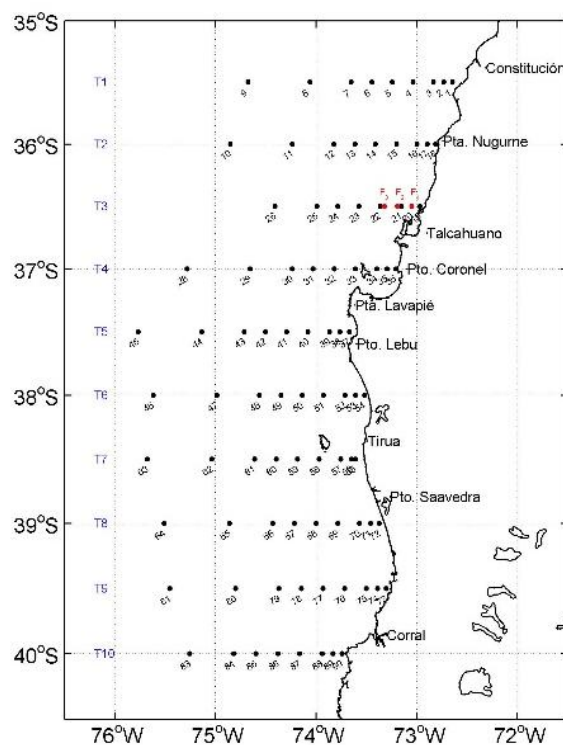


Figura 3. Distribución de las estaciones divididas en 10 transectas perpendiculares a la costa para el área de estudio.

Tabla 1. Fechas de realización de transectas.

Transecta	Latitud	Fecha	Estaciones
1	35,5°S	09 de Octubre de 2014	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9
2	36° S	10-11 de Octubre de 2014	10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18
3	36,5°S	12 de Octubre de 2014	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, F1, F2 y F3
4	37° S	13-14 de Octubre de 2014	28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36
5	37,5°S	14-15 de Octubre de 2014	37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, y 45
6	38° S	15-17 de Octubre de 2014	46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53 y 54
7	38,5°S	17 de Octubre de 2014	55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62 y 63
8	39° S	17-18 de Octubre de 2014	64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71 y 72
9	39,5°S	18-19 de Octubre de 2014	73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80 y 81
10	40° S	19-20 de Octubre de 2014	83, 84, 85, 86, 87, 88, 89 y 90

Adicionalmente, en cada estación, se recolectó agua con botellas *Niskin*, desde el mismo crucero a 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300 y 600 m de profundidad, para el análisis de oxígeno disuelto y concentración de clorofila, lo cuales fueron procesados con el fin de validar los datos obtenidos mediante el CTD.

Finalmente, para la identificación de los focos de surgencia se utilizaron datos de vientos medidos en cada estación oceanográfica.

Procesamiento de datos

Se generó una base de datos almacenadas en matrices tridimensionales. Se construyó grillas horizontales mediante campos interpolados de superficie, a 25, 50, 100 y 200 m de profundidad y en cada transecta, gráficas verticales de las variables temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, densidad y clorofila-a, hasta 500 m de profundidad, utilizando Kringing, como método de interpolación. Cabe destacar que en el crucero se midió fluorescencia, la cual se utilizó como proxys de clorofila para esta investigación.

Se calculó la circulación geostrófica en la columna de agua, utilizando como nivel de referencia 500 m de profundidad, con el fin de comparar y validar los resultados obtenidos en las distintas distribuciones horizontales y verticales de las variables (Pond y Pickard, 1998).

Con los datos de vientos, se construyó un campo de vientos en una gráfica horizontal representados por vectores de dirección para cada punto de medición en el crucero. Por último se estimó el índice de turbulencia (W^3) ($m^3 s^{-3}$) (Bakun & Parrish 1982), el que se graficó como un campo horizontal en el área de estudio. W = Velocidad del viento ($m s^{-1}$).

El Transporte de Ekman se determinó a partir de las series temporales de la estación costera de Talcahuano (proporcionados por IFOP). El transporte de Ekman se calculó en base a la parametrización del viento a lo largo de la costa y corresponde al transporte de agua en la dirección perpendicular a la costa.

$$M_x = t_y / f \quad \text{Donde,}$$

M_x = Transporte zonal de volumen en 1000m de costa, y t_y = Esfuerzo del viento a lo largo de la costa,

$$t_y = r_a C_d v |W| \quad \text{Donde,}$$

r_a = densidad del aire ($1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), C_d = Coeficiente de arrastre (0,0013) (Bakun & Parrish 1982), v = Componente norte-sur del viento y $|W|$ = Magnitud del viento.

Por otro lado, f corresponde al Parámetro de Coriolis,

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

Donde, l = Latitud de la zona y ω = Velocidad angular de la tierra.

Imágenes satelitales

Para complementar la distribución horizontal en superficie se utilizó información satelital de la Temperatura Superficial del Mar y Clorofila-a, de imágenes semanales con una resolución espacial media de $4*4$ km, que abarca el periodo de crucero. Estas imágenes provinieron del sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) el que se encuentra a bordo del satélite Aqua (EOS PM) (Earth Observing System). Estos datos los provee la NASA, mediante Centro de Distribución de Datos Ocean Color Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

Además se utilizaron datos diarios que contienen las anomalías del nivel del mar y velocidades geostróficas globales en superficie, para generar mapas de la circulación geostrófica, que fueron derivados del programa de Archivo, Validación e Interpretación de Información Oceanográfica Satelital (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data) distribuidos a través de su sitio web AVISO (<http://www.aviso.altimetry.fr/en/>), y son el resultado de distintas misiones satelitales (*Jason-1* + *Envisat*).

RESULTADOS

Condiciones oceanográficas, Objetivo específico I.

Temperatura

Distribución horizontal Superficial

La temperatura superficial del mar (TSM) se muestra en la figura 4 donde las temperaturas promedio observadas fluctuaron entre 11,4°C en la estación 22 frente a Talcahuano (36,5° S) y 13,6°C en la estación 8 frente a Constitución (35,5° S).

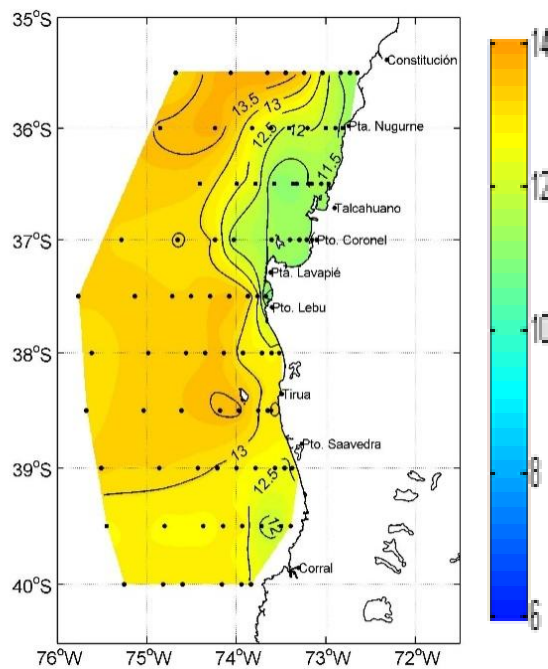


Figura 4. Distribución superficial de temperatura (°C)

La zona costera presentó las menores temperaturas registradas (<12°C) en una estrecha banda costera entre las transectas 1 a la 5 (35,5° S- 37,5° S) y un núcleo costero (<12,5°C) entre las transectas 8 y 10 (39° S-40° S).

La zona oceánica se caracterizó por predominancia de temperaturas mayores a 13°C y un núcleo mayor a 13,5°C entre las transectas 1 y 2 (35,5° S -36° S), y otro en las estaciones 59 y 60 de la transecta 7 (38,5° S).

Distribución horizontal sub-superficial

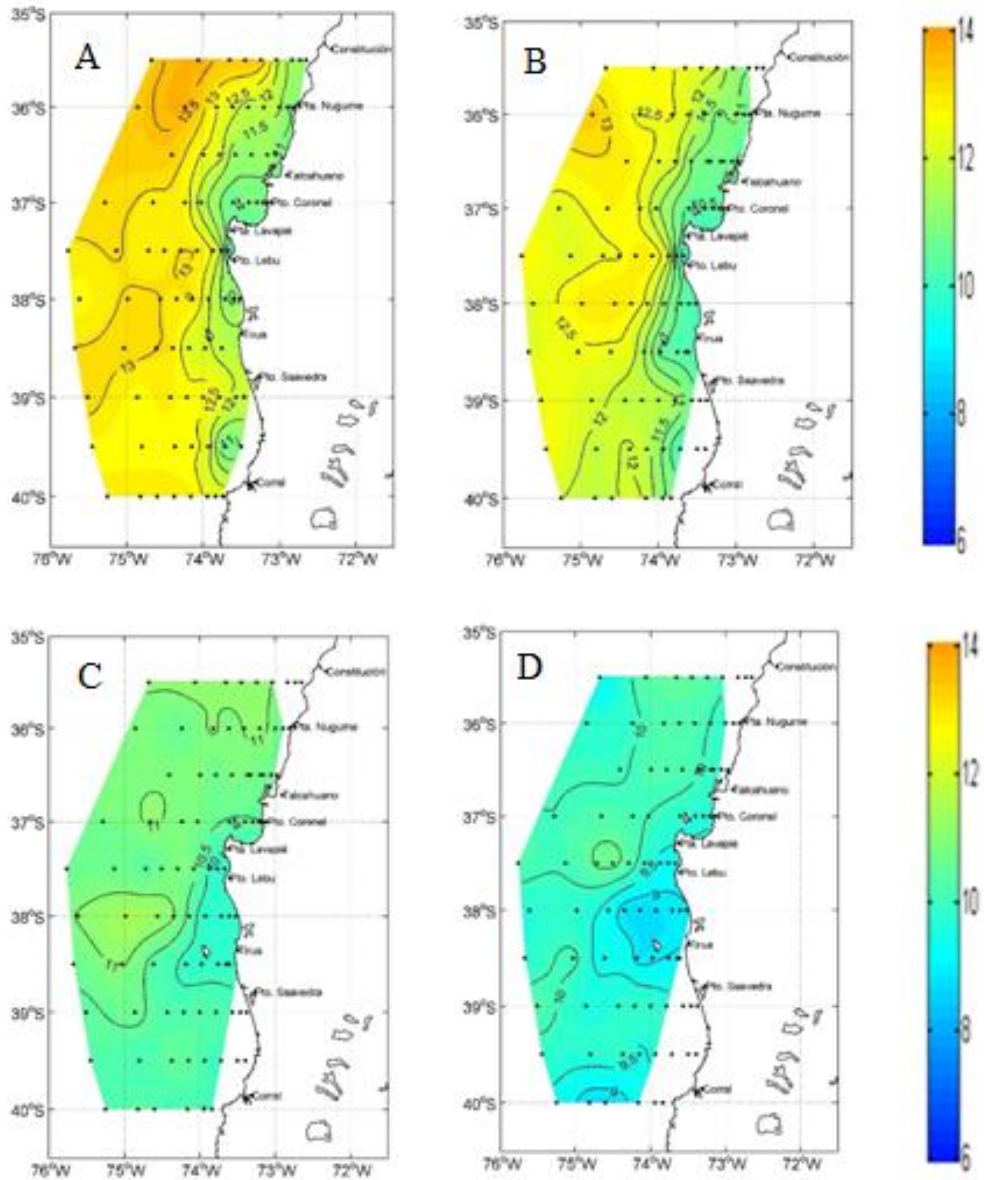


Figura 5. Distribución horizontal de temperatura (°C) a 25(a), 50(b), 100(c) y 200(d) m de profundidad.

A 25 m de profundidad, se muestran valores de temperatura que fluctuaron entre 10,5°C en la estación 37 de la transecta 5 (37,5° S) y 13,6°C en la estación 11 de la transecta 2 (36° S) (región costera y oceánica, respectivamente). Las menores temperaturas (<12°C) se asociaron a la banda costera en toda la región de estudio, mientras que los mayores valores de temperatura (>12°C) se presentaron en la región oceánica, presentando un foco >13,5°C entre las transectas 1 y 2.

En la distribución horizontal de la temperatura a 50 m de profundidad, los valores oscilaron entre 9,8° C en la estación 37 de la transecta 5 (37,5° S) y 13,4° C en la estación 10 de la transecta 2 (36° S). La región costera presentó los menores valores de temperatura (<11°C) desde Constitución a Corral (transecta 1 a la 10), con focos de temperaturas menores a 10,5° C en Coronel, Puerto Lebu, Tirúa y entre Puerto Saavedra y Corral, en contraste, en la zona oceánica se registró valores más altos de temperaturas (>11,5° C) en toda la región, presentando nuevamente un foco mayor a 13° C en la estación 10, frente a punta Nugurne (36° S).

A 100 m de profundidad, los valores fluctuaron entre 9,8°C en la estación 37 de la transecta 5 (37,5° S) y 11,2°C en la estación 47 en la transecta 6 (38° S). Se presenció una menor variabilidad de los valores de temperaturas, predominando los 10°C y 11°C. Se observaron focos mayores a 11°C, en la zona oceánica de la transecta 6 (38°S) y en la transecta 1 (35,5° S). Los menores registros de temperatura, se observaron en la zona costera entre las transectas 5 y 7.

La temperatura observada a 200 m de profundidad, varió entre 8,8° C en la estación 51 de la transecta 6 (38° S) y 10,6° C en la estación 42 de la transecta 5 (37,5° S). En general, la distribución horizontal de temperatura tuvo una predominancia de valores entre 9° C y 10° C. Sin embargo, se presentó un foco aislado de temperaturas mayores a 10,5° C en la región oceánica de la transecta 5 (37,5°S).

Temperatura superficial del mar satelital (TSM)

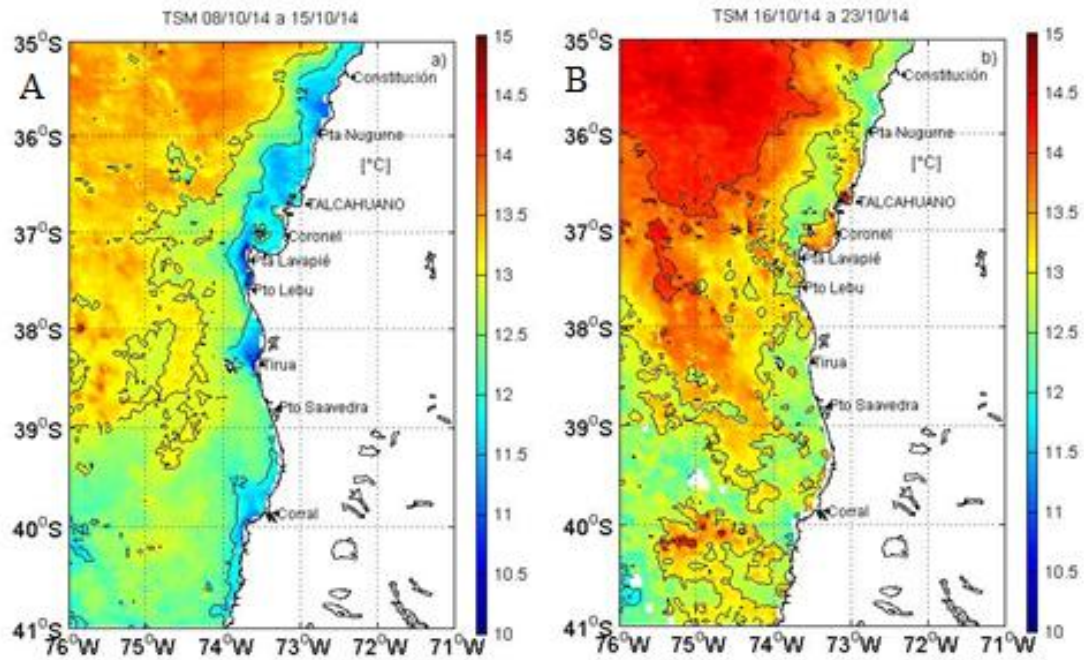


Figura 6. Temperatura de imágenes del satélite MODIS-A, correspondiente al promedio semanal entre el (a) 8 y 15 de octubre, (b) 16 y 23 de octubre de 2014.

El promedio semanal de dos períodos durante el desarrollo del crucero se presentan en la figura 6. Entre los días 8 y 15 de octubre, periodo en el cual se realizaron las transectas 1-5 (35,5° S- 37,5° S) y parte de la transecta 6 (38° S), se calculó un promedio de las imágenes satelitales del MODIS-A de la distribución de TSM, obteniéndose las mayores temperaturas (>13°C) en la zona oceánica y las menores temperaturas observadas (<12°C) en la banda costera, observándose focos más bajos en zonas costeras de la transecta 2 (36° S), 4 (37° S), 5 (37,5° S), 6 (38° S) y 10 (40° S). El mismo procedimiento se utilizó para el segundo periodo entre el 16 y 23 de octubre, donde se realizaron el resto de las transectas (6 a la 10). En este segundo período, se observó un aumento en la temperatura para toda la región de estudio, donde la zona oceánica presentó valores cercanos a 14°C desde la transecta 1 a la 5, y la región costera valores >12°C. Bajo los 38° S, la zona oceánica presentó valores menores de temperatura (< 13°C) en comparación con las primeras 5 transectas, con un foco >14° C en la transecta 10 (40°S) y para la zona costera, solo se presentó un pequeño foco aislado de valores <12°C en la misma transecta, frente a Corral.

Salinidad

Distribución horizontal superficial

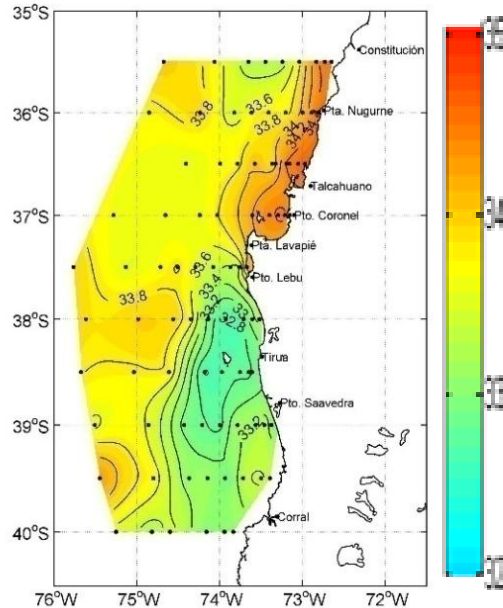


Figura 7. Distribución superficial de salinidad.

Los valores de salinidad en la superficie de la región oscilaron entre 34,5 en la estación 19 de la transecta 3 (36,5° S) y 32,7 en la estación 38 de la transecta 7 frente a Tirúa (38,5° S), donde se concentró el foco más bajo de la región con valores menores a 33, entre las transectas 6 y 8 de la banda costera (38° S- 39° S). Los mayores valores de salinidad se observaron desde Constitución hasta el norte de Punta Lavapié, en la banda costera. La zona oceánica en casi toda su extensión, presentó valores que fluctuaron entre los 33,6 y 33,8.

Distribución horizontal sub-superficial

A 25 m de profundidad se presentó valores de salinidad que varían entre 32,9 en la estación 68 de la transecta 8 (39° S) y 34,5 en la estación 19 de la transecta 3 (36,5° S; Fig.8a). Los mayores valores (>34) se observaron entre las transectas 1 y 4 en la banda costera, al norte de punta Lavapié. En contraste, desde las transectas 7 a la 10 (38,5° S- 40° S), se presentó un foco de salinidad menor (<33,4) en la zona oceánica.

A 50 m de profundidad, los valores de salinidad fluctuaron entre 33,7 en la estación 13 de la transecta 2 (36° S) y 34,5 en la estación 19 de la transecta 3 (36,5° S). La banda costera, en su totalidad, presentó un predominio de valores >34 y en contraste, el área oceánica presentó valores entre 33,7 y 34 (Fig.8 b).

A 100 m de profundidad, los valores oscilaron entre 33,9 en la estación 46 de la transecta 6 (38° S) y 34,7 en la estación 19 de la transecta 3 (36,5° S). Se evidenció un aumento de salinidad en la zona oceánica predominando valores entre 34 y 34,3 y manteniéndose los mayores valores (34,4) en la franja costera desde Constitución a Corral (Fig. 8 c).

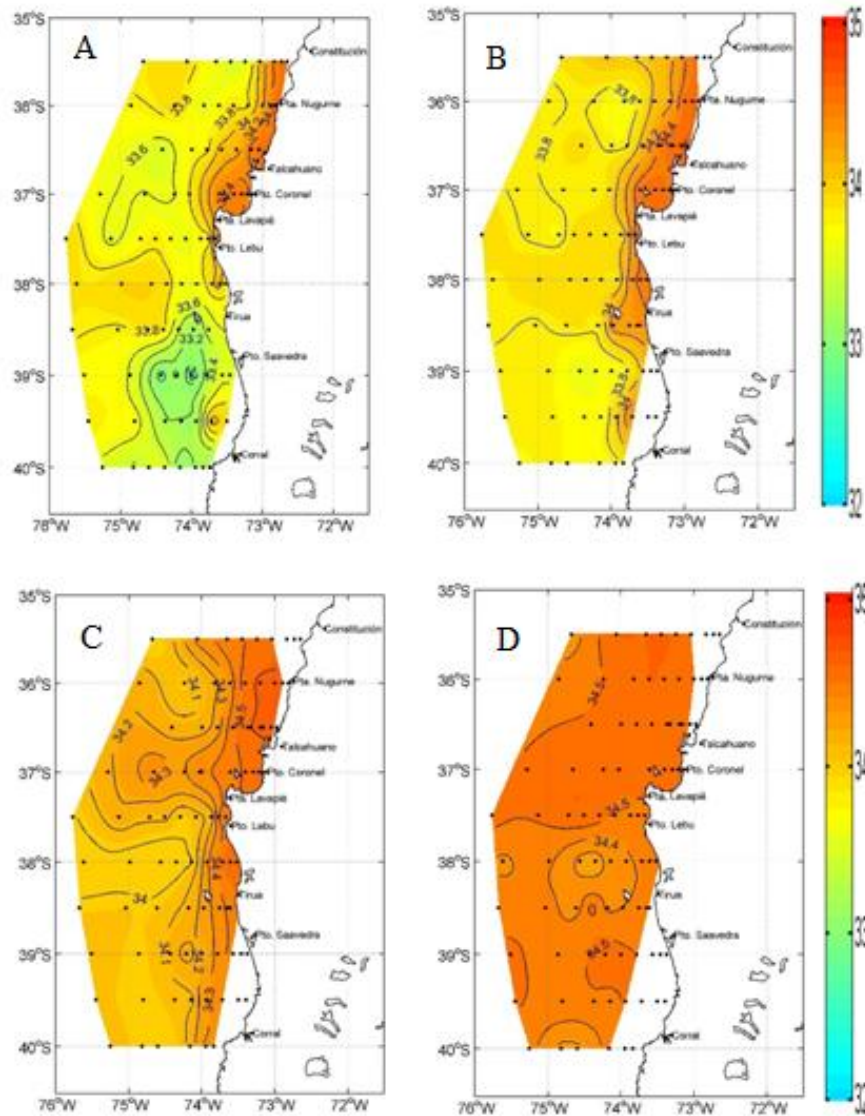


Figura 8. Distribución horizontal de salinidad a 25(a), 50(b), 100(c) y 200(d) m de profundidad.

En general, a 200 m de profundidad, la distribución horizontal de salinidad fue más homogénea que en superficie para toda la región de estudio, fluctuando entre 34,3 en la estación 49 de la transecta 6 (38° S) y 34,55 en la estación 5 de la transecta 1 (35,5° S), con

predominancia de valores mayores a 34,5 al norte de los 37° S, tanto para la región oceánica como la costera (Fig. 8 d).

Densidad

Distribución Horizontal superficial

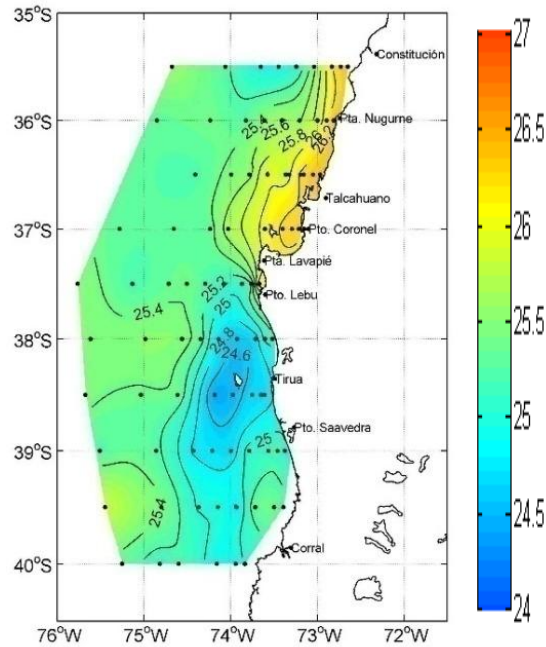


Figura 9. Distribución superficial de densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^3$)

Los valores de la distribución horizontal de densidad son representados en sigma t, los cuales fluctuaron entre $26,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 19 de la transecta 3 ($36,5^\circ \text{ S}$) y $24,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 58 de la transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$). Las mayores densidades ($>25,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) se dieron al norte de Punta Lavapié (transectas 1 a la 4) en la franja costera y un foco aislado en la transecta 9 ($39,5^\circ \text{ S}$) en la región oceánica en las estaciones 80 y 81 con valores mayores de $25,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. En contraste, la banda costera al sur de Punta Lavapié, presentó valores de bajas densidades ($<24,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) entre las transectas 5 y 7 ($37,5^\circ \text{ S}$ - $38,5^\circ \text{ S}$).

Distribución horizontal

La distribución horizontal de la densidad a 25 m de profundidad se muestra en la figura 10 a. Los valores variaron entre $25,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación oceánica 66 en la transecta 8 (39° S) y $26,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 33 que corresponde a la transecta 4 (37° S). Los mayores valores ($>26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) se presenciaron en la banda costera desde la transecta 1 a la 5 ($35,5^\circ \text{ S}$ - $37,5^\circ \text{ S}$). Los menores valores ($25,2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) se encontraron en un núcleo en las transectas 8 y 9 (39° S - $39,5^\circ \text{ S}$), entre Puerto Saavedra y Corral. Para la zona oceánica, se encontró en la transecta 6 (38° S) un pequeño aumento de la densidad con valores mayores a $25,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

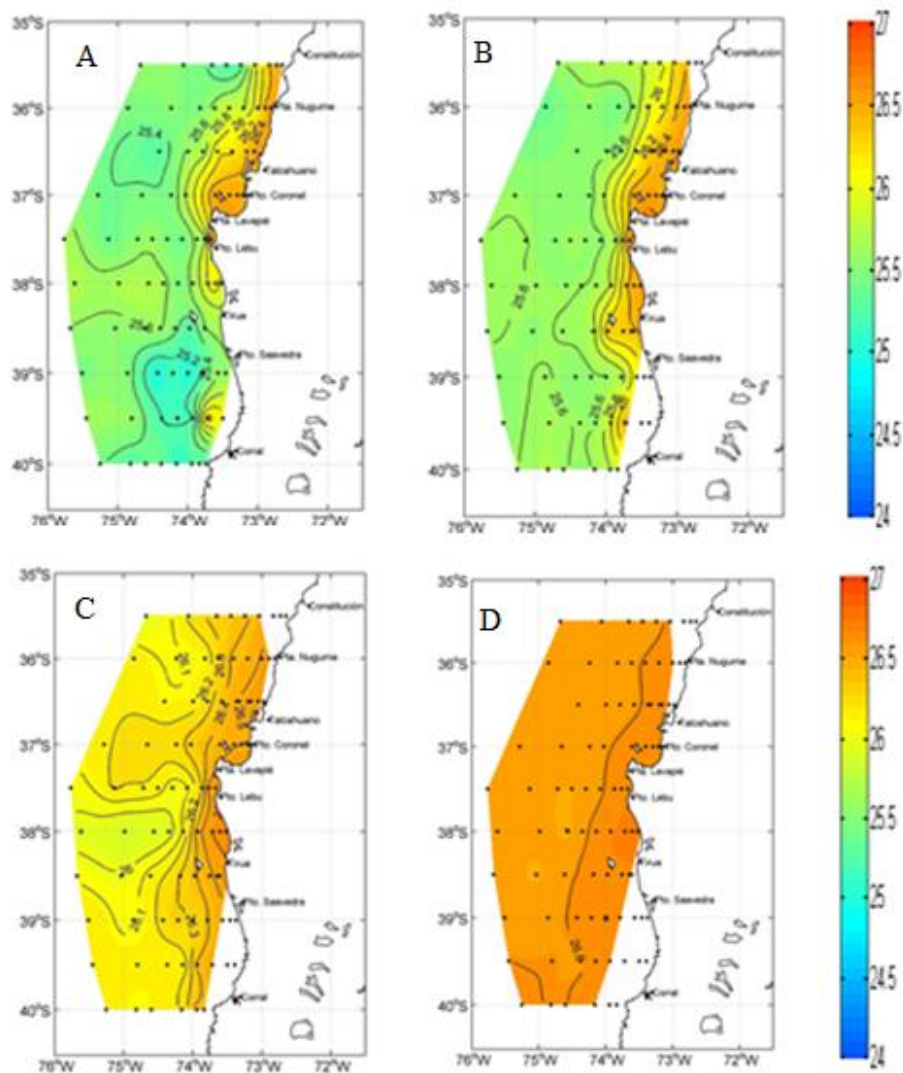


Figura 10. Distribución horizontal de densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 25(a), 50(b), 100(c) y 200(d) m de profundidad.

Una vez más se presentó un predominio de valores mayores ($>26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) en la franja costera, para la distribución horizontal a 50 m de profundidad (Fig.10 b), distribuyéndose homogéneamente desde Constitución a Corral (transecta 1 a la 10). En la zona oceánica se presenciaron valores entre $25,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ y $25,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, siendo el menor valor encontrado $25,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 13 de la transecta 2 (36° S).

La superficie horizontal a 100 m de profundidad (Fig.10 c) mostró una mayor homogenización de la columna de agua, sin embargo la franja costera siguió predominando con valores mayores que la zona oceánica, siendo el mayor valor encontrado $26,75 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación costera 34 de la transecta 6 (38° S) y el menor valor $25,95 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación oceánica en la misma transecta, donde se encontró un foco con densidades menores a $26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ desde la estación 46 a la 49.

A 200 m d profundidad (Fig.10 d), el área de estudio presentó una homogenización casi en su totalidad de la banda costera y oceánica teniendo una diferencia entre el valor mínimo ($26,55 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) estación 49 y máximo ($26,65 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) estación 34, de $0,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, ambos de la transecta 6 (38° S).

Oxígeno disuelto

Distribución superficial

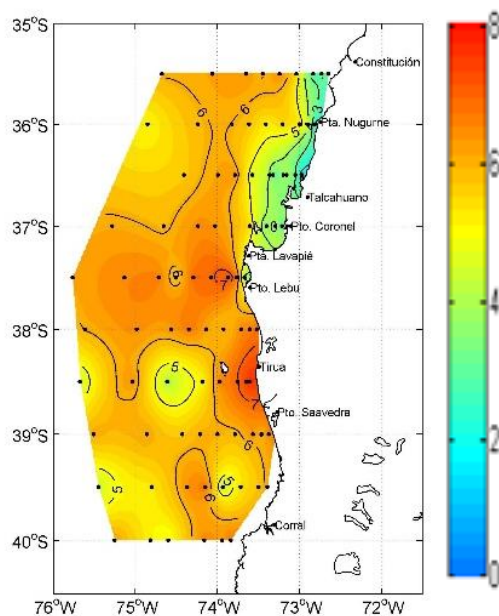


Figura 11. Distribución superficial de oxígeno disuelto ($\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$)

Los valores de la distribución superficial del oxígeno disuelto que se muestran en la figura 11, que oscilaron entre $7,1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 55 de la transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$) y $1,9 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 19 de la transecta 3 ($36,5^\circ \text{ S}$). En general, se apreció un bajo contenido de oxígeno disuelto en una estrecha banda costera entre las transectas 1 y 4 ($35,5^\circ \text{ S} - 37^\circ \text{ S}$), con valores menores a $3 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ y un patrón contrario (en la zona costera), con valores mayores a $6 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$, al sur de Lebu, encontrándose un foco de alta concentración ($>7 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) en la estación 39 de la transecta 5 ($37,5^\circ \text{ S}$) y en las estaciones 55 a la 57 de la transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$). Para la zona oceánica, los valores fueron cercanos a los $5,5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$, encontrándose dos focos menores a $5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en las estaciones 61 a la 63 y 81 a la 76 (transectas 7 y 9 respectivamente).

Distribución horizontal

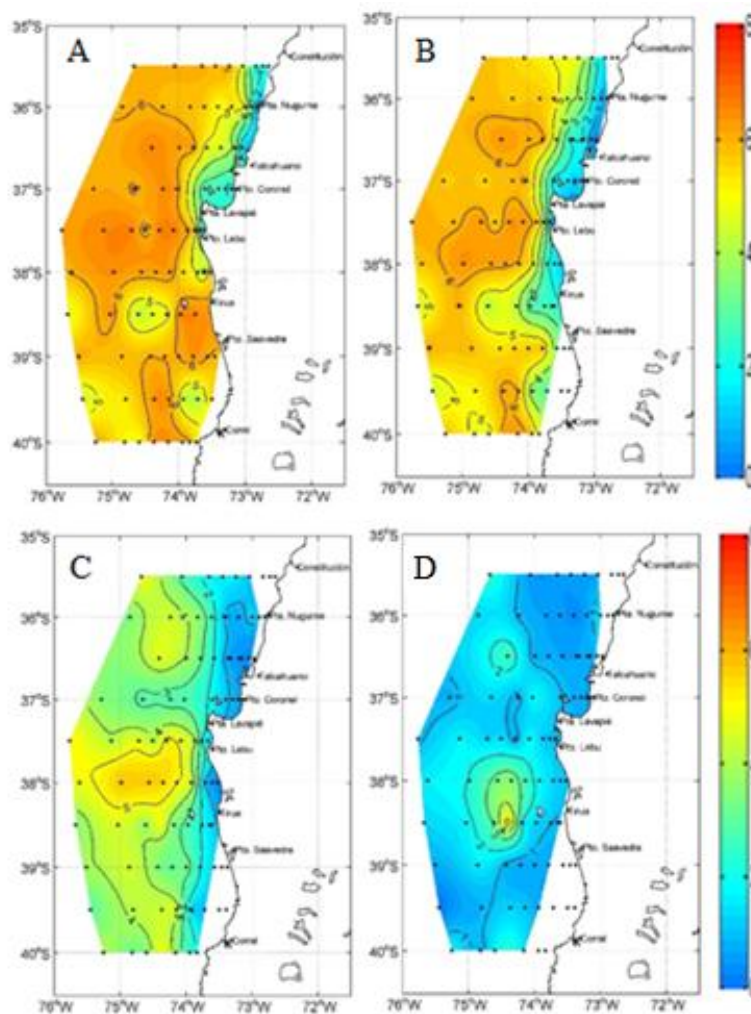


Figura 12. Distribución horizontal de oxígeno disuelto ($\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$) a 25(a), 50(b), 100(c) y 200(d) m de profundidad.

A 25 m de profundidad, como se muestra en la figura 12 a, las concentraciones de oxígeno disuelto fluctuaron entre $0,8 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 18 de la transecta 2 (36° S), y $6,6 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 43 de la transecta 5 ($37,5^\circ \text{ S}$). Predominaron valores menores a $4 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la costa de las transectas 1 a la 5 ($35,5^\circ\text{S}$ - $37,5^\circ \text{ S}$), y para la zona oceánica, en su mayoría los valores fueron mayores a $5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$. Se encontraron tres focos con concentraciones menores a $5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la zona en las estaciones 57-59 de la transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$), en la estación 73 de la transecta 9 ($39,5^\circ \text{ S}$) y estaciones 77 y 78 de la misma transecta.

Las concentraciones de oxígeno disuelto a 50 m de profundidad (Fig. 12 b), oscilaron entre $0,8 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 18 de la transecta 2 (36° S) y $6,4 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 43 de la transecta 5 ($37,5^\circ \text{ S}$). Se presentaron en dos bandas, una oceánica y la otra costera, donde los valores en la franja costera fueron menores a $4 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$, mientras que en la zona oceánica, éstos fluctuaron entre $4 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ y $6 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$.

A 100 m de profundidad (Fig. 12 c), la distribución espacial de oxígeno disuelto presentó valores entre $0,3 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 19 de la transecta 3 ($36,5^\circ \text{ S}$) y $5,7 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la estación 48 de la transecta 6 (38° S). Los menores valores ($>2 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) se registraron en la franja costera y los mayores valores ($<3 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) en la región oceánica, presentándose un foco con valores de oxígeno disuelto mayores a $5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en las estaciones 50-53 en la transecta 6 (38°S).

Finalmente, en la distribución de las concentraciones de oxígeno disuelto a 200 m de profundidad (Fig. 12 d), se observó un patrón homogéneo de valores que fluctuaron entre $1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ y $2 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ y un foco de concentraciones mayores a $3 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en las estaciones 51, 52 y 57 pertenecientes a las transectas 6 y 7 (38° S - $38,5^\circ \text{ S}$).

Condiciones oceanográficas: Objetivo específico II

Distribución vertical de temperatura

La distribución de temperatura entre las transectas 1 y 5 (Fig. 13), muestra una disminución gradual de la temperatura con la profundidad. En la parte más oceánica (entre 25 y 100 mn), los valores mínimos ($<7^{\circ}\text{C}$) se observaron a 500 m de profundidad y los máximos ($>13^{\circ}\text{C}$) en superficie (0-50 m). En cambio en la banda costera de 25 mn, las temperaturas superficiales (0-50 m) fueron menores ($11 - 12^{\circ}\text{C}$). Esto se debió al ascenso de las isotermas de 11°C y 12°C hacia la costa. Entre las transectas 1 y 4 se presentaron las isotermas de 12°C y 13°C paralelas a la superficie en la zona oceánica y un ascenso de la isoterma 12°C entre 20 y 40 mn desde la costa. Mientras que la transecta 5 ($37,5^{\circ}\text{C}$), las isotermas de 11°C , 12°C y 13° , se presentaron paralelas a la superficie hasta casi 100 m de profundidad y con un ascenso de la isoterma 12°C hacia la superficie a 5 mn de la costa. Bajo 200 m de profundidad se observó un ascenso de la isoterma de 10°C y 7°C en las transectas 1 ($35,5^{\circ}\text{S}$), 4 (37°S) y 5 ($37,5^{\circ}\text{S}$). La extensión entre las isotermas de 10°C y 11°C es mayor que la distancia vertical que existe entre las otras isotermas en todas las transectas.

La distribución vertical de temperatura entre las transectas 1 a la 6 (Fig. 14), presentó una disminución con la profundidad, encontrándose mínimos valores ($<6^{\circ}\text{C}$) a 500 m de profundidad y mayores ($> 12^{\circ}\text{C}$) dentro de los primeros 70 m de profundidad en toda la extensión de las transectas. La isoterma de 12°C tiende a estar paralela a la superficie hasta 70 m de profundidad y presentó un ascenso en la transecta 6 (38°S) a partir de 40 mn desde la costa; en la transecta 7 ($38,5^{\circ}\text{S}$) a partir de 10 mn y en la transecta 9 ($39,5^{\circ}\text{S}$) a partir de 20 mn. Las transectas 8 (39°S) y 10 (40°S), no presentaron ascensos de agua de 12°C hacia la superficie. Finalmente, al igual que las transectas 1 a la 5, la distancia vertical entre la isoterma de 10°C y 11°C es mayor que las demás.

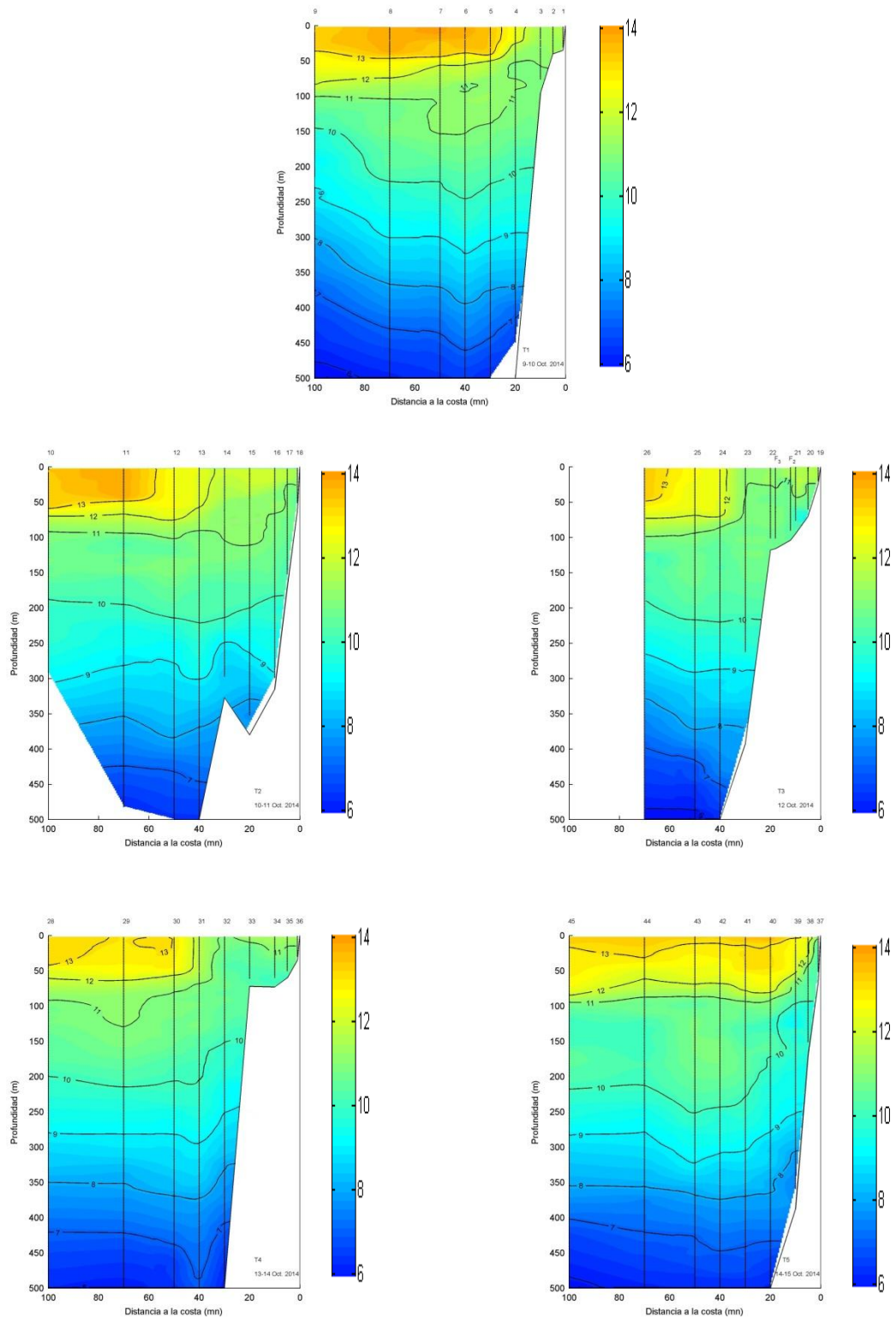


Figura 13. Distribución vertical de temperatura (°C) de las transectas 1 a 5.

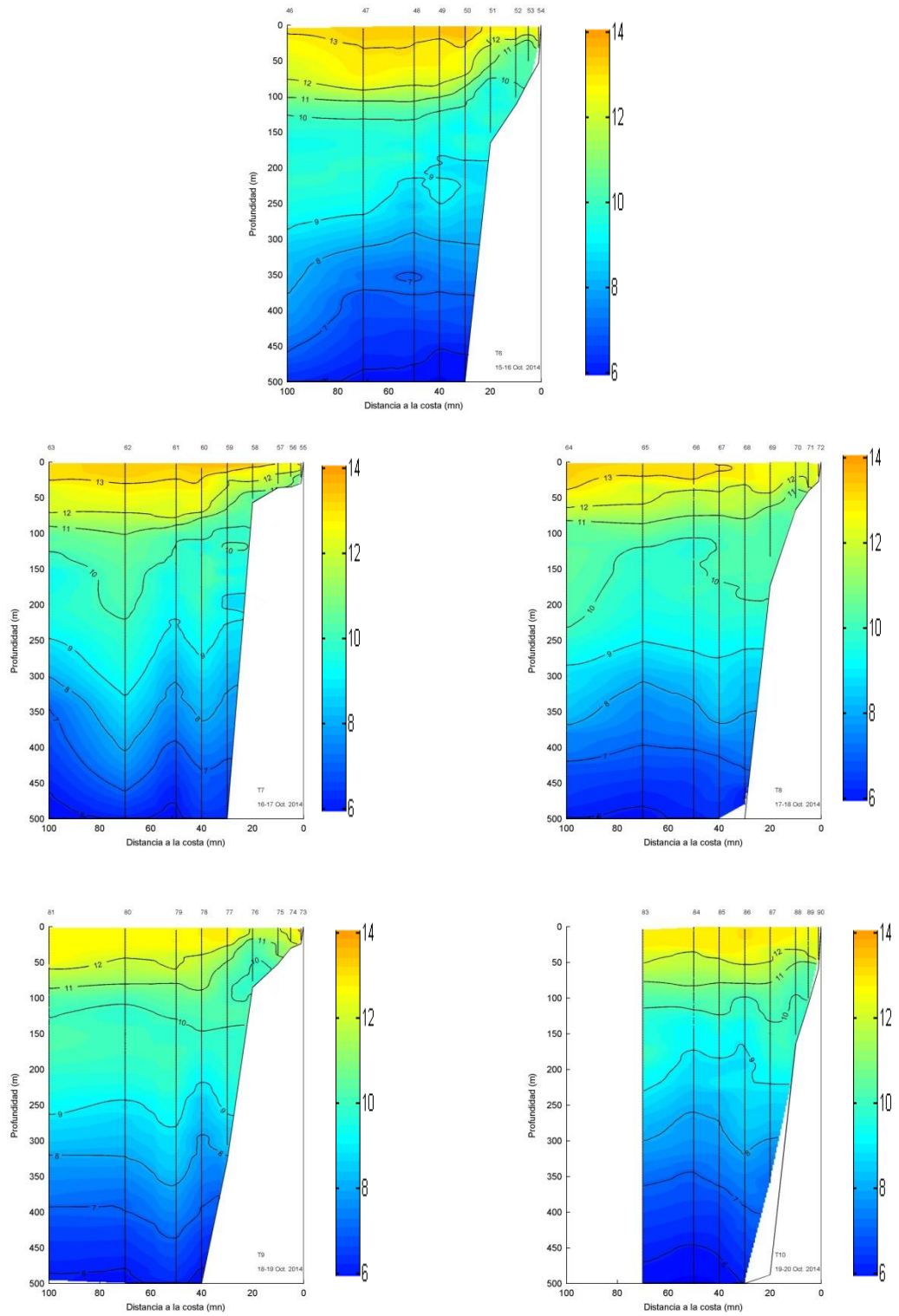


Figura 14. Distribución vertical de temperatura (°C) de las transectas 6 a 10.

Distribución vertical de salinidad

Se muestra en la figura 15 la distribución vertical de la salinidad para las transectas 1 a la 5, donde los valores fluctuaron entre 34,65 a ~150 m de profundidad entre 20 y 50 mn desde la costa en la transecta 1 (35,5° S) y 33,3 en la superficie de la estación 6 de la misma transecta. Se presentaron tres núcleos de salinidades mayores a 34,6 desde la costa hasta 40 mn en la transecta 1 (35,5° S) y hasta 30 mn en las transectas 2 y 3. Se observó un núcleo de salinidades mayores a 34,4 entre 150 y 350 m de profundidad, la isohalina de 34,4 ascendió en todas las transectas hasta la superficie en la zona costera, aproximadamente a partir de 5 mn. Y bajo 350 m de profundidad, se presentaron valores cercanos a 34,2 en la extensión de todas las transectas. Además se visualizó un núcleo, de menor magnitud, de salinidades menores a 33,4 en la transecta 1 en las estaciones 5 a la 7 y otros focos superficiales relativamente más pequeños de valores menores a 33,6 en las transectas 2 (36° S) a 50 mn; 3 (36,5°S) a 90 mn y dos focos en la transecta 5 (37,5° S) de 5-30 mn y en 70 mn.

La figura 16, muestra la distribución vertical de salinidad de las transectas 1 a la 6, donde los valores oscilaron entre 34,5 a ~200 m de profundidad en la transecta 7 (38,5° S) y 32,1 en superficie en la transecta 10 (40° S) pegada a la costa. Se presentaron menores salinidades en la banda costera superficial hasta 40 m aproximadamente. A diferencia de la figura 15, la isohalina de 34 asciende con menor intensidad hacia la costa, justamente en el sector donde se presentaron menores valores de salinidad. Sin embargo la región oceánica en superficie presentó una distribución similar a las transectas 1 y 5. Mientras que el núcleo de valores mayores a 34,4, se presentó en toda la extensión sólo en la transecta 9 (39,5° S) entre 150 y 310 m de profundidad, mientras que para el resto de las transectas se ven divididas por intrusiones de salinidades menores.

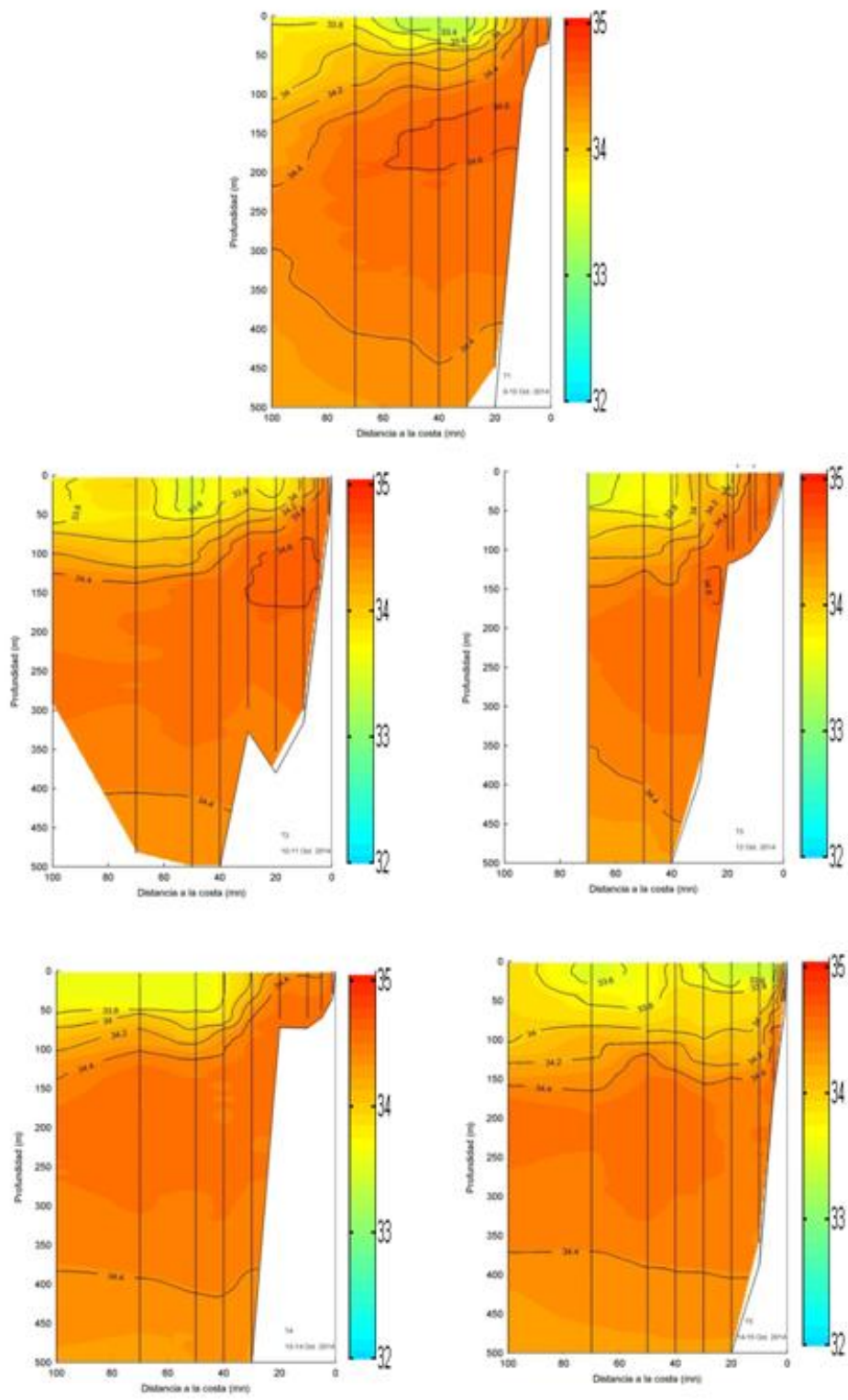


Figura 15. Distribución vertical de salinidad de las transectas 1 a 5

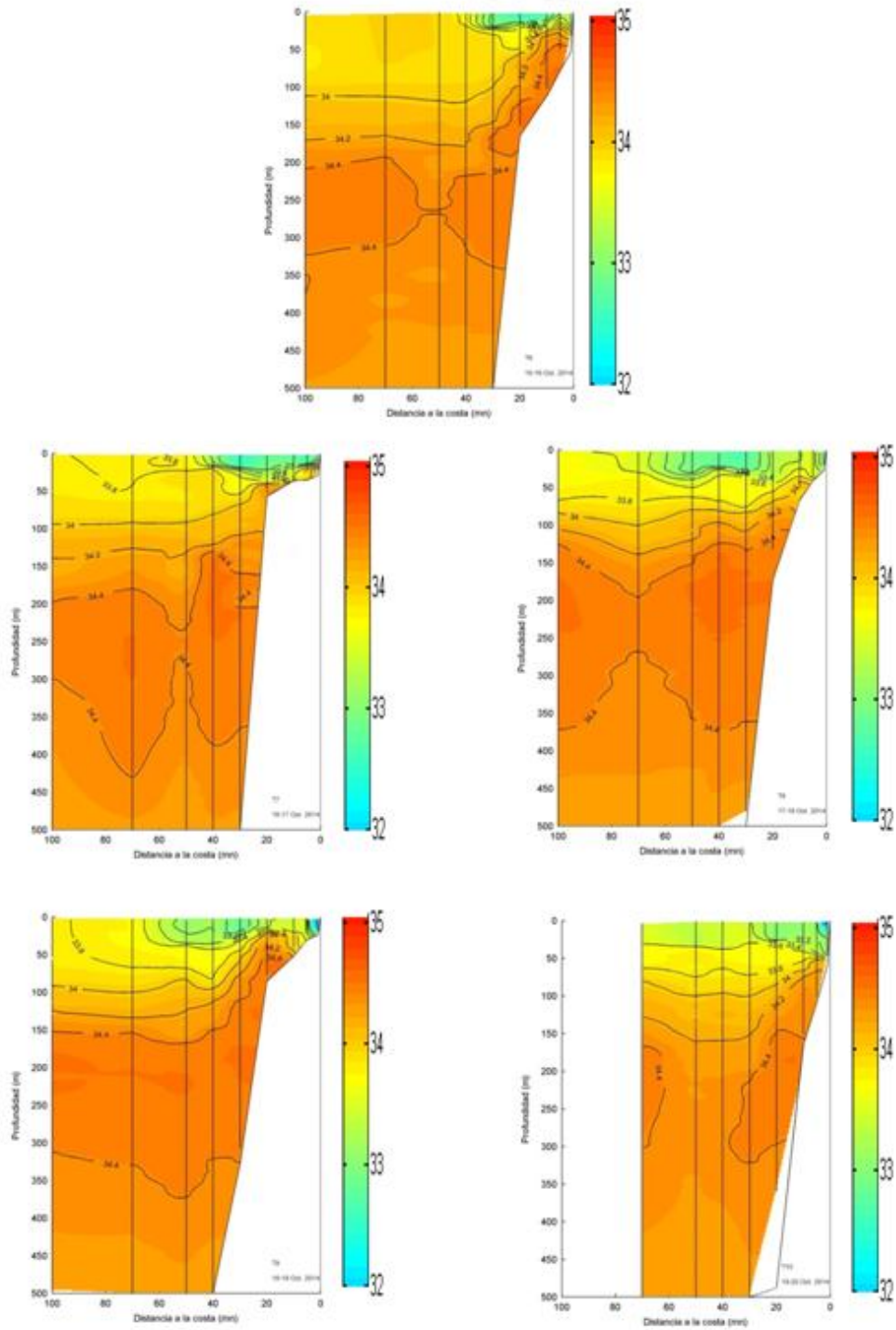


Figura 16. Distribución vertical de salinidad de las transectas 6 a 10

Distribución vertical de densidad

Se presenta la distribución vertical de densidad de las transectas 1 a la 5 en la figura 17. Se encontraron valores que fluctuaron entre $26,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a 500 m de profundidad en la transecta 1 ($35,5^\circ \text{ S}$) y $24,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en superficie de la misma transecta. Se observaron densidades menores a $25,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ sobre 100 metros de profundidad y un núcleo superficial menor a $25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ entre las estaciones 5 a la 7 de la transecta 1. La isopicna de $26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ascendió a superficie en 15, 12, 30, 30 y 3mn en las transectas 1 a 5 ($35,5^\circ \text{ S}$ - $37,5^\circ \text{ S}$) respectivamente. La pendiente de la isopicna de $26,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ fue más pronunciada que las de mayor densidad, ascendiendo hacia la costa, bajo esta, la estratificación de la columna de agua se torna más bien paralela a la superficie, la cual aumenta los valores de densidad a medida que aumenta la profundidad. Sin embargo, se presentó valores mayores de densidad cercanos a la costa debido a un ascenso de agua de subsuperficial.

En las transectas 1 a la 6 (Fig. 18), se encontraron valores entre $26,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en profundidad en la transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$) y $24,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la costa de la transecta 10 (40° S). Los valores mínimos de densidad se ubicaron en superficie en la banda costera, con bajas intrusiones de agua subsuperficial de mayor densidad. Se observó la isopicna de $25,6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ paralela a la superficie y una leve pendiente ascendente hacia la costa. La isopicna de $26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ presente en todas las transectas, se ubicó cercana a 70 y 100 m de profundidad, mientras que se acercaba a la costa, esta ascendió cercano a 50 m de profundidad, con excepción en la transecta 9 ($39,5^\circ \text{ S}$), donde se observó un ascenso más superficial cercanos a 25 m de profundidad. Nuevamente, al igual que en las transectas 1 a la 5, los valores de densidad aumentaron en profundidad, encontrándose mayores valores de ($> 26,8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) bajo 300 m.

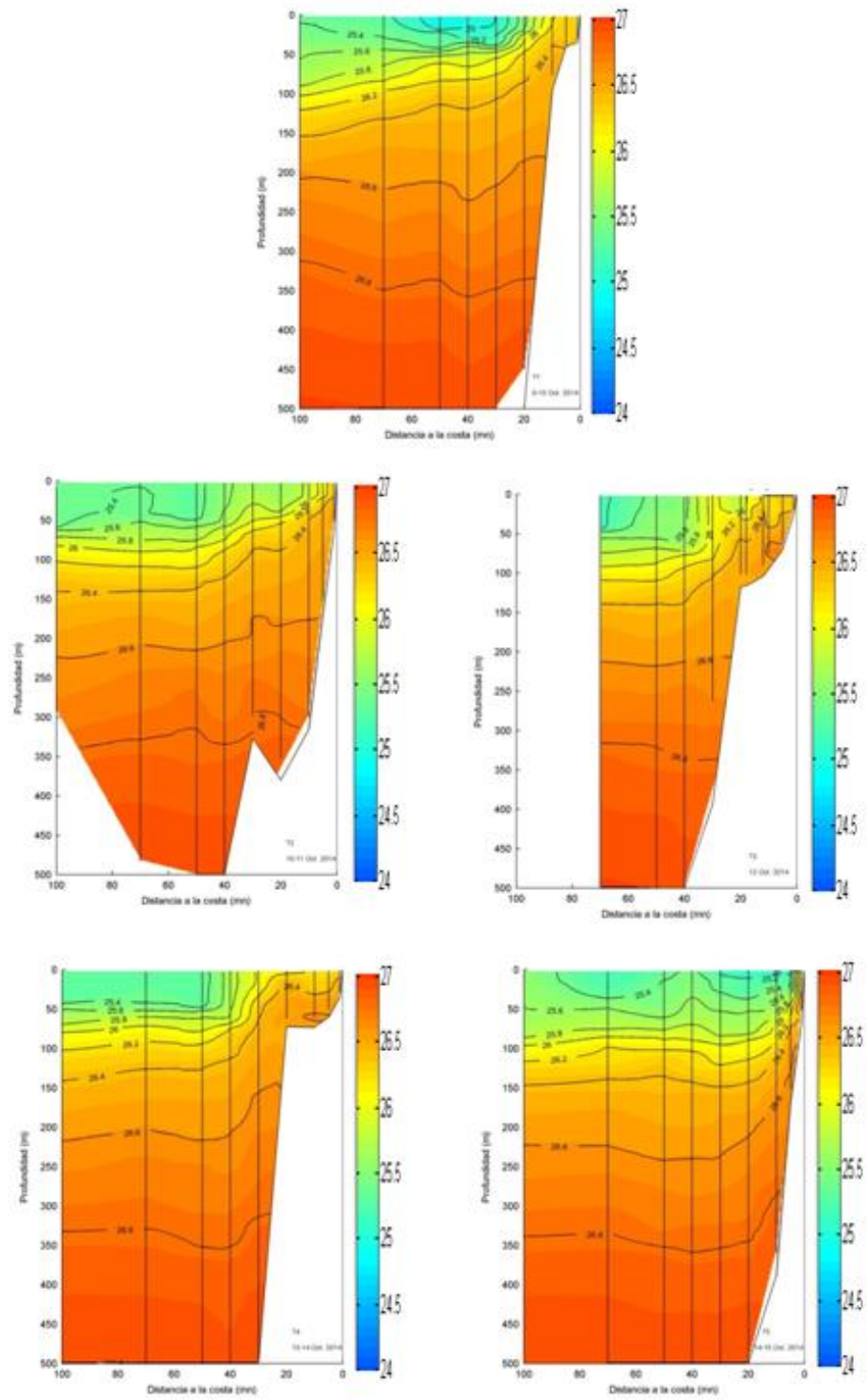


Figura 17. Distribución vertical de densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de las transectas 1 a 5.

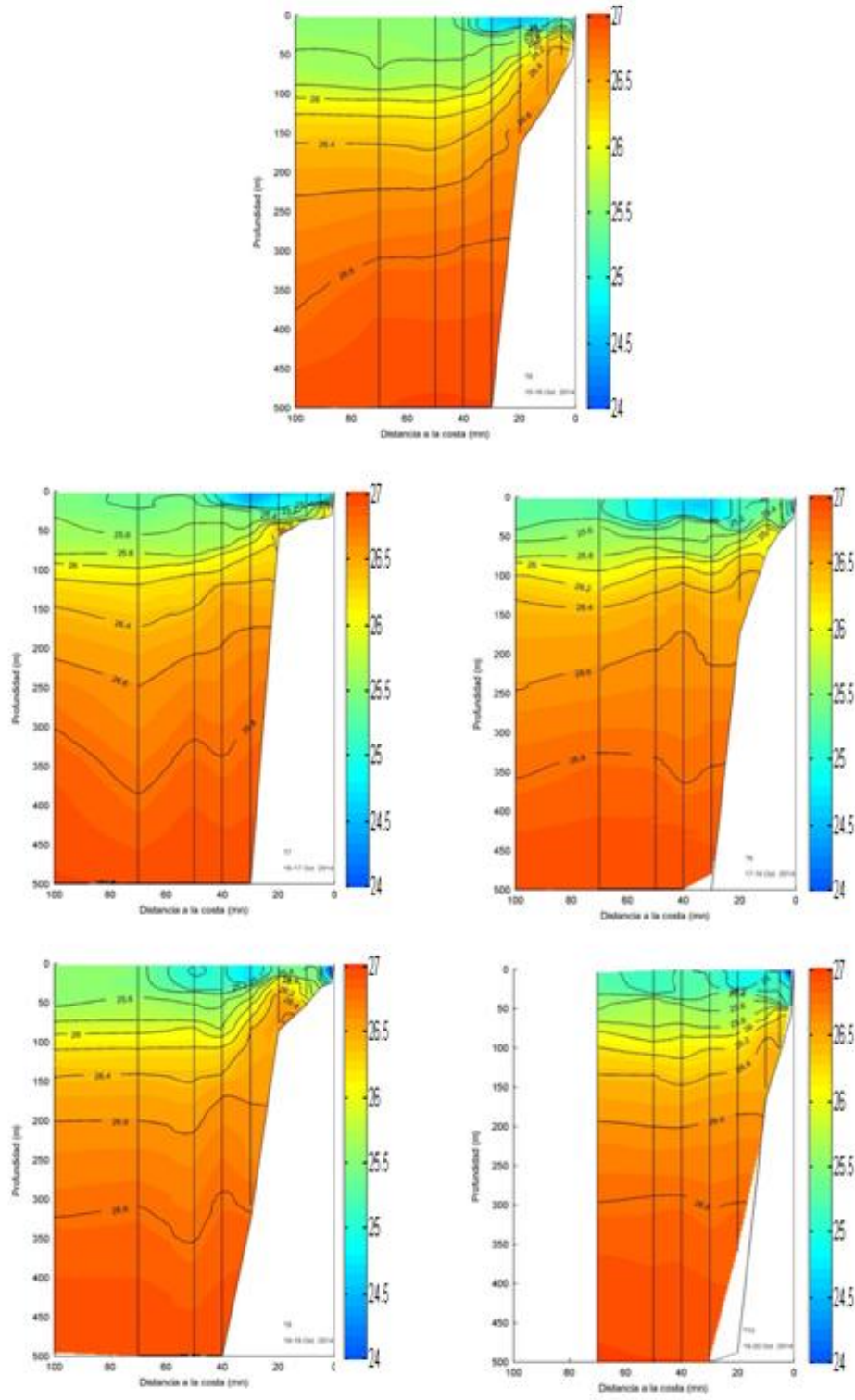


Figura 18. Distribución vertical de densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de las transectas 6 a 10.

Distribución vertical de oxígeno disuelto

Las concentraciones de oxígeno disuelto en la vertical se presentan en la figura 19. Los valores fluctuaron entre $0,2 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ a 200 m de profundidad en la transecta 1 ($35,5^\circ \text{ S}$) y $6,9 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en superficie de la transecta 5 ($37,5^\circ \text{ S}$). Las mayores concentraciones ($>5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) se presentaron en la superficie y las menores ($<1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$), en un núcleo extenso en profundidades intermedias (~ 150 y 350 m de profundidad), que además asciende a la costa en todas las transectas por sobre la plataforma continental (entre 5 a 20 mn desde la costa) y, siendo en la transecta 5 en menor grado. La oxilínea de $5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ se ubicó entre 70 y 100 m de profundidad para la región oceánica, la cual se inclinó en forma positiva en la banda costera a 20, 10, 32, 30 y 3 mn en las transectas 1 a 5 respectivamente.

La figura 20 representa la distribución vertical de oxígeno disuelto para las transectas 6 a la 10. Las concentraciones de oxígeno disuelto fluctuaron entre $0,2 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la costa a 150 m de profundidad de la transecta 6 (38° S) y $6,9 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en superficie de la zona costera de la transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$). Se presentó un ascenso hacia la superficie de concentraciones de oxígeno menores ($\sim 3 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) en las transectas 6 (38° S), 7 ($38,5^\circ \text{ S}$), 9 ($39,5^\circ \text{ S}$) y 10 (40° S) hasta aproximadamente 50 m de profundidad. La oxilínea de $5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ se ubicó, al igual que en las transectas 1 a la 5, en 70 y 100 m de profundidad en el área oceánica, ascendiendo hacia la superficie hasta profundidades menores de 50 m en la banda costera. Se observó en la zona costera superficial de la transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$) un núcleo de mayores concentraciones ($>6 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) de oxígeno disuelto entre 0 y 30 mn y entre 40 y 80 mn; otro núcleo se observó en la transecta 9 ($39,5^\circ \text{ S}$) entre 30 y 60 mn, también en superficie. La mínimas concentraciones de oxígeno ($< 1 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$) se presentaron en profundidades intermedias con un leve ascenso hasta 50 m de profundidad. Además se observaron núcleos aislados de concentraciones de oxígeno disuelto menores a $0,5 \text{ mL}\cdot\text{L}^{-1}$ en la transecta 9 ($39,5^\circ \text{ S}$) a 100 mn desde la costa y otro de menor tamaño en la transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$) a 40 mn.

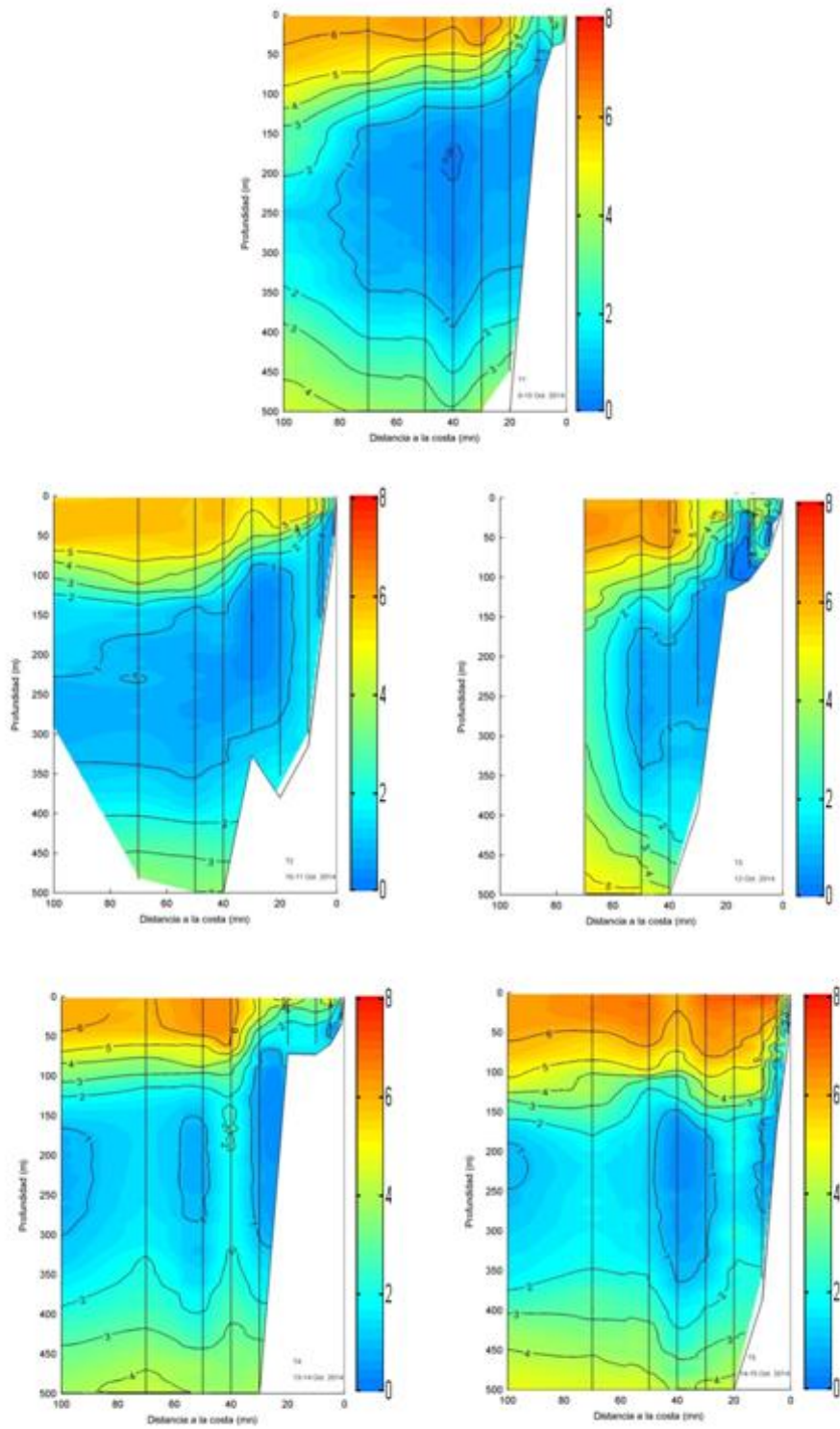


Figura 19. Distribución vertical de oxígeno disuelto ($\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$) de las transectas 1 a 5

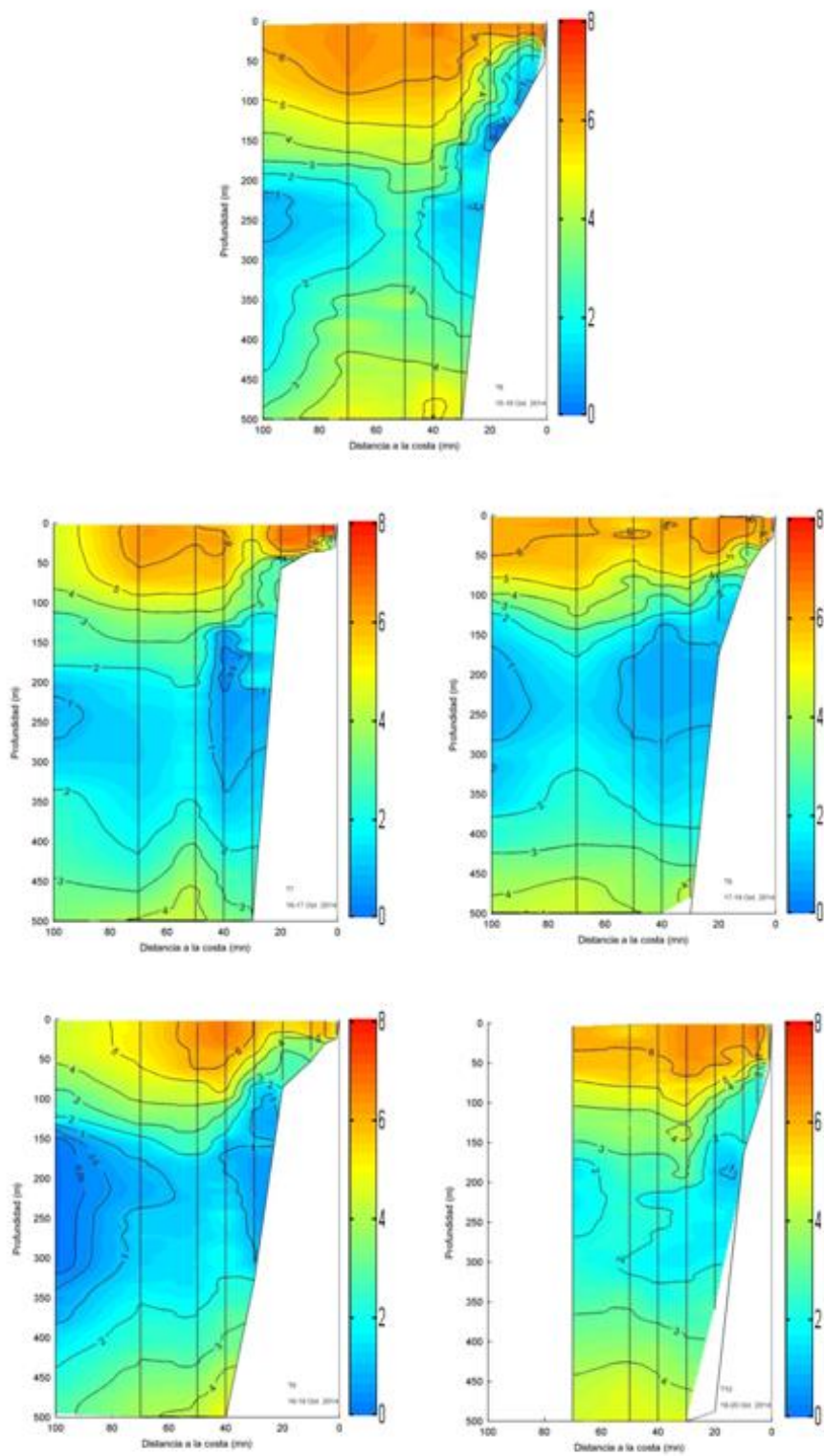


Figura 20. Distribución vertical de oxígeno disuelto ($\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$) de las transectas 6 a la 10

Condiciones oceanográficas: Objetivo específico III

Distribución horizontal de Clorofila-a

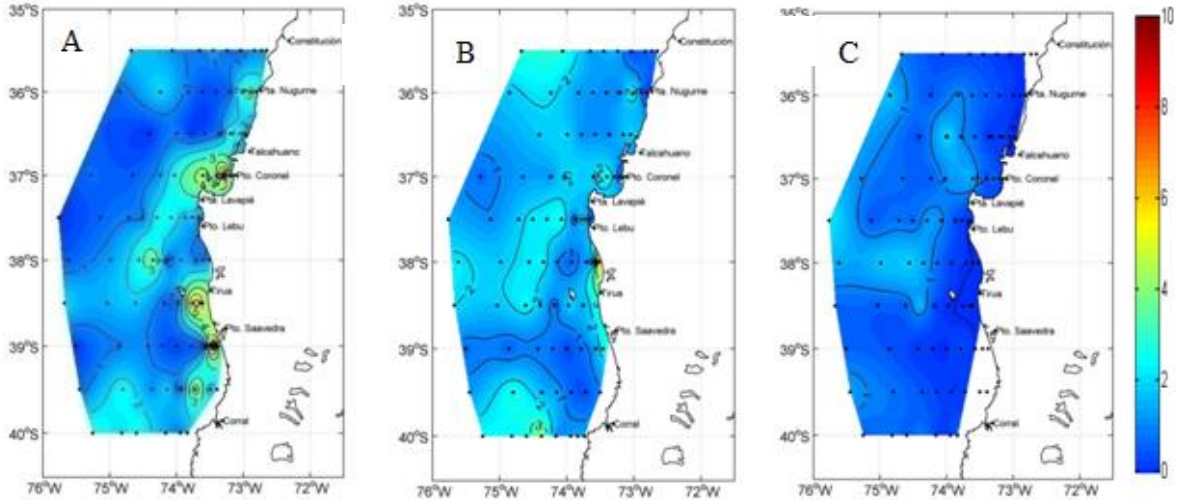


Figura 21. Distribución superficial (a) y distribución horizontal de clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) a 25 (b), 50 (c) m de profundidad.

La distribución de concentraciones superficiales de clorofila se muestra en la Figura 21 a. Las concentraciones de este pigmento, oscilaron entre $6,1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 35 de la transecta 4 (37° S) en la zona costera y $0,4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 68 de la transecta 9 (39° S) en el área oceánica. El límite exterior de la clorofila en la región de estudio presentó concentraciones $< 2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$. La banda costera, en cambio presentó concentraciones de clorofila $> 2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, con focos aislados de concentraciones $> 5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la transecta 4 (37° S), y entre las transectas 7 y 9 ($38,5^\circ \text{ S}$ - $39,5^\circ \text{ S}$).

A 25 m de profundidad (Fig. 21 b), la distribución horizontal de clorofila varió entre $0,4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 18 de la transecta 2 (36° S) y $4,6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 54 de la transecta 6 (38° S). Se presentó una disminución de la concentración de este parámetro en la banda costera, con valores de menores a $2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, que predominaron en el área oceánica, destacándose las menores concentraciones de clorofila de la región de estudio en la transecta 8 (39° S) con valores cercanos a $0,6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Se presenta la distribución horizontal a 50 m de profundidad en la figura 21 c, donde los valores fluctuaron entre $0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 19 de la transecta 3 ($36,5^\circ \text{ S}$) y $1,9 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en la estación 35 de la misma transecta. La banda costera, a esta profundidad, no se caracterizó por predominar en este pigmento y el patrón general de toda la región en su extensión se vio marcada por valores cercanos a $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Distribución vertical de Clorofila-a

La distribución vertical de la clorofila de las transectas 1 a la 5 se muestra en la figura 22. Los valores fluctuaron entre $7,2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en superficie en la estación 35 de la transecta 4 (37° S), y $0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en profundidad en la mayoría de las transectas. Presentó un núcleo principal ($>1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) localizado en los primeros 20 m de profundidad de la columna de agua, evidenciándose máximos superficiales ($> 4 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en la franja costera. La concentración de clorofila-a fue disminuyendo abruptamente con la profundidad, no detectándose bajo 50 m (0 a $0,25 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). La isolínea de $0,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ se presentó aproximadamente paralela a la superficie a 70 m de profundidad en todas las transectas entre 100 y 30mn, y ascendió a profundidades más someras desde la costa hasta 30 mn.

En la figura 23 se muestra la distribución vertical de clorofila de las transectas 6 a la 10. La concentración de clorofila, fluctuó entre $9,2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ en superficie de la transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$) y $0 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a 500 m de profundidad en la mayoría de las transectas. En general, bajo 70 m de profundidad no se detectaron concentraciones de clorofila (0 a $0,25 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). La transecta 7 ($38,5^\circ \text{ S}$) presentó un núcleo de altas concentraciones de clorofila ($> 8 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) cercano a la costa en superficie. Sin embargo hacia la zona oceánica de esta transecta, las concentraciones bajaron abruptamente. Esto no se observó en las demás transectas donde la isolínea de concentración de clorofila de $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ se presentó paralela a la superficie en casi toda su extensión latitudinal, exceptuando la transecta 8, la cual presentó la isolínea de $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ hasta 10 mn desde la costa en superficie.

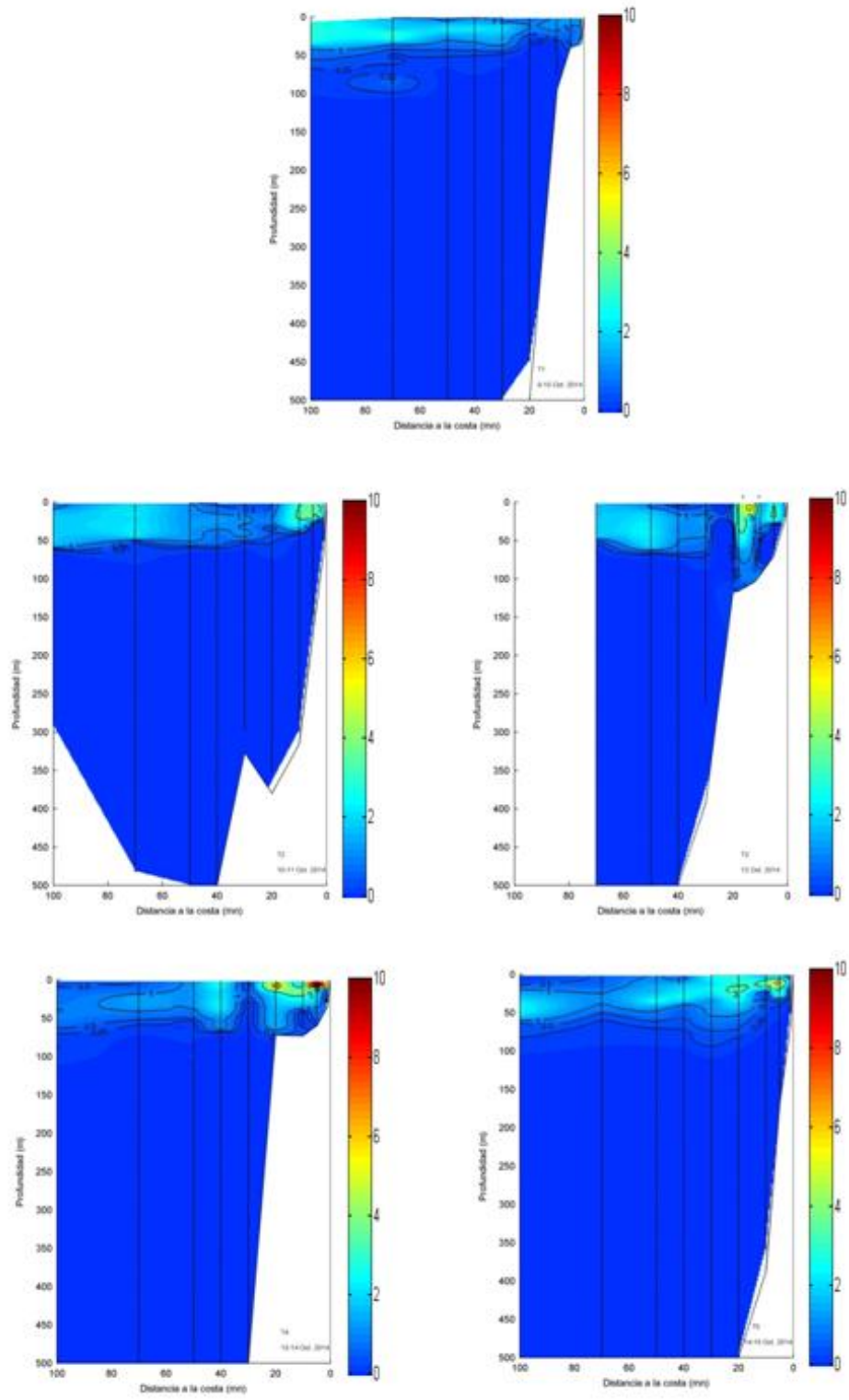


Figura 22. Distribución vertical de clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) de las transectas 1 a 5.

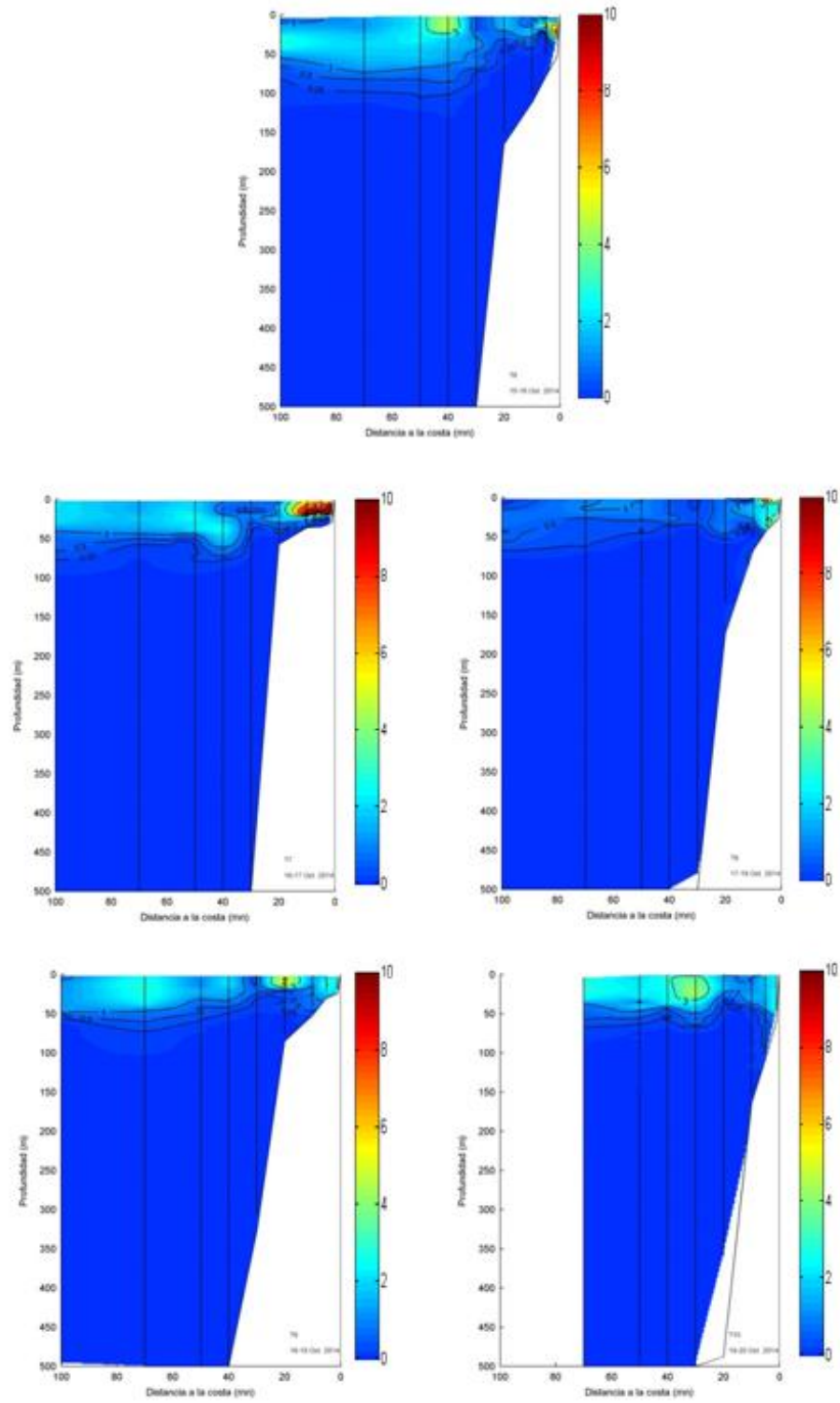


Figura 23. Distribución vertical de clorofila ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) de las transectas 6 a 10

Clorofila-a satelital

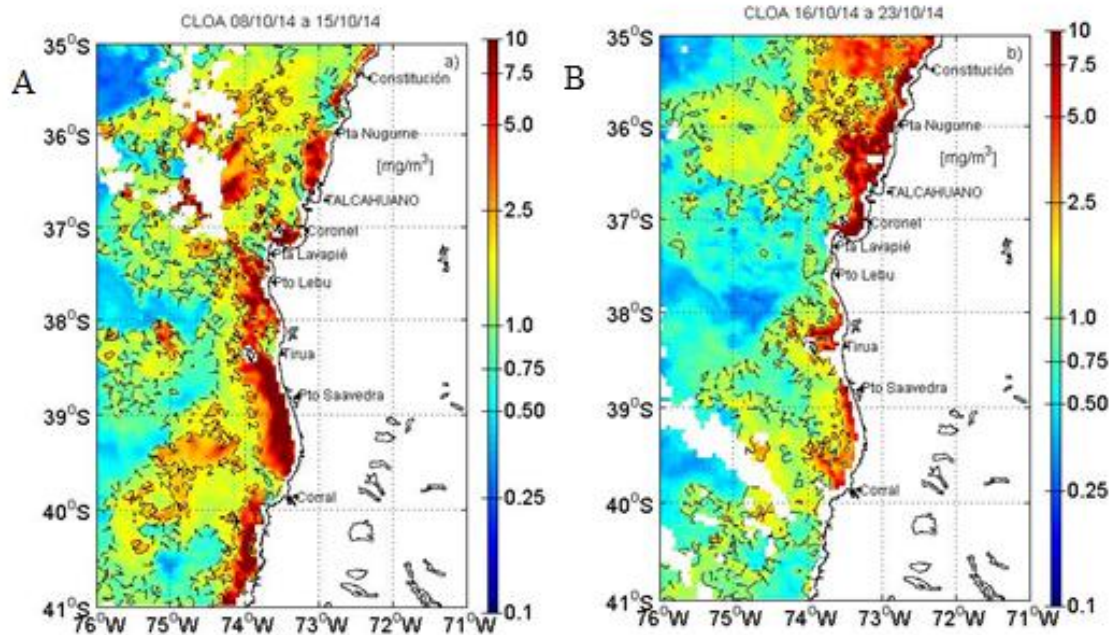


Figura 24. Clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) de imágenes del satelital correspondiente al promedio semanal entre el (a) 8 y 15 de octubre, (b) 16 y 23 de octubre de 2014.

Las concentraciones de clorofila-a satelital promedio distribuido en dos periodos durante la realización del crucero, entre el 8 al 15 de octubre y del 16 al 23 de octubre del 2014, se muestran en la figura 24^a y 24b, respectivamente.

En la figura 24 a, correspondiente al primer periodo, muestra que las máximas concentraciones de clorofila-a se presentaron a lo largo de toda la costa ($>2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). En la zona oceánica entre las transectas 2 y 3 ($36,5^\circ \text{ S}$ y 37° S), se presentaron pequeños focos con concentraciones similares a las observadas en la costa. Los mínimos valores ($<1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) se observaron en la zona oceánica de la transecta 1 ($35,5^\circ \text{ S}$) y entre las transectas 5 y 6 ($37,5^\circ \text{ S}$ - 38° S). En el segundo periodo (Fig. 24 b), los valores fueron considerablemente más bajos ($< 2 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en toda la región de estudio, exceptuando la banda costera desde la transecta 1 a la 4 ($35,5^\circ \text{ S}$ - 37° S) y focos aislados en la costa entre la transecta 6 y 7, frente a Tirúa (38° S - $38,5^\circ \text{ S}$) y entre la transecta 8 y 10, entre Puerto Saavedra y Corral (39° S - 40° S), que presentaron valores $> 2,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Objetivo específico IV

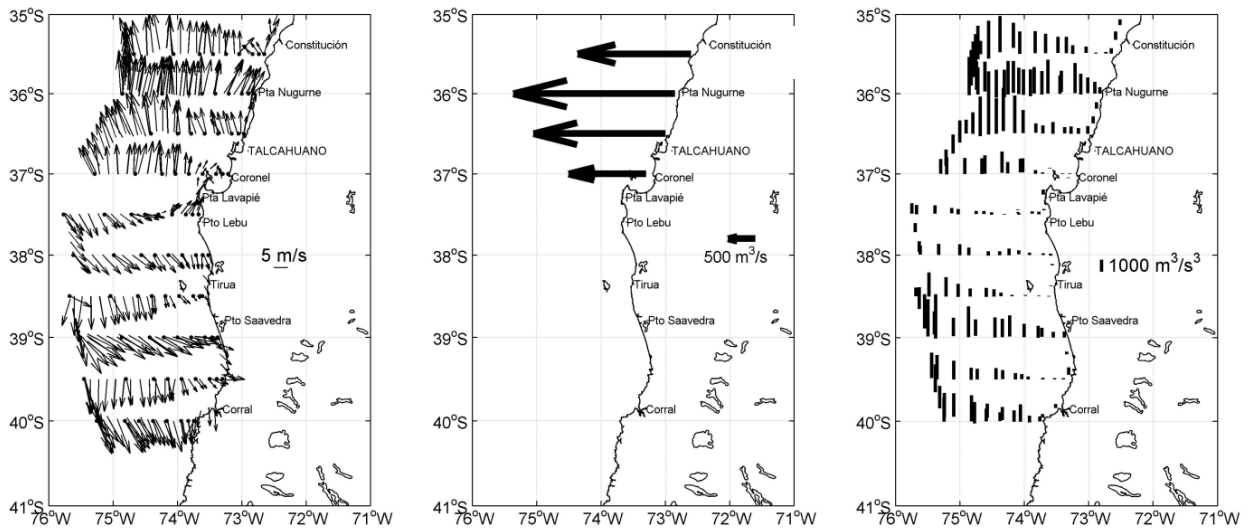


Figura 25. Dirección e intensidad del viento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) (a), índice de surgencia promedio (b) e índice de turbulencia (c) del viento. Octubre 2014.

Los vientos registrados en el periodo en que se realizó el crucero, con frecuencia horaria, se representan en vectores en la figura 25 a. Desde la transecta 1 a la 5 (hacia el norte de Punta Lavapié), los vientos tuvieron predominancia hacia el norte (viento sur y suroeste), los cuales son favorables a la surgencia. Al sur de Punta Lavapié (transectas 6 a la 10), los vientos registrados fueron en sentido contrario, i.e., vientos desde el norte y noroeste, favorables al hundimiento. La magnitud de los vientos fue en general (80%) mayores a $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

En la figura 25 b, se muestra el índice de surgencia promedio de cuatro sectores al norte de Punta Lavapié, donde se registraron vientos favorables a la surgencia. El mayor índice se encuentra en la transecta 2 ($-2900 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$), que corresponde a Punta Nugurne, y el menor en la transecta 4 ($-1400 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$) frente a Coronel.

Finalmente, los mayores índices de turbulencia (Fig. 25 c) se presentaron en las estaciones oceánicas ($>2000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-3}$) al norte de Punta Lavapié (transectas 1 a la 5) y entre Puerto Saavedra y Corral (transecta 8 a la 10). Los mínimos índices de turbulencia ($<1000 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-3}$) se observaron entre Lebu y Tirúa (transectas 5 a la 7) y en las estaciones costeras en toda la extensión de la región de estudio.

Condiciones oceanográficas, Objetivo específico V

Anomalías del nivel del mar y velocidades geostróficas satelitales

Superficial

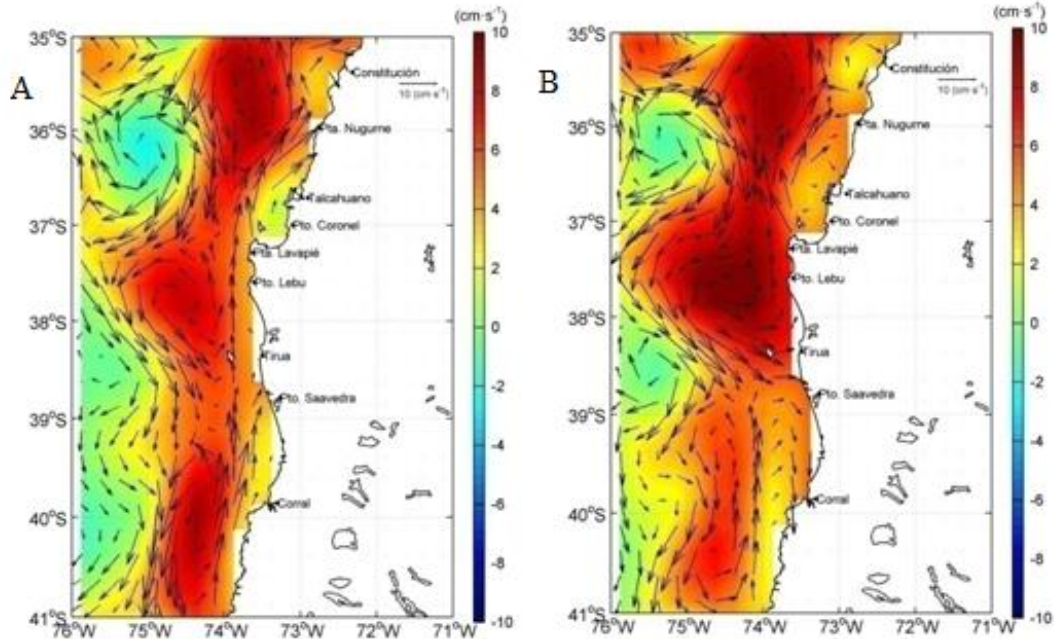


Figura 25. Anomalía del nivel del mar (cm) y velocidad geostrófica ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) de los días (a) 11 y (b) 18 de octubre de 2014.

Para identificar las anomalías del nivel del mar y velocidades geostróficas, se escogieron dos días característicos del crucero realizado (11 y 18 de octubre; Fig.25 a y Fig.25 b, respectivamente).

De acuerdo a las anomalías del nivel del mar, el día 11 de octubre se presentaron tres remolinos anticiclónicos, con anomalías de $\sim 8\text{cm}$. El primero entre la transecta 1 y 2 ($35,5^\circ\text{ S}$), otro entre las transectas 4 y 7 (37° S - $38,5^\circ\text{ S}$) y un tercero desde la transecta 9 ($39,5^\circ\text{ S}$) hacia el sur, cercano a 41° S . Por otra parte, la transecta 2 (36° S), hacia la zona oceánica atravesó un remolino ciclónico, donde se encontraron las menores anomalías del nivel del mar (-2 cm).

Por otra parte, cercano de la costa, se observaron corrientes geostróficas dominantes hacia el norte, asociadas a los remolinos anticiclónicos descritos. Por el contrario, al presentarse una interacción con remolinos ciclónicos, el dominio de la corriente geostrófica se torna hacia el sur. Desde la costa hasta $\sim 60\text{ mn}$, predominaron velocidades cercanas a $10\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, mientras que a partir de 60 mn al oeste las velocidades fueron cercanas a $2\text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

El día 18 de octubre (Fig.25 b) se observaron dos remolinos anticiclónicos, uno entre 35° S y 36,5° S, pasando por las transectas 1 y 2 y el segundo entre 37° S y 38,5° S (transectas 4 a la 7) donde se ubicaron mayores anomalías del nivel del mar (>8 cm) desde la costa hasta 80 mn. Desde 38,5° S hacia el sur dentro de la misma banda de anomalías se presentaron valores positivos de menor intensidad. Además se visualizó un circuito ciclónico con anomalías del nivel del mar ~2 cm en la banda costera, que empuja agua hacia la costa entre Puerto Saavedra y Corral. Hacia la zona más oceánica, y entre 36° S y 37° S (transectas 2-4), se observó un primer remolino ciclónico el cual presentó los valores más bajos de anomalía del nivel del mar (<-2 cm). Un segundo remolino ciclónico se observó entre 38° S y 39° S (transectas 6-8). Al igual que en el día 11 de octubre, se presentaron corrientes geostroficas dominantes hacia el norte al este de los remolinos anticiclónicos, esta vez alejadas de la costa en las últimas dos transectas, mientras que al oeste de dichos remolinos, donde interactuaron los remolinos ciclónicos, se presentaron corrientes dominantes hacia el sur con velocidades de ~15 cm·s⁻¹.

Vertical

La distribución de las velocidades geostroficas en la columna de agua se muestra en las figuras 26 y 27, donde los valores negativos representados en azul, corresponden a movimientos ciclónicos, la línea gruesa, valores de 0 cm·s⁻¹ y la línea negra correspondientes a movimientos anticiclónicos (valores positivos).

La distribución vertical de velocidades geostroficas de las transectas 1 a la 5 se muestra en la figura 26. Se presentaron valores máximos (> 16 cm·s⁻¹) en los centros del remolino en la región costera. Los valores negativos, asociados a estructuras ciclónicas se encontraron entre dos remolinos, donde los valores mínimos (< -3 cm·s⁻¹) se encontraron en la transecta 1 y la 5. La transecta 3 presentó sólo valores positivos y los máximos (>16 cm·s⁻¹) en esta transecta se encuentran a 80 mn desde la costa. En general se pudo observar a lo largo de todas las transectas estructuras de mesoescala que interactúan en la columna de agua.

Las velocidades geostroficas de las transectas 6 a la 10 se muestran en la figura 27. Los valores máximos (> 16 cm·s⁻¹) se observaron en todas las transectas cercanos a la costa y en contraste existió una predominancia de valores negativos (< -1 cm·s⁻¹) hacia la zona oceánica, exceptuando la transecta 9 (39,5° S), donde el giro ciclónico (valores negativos) se observó entre dos estructuras anticiclónicas. Además registró un núcleo con valores mínimos (< 5 cm·s⁻¹).

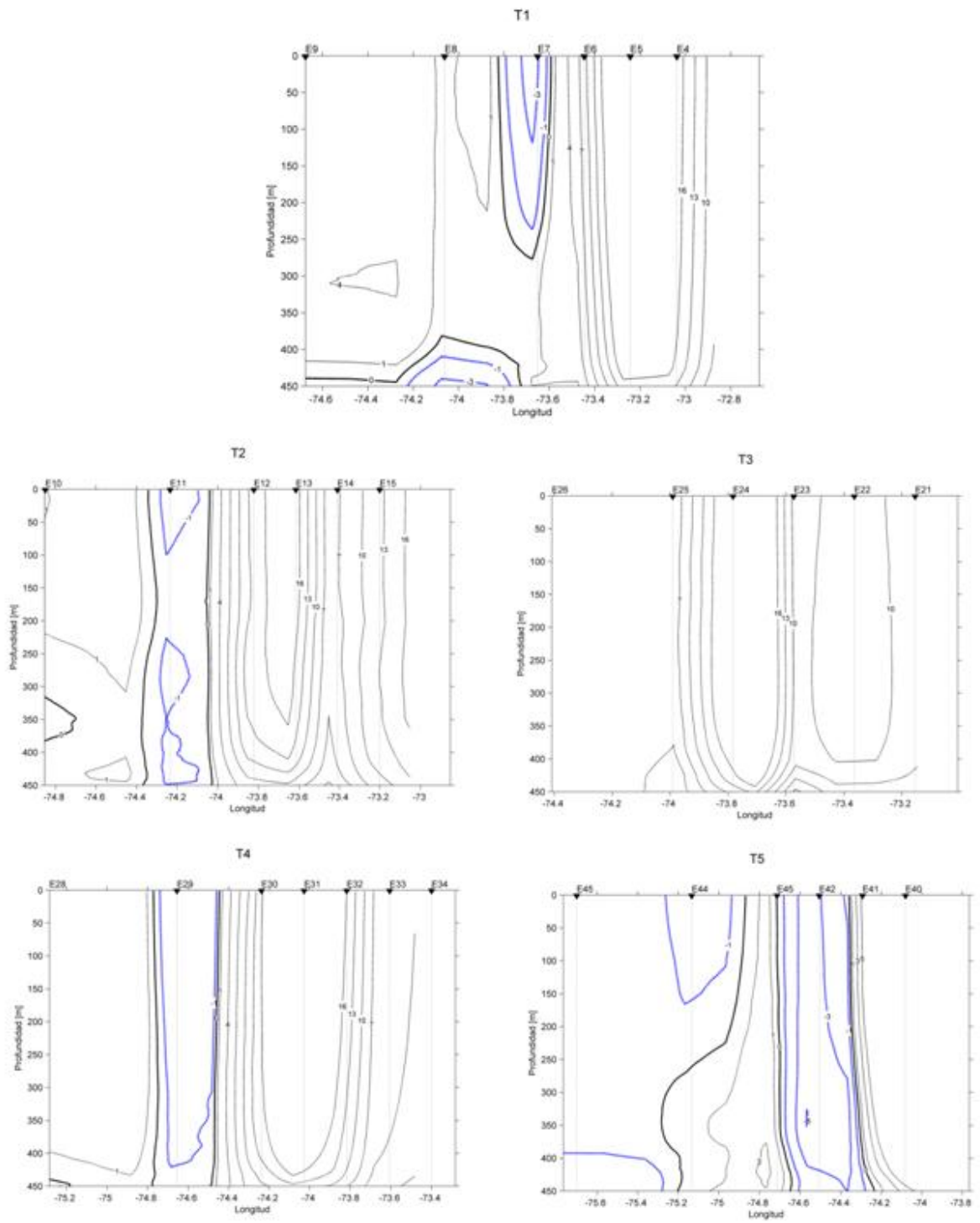


Figura 26. Distribución vertical de velocidades geostóficas en (cm·s-1) de las transectas 1 a 5.

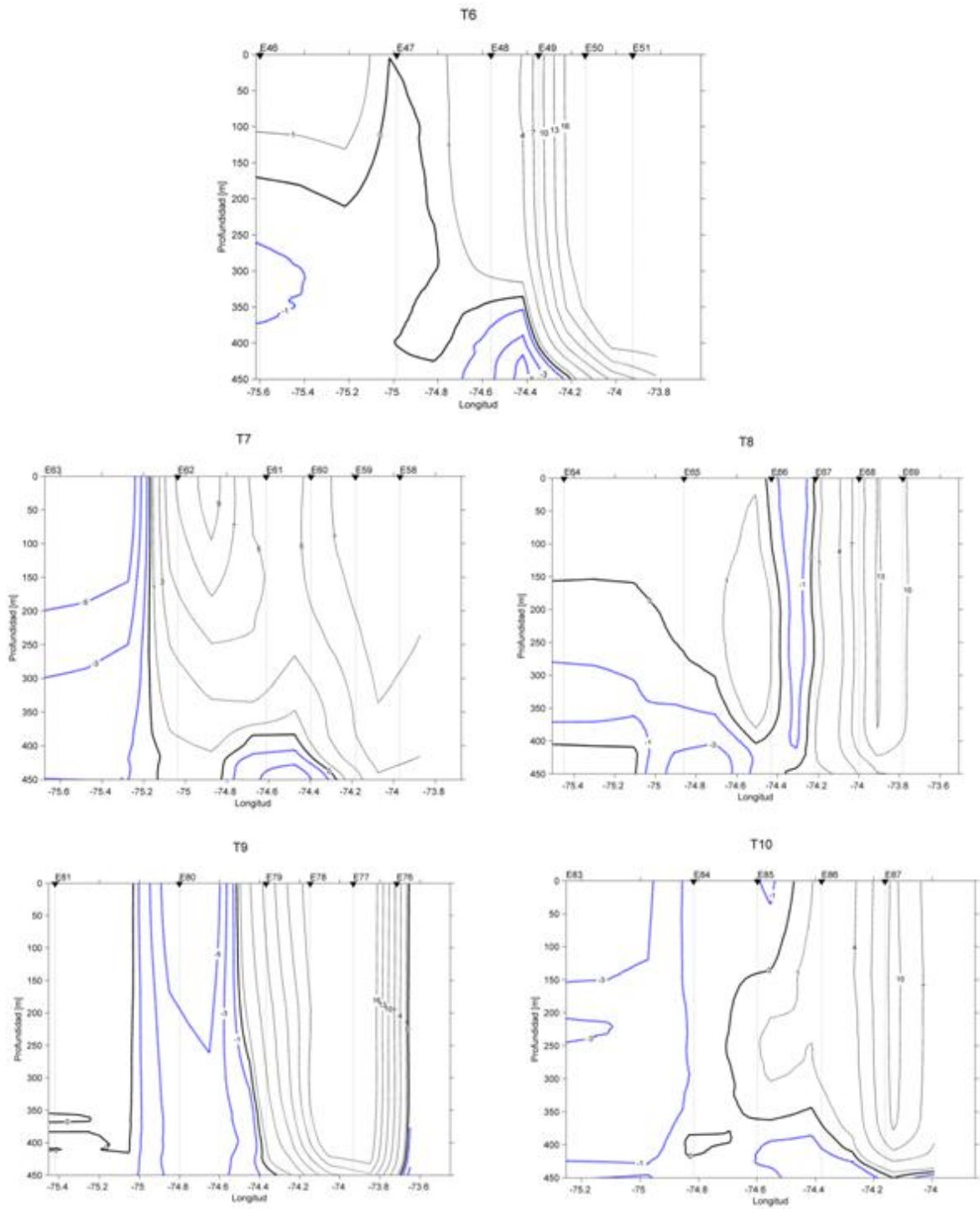


Figura 27. Distribución vertical de velocidades geostóficas (cm·s⁻¹) de las transectas 6 a 10.

DISCUSIÓN

La región de estudio se ubica en un sistema de borde oriental (Fig.3), que se caracteriza por presentar centros de surgencia asociados a la costa que responde a la intensificación de los vientos suroeste (Hormazabal, S. 1994). Los vientos registrados en el crucero mostraron una heterogeneidad latitudinal. En las primeras 5 transectas, la dirección predominante fue hacia el norte, noreste, noroeste. En las transectas 6 a la 10, la dirección del viento predominante fue hacia el sur y sureste, con menor intensidad hacia la costa. Esta información es coherente con los datos de vientos obtenidos en el crucero (Fig.25a) ya que al norte de 37° S, las condiciones son favorables a la surgencia costera, viéndose favorecidas la mayor parte del año (Morales et, al. 2013) donde los índices de surgencia superaron los 1000 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) (Fig.25 b), pudiéndose determinar dos centros importantes: punta Nugurne (35°37'S) y Lavapié (37°15'S) los cuales fueron nombrados anteriormente por distintos autores (Cáceres 1992; Fonseca & Farías 1987; Letelier et al., 2009). Mientras que al lado sur de esta dirección el viento favoreció al hundimiento en la costa como propone Morales y sus colaboradores el 2013, viéndose disminuidas las condiciones que benefician la surgencia costera.

Fonseca (1977), postula que la surgencia es una advección vertical, en la mayoría de los casos los valores de la temperatura superficial en la costa son menores que hacia el océano (a excepción de las zonas polares), tal como se apreció en los resultados satelitales e *in situ* de este documento (Fig. 4; Fig. 6a).

Se evidenció un ascenso de agua subsuperficiales, asociadas a la surgencia entre las transectas 1 y 5 (norte de punta Lavapié), lo cual se evidenció con la distribución vertical de las variables de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto donde se presentó valores bajos de temperatura y oxígeno disuelto en la banda costera y en contraste con mayores salinidades y densidades (Fig. 13, 15,17,19). Mientras que para las transectas 6 a la 10 (sur de punta Lavapié), el ascenso de agua se limita a aguas subsuperficiales (Fig. 14, 16,18,20), quedándose retenida bajo los 50 m, bajo el agua salobre de menor densidad, producto del aporte de ríos locales y aguas de la zona de fiordos y canales (Brandhorst 1971, Letelier-Pino *et al.* 2015).

El agua subsuperficial que ascendió tiene características del Agua Ecuatorial Subsuperficial, con bajo contenido en oxígeno disuelto, mayor contenido de nutrientes y valores altos de salinidad (Silva el al., 2009), lo cual se asocia a sectores de surgencia costera, como se puede presenciar al norte de 37° S (Fig.15). En esta zona la surgencia costera es recurrente a partir de la primavera (Fonseca & Farías 1987, Sobarzo & Djurfeldt 2004, Letelier 2010).

Al sur 37°S no se evidenció la presencia de una banda de similares características a las observadas al norte de 37°S, sino que mostró valores de temperatura y oxígeno disuelto asociados a aguas oceánicas y un núcleo de bajas salinidades y bajas densidades alrededor de 38° S que influyó hasta la banda costera. En esta zona, la distribución vertical mostró un sistema estratificado en términos de temperatura (Fig.14) con un leve ascenso hacia la costa dado por el efecto topográfico.

Por otra parte, el fitoplancton que habita en los océanos puede alterar el color del agua cuando un gran número de estos organismos se concentra en un área (Davies, 2009), y se puede medir en términos de clorofila-a (Davies, 2009). En el trabajo realizado se evaluó la clorofila-a satelital (Fig.24), donde se observó mayores concentraciones asociadas a la banda costera en toda la extensión del área de estudio, obteniéndose similitudes en ella. Además se asoció a valores menores de temperatura, congruentes con trabajo realizado por Alvarado (2015) en esta misma zona. Sin embargo, los valores satelitales máximos encontrados en este estudio no concuerdan con la distribución vertical y horizontal del presente informe debido al desfase de tiempo entre las mediciones *in situ*, donde, en la figura 24 a, se apreció una mayor concentración de clorofila en la banda costera al sur de 37°S, mientras que en la distribución horizontal y vertical, son focos aislados de concentraciones de este pigmento, que serían concordantes con la figura 24 b, donde el máximo de clorofila ya estaba disminuido al momento de muestrear el sur de la región de estudio.

La productividad en esta zona puede ser estimulada por el afloramiento de agua y nutrientes dentro de los remolinos (mediante el bombeo de Ekman u otros procesos) y / o por su advección de la zona costera a través de filamentos y remolinos (Escribano & Morales, 2011).

Los niveles de oxígeno disuelto asociados a la zona de estudio, alcanzan las condiciones óxicas que permiten la vida de los organismos hacia la zona costera y superficial. Sin embargo, se observó zonas de mínimo oxígeno (ZMO; Fig. 19 y Fig. 20). Estas zonas, se caracterizan por poseer concentraciones de oxígeno disuelto menores a 1 mL·L⁻¹ (Apablaza & Palma 2006), la cual serían consistentes con lo observado en este documento y por lo planteado por Yáñez (2012), quien propone que en el sistema de corrientes de Humboldt, donde se encuentra la zona de estudio del presente trabajo existe la presencia de ZMO, la cual se extiende desde el norte del Perú (5°S) hasta el sur de Chile (40°S) y sus variaciones en distribución, obedecen a cambios en regímenes de surgencia sobre el gradiente latitudinal.

La distribución de oxígeno disuelto (bajo los 100 m de profundidad) permitió visualizar la presencia de estructuras de mesoescala que afectaron la distribución vertical de

las propiedades hidrográficas en la zona oceánica. Un remolino anticiclónico centrado entre los $\sim 37^\circ$ S y 38° S, modificó la distribución horizontal de oxígeno disuelto entre 100 y 250 m de profundidad produciendo oscilaciones de decenas de metros de amplitud en las isolíneas de las transectas verticales de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto. Este tipo de estructura es típicamente observada en la zona debido a la influencia en su formación de la surgencia estacional y de la inestabilidad de las corrientes a lo largo de la costa (Cáceres 1992, Hormazábal *et al.* 2004, Correa-Ramírez *et al.* 2007, Letelier *et al.* 2009, Letelier 2010).

Las diferencias encontradas en ambos períodos también pueden ser observadas en los cambios de la circulación geostrofica cercana a la costa. Durante el primer período, cuando la surgencia fue favorecida por el viento, la zona mostró una corriente de chorro hacia el norte a lo largo de toda la zona favoreciendo el transporte hacia el Ecuador (Mesias *et al.* 2001, 2003, Aguirre *et al.* 2011). En el segundo período, cuando el viento favorece el hundimiento (y en fase de relajamiento), en la costa se presentó el mínimo salino en la zona sur, la circulación tiende hacia la costa entre 38° S y 39° S. En esta zona se generó una celda ciclónica desde 38° S hasta 40° S, envolviendo el mínimo salino mientras que las corrientes cercanas a la costa al norte de punta Lavapié se debilitaron. Por otro lado, los remolinos anticiclónicos ubicados en 36° S y 38° S se intensifican entre el primer y el segundo período de cruce, fortaleciendo el transporte oceánico hacia el Ecuador desde la transecta 5 al norte.

Las características observadas en la zona durante octubre de 2014 permiten definir algunas estructuras asociadas a la zona como surgencia costera, un flujo de agua salobre proveniente del sur y observar cambios repentinos en las condiciones atmosféricas que influyen las características dominantes de la zona en cortos periodos (5 días) de tiempo.

CONCLUSIÓN

En general, el área de estudio presentó similitudes en la banda costera ya que se presentaron bajas temperaturas y altas concentraciones de clorofila asociada a esta.

Las condiciones de vientos locales y los resultados de la caracterización de las variables oceanográficas (temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto, entre otras) para el primer periodo del crucero entre el 9 y 15 de octubre, mostraron surgencia activas en la costa al norte de punta Lavapié destacándose los focos de surgencia de punta Nugurne, punta Lavapié. Para el segundo periodo del crucero, del 16 al 23 de octubre de las variables y vientos locales favorecieron al hundimiento, reflejándose agua de tipo oceánica en la corriente.

Desde constitución a punta Lavapié, en el primer periodo del crucero, se ven favorecidos flujos hacia el norte de corrientes geostroficas asociadas a circulaciones anticiclónicas cercanas a la costa. Mientras que, para el segundo periodo del crucero en la banda costera del sur de punta Lavapié, se evidencia un circuito ciclónico que transporta agua hacia la costa, con corrientes difusas e irregulares.

La zona de estudio presentó preferentemente remolinos anticiclónicos de mesoescala que fueron capaces de modificar las variables en la columna de agua cientos de metros y reforzar el flujo hacia el norte a lo largo de la costa.

Al sur de punta Lavapié se presentó un mínimo salino superficial y de densidad que es producto de advección de agua proveniente del sur y del aporte de los ríos y características de la zona.

En toda la región se estudio se presencié ZMO en profundidades intermedias (~150 y 350 m de profundidad), que evidenciaron remolinos subsuperficiales de mesoescala.

REFERENCIAS

- Aguirre, C, O Pizarro, PTP Strub, RD Garreaud & JA Barth 2011.** Seasonal dynamics of the near-surface alongshore flow off central Chile. *Journal of Geophysical Research*. in press.
- Alvarado, M. 2015.** Condiciones oceanográficas que caracterizan la zona de desove de pelágicos pequeños en el centro sur de Chile. Tesis para optar a título de oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso.
- Apablaza, Pedro, & Palma, Sergio. (2006).** Efecto de la zona de mínimo oxígeno sobre la migración vertical de zooplancton gelatinoso en la bahía de Mejillones. *Investigaciones marinas*, 34(2), 81-95. Recuperado en 22 de enero de 2016, de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-71782006000200009&lng=es&tlng=es. 10.4067/S0717-71782006000200009
- Arcos, D & M Salamanca 1984.** Distribución de clorofila y condiciones oceanográficas superficiales frente a Chile central (Latitudes 32° S - 38° S , Febrero 1982). *Biol. Pesq.* 13: 5-14.
- Bakun, A. y R.H. Parrish. 1982.** Turbulence, transport and pelagic fish in the California and Perú current systems. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest., Rep.* 23: 99-112.
- Barbieri, MA, M Bravo, M Farías, A González, O Pizarro & E Yañez 1995.** Fenómenos asociados a la estructura térmica superficial del mar observados a través de imágenes satelitales en la zona norte de Chile. *Invest. Mar.* 23: 99-122.
- Barber, R. y R. Smith, 1981.** Coastal Upwelling Ecosystems: 31-68. En A. Longhurst (ed) *Analysis of Marine Ecosystems*. Academic Press.
- Bowman, M & W Esaias 1978.** Oceanic fronts in coastal processes. En: *Proceedings of a Workshop Held at Marine Sciences Research Center. May 25-27, 1977.* 113.pp
- Brandhorst, W 1971.** Condiciones oceanográficas estivales frente a la costa de Chile. *Revista de Biología Marina.* 14 (3): 45-84 pp
- Cáceres, M. & D. Arcos. 1991.** Variabilidad en la estructura espacio - temporal de un área de surgencia frente a la costa de Concepción, Chile. *Investigaciones Pesqueras.* 36: 2738 pp.
- Cáceres, M 1992.** Vórtices y filamentos observados en imágenes de satélite frente al área de surgencia de Talcahuano, Chile central. *Investigaciones Pesqueras.* 37: 55 - 66.

- Chávez, F. 1987.** El niño y la oscilación del sur. En: Investigación y Ciencia. pp. 46-55.
- Correa-Ramírez, M, S Hormazábal & G Yuras 2007.** Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29°-39°S). *Geophysical Research Letters*. 34 (L12604): doi:10.1029/2007GL029541.
- Davies S. 2009.** Variabilidad espacio-temporal de la temperatura superficial del mar, clorofila-a y viento durante el periodo 2002-2009, en Chile central (31°-35° S; 71°-76°W). Tesis para optar a título de oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso.
- Escribano, R. Daneri, D., Farías, L., Gallardo, V.A., González, H.E., Gutierrez, D., FIP 2005.** Informe final proyecto FIP. “Monitoreo de las condiciones bio-oceanograficas en la VIII región, año 2005”.
- Escribano, R., Castro, L., Daneri G., Farías, L., González H., Morales, C., Pizarro O., Rosales S. 2004.** Informe final de proyecto FIP: “Monitoreo de las condiciones bio-oceanograficas en la VIII región, año 2004”.
- Fedorov, K. N. 1985.** The physical nature and structure of oceanic fronts. Springer-Verlag, Berlin, New York, London, Paris, Tokyo.333 pp.
- Fonseca TR, Farías, M., 1987.** Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. *Investigaciones Pesqueras* 34: 33-46
- García-Weil, L, A Tejera, J Cárdenes, L Maroto, J Pérez-Marrero & A Luque-Sölheim 2006.** Análisis combinado de datos de satélite de sensores pasivos y activos en el seguimiento de los remolinos generados en las Islas Canarias. *Revista de Teledetección*. Número Especial: 25-29.
- Glantz, M. 1998.** Corrientes de Cambio: El impacto de “El Niño” sobre el clima y la Sociedad. pp 42.
- Herrera, E. 2003.** Distribución y abundancia del microzooplancton y material fecal con relación a las características físicas, químicas y biológicas en la zona de surgencia costera del norte de Chile. Tesis para optar al Grado de licenciado en Biología marina. Universidad Austral de Chile.
- Hormazabal, S. 1994.** Características de la circulación oceánica y costera frente a Coquimbo Chile (30° S). Tesis para optar a un título de Oceanógrafo. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

- Huyer, A, R Smith & T Paluszkievicz 1987.** Coastal upwelling off Perú during normal and El Niño times, 1981-1984. *Journal of Geophysical Research*. 92 (C13): 14297-14307.
- Letelier, J. 2010.** Surgencia y estructuras de mesoescala frente a Chile (18° - 42°S) Tesis para optar al Título de Doctor en Oceanografía Universidad de Concepción, Concepcion, Chile 83 pp.
- Letelier, J., O. Pizarro & S. Nuñez. 2009.** Seasonal variability of coastal upwelling and the upwelling front off central Chile. *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2008JC005171.
- Letelier-Pino, J, M Cáceres, M Alvarado-Niño, D Alarcón, C Hernández-Urbano, U Hauser, R Alarcón, V Carrera & J Contreras 2015.** Condiciones oceanográficas que definen la zona de desove de la anchoveta y sardina común en la zona centro sur de Chile. En. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, 2014. R. Serra (Eds.). Instituto de Fomento Pesquero 1-20 pp.
- Marine et al., 1993.** Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de Bahía Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile).
- Maturana, J, M Bello & M Manley 2004.** Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. Capt. 1. En. El Niño-La Niña 1997-2000 S. Avaria, J. Carrasco, J. Rutllant, & E. Yañez (Eds.). Comité Oceanográfico Nacional, Valparaíso, Chile 265 pp.
- Mesias, J, R Matano & T Strub 2001.** A numerical study of the upwelling circulation off central Chile. *Journal of Geophysical Research*. 106 (C9): 19611-19623 pp.
- .Mesias, J, R Matano & T Strub 2003.** Dynamical analysis of the upwelling circulation off central Chile. *Journal of Geophysical Research*. 108 (C3): 3085, doi: 101029/2001JC001135.
- Montecinos, A. 1991.** El efecto del fenómeno de El Niño en los vientos favorables a la surgencia costera. Tesis para optar a un título de Oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso, 143 pp.
- Morales C, C. Lange, 2004.** Oceanographic studies in the Humboldt current system off Chile: an introduction Centro de Investigación Oceanográfica en el Pacífico Sur-Oriental

- Morales C, S. Hormazabal, I. Andrade, M. Correa-Ramirez, 2013.** Time-Space Variability of Chlorophyll-a and Associated Physical Variables within the Region off Central-Southern Chile.
- Otárola, G. 2009.** Variabilidad espacio temporal de la temperatura superficial del mar entre cinco localidades costeras en la zona central de Chile (29°42' S- 33°58' S). Tesis para optar a un título de oceanógrafo, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
- Peliz, A, T Rosa, M Santos & J Pissarra 2002.** Fronts, jets, and counter-flows in the western Iberian upwelling system. *Journal of Marine System.* 61-77 pp.
- Pinet, PR 2000.** Invitation to Oceanography. Jones and Barlett Publishers, 508 pp.
- Pizarro, O., S. Hormazabal, A. González & E. Yáñez. 1994.** Variabilidad del viento, nivel del mar y temperatura en la costa norte de Chile. *Investigaciones Marinas.* 85-101 pp.
- Pond ,S & G.Pickard 1998.** Introductory Dynamical Oceanography
- Rocha, E. 2001.** Distribución de clorofila a en las aguas del norte de Chile(18°30'S-24°S): validación de imágenes satelitales de color del mar. Tesis para optar a título de oceanógrafo. Universidad Católica de Valparaíso.
- Sievers, H. and N. Silva. 1982.** Masas de agua y circulación geostrofica frente a La costa de Chile entre latitudes 18° S y 33° S (Operación Oceanográfica MARCHILE VII). *Cienc. y Tec Del mar, CONA* 61-99 pp.
- Silva, N, N. Rojas, A. Fedele. 2009.** Watermasses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile.
- Silva, N y H. Sievers. 1981.** Masas de agua y circulación en La region de La rama costera de La corriente de Humboldt. Latitudes 18° S- 33° S (Operación Oceanográfica MARCHILE-X-ERFEN I). *Cienc. Y Tec. Del Mar. CONA,* 5-50 pp.
- Silva, N. 1983.** Masas de agua y circulación en la región norte de Chile. Latitudes 18°S-32°S. (Operación Oceanográfica Marchile XI- Erfen II). *Cienc. Tecnol. Mar,* 47-84 pp.
- Smith, R. 1968.** Upwelling. En. *Oceanography, Marine Biology, Annual Review* H. Barnes (Eds.). George Allen and Unwin Ltd., London. 11-46 pp.

- Smith, R. L. 1995.** The physical processes of coastal ocean upwelling system. En: C. P. Summerhayes, K. Emeis, M.V. Angel, R. L. Smith, & B. Zeitzschel (Eds.). *Upwelling in the ocean: Modern processes and ancient records.* John Wiley & Sons Ltd., London, pp. 39-64.
- Sobarzo, M, L Bravo, D Donoso, J Garcés-Vargas & W Schneider 2007.** Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over the continental shelf off central Chile. . *Progress in Oceanography* 75: 363-382.
- Sobarzo, M & D Figueroa 2001a.** The physical structure of a cold filament in a Chilean upwelling zone (Península de Mejillones, Chile, 23°S). *Deep Sea Research I.* 48 (2001): 2699-2726. doi:10.1016/S0967-0637(01)00031-0.
- Sobarzo, M & D Figueroa 2001b.** The physical structure of a cold filament in a Chilean upwelling zone (Península de Mejillones, Chile, 23°S). *Deep Sea Res. I.* 48 (2001): 2699-2726.
- Soto-Mardones, L, A Pares, R Durazo, S Hormazabal & J Garcia 2004.** Analysis of the mesoscale structure in the IMECOCAL region (off Baja California) from hydrographic, ADCP and altimetry data. *Deep Sea Research II.* 51: 785-798
- Strub, P, J Mesías, V Montecino, J Rutland & S Salinas 1998.** Coastal ocean circulation off western south America. Chapter 10. En. *The sea: The global coastal ocean, regional studies and synthesis.* vol.11 A. R. Robinson, & K. H. Brink (Eds.). John Wiley and Sons, Inc., New York pp. 273-313
- Thomas, A. 1999.** Seasonal distribution of satellite-measured phytoplankton pigment concentration along the Chilean coast. *Journal of Geophysical Research.* 104 (C11): 25877-25890.
- Yáñez, S, P. Hidalgo y R. Escribano. 2012.** Mortalidad natural de *Paracalanus* indicus (Copepoda: Calanoida) en áreas de surgencia asociada a la zona de mínimo de oxígeno en el Sistema de Corrientes Humboldt: implicancias en el transporte pasivo del flujo de carbono. Página web: [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071819572012000200011&script=sci_arttext]. Revisado 6 enero 2016, 20:00