

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESCUELA DE CIENCIAS DEL MAR

Condiciones oceanográficas que caracterizan la zona de desove de
pelágicos pequeños en el centro sur de Chile

Trabajo de Titulación para optar al Título de Oceanógrafo

por

Mónica Carolina Alvarado Niño

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.

Mónica Carolina Alvarado Niño

A mis padres ♥ ☺ .

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Jaime Letelier Pino, profesor guía de este Trabajo de Titulación, por compartir sus conocimientos y darme la motivación para concluir esta etapa. Y también agradecer al Proyecto PAI, CONICYT 791220005: “Procesos físicos de escala local y de mesoescala que favorecen la retención biológica en la bahía de Valparaíso”.

A los profesores M. Sc. Sergio Salinas y Dr. Eduardo Quiroga por aceptar inmediatamente y con gusto ser parte de mi comisión de trabajo de titulación.

Al Dr. Manuel Castillo por brindarme apoyo, motivación y consejos valiosos. ¡Muchas Gracias!

A mis compañeros del Laboratorio de Oceanografía Física y Satelital de la Universidad de Valparaíso por el apoyo constante, los buenos momentos de recreación, salidas a terreno y los famosos almuerzos comunitarios; a Darly, Cathy, Rodrigo, Emma, Úrsula, Coni, Pauline, Vania y por supuesto a la niña del Lab.: Lofi Lofi.

A mis amigas, amigos, tías, familiares y compañeras de la Escuela Ciencias del Mar, por creer siempre en mí: Nicol, Nena, Suri, Laura, Tía Sonia, Marisol, Yeyo, Selin, Daniel, Darleen, Ko, Susana.

A mi familia, mis hermanos y Jenny, la pregunta que tanto me hacen al fin tiene respuesta. A mi papito por su infinita comprensión y paciencia durante la carrera y a mi mamá por motivarme siempre, hacerme entender que “querer es poder” y por sus amuletos milagrosos.

A Lp ♥, mi pololo y amigo incondicional por apoyarme siempre y motivarme a dar lo mejor cada día.

Le agradezco al universo por ponerme en el lugar que estoy y por las personas que me rodean, por escucharme y consentirme. Y por último y muy importante a mis cachorras que están conmigo (Pola, July July, Dharmita, Megan y Mulan) y los que no están por darme un granito de su energía y amor para seguir adelante.

ÍNDICE

Portada	
Comisión de Titulación	i
Autorización de uso	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Índice	v
Resumen	vi
Abstract	vii
Introducción	1
Objetivos	4
Metodología	5
Resultados	9
Discusión	28
Conclusión	31
Referencias	32

RESUMEN

Se construyó la climatología de las condiciones oceanográficas de la zona de desove de la anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomera bentincki*) del centro sur de Chile entre las latitudes 34,5°S a 41,5°S. Para ello, se utilizaron datos oceanográficos de 11 cruceros realizados durante la primavera entre los años 2003 a 2014 (excepto año 2006). Se procesó información satelital de temperatura superficial del mar y clorofila para el mismo período.

Los resultados hidrográficos mostraron que la zona de desove se compone por dos sectores con distinta orientación de la costa: el primer sector ubicado al norte de punta Lavapié y el segundo sector ubicado al sur de punta Lavapié. Al norte de punta de Lavapié se observaron frentes de origen térmico debidos a que la surgencia en punta Lavapié produce una sombra de surgencia en la plataforma continental de Concepción, en donde las aguas recirculan en las bahías de Concepción, Coliumo y golfo de Arauco. Al sur de punta Lavapié los frentes observados fueron de origen salino debidos al aporte de agua dulce proveniente de ríos adyacentes.

Los resultados de imágenes satelitales mostraron que ambos sectores presentaron una banda costera de bajas temperaturas y altas concentraciones de clorofila.

ABSTRACT

We replicated the climatology of the oceanographic conditions of the spawning zone of the anchovy (*Engraulis ringens*) and common sardine (*Strangomera bentincki*) located in central-south Chile, between 34.5°S and 41.5°S latitudes. To accomplish this, we used data collected from 11 oceanographic cruises conducted in spring; between 2003 and 2014 (except 2006). Satellite data of sea surface temperature and chlorophyll concentration for the same period were processed as well.

Hydrographic results indicated that the spawning zone consists of two sectors with different orientation from the coast: one sector located north of Punta Lavapié and a second sector located south of Punta Lavapié. In the sector located north of Punta Lavapié we found fronts of thermal origin resulting from the upwelling shadow produced by the upwelling of Punta Lavapie on the continental shelf of Concepcion, where the water recirculates in Concepcion, Coliumo and Arauco Gulf bays. In the sector South of Punta Lavapié, we identified fronts of saline origin resulting from the incoming freshwater from the adjacent rivers into the ocean.

In addition, the results of satellite images showed that both sectors have a coastal band of low temperatures and high concentrations of chlorophyll.

INTRODUCCIÓN

La zona centro-sur de Chile ($34,5^{\circ}$ - $41,5^{\circ}$ S) es parte del sistema de corrientes de Perú-Chile o sistema de la corriente de Humboldt, cuya circulación es forzada por el Anticiclón del Pacífico Sur. La señal anual de los vientos en esta zona muestra que durante los períodos de primavera y verano predomina el viento suroeste alcanzado las mayores intensidades en enero, mientras que el resto el año predomina viento norte (Saavedra, 1980; Bakun & Nelson, 1991).

Esta zona se caracteriza por presentar la plataforma continental más ancha y somera de Chile, un cambio de orientación de la costa al norte de $37,2^{\circ}$ S y la presencia de un sistema de tres bahías abiertas al norte: bahía Coliumo ($36^{\circ}32'S$), bahía de Concepción ($36^{\circ}40'S$) y el Golfo de Arauco ($37^{\circ}10'S$) (Parada et al., 2001; Grob et al., 2003). Además se tiene la presencia de numerosos ríos que contribuyen con intensas descargas estacionales de agua dulce a la zona costera (ríos Itata ($36^{\circ}23'S$), Biobío ($36^{\circ}49'S$) y Valdivia ($39^{\circ}50'S$) entre los más importantes) (Soto-Mendoza et al., 2010).

Al norte de punta Lavapié ($37,2^{\circ}$ S), la línea de costa se orienta hacia el noreste, la plataforma continental tiene un ancho de más de 70 km, y se encuentra interrumpida por el cañón del Biobío ($36^{\circ}52'S$) y el cañón del Itata ($36^{\circ}05'S$) que generan flujos ageostróficos que facilitan el intercambio plataforma-océano (Sobarzo, 1999; Sobarzo et al., 2001). Al sur de punta Lavapié la línea de costa presenta una orientación norte-sur, una plataforma continental entre 10 y 50 km de ancho y la presencia de la isla Mocha, situada a 35 km al oeste de Tirúa (Sobarzo, 1999).

A lo largo de esta región se encuentran presentes las masas de Agua Subantártica (ASAA) entre superficie y 100 metros, Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) entre 100 metros y 380 metros de profundidad y el Agua Intermedia Antártica (AIAA) bajo 400 metros de profundidad (Sobarzo, 1994). La alta productividad oceánica de esta zona está modulada por numerosos centros de surgencia estacional que producen el ascenso hacia las capas iluminadas de aguas frías ricas en nutrientes asociadas al Agua Ecuatorial

Subsuperficial (AESS) que se han podido observar mediante mediciones hidrográficas in situ e imágenes satelitales (Cáceres, 1990; Cáceres, 1992; Barbieri et al., 1995; Hormazábal et al., 2004; Thomas et al., 2004; Yuras et al., 2004). Los principales centros de surgencia de esta región se ubican en punta Topocalma (34,14°S), punta Nugurne (35,97°S), punta Lavapié (37,2°S) y punta Galera (40°S), de los cuales los tres primeros eventualmente pueden llegar a actuar como un megacentro de surgencia (Fonseca & Farías, 1987; Letelier, 2010), limitados al sur por punta Galera (40°00'S) y al norte por punta Curaumilla (33°06'S).

La surgencia de estos centros favorece la formación de frentes (Letelier, 2010) que refuerzan los flujos geostroficados a lo largo de la costa (Fedorov & Kuz'mina, 1977b; Mooers et al., 1977; Smith, 1995) y eventualmente favorecen la formación de meandros y remolinos de mesoescala ya que su génesis está relacionada con las inestabilidades de las corrientes a lo largo de la costa (Fedorov, 1985; Brink, 1987; Smith, 1995; Letelier, 2010). Al norte de punta Lavapié se han observado lenguas de surgencia y filamentos de más de 200 km de extensión y la presencia de remolinos ciclónicos y anticiclónicos (Cáceres, 1990; Cáceres & Arcos, 1991; Cáceres, 1992; Thomas, 1999) que se originan aproximadamente en el borde de la plataforma continental (Cáceres, 1992; Correa-Ramírez et al., 2007; Letelier, 2010).

La zona de estudio es afectada por eventos regionales de origen ecuatorial, El Niño/La Niña, que producen anomalías significativas de temperatura superficial del océano, alteran el patrón anual de precipitación de la zona y podrían manifestarse en la presencia de ondas atrapadas a la costa que pueden modificar la estructura vertical de la columna de agua y las corrientes costeras (Hormazábal et al., 2001; Ulloa et al., 2001).

Esta zona ha sido caracterizada como el área de desove de la sardina común (*Strangomera bentincki*) y la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el centro sur de Chile. Esta zona presenta desoves recurrentes de estas dos especies concentrándose en el área del Itata, en las bahías del golfo de Arauco y especialmente en el área adyacente a la Isla Mocha. Además sectores adyacentes al río Valdivia son considerados como ambientes propicios

para el desarrollo de larvas de peces (Arcos et al., 1987), como también un gran número de estuarios micro-mareales (Pino et al., 1994). El golfo de Arauco es de especial interés porque es una cuenca semi-cerrada abierta hacia el norte, el cual es considerado un centro de desove y de retención de huevos y larvas de especies pelágicas (Arcos et al., 1987; Djurfeldt, 1994; Arcos et al., 1996; Parada et al., 2001).

Antecedentes previos muestran la existencia de significativas diferencias ambientales entre el norte y sur de punta Lavapié, las que definirían las zonas preferentes de desove, considerando lo anterior y la variabilidad del área de estudio, el presente trabajo de titulación tiene como objetivo determinar las condiciones oceanográficas de la zona centro sur de Chile ($34,5^{\circ}\text{S}$ - $41,5^{\circ}\text{S}$) que predominan durante el período de primavera utilizando la información histórica disponibles de los cruceros de los proyectos “Evaluación del stock desovante de sardina común y anchoveta entre la V y X regiones” entre los años 2003 y 2014 e información satelital para el mismo período.

Objetivo General

Caracterizar las condiciones oceanográficas asociadas a la zona de desove de pequeños pelágicos del centro sur de Chile (34,5°S-41,5°S).

Objetivos Específicos

1. Determinar y describir la distribución horizontal de las condiciones oceanográficas promedio de la zona de desove utilizando información in situ.
2. Determinar y describir la distribución vertical de las condiciones oceanográficas promedio de la zona de desove utilizando información in situ de transectas perpendiculares a la costa.
3. Determinar la circulación promedio y frentes promedio durante el período de primavera mediante información satelital.

METODOLOGÍA

Se adquirió la base histórica de datos oceanográficos de los proyectos “Evaluación del stock desovante de sardina común y anchoveta entre la V y X regiones” que incluyeron 11 cruceros que fueron realizados durante la primavera entre los años 2003 al 2014 (Tabla 1), (excepto para el año 2006 en que no se realizó). Dicha información fue proporcionada por la Universidad de Concepción y el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP).

Tabla 1: Cruceros de evaluación del stock desovante de sardina común y anchoveta utilizados.

Proyecto	Año
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X regiones, FIP 2003-06	2003
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X regiones, FIP 2004-03	2004
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X regiones, FIP 2005-02	2005
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X regiones, FIP 2007-06	2007
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común en la zona centro-sur, FIP 2008-09	2008
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común en la zona centro-sur, FIP 2009-02	2009
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común en la zona centro-sur, FIP 2010-02	2010
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común en la zona centro-sur	2011
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X regiones, FIP 2012-09	2012
Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X regiones, FIP 2013-07	2013
Evaluación del stock desovante de sardina común y anchoveta entre la V y X regiones.	2014

A partir de los 11 cruceros se recolectaron 1632 estaciones oceanográficas con información georreferenciada de temperatura, salinidad y densidad abarcando la zona entre

34,5°S y 41,5°S (**Fig. 1**). Adicionalmente para cada estación se calculó el porcentaje promedio de presencia de huevos de sardina común y anchoveta (**Fig. 2**), revelando la zona recurrente de desove de ambas especies.

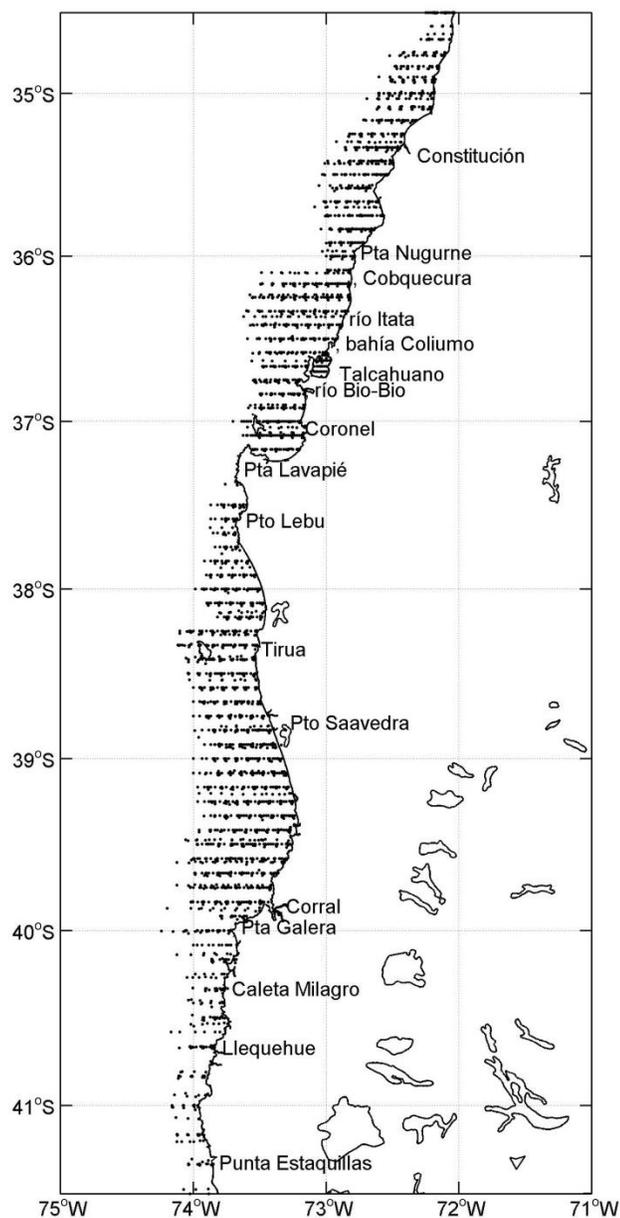


Figura 1: Distribución de las 1632 estaciones oceanográficas que abarcan la zona de estudio entre los años 2003 a 2014.

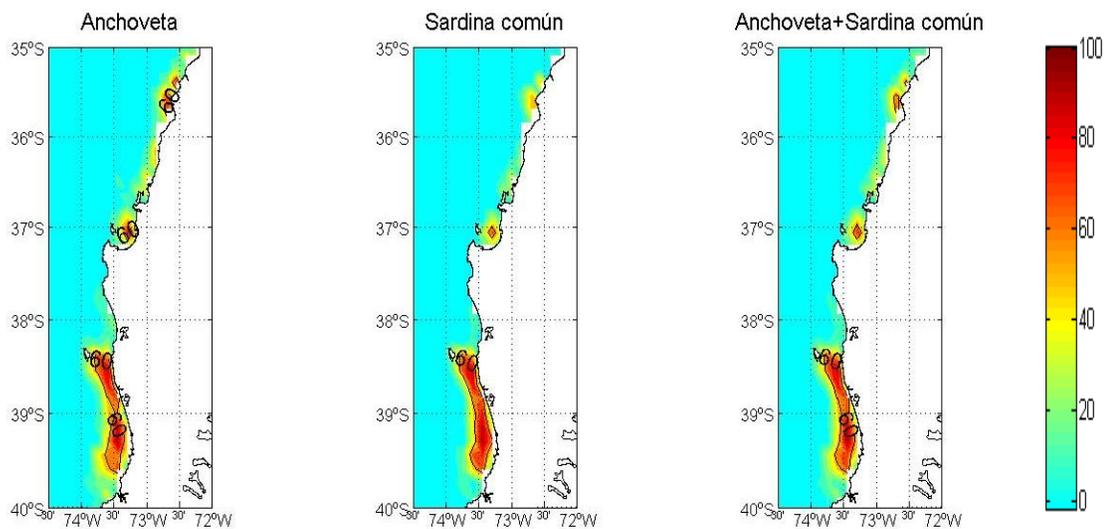


Figura 2: Porcentaje promedio de presencia de huevos de anchoveta (izquierda), sardina común (panel central) y total de huevos de ambas especies (derecha).

Toda la información oceanográfica fue validada respecto de la climatología de la zona de desove que se encuentra publicada en el Atlas Oceanográfico de Chile (18°21'S 50°00'S) Volumen I (Rojas & Silva, 1996). Esta se validó considerando 4 desviaciones estándar respecto de la climatología de la zona, para construir una base de datos consolidada con la información de todos los cruceros mencionados.

Posteriormente se construyó una base de datos (temperatura, salinidad y densidad) en forma de grillas interpoladas para cada crucero a partir de las cuales se calculó el campo promedio de la zona. Las grillas se crearon utilizando el método de Kriging ajustado por el variograma direccional promedio de cada crucero (Petitgas, 2001).

Luego estas grillas horizontales se almacenaron en matrices de tres dimensiones (latitud · longitud · profundidad) formando una base de datos con el promedio de las condiciones oceanográficas de la zona. Desde esta base de datos se extrajeron tres capas horizontales representativas de las condiciones de la zona: superficie, 10 metros y 50 metros de profundidad y cuatro transectas perpendiculares a la costa ubicadas en 35,5°S - 36,5°S - 38,5°S y 39,5°S que permitieron observar las diferencias latitudinales de la zona.

Los resultados horizontales y verticales fueron presentados en forma de gráficos de contornos espacialmente geo-referenciados.

Paralelamente, se utilizó la información diaria de corrientes proveniente del centro de distribución de datos de altimetría AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data <http://www.aviso.altimetry.fr>) para construir y analizar la distribución promedio de la circulación en el área de estudio.

Además, se calculó el promedio de primavera de temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila-a (CLOA) utilizando información satelital mensual, entre el año 2002 al 2014 proveniente del centro de distribución de datos Ocean Color Web (<http://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/>).

Finalmente, con los datos de TSM mensuales se calculó y promedio la distribución superficial de gradientes térmicos indicadores de frentes de surgencia (Fedorov & Kuz'mina, 1977a; Fedorov, 1985; Letelier et al., 2009). La técnica de cálculo de gradiente corresponde a la ecuación:

$$\textit{Gradiente} = \frac{\Delta C}{\Delta X} = \frac{C_{i+1} - C_i}{X_{i+1} - X_i}$$

Donde C es la propiedad (TSM) y ΔX es la distancia zonal en Km que separa C_{i+1} de C_i . La intensidad de estas mediciones puede mostrar presencia de quiebres asociados a zonas frontales cercanas a la costa (Fedorov, 1985; Letelier et al., 2009). Cabe señalar que esta técnica solamente revela frentes de origen térmico y no dan cuenta de las zonas frontales de otra naturaleza.

RESULTADOS

Los resultados de los campos promedio de temperatura, salinidad y densidad, entre los años 2003 a 2014, fueron presentados en dos sectores: el primer sector corresponde a la zona ubicada al norte de punta Lavapié ($34,5^{\circ}\text{S}$ a $37,2^{\circ}\text{S}$) y el segundo sector corresponde a la zona ubicada al sur de punta Lavapié ($37,2^{\circ}\text{S}$ a $41,5^{\circ}\text{S}$).

Distribución horizontal en superficie

En la capa superficial, a 1 metro de profundidad, al norte de punta Lavapié se observaron temperaturas promedio entre $12,4^{\circ}\text{C}$ y $11,6^{\circ}\text{C}$ (**Fig. 3a**) y al sur de punta Lavapié se observaron temperaturas promedio entre $12,2^{\circ}\text{C}$ y $11,4^{\circ}\text{C}$ (**Fig.3b**).

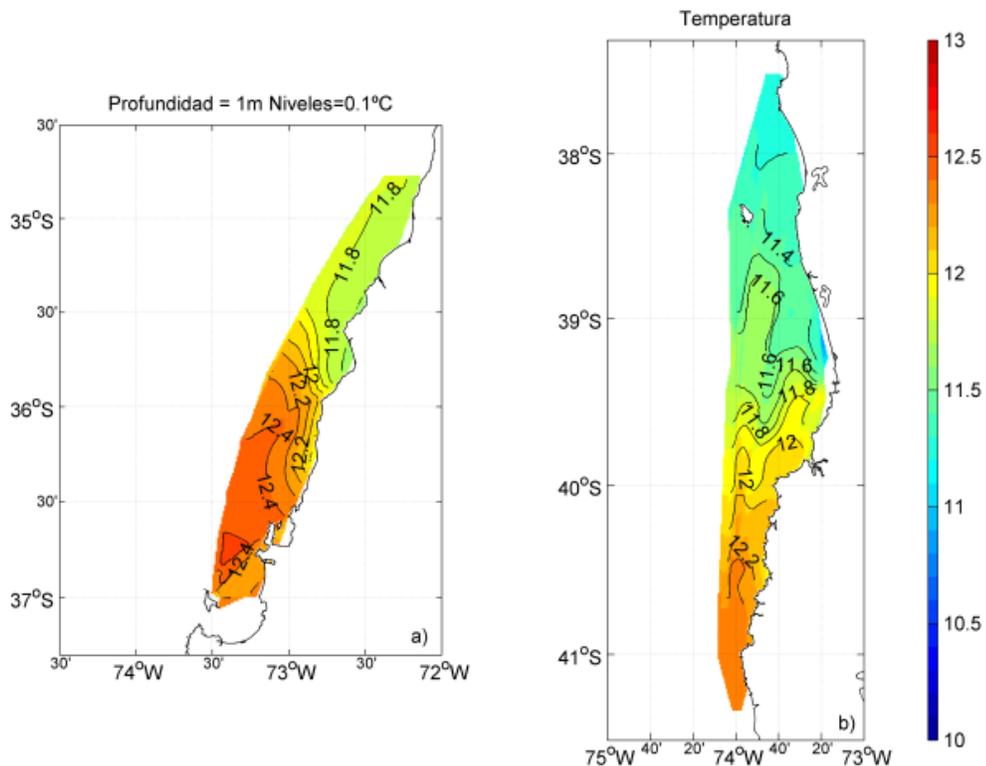


Figura 3: Distribución superficial promedio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b).

En la capa superficial, a 1 metro de profundidad, al norte de punta Lavapié las mayores temperaturas (12°C a $12,4^{\circ}\text{C}$) se observaron entre el golfo de Arauco (37°S) y Cobquecura (36°S) (**Fig. 3a**). Mientras que al sur de punta Lavapié entre $41,5^{\circ}\text{S}$ y la desembocadura del río Valdivia, las mayores temperaturas fueron entre $12,2^{\circ}\text{C}$ y 12°C (**Fig. 3b**). Al norte de Cobquecura las temperaturas disminuyeron hasta $11,6^{\circ}\text{C}$ principalmente en la costa, mientras que al norte de Valdivia las temperaturas descendieron hasta $11,2^{\circ}\text{C}$ cerca de punta Lavapié.

La salinidad promedio al norte de punta Lavapié bordearon los 33,7 incrementándose levemente hacia una banda costera (**Fig. 4a**). Al sur de punta Lavapié las salinidades superficiales promedio descendieron a rangos entre 33,3 (hacia el sur del río Valdivia) y 32,7 (adyacente a punta Lavapié) (**Fig. 4b**).

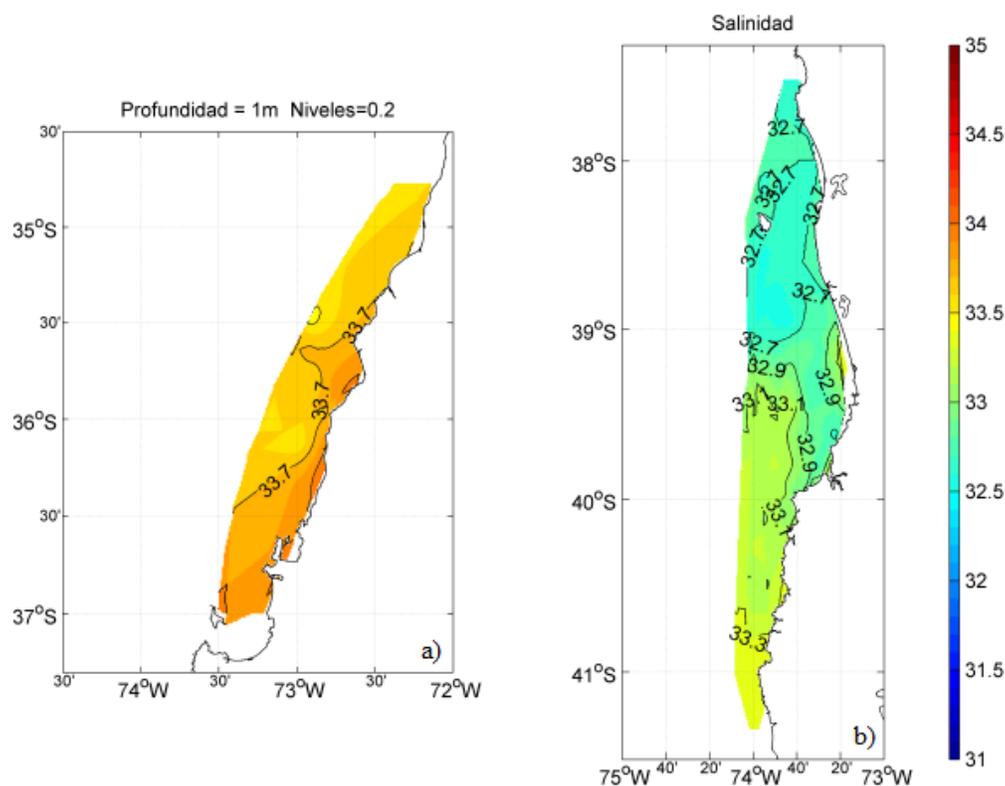


Figura 4: Distribución superficial promedio de salinidad al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b).

Al norte de punta Lavapié la densidad superficial mostró la formación de una banda costera de $25,8(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$ que disminuyó hacia el oeste hasta alcanzar $25,4(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$ (**Fig. 5a**). Las menores densidades se observaron desde punta Lavapié hasta el norte del río Valdivia con densidades entre 25 a $24,6(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$ (**Fig. 5b**). Al sur de la desembocadura del río Valdivia las densidades incrementaron hasta $25,2(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$.

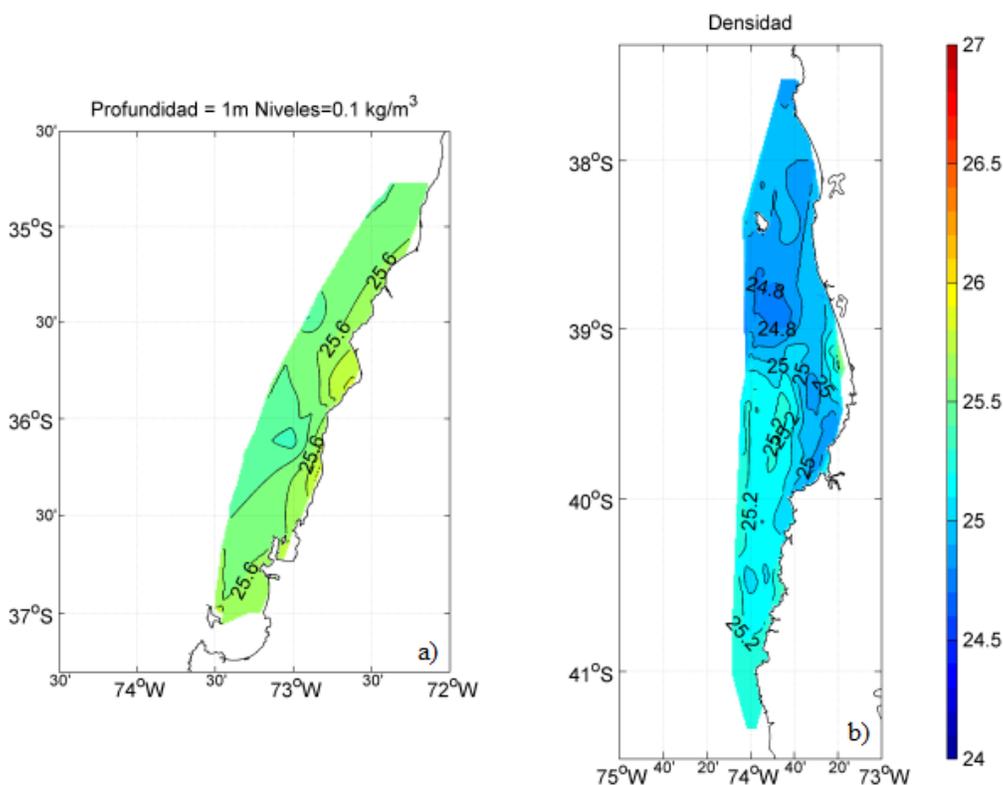


Figura 5: Distribución superficial promedio de densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b).

Distribución horizontal a 10 metros de profundidad

La distribución espacial de temperatura a 10 metros de profundidad fue similar a la observada en superficie, para ambos sectores. Al norte de punta Lavapié (**Fig. 6a**), las temperaturas variaron entre 12,4°C entre el golfo de Arauco y Cobquecura y disminuyeron a 11,4°C al norte de los 35,5°S. Al sur de punta Lavapié, las mayores temperaturas de 12°C se observaron al sur de la desembocadura del río Valdivia, mientras que al norte de la desembocadura disminuyeron hasta 11,2°C (**Fig. 6b**).

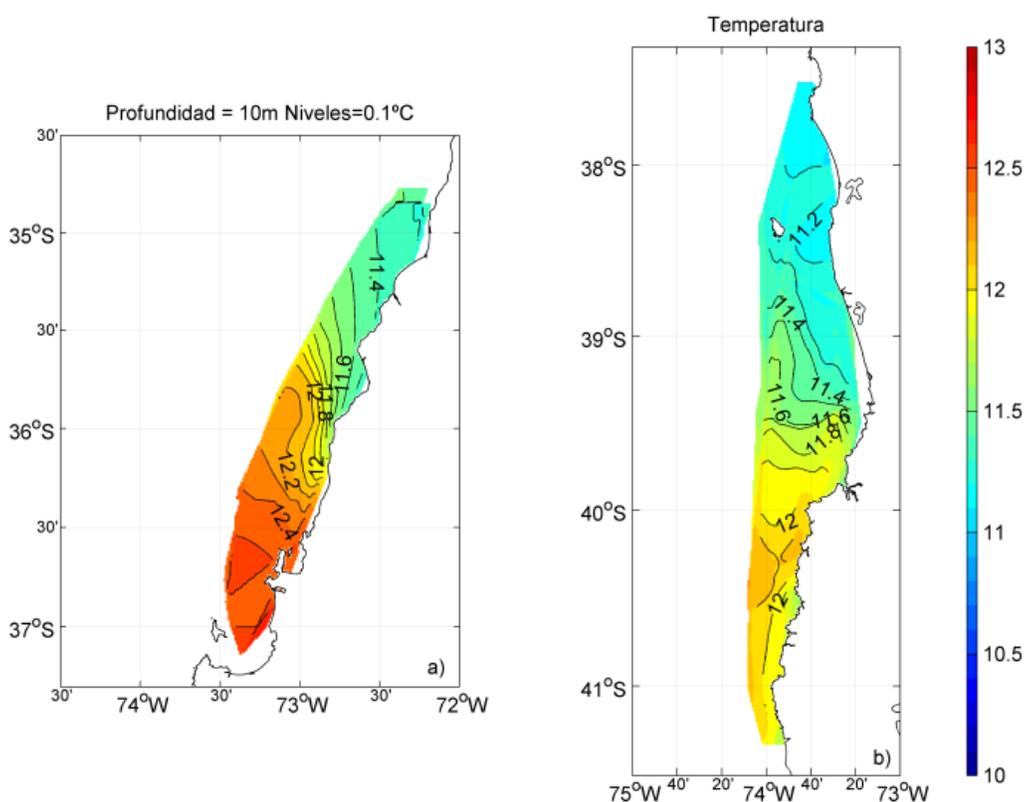


Figura 6: Distribución promedio de temperatura (°C) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b) a 10 metros de profundidad.

A 10 metros de profundidad, se observó un aumento de salinidad que alcanzo 34,1 en la banda costera de la zona al norte de punta Lavapié (**Fig. 7a**). Lo mismo ocurrió en la zona al sur de punta Lavapié donde la salinidad promedio incrementó de norte a sur entre 32,7 a 33,5 (**Fig. 7b**).

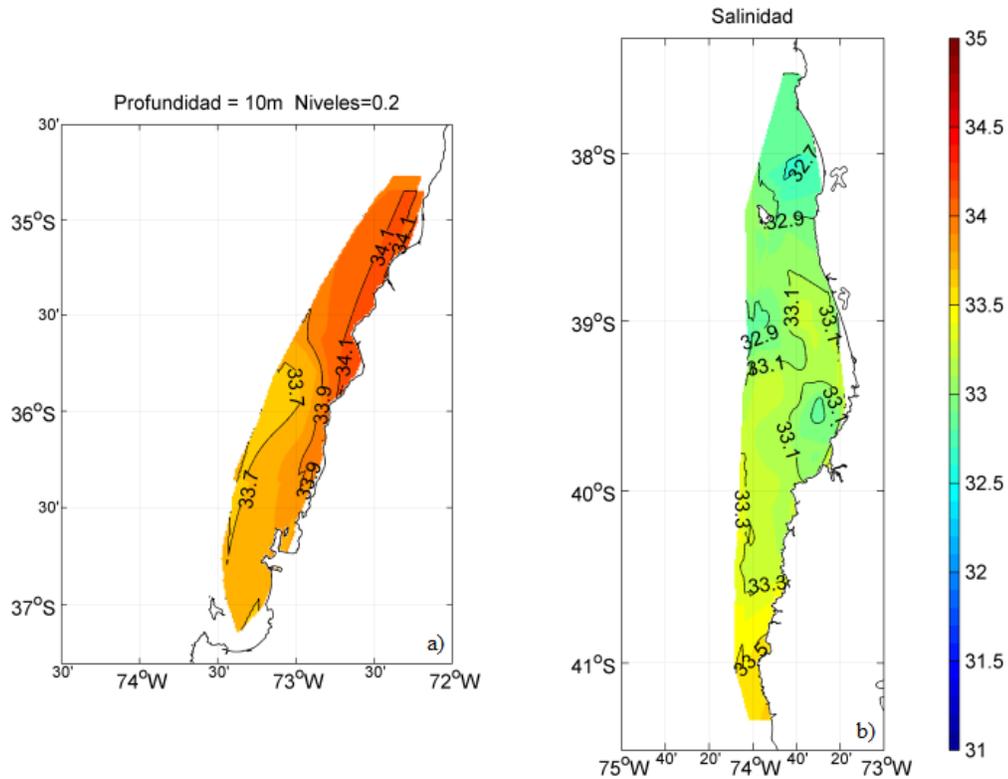


Figura 7: Distribución promedio de salinidad al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b) a 10 metros de profundidad.

Respecto del promedio de las densidades observadas al norte de punta Lavapié, su distribución pareció estar asociada a la distribución de salinidad, dividiendo la zona por un frente marcado por la isopícnica de 25,8 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), al norte de la cual la densidad incrementó hasta 26 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) y al sur disminuyó hasta 25,5 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) (**Fig. 8a**). Al sur de punta Lavapié, las menores densidades se observaron al norte de la desembocadura del río Valdivia,

mientras que las mayores densidades se concentraron al sur de la misma desembocadura (**Fig. 8b**).

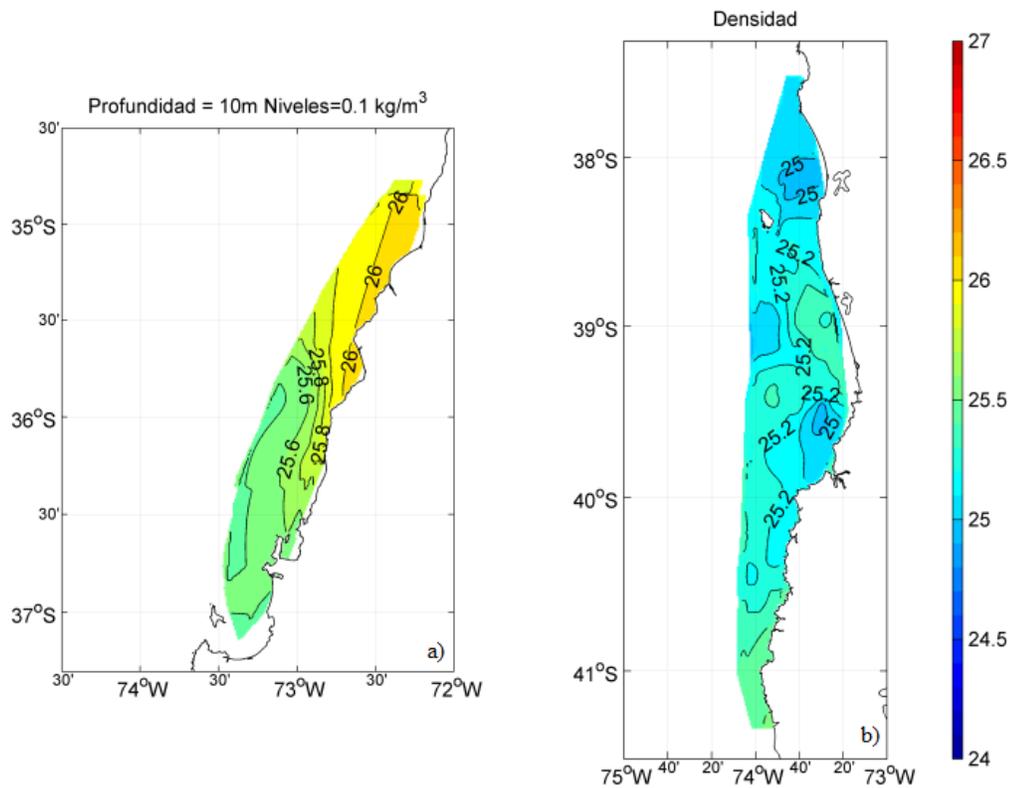


Figura 8: Distribución promedio de densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b) a 10 metros de profundidad.

Distribución horizontal a 50 metros de profundidad

La temperatura a 50 metros de profundidad presentó una menor variabilidad (**Fig. 9a**), con rangos entre 11,3°C a 10,9°C, aunque permaneció el gradiente latitudinal, en el sector al norte de punta Lavapié. Al sur de punta Lavapié se intensificó un núcleo en 39°S mostrando los mínimos de temperatura (10,4°C) que aumentaron hacia el sur (11,2°C) (**Fig. 9b**).

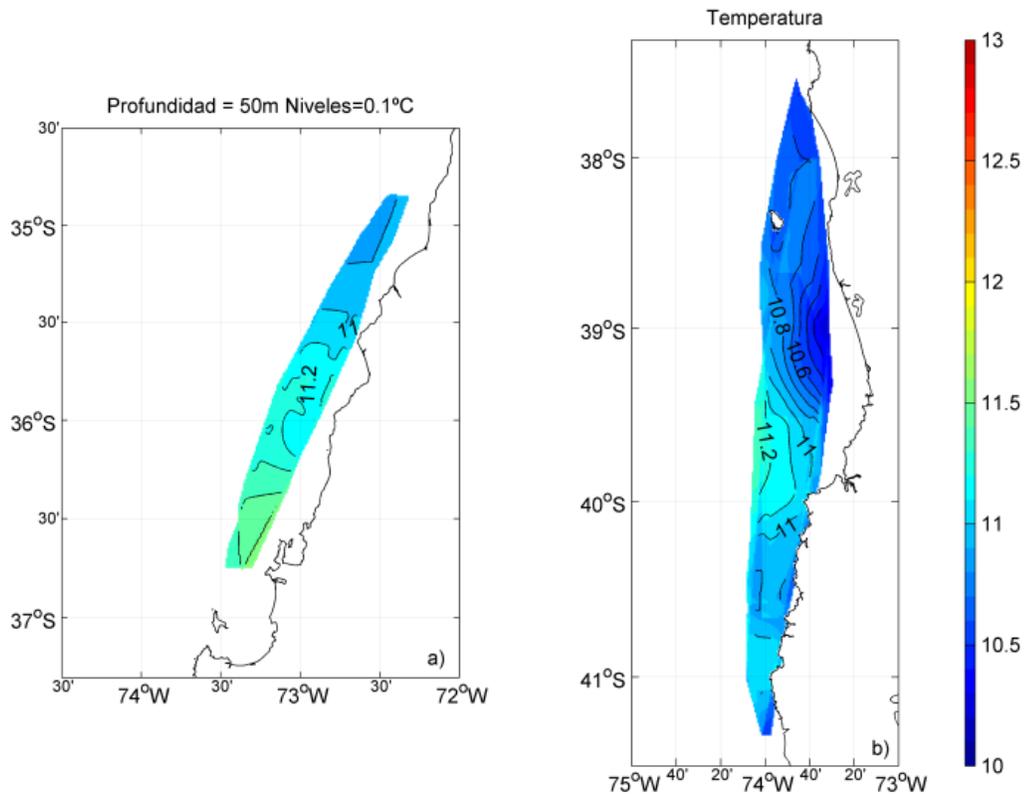


Figura 9: Distribución promedio de temperatura (°C) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b) a 50 metros de profundidad.

La distribución de salinidad al norte de punta Lavapié se observó más homogénea con valores centrados en 34,3 (**Fig. 10a**), mientras que al sur de punta Lavapié (**Fig. 10b**)

las salinidades fluctuaron entre los 33,7 en el sector oeste y 34,1 en el sector costero cerca de 39°S.

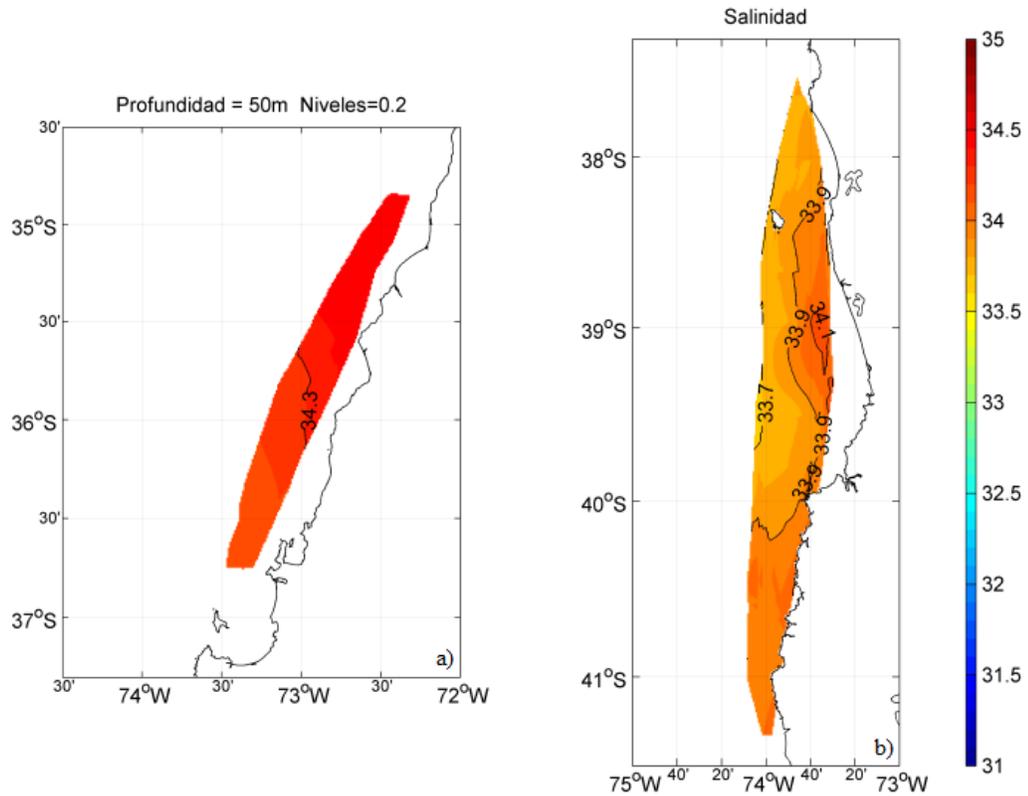


Figura 10: Distribución promedio de salinidad al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b) a 50 metros de profundidad.

La densidad mostró menos diferencias al norte de punta Lavapié ($26,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a $26,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), aunque con un incremento hacia el norte de 36°S (**Fig. 11a**). Al sur de punta Lavapié persistió un núcleo de mayores densidades ($>26 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) centrado en 39°S y hacia el sur, formando una banda costera (**Fig. 11b**).

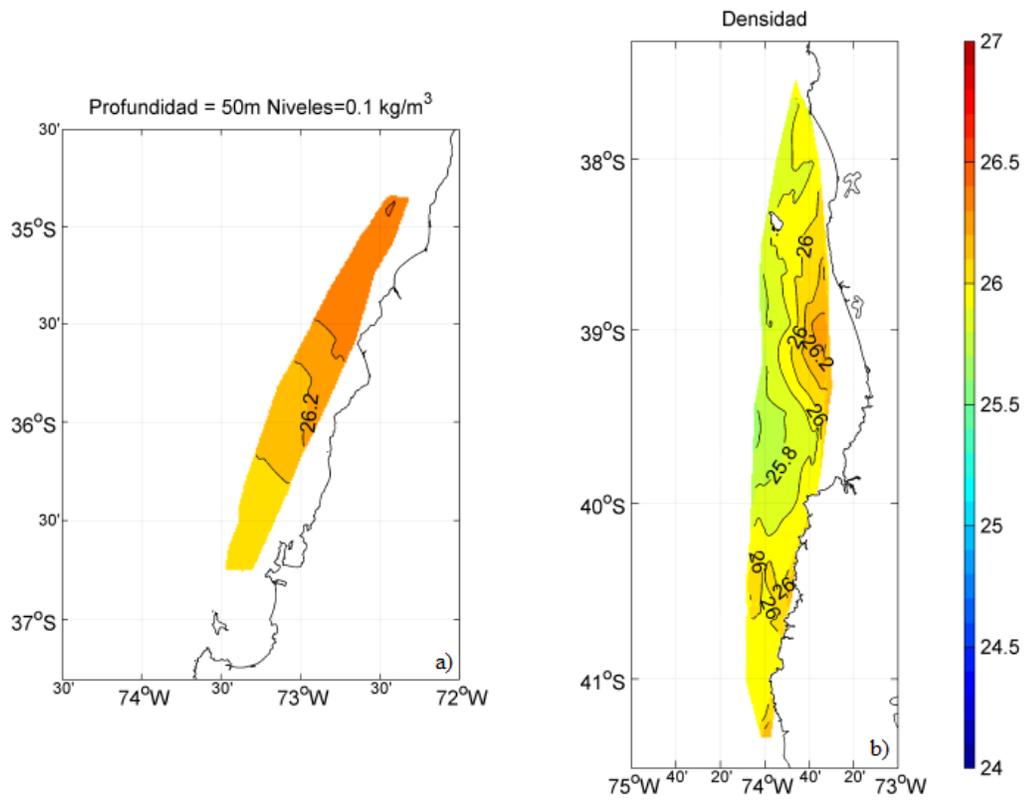


Figura 11: Distribución promedio de densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b) a 50 metros de profundidad.

Distribución vertical promedio

Se presentan las distribuciones verticales promedio de temperatura, salinidad y densidades de 4 transectas perpendiculares a la costa, ubicadas en las latitudes: 35,5°S - 36,5°S - 38,5°S y 39,5°S.

La distribución promedio de temperatura de la transecta ubicada en 35,5°S (**Fig. 12**), mostró un ascenso de las isotermas hacia la costa formando una zona frontal débil. Sobre los 10 metros afloraron las isotermas entre 11,9°C y 11,7°C mostrando la formación de una banda costera de menor temperatura. Entre 10 y 40 metros de profundidad las isotermas entre 11,6°C y 11,1°C ascendieron hacia la costa, mientras que bajo los 40 metros las temperaturas presentaron menor variabilidad y fueron cercanas a 11°C. Con una distribución similar a las observadas en las temperaturas, las isohalinas de mayor salinidad ascendieron hacia la costa lo que evidenció que junto a una menor temperatura, se observó una mayor salinidad (33,8 a 33,9) respecto de las aguas adyacentes (33,6). En profundidad se observó un rápido incremento en la salinidad llegando a 34 en los 10 metros de profundidad, 34,2 a 20 metros y 34 a 40 metros, todas con ascensos hacia la costa.

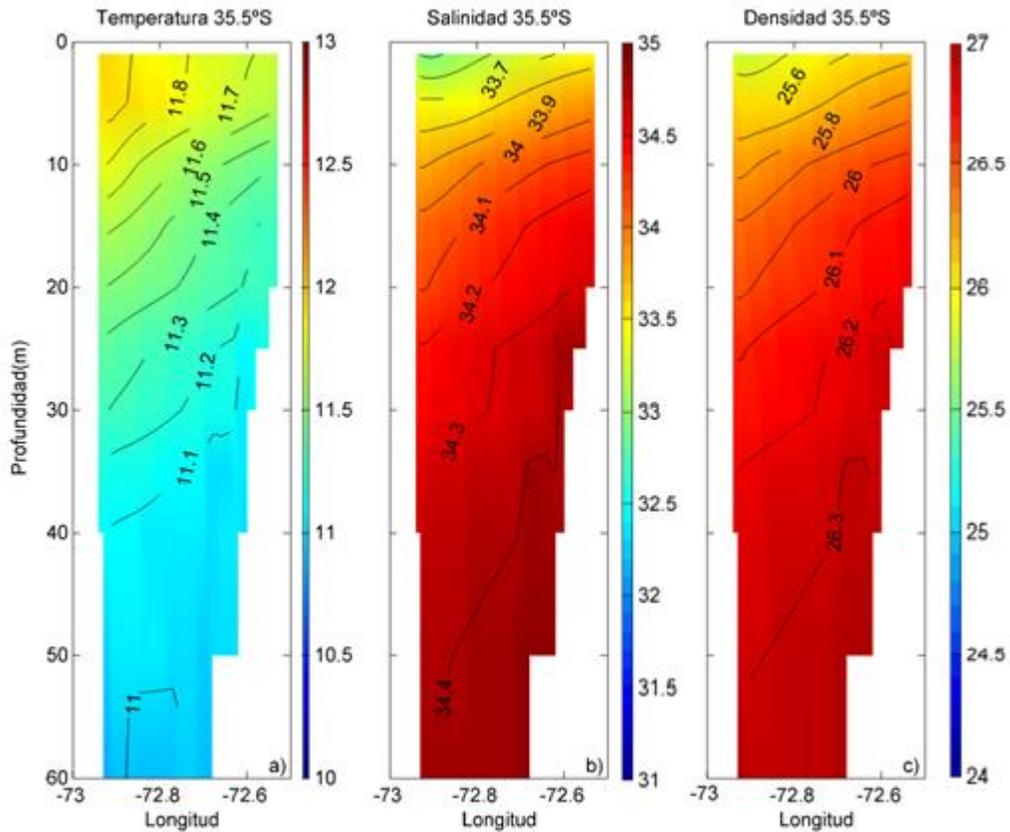


Figura 12: Distribución promedio de (a) temperatura (°C), (b) salinidad y (c) densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de una transecta perpendicular a la costa ubicada en 35,5°S.

En la transecta de 36,5°S (**Fig. 13**), el comportamiento de las isolíneas fue similar a lo observado en la transecta descrita anteriormente. Las temperaturas que afloraron fueron del orden de 12,4°C, con un núcleo cálido hacia afuera de la costa, mientras que bajo los 30 metros las isothermas de 12°C a 11,8°C mostraron inclinación hacia abajo cerca del límite del fondo al igual que algunas isopicnas (25,8 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). Las isohalinas ascendieron hacia la costa en toda la columna de agua (33,9 a 34,1) y afloraron las de 33,7 y 33,8. Las isopicnas siguieron el comportamiento de la temperatura y salinidad, mostrando una banda costera de mayores densidades (25,6 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) y un frente costero débil ya que las isopicnas aparecieron verticalmente sobre los 20 metros de profundidad.

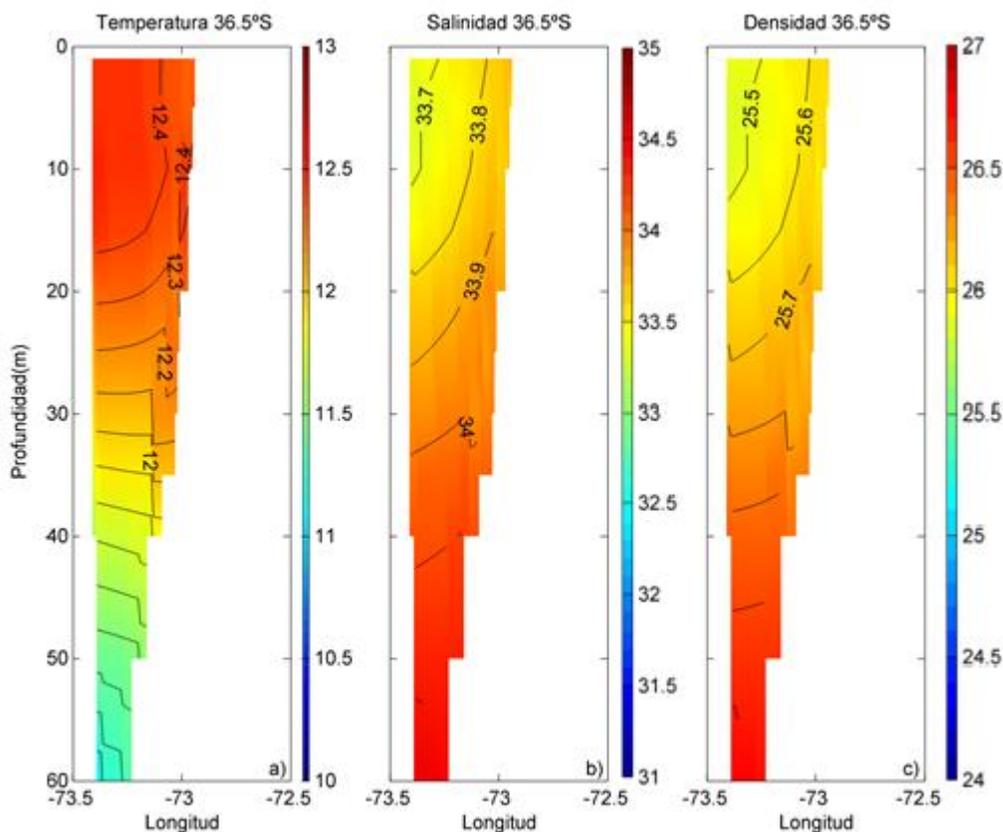


Figura 13: Distribución promedio de (a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (b) salinidad y (c) densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de una transecta perpendicular a la costa ubicada en $36,5^{\circ}\text{S}$.

La transecta ubicada en los $38,5^{\circ}\text{S}$ (**Fig. 14**), mostró temperaturas menores en toda la columna de agua, de $11,4^{\circ}\text{C}$ y $11,3^{\circ}\text{C}$ en superficie a $10,4^{\circ}\text{C}$ a 50 metros de profundidad. Las isotermas bajo los 20 metros presentaron un leve alzamiento cerca de la costa, pero un ascenso intenso (>10 metros) adyacente a un hundimiento entre $73,8^{\circ}\text{W}$ y 74°W . Esta perturbación en la columna de agua coincidió con las perturbaciones de las isolíneas de salinidad y densidad. Las isohalinas, las isotermas y principalmente las isopicnas superficiales revelaron un núcleo de agua salobre o menos salina entre $73,8^{\circ}\text{W}$ y 74°W mostrando probablemente un flujo intenso a lo largo de la costa y asociado a los primeros 10 metros de la columna de agua. Los valores de salinidad se incrementaron en profundidad ($32,7$ a $33,9$), lo mismo ocurrió con los valores de densidad ($24,9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a 26

$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) que también se incrementaron levemente hacia la costa en superficie. El núcleo se ubicó a 35 km de la costa aproximadamente.

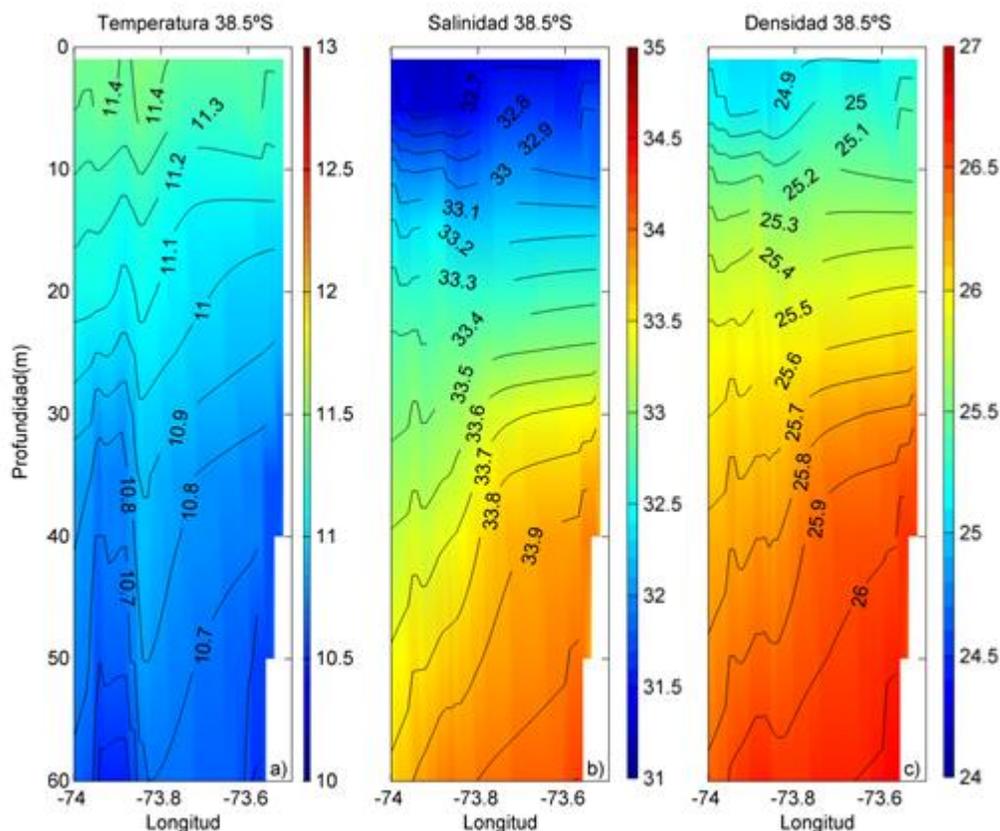


Figura 14: Distribución promedio de (a) temperatura ($^{\circ}\text{C}$), (b) salinidad y (c) densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de una transecta perpendicular a la costa ubicada en $38,5^{\circ}\text{S}$.

En $39,5^{\circ}\text{S}$ (**Fig. 15**), el núcleo de bajas salinidad apareció a 10 km de la costa, asociado al hundimiento de las isotermas e isopicnas, es decir, evidenciando un flujo superficial a lo largo de la costa y sobre los 20 metros de profundidad. Esta transecta mostró temperaturas levemente mayores a las observadas más al norte ($11,9^{\circ}\text{C}$ en superficie a $10,9^{\circ}\text{C}$ a 50 metros de profundidad), mientras que el rango de salinidades fue similar al igual que las densidades.

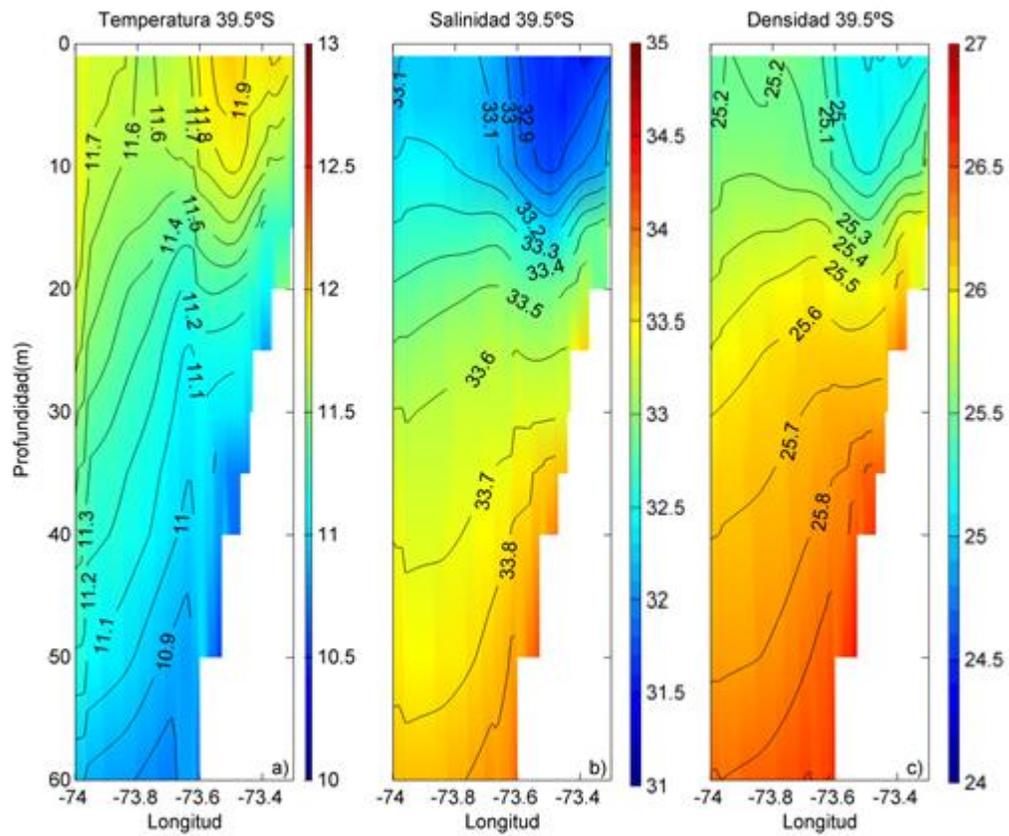


Figura 15: Distribución promedio de (a) temperatura (°C), (b) salinidad y (c) densidad ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) de una transecta perpendicular a la costa ubicada en $39,5^{\circ}\text{S}$.

Distribución horizontal satelital

Las distribuciones satelitales promedio de temperatura (**Fig. 16**), del período de desove mostraron la formación de una banda costera de agua de menor temperatura coincidiendo con los resultados de crucero, con valores levemente mayores (12°C a $12,5^{\circ}\text{C}$) al norte de punta Lavapié. Aunque no se observó la misma situación al sur de punta Lavapié, debido a que el contraste entre la costa y el océano no fue intenso.

Al norte de punta Lavapié las isotermas oceánicas fueron casi paralelas a la costa, mientras que al sur de punta Lavapié fueron perpendiculares a la costa por lo que a una misma latitud el gradiente superó $1,5^{\circ}\text{C}$ en ~ 75 km al norte de punta Lavapié, sin embargo al sur de punta Lavapié no sobrepasó los $0,5^{\circ}\text{C}$ en ~ 30 km. Además, en la zona al sur de punta Lavapié se observó una banda costera, dando evidencia a procesos costeros, a pesar de que en términos de temperatura no difirieron significativamente de la zona oceánica.

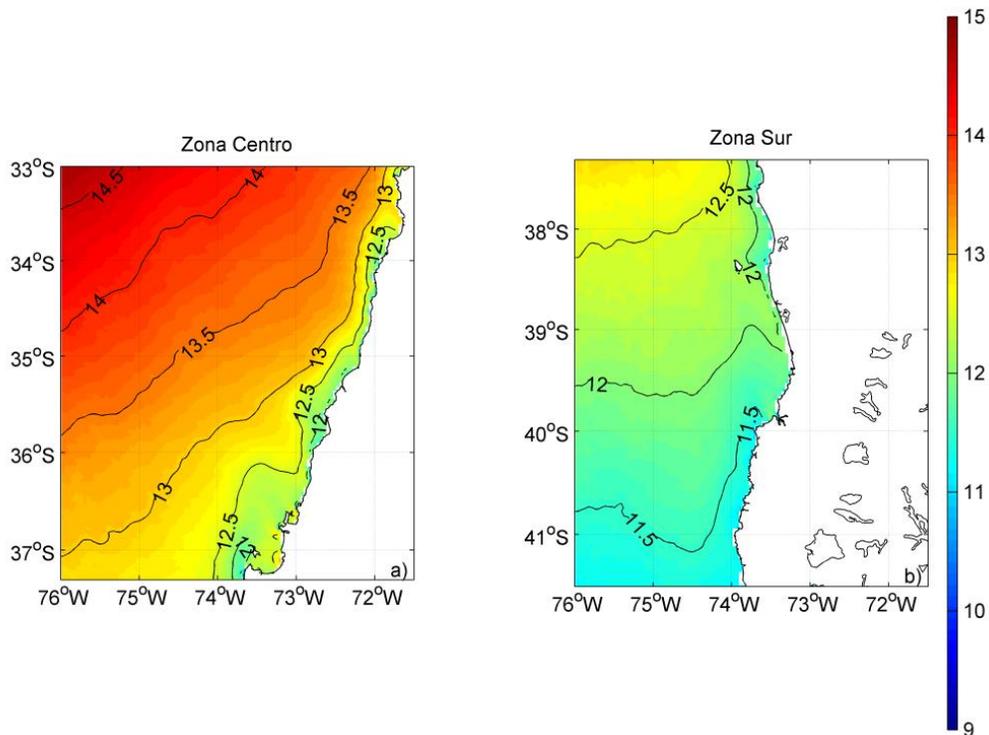


Figura 16: Distribución superficial promedio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b). Fuente: Ocean Color Web.

Por otro lado, la concentración de clorofila satelital promedio (**Fig. 17**) mostró la formación de una banda costera a largo de la zona de estudio (al norte y sur de punta Lavapié), con una extensión zonal de aproximadamente 55 km con concentraciones mayores a 2 ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), llegando en promedio hasta los 5 ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) cercanos a la costa entre los 35°S y el golfo de Arauco, como también frente a los 39°S. El límite exterior de clorofila promedio se vio marcada por el valor de 1 ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), de 100 km tanto al norte como al sur de punta Lavapié, es decir, las concentraciones más significativas de clorofila promedio se encontraron asociadas a los primeros 50 km de la banda costera.

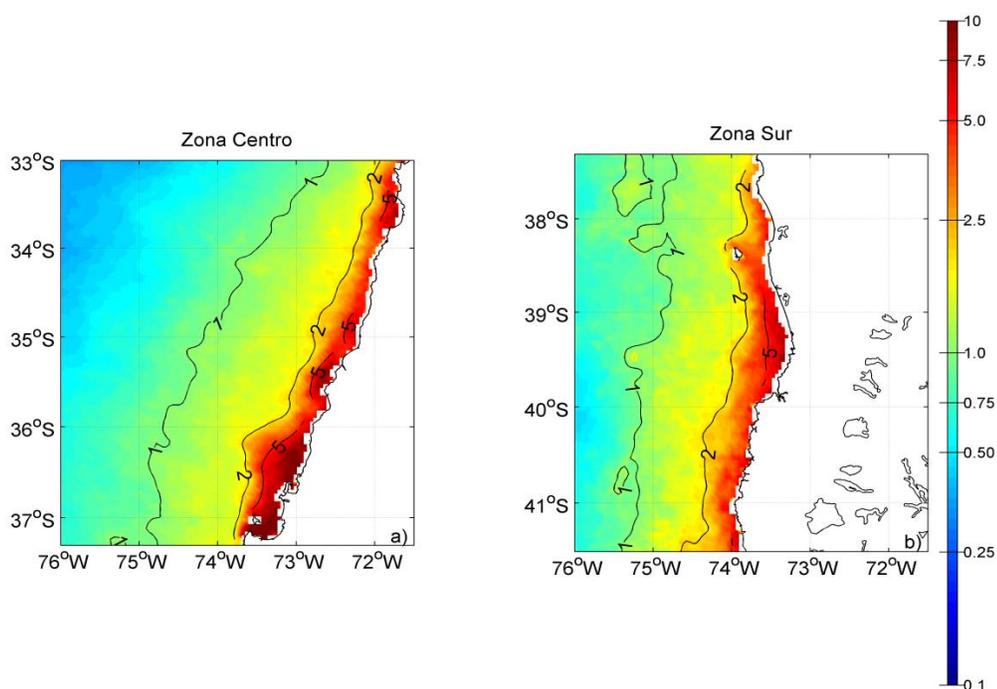


Figura 17: Distribución superficial promedio de clorofila ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b). Fuente: Ocean Color Web.

La circulación promedio en ambas zonas mostraron patrones diferentes (**Fig. 18**). Al norte de punta Lavapié la circulación favoreció el transporte hacia el norte (**Fig. 18a**), incluso hacia fuera de la costa desde los 35°S hacia el norte. Este transporte abarcó los primeros 50 km desde la costa, coincidiendo con la presencia una banda frontal. Además,

los resultados mostraron la presencia promedio de un remolino de mesoescala anticiclónico centrado en los 34,5°S cuyo límite Este se encontró asociado a la circulación tipo meandro que favoreció el transporte hacia el norte.

Al sur de punta Lavapié, la circulación promedio (**Fig. 18b**), mostró cuatro celdas de circulación que favorecieron la retención de la zona. Entre los 39,5°S y los 37,2°S una celda anticiclónica favoreció el transporte hacia la costa y hacia el norte a lo largo de la costa. Adyacente, pero en el sector oceánico (75,5°W) se encontró un remolino ciclónico que en su sección norte favoreció la circulación hacia la costa, pero en su sección sur influyó en el transporte hacia el oeste. Hacia el sur y centrado en los 40,8°S apareció en la zona oceánica otro remolino ciclónico que se caracterizó por un importante flujo hacia la costa que posteriormente siguió la línea costera hacia el sur. Estas tres celdas de circulación encerraron una zona anticiclónica centrada en los 39,5°S pero de muy bajas velocidades y que se encontró definida por frentes térmicos nulos, como también de mayores densidades y salinidades en profundidad, pero menores salinidades y densidades en superficies respecto de las aguas adyacentes asociadas a un importante flujo de agua salobre hacia el norte y la presencia de una intensa zona frontal de origen salino.

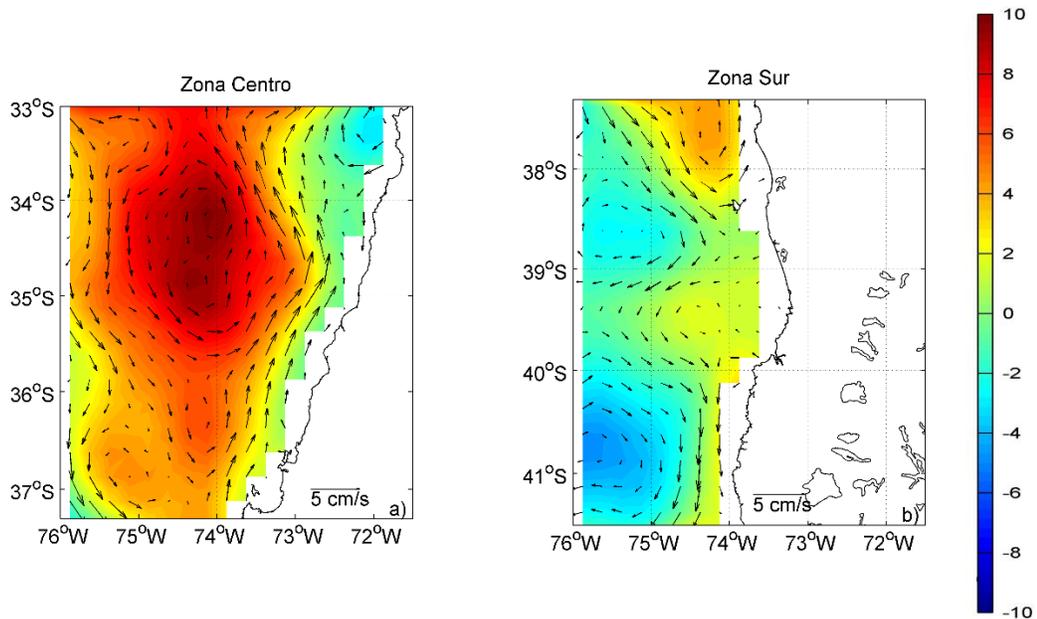


Figura 18: Distribución promedio de la circulación geostrófica ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) y anomalía del nivel de mar (cm) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b). El promedio se obtuvo de la información satelital diaria entre los años 2002 y 2014. Fuente: AVISO.

Finalmente, utilizando gradientes térmicos superficiales se estimó la presencia y distribución de frentes de origen térmico en el área de desove. Estos se apreciaron más intensos al norte de punta Lavapié (**Fig. 19a**), donde abarcaron desde la costa hasta una extensión de aproximadamente 40 a 50 km. Estas estructuras tendieron a moverse entre la costa y el límite exterior de la zona frontal. En esta zona aparecieron zonas costeras donde no se apreció la presencia de frentes, asociados a la desembocadura del río Biobío y del río Itata. Al sur de punta Lavapié (**Fig. 19b**), los frentes térmicos aparecieron formando una banda solamente al norte de $38,5^{\circ}\text{S}$, mientras que hacia el sur fueron débiles y difusos.

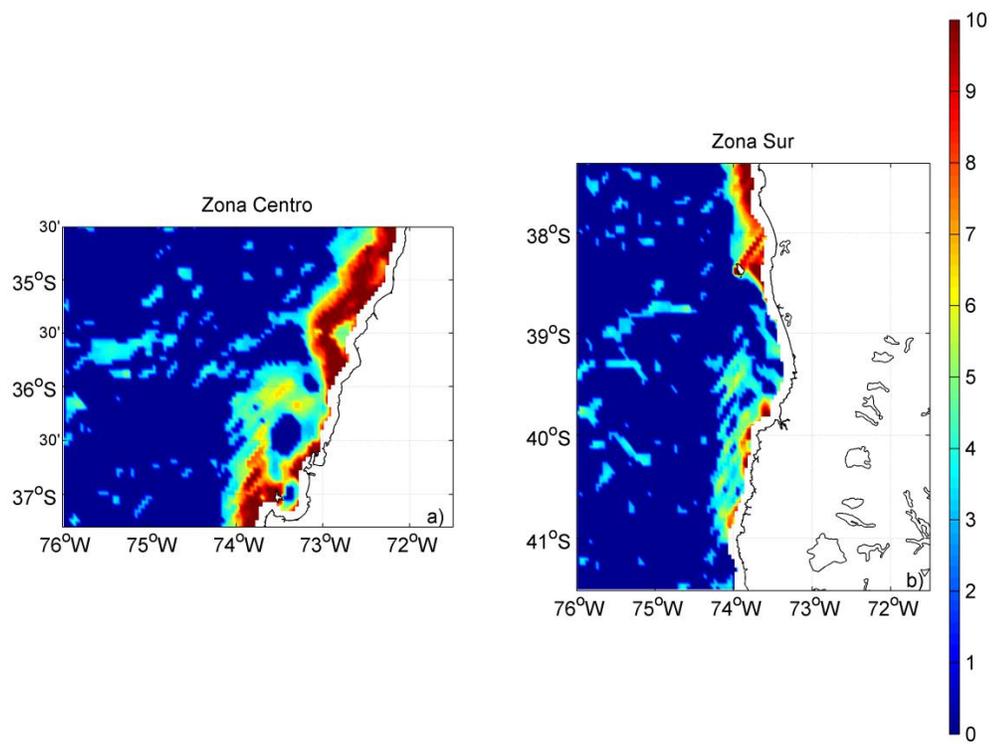


Figura 19: Bandas de zonas frontales térmicas ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{km}^{-1}$) al norte de punta Lavapié (a) y al sur de punta Lavapié (b).

DISCUSIÓN

La zona de desove de la sardina común y la anchoveta en la zona centro sur de Chile (34,5°S a 41,5°S) (**Fig. 2**) muestra una serie de complejidades asociadas a la heterogeneidad topográfica, la variabilidad oceanográfica y meteorológica observada durante el período de primavera (Bernal et al., 2004; Cubillos et al., 2006; Cubillos et al., 2008, 2009; Cubillos et al., 2010; Cubillos et al., 2011; Cubillos et al., 2013; Parada et al., 2013).

Los resultados provenientes de datos hidrográficos y la distribución promedio de las variables satelitales mostraron que entre el sector al norte de punta Lavapié (34,5°S - 37,2°S) y el sector al sur de punta Lavapié (37,2°S - 41,5°S), existieron similitudes asociadas a la generación de una banda costera de menor temperatura y una alta concentración de clorofila, pero con diferencias significativas asociadas a la salinidad, circulación e influencia de ríos.

Al norte de punta Lavapié, los promedios hidrográficos mostraron un inesperado incremento de la temperatura hacia el sur evidenciado por un gradiente latitudinal de casi 1°C en 150 km, mientras que la salinidad y la densidad, bajo la capa de 10 metros de profundidad, se incrementaron desde punta Lavapié a la desembocadura del Itata. En esta zona las mayores temperaturas promedio se concentraron entre el golfo de Arauco y bahía Coliumo abarcando en toda la columna de agua. En superficie se apreció una banda costera de menor temperatura, mayor salinidad y mayor densidad, asociada a los continuos procesos de surgencia costera que ocurren en primavera-verano por lo que prevalecen en la climatología (Sobarzo, 1994; Castro et al., 1997; Strub et al., 1998; Letelier et al., 2009).

Al norte de punta Lavapié, la lengua de surgencia se proyecta hacia el noroeste junto con el chorro costero (Leth & Shaffer, 2001; Mesias et al., 2001, 2003; Letelier et al., 2009) generando celdas de circulación adyacentes sobre la plataforma y vinculadas con el golfo y las bahías en un efecto de sombra de surgencia, que explica las características

hidrográficas encontradas (temperatura, salinidad y densidad) (Graham & Largier, 1997; Escribano & Hidalgo, 2001; Marin et al., 2003) y los procesos de retención que se pueden presentar en la zona (Parada, 1999; Parada et al., 2001; Valle-Levinson et al., 2004; Landaeta & Castro, 2006; Thiel et al., 2007; Parada et al., 2013).

A su vez, la surgencia de punta Nugurne (35,9°S) produjo una disminución de la temperatura e incrementó de la salinidad de la zona, explicando el aumento de temperatura hacia el sur y el incremento de la salinidad y densidad hacia el norte (Arcos & Salamanca, 1984; Kelly & Blanco, 1984; Sobarzo, 1994). Además, las corrientes geostróficas mostraron que en toda esta zona los flujos sobre la plataforma tienden hacia el norte a lo largo de la costa y hacia el oeste por el transporte de Ekman (Lentz, 1992), por lo que la zona de sombra de surgencia como también el golfo y las bahías son las que permitirían o mejorarían la retención. Las transectas ubicadas en 35,5°S y 36,5°S mostraron el ascenso costero de las isolíneas y la presencia de una estructura frontal cercana a la costa que fue más intensa al sur de los 36°S. La presencia de esta zona frontal fue coherente con las zonas frontales de origen térmico (gradientes de temperatura satelital) descritas para la zona (Letelier et al., 2009). La posición promedio de estos frentes, paralelos a la costa, fueron también coherentes con el decaimiento de la temperatura hacia la costa y espacialmente con los flujos geostróficos predominantes hacia el norte observados con altimetría.

Al sur de punta Lavapié (37,2°S - 41,5°S), tal como ocurrió al norte se produjo un aumento de la temperatura hacia el sur del orden de 0,8°C en 200 km. De la misma manera se observó un aumento de salinidad y densidad hacia el sur de la zona sobre los 10 metros de profundidad. En profundidad, bajo los 20 metros, al mismo tiempo que continuó el descenso de temperatura hacia el sur, donde apareció un núcleo de menor temperatura, mayor salinidad y mayor densidad centrado en los 39,5°S. Este núcleo se manifestó hasta los 60 metros de profundidad y pareció responder a una dinámica local. Las distribuciones de densidad y salinidad superficiales revelaron una banda de agua salobre que se proyectó desde la salida del río Valdivia hacia el norte encerrando un cuerpo de agua en la curvatura interna de la costa que fue coincidente espacialmente con el núcleo costero descrito.

Las transectas ubicadas en 38,5°S y 39,5°S mostraron claramente un flujo de agua salobre (<33), proveniente de la desembocadura del río Valdivia) que se alejó de la costa en la medida que se desplazó al norte y que tiene una influencia hasta los 20 metros de profundidad en la salinidad, pero al mismo tiempo se generó una perturbación en toda la columna de agua en la temperatura y densidad.

Los frentes al sur de punta Lavapié, se encontraron dominados por gradientes salinos por lo que no aparecieron en la información satelital. No obstante lo anterior, formaron una zona frontal paralela a la costa con un frente interno y externo a la pluma de agua salobre cuya influencia se extendió a más de 20 metros de profundidad.

Los patrones de circulación promedio al norte de punta Lavapié favorecieron el flujo hacia el norte, pero al sur de punta Lavapié tendieron hacia la costa en 38,5°S y 40°S, formando un circuito anticiclónico de baja intensidad de corrientes entre estas dos latitudes. La distribución latitudinal de las corrientes zonales corroboró estos resultados sugiriendo que dentro de la zona de desove fueron de baja energía y que se encontraron asociadas a frentes intensos salinos presentándose como un área favorable para procesos de retención, enriquecimiento y concentración (Bakun, 1996; Bakun, 2006; Parada et al., 2013).

CONCLUSIÓN

Las zonas ubicadas al norte y sur de punta Lavapié presentaron características comunes: una banda costera de bajas temperaturas y altas concentraciones de clorofila, que mostraron significativas diferencias oceanográficas asociadas a hidrografía y corrientes.

Las distribución promedio de corrientes calculadas mediante observaciones satelitales del nivel del mar mostraron que al norte de punta Lavapié los flujos favorecieron el transporte hacia al norte a lo largo de la costa, mientras que al sur de punta Lavapié tendieron hacia la costa dentro de una circulación anticiclónica de menor intensidad.

En la distribución promedio, el incremento de temperatura hacia la zona entre el golfo de Arauco y la desembocadura del Itata se vio asociado al efecto de sombra de surgencia generado por la proyección de agua aflorada hacia el oeste de punta Lavapié.

La distribución promedio de las variables satelitales e hidrográficas mostró la presencia de estructuras frontales de carácter térmico al norte de punta Lavapié y de origen salino al sur de punta Lavapié, asociados al afloramiento de agua y a flujos de agua dulce, respectivamente.

REFERENCIAS

- Arcos, D., S. Nuñez & A. Acuña. 1996. Variabilidad de pequeña escala en la zona nerítica del sistema de surgencia de Talcahuano (Chile central): Identificación y dinámica de áreas de retención larval. *Gayana Oceanologica*. 4 ((1)): 21-58.
- Arcos, D., S. Nuñez, L. Castro & N. Navarro. 1987. Variabilidad vertical de clorofila en un área de surgencia frente a Chile central. *Investigaciones Pesqueras*. 34: 47-55.
- Arcos, D. & M. Salamanca. 1984. Distribución de clorofila y condiciones oceanográficas superficiales frente a Chile central (Latitudes 32° S - 38° S , Febrero 1982). *Biología Pesquera*. 13: 5-14.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean. Ocean process and population dynamics. California Sea Grant College System, National Oceanic and Atmospheric Administration in cooperation with Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (1996), Roma, Italia, 323 pp.
- Bakun, A. 2006. Fronts and eddies as key structures in the habitat of marine fish larvae: opportunity, adaptive response and competitive advantage. *Scientia Marina*. 70 (S2): 105-122.
- Bakun, A. & C. S. Nelson. 1991. The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions. *Journal of Physical Oceanography*. 21 (12): 1815 - 1834.
- Barbieri, M. A., M. Bravo, M. Farías, A. González, O. Pizarro & E. Yáñez. 1995. Fenómenos asociados a la estructura térmica superficial del mar observados a través de imágenes satelitales en la zona norte de Chile. *Investigaciones Marinas*. 23: 99-122.
- Bernal, C., M. Canales, V. Catasti, A. Sepúlveda, P. Ruiz, R. Alarcón, S. Núñez, C. Oyarzún, S. Gacitúa, G. Claramunt & G. Herrera. 2004. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y Regiones, año 2003. edited by F. N. 2003-06, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, pp. 199.
- Brink, K. 1987. Upwelling fronts: Implications and unknowns. *South African Journal of Marine Science*. 5: 3-9.

- Cáceres, M. 1990. Variabilidad espacial y temporal de la temperatura superficial del mar (TSM) frente a Concepción, Chile central, usando Percepción Remota. Tesis para optar al Título de Magíster en Ciencias Mención Oceanografía. Universidad de Concepcion, Departamento de Oceanografía, Facultad de Ciencias Biológicas y Oceanográficas. 90 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.
- 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: 27 - 38.
- Castro, L., R. Quiñones, H. Arancibia, D. Figueroa, R. Roa, M. Sobarzo & M. Retamal. 1997. Areas de desove de anchoveta y sardina común en la zona central. Fondo de Investigación Pesquera, Concepción, pp. 235.
- 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.
- Cubillos, L., L. Castro & G. Claramunt. 2008. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2007. edited by F. N. 2007-06, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso.
- Cubillos, L., L. Castro & G. Claramunt. 2009. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2008. edited by F. N. 2008-09, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso.
- Cubillos, L., L. Castro & G. Claramunt. 2011. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010. edited by F. 2010-02, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso.
- Cubillos, L., L. Castro, G. Claramunt & E. Navarro. 2013. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2012. Fip N° 2012-09. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, pp. 345.
- Cubillos, L., L. Castro, G. Claramunt, E. Navarro, C. Alarcón, M. Zúñiga, C. Castillo-Jordán, M. Pedraza & H. Rebolledo. 2010. Evaluación del stock desovante de anchoveta y

- sardina común en la zona centro-sur, año 2009. edited by F. 2009-08, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso.
- Cubillos, L., L. Castro, G. Claramunt & C. Oyarzún. 2006. Evaluación del Stock Desovante de Anchoqueta y Sardina común entre la V y X Región, año 2005. edited by F. N. 2005-02, Instituto de Fomento Pesquero Valparaíso.
- Djurfeldt, L. 1994. The influence of physical factors on a subsurface chlorophyll maximum in a upwelling area. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 39: 389-400.
- Escribano, R. & P. Hidalgo. 2001. Circulación inducida por el viento en Bahía de Antofagasta, norte de Chile (23°S). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 36 (001): 43-60.
- Fedorov, K. & N. Kuz'mina. 1977a. Fronts in the ocean. En. Mesoscale Variability of an Oceanic temperature Field. IOAN (Eds.). Moscow pp. 33-53.
- Fedorov, K. N. 1985. The physical nature and structure of oceanic fronts. Springer-Verlag, Berlin, New York, London, Paris, Tokyo, 333 pp.
- Fedorov, K. N. & N. P. Kuz'mina. 1977b. Fronts in the ocean. En: IOAN (Eds.). Mesoscale Variability of an Oceanic temperature Field., Moscow, pp. 33-53.
- Fonseca, T. & M. Farías. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción remota. *Investigaciones Pesqueras*. 34: 33 - 46.
- Graham, W. M. & J. L. Largier. 1997. Upwelling shadows as nearshore retention sites: the example of northern Monterey Bay. *Continental Shelf Research*. 17 (5): 509-532.
- Grob, C., R. Quinonez & D. Figueroa. 2003. Cuantificación del transporte de agua costero-oceano a través de filamentos y remolinos ricos en clorofila-a, en la zona centro-sur de Chile (35.5°-37.5°S). *Gayana Oceanologica*. 67 (1): 55-67.
- Hormazábal, S., G. Shaffer, J. Letelier & O. Ulloa. 2001. Local and remote forcing of the sea temperature in the coastal upwelling system off Chile. *Journal of Geophysical Research*. 106 (C8): 16657-16671.
- Hormazábal, S., G. Shaffer & O. Leth. 2004. The coastal transition zone off Chile. *Journal of Geophysical Research*. 109 (C01021): doi:10.1029/2003JC001956.
- Kelly, R. & J. L. Blanco. 1984. Proceso de surgencia en Punta Nugurme, Chile (Lat. 36° S), marzo 1983. *Investigaciones Pesqueras*. 31: 89 -94.

- Landaeta, M. & L. Castro. 2006. Spawning and larval survival of the Chilean hake *Merluccius gayi* under later summer conditions in the Gulf of Arauco, central Chile. *Fisheries Research*. 77: 115-121.
- Lentz, S. J. 1992. The surface boundary layer in coastal upwelling regions. *Journal of Physical Oceanography*. 22: 1517- 1539. doi: 10.1175/1520-0485.
- 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.
- Leth, O. & G. Shaffer. 2001. A numerical study of seasonal variability in the circulation off central Chile. *Journal of Geophysical Research*. 106 (C10): 22229-22248.
- Marin, V., L. Delgado & G. Luna-Jorquera. 2003. S-chlorophyll squirts at 30°S off the Chilean coast (eastern South Pacific): Feature-tracking analysis. *Journal of Geophysical Research*. 108 (C12): 3378, doi:10.1029/2003JC001935.
- 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.
- 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.
- Mooers, C., C. Flagg & W. Boicourt. 1977. Prograde and retrograde fronts. Chapt. II. En: Oceanics fronts in coastal process. Proceedings of a workshop held at the marine sciences research center. May 25-27, Marine Sciences Research Center, State University of New York , USA. pp. 43-58.
- Parada, C. 1999. Influencia de factores físicos en la variabilidad interdiaria de la distribución de estados tempranos de *Engraulis ringens* en el Golfo de Arauco. Tesis para optar al Título de M.S. Universidad de Concepción, Concepción. 98 pp.
- Parada, C., E. Fulton, S. Vásquez, S. Soto-Mendoza, S. Hormazábal, S. Nuñez, M. González, A. Sepúlveda, E. D. Lorenzo, C. Salas, O. Artal & A. Sepúlveda. 2013.

- Estimación de índices de reclutamiento basados en variables y modelos biofísicos de pelágicos pequeños de la zona Centro-sur de Chile: Fase I. Instituto de Investigación Pesquera, pp. 168.
- Parada, C., M. Sobarzo, D. Figueroa & L. Castro. 2001. Circulación del Golfo de Arauco en un periodo de transición estacional: un nuevo enfoque. *Investigaciones Marinas*.29 (1): 11-23.
- Petitgas, P. 2001. Geostatistics in fisheries survey design and stock assessment: models, variances and applications. *Fish and Fisheries*. 2: 231–249.
- Rojas, R. & N. Silva. 1996. Atlas oceanografico de Chile (18°21'S – 50°00'S). Volumen I. Servicio Hidrografico y Oceanografico, Armada de Chile, Valparaíso, Chile, 234 pp.
- Saavedra, N. 1980. La presión y la dirección del viento en Concepción. *Tralka*. 1: 153-162.
- 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. 1994. Oceanografía física entre Punta Nugurne (35°57'S - 72°47'W) y Punta Manuel (38°30'S - 73°31'W), Chile: Una revisión histórica (1936 -1990). *Gayana Oceanologica*. 2 (1): 5 -17.
- Sobarzo, M. 1999. Surgencia costera sobre una plataforma continental limitada por cañones submarinos, concepción, Chile central (36°40'S - 73°15'W). Tesis para optar al Título de Ph.D. Universidad de Concepción, Concepción
- Sobarzo, M., M. Figueroa & L. Djurfeldt. 2001. Upwelling of surface water into the rim of the BíoBío submarine canyon as a response to surface winds. *Continental Shelf Research*.21 (2001): 279-299.
- Soto-Mendoza, S., L. Castro & A. Llano-Rivera. 2010. Variabilidad espacial y temporal de huevos y larvas de *Strangomera bentiki* y *Engraulis ringens*, asociados la desembocadura del río Itata, Chile. in *Revista de biología marina y oceanografía*.
- Strub, P., J. Mesías, V. Montecino, J. Rutlland & S. Salinas. 1998. Coastal ocean circulation off western south America. Chapter 10. En: A. R. Robinson, & K. H. Brink

(Eds.). The sea: The global coastal ocean, regional studies and synthesis. John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 273-313.

Thiel, M., E. C. Macaya, E. Acuña, W. E. Arntz, H. Bastias, K. Brokordt, P. A. Camus, J. C. Castilla, L. R. Castro, M. Cortés, C. P. Dumont, R. Escribano, M. Fernandez, J. A. Gajardo, C. F. Gaymer, I. Gomez, A. E. González, H. E. González, P. A. Haye, J. E. Illanes, J. L. Iriarte, D. A. Lancellotti, G. Luna-Jorquera, C. Luxoro, P. H. Manriquez, V. Marín, P. Muñoz, S. A. Navarrete, E. Perez, E. Poulin, J. Sellanes, H. H. Sepúlveda, W. Stotz, F. Tala, A. Thomas, C. A. Vargas, J. A. Vasquez & A. Vega. 2007. The Humboldt current system of northern and central Chile - Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 45: 195-344.

Thomas, A. 1999. Seasonal distribution of satellite-measured phytoplankton pigment concentration along the Chilean coast. *Journal of Geophysical Research*. 104 (C11): 25877-25890.

Thomas, A. C., P. Strub, M. E. Carr & R. Weatherbee. 2004. Comparisons of chlorophyll variability between the four major global eastern boundary currents. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (7-8): 1443-1447. doi:10.1080/01431160310001592418.

Ulloa, O., R. Escribano, S. Hormazábal, R. Quiñones, R. Gonzalez & M. Ramos. 2001. Evolution and biological effects of the 1997-98 El Niño in the upwelling ecosystem off northern Chile. *Geophysical Research Letters*. 28 (8): 1591-1594.

Valle-Levinson, A., W. Schneider, M. Sobarzo, M. Bello, L. Bravo, M. Castillo, L. Duarte, R. Fuenzalida, J. M. Gallegos, J. Garcés-Vargas, J. González, D. Gutiérrez, C. Molinet, M. S. Navarro, J. Pierinig, E. Rodríguez-Rubio, A. Valdenegro, L. Vera & L. Zenteno. 2004. Wind-induced exchange at the entrance to Concepción Bay, an equatorward facing embayment in central Chile. *Deep Sea Research II*. 51: 2371-2388.

Yuras, G., O. Ulloa, R. Letelier & O. Pizarro. 2004. On the annual cycle of satellite chlorophyll off Chile (18°-40°S). *Gayana*. 68 (2): 611-614.