

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

Caracterización oceanográfica y acoplamiento bento-pelágico en
las bahías de Valparaíso y Concepción.

Trabajo de Titulación para optar al Título de Oceanógrafo

Álvaro Jorquera Valdés

Valparaíso 2017

Comisión de Titulación:

Profesor Guía: Dr. Eduardo Quiroga Jamett _____

Profesor: Dr. Claudio Silva Gallinato _____

Profesor: Dr. Eulogio Soto Oyarzún _____

AUTORIZACIÓN DE USO

Autorizo a la biblioteca de la Escuela de Ciencias del Mar de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, para que disponga libremente del Trabajo de Titulación. Además, autorizo la reproducción parcial o total de este documento sólo con fines académicos.

Álvaro Jorquera Valdés

DEDICATORIA

A mi madre por entregarme su confianza y al profesor Eduardo Quiroga por darme su apoyo y creer en mí desde el primer año de universidad, cuando nadie más lo hacía.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi profesor guía Eduardo Quiroga y Nicole Salinas, por entregarme su ayuda, consejos y tiempo en los momentos más difíciles durante la realización del curso de seminario de titulación en la Escuela Ciencias del Mar. Al Dr. Claudio Silva y su equipo de trabajo por brindarme las herramientas para la elaboración de las imágenes satelitales. Al Dr. Eulogio Soto, por facilitar información para la construcción de mi tesis.

También quiero Agradecer a los profesores Marcela Cornejo, Juan Díaz y Samuel Hormazabal, por su preocupación y apoyo en momentos críticos de mi vida. A Los funcionarios de la facultad por su disponibilidad, amabilidad y palabras de aliento, a mis compañeros de mi generación y a los integrantes del casino de la facultad.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	
COMISIÓN DE TITULACIÓN	i
AUTORIZACIÓN DE USO	iii
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vii
TABLA DE CONTENIDOS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xix
RESUMEN	xxiii
ABSTRACTO	xxv
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	8
OBJETIVO	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
RESULTADOS	20
DISCUSIÓN	62
CONCLUSIÓN	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXO	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1 (a) Distribución de las principales corrientes asociadas al SCH, (b) Distribución de la concentración de clorofila- <i>a</i> superficial.....	3
Fig. 2 Localización de las estaciones correspondientes a la desembocadura Del río Aconcagua.....	11
Fig.3 Localización de las estaciones correspondientes a la Bahía de Valparaíso.....	12
Fig. 4 Localización de las estaciones correspondientes a la Bahía de Concepción.....	13
Fig. 5 Imagen satelital de clorofila- <i>a</i> sin grilla, Bahía de Valparaíso.....	15
Fig. 6 Imagen satelital de clorofila- <i>a</i> con grilla, Bahía de Valparaíso.....	16
Fig. 7 Imagen satelital de clorofila- <i>a</i> sin grilla, Bahía de concepción.....	17
Fig. 8 Imagen satelital de clorofila- <i>a</i> con grilla, Bahía de concepción.....	18
Fig. 9 Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2012.....	20

Fig. 10 Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2012.....	21
Fig. 11 Distribución vertical del oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2012.....	21
Fig. 12 Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.....	22
Fig. 13 Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.....	23
Fig. 14 Distribución vertical del oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.....	23
Fig. 15 Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.....	24
Fig. 16 Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.....	25
Fig. 17 Distribución vertical del oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.....	26

Fig. 18 Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2013.....	27
Fig. 19 Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2013.....	28
Fig. 20 Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2014.....	28
Fig. 21 Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2014.....	29
Fig. 22 Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.....	30
Fig. 23 Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.....	31
Fig. 24 Distribución vertical del oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.....	32
Fig. 25 Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.....	32

Fig. 26 Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.....	33
Fig. 27 Distribución vertical del oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.....	34
Fig. 28 Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2014.....	35
Fig. 29 Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2014.....	36
Fig. 30 Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la Bahía de Valparaíso, abril 2015.....	37
Fig. 31 Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua, para la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2012.....	38
Fig. 32 Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua, para la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.....	39
Fig. 33 Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua, para la desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.....	40

Fig. 34 Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua, para la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2013.....	41
Fig. 35 Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua, para la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2014.....	42
Fig. 36 Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua, para la desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.....	43
Fig. 37 Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua, para la desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.....	44
Fig. 38 Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua, para la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2014.....	45
Fig. 39 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2012.....	47
Fig. 40 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.....	48

Fig. 41 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.....	49
Fig. 42 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, septiembre 2013.....	50
Fig. 43 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, Diciembre 2013.....	51
Fig. 44 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, marzo 2014.....	52
Fig. 45 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.....	53
Fig. 46 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.....	54
Fig. 47 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la	

clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2014.....	55
Fig. 48 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, abril 2015.....	56
Fig. 49 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Concepción, septiembre 2002.....	57
Fig. 50 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Concepción, noviembre2002.....	58
Fig. 51 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Concepción, marzo 2003.....	59
Fig. 52 Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila- <i>a</i> en la Bahía de Concepción, junio 2003.....	60

Fig. 53 Análisis estadístico para las concentraciones de clorofila- <i>a</i> Promedio en sedimento versus los máximos detectados en superficie a través de las imágenes satelitales.....	61
Fig. 54 Resultados históricos de pluviosidad en Concón.....	81

LISTAS DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados obtenidos de temperatura para la Bahía de Valparaíso, abril 2015.....	75
Tabla 2. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2012.....	76
Tabla 3. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.....	77
Tabla 4. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.....	77
Tabla 5. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, septiembre 2013.....	77
Tabla 6. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2013.....	77

Tabla 7. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, marzo 2014.....	77
Tabla 8. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.....	78
Tabla 8. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.....	78
Tabla 10. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2014.....	78
Tabla 11. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, abril 2015.....	78
Tabla 12. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Concepción, septiembre 2002.....	78

Tabla 13. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Concepción, noviembre 2002.....	79
Tabla 14. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Concepción, marzo 2003.....	79
Tabla 15. Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-a para la Bahía de Concepción, noviembre 2002.....	79
Tabla 16. Resultados totales de clorofila- <i>a</i> , extraídos de los sedimentos e Imágenes satelitales.....	80
Tabla 17. Resultados obtenidos del análisis de varianza Kruskal-wallis.....	80
Tabla 18 Resultados históricos de precipitación en Concón.....	81

RESUMEN

El sistema actual de Humboldt es uno de los ecosistemas productivos más importantes del mundo, que se caracteriza por la presencia de una zona mínima de oxígeno, surgencia de agua fría, altos niveles de nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato, silicatos) y un alto variabilidad interanual. Estas características juegan un rol importante en la distribución temporal y espacial de la producción primaria. Los altos niveles de productividad primaria (es decir, biomasa de clorofila) parecen estar muy relacionados con el transporte Ekman, que controla la distribución de clorofila a superficial y, por lo tanto, sobre el fondo marino (acoplamiento pelágico-bentónico). De hecho, los mecanismos físicos (es decir, afloramiento) son importantes para determinar la distribución local de la productividad biológica y su distribución de la clorofila-*a* sobre los sedimentos. Además, la OMZ (<0.5 ml L⁻¹) influye en la preservación de la materia orgánica, lo que explica los niveles elevados de clorofila-*a* en los sedimentos de ambas bahías, en particular en Bahía Concepción. Sin embargo, en nuestro estudio, hay información limitada de oceanografía para verificar esta suposición. Aunque es posible encontrar diferencias en los niveles de producción primaria entre la Bahía de Concepción y la Bahía de Valparaíso. De hecho, nuestros resultados mostraron una relación significativa ($p = 0.014$) entre las concentraciones de clorofila-*a* de superficie medidas con imágenes de satélite y las medidas directamente en el lecho marino utilizando métodos fluorométricos, lo que sugiere un acoplamiento bentónico-pelágico. Sin embargo, es muy importante tener en cuenta que se necesita más información para comprender los mecanismos físicos y químicos asociados a la distribución de la materia orgánica en los ambientes costeros.

ABSTRACT

The Humboldt Current System is one of the most important productive ecosystems in the world, which is characterized by the presence of an oxygen minimum zone, cold-water upwelling, high levels of nutrients (nitrite, nitrate, phosphate, silicates), and a high inter-annual variability. These characteristics play an important role on temporal and spatial distribution of primary production. The high levels of primary productivity (i.e. chlorophyll-a biomass) appear to be highly coupling with Ekman transport, which controlling the distribution of surface chlorophyll-a and therefore, on seabed (benthic-pelagic coupling). In fact, physical mechanisms (i.e. upwelling) are important to determine the local distribution biological productivity and their distribution of the chlorophyll-a on sediments. In addition, the OMZ ($< 0.5 \text{ mL L}^{-1}$) influence the preservation of organic matter, which explains the elevated levels of chlorophyll-a in the sediments for both bays, in particular for Concepcion Bay. However, in our study, there are limited oceanography information to verify this assumption. Although it is possible to find differences in the primary production levels between Concepcion Bay and Valparaíso Bay. Indeed, our results showed a significant relationship ($p=0.014$) between the concentrations of surface chlorophyll-a measured with satellite images with that measured directly on seabed using fluorometric methods, suggesting a benthic-pelagic coupling. However, it is very important to note that more information is required to understand physical and chemical mechanisms associated to distribution of organic matter in coastal environments

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Características oceanográficas.

La región norte del Sistema de Corrientes de Humboldt (SCH) (30° S – 40° S) es altamente complejo y se caracteriza por presentar alternancia de varias corrientes hacia el ecuador y hacia los polos, tales como, la Contracorriente Perú-Chile (CCPC) y la Corriente Costera Chilena (CCC) (Arntz & Farhbach, 1996; Thiel *et al.*, 2007). Estas corrientes transportan diferentes masas de agua en una banda zonal de unos pocos cientos de kilómetros (Llanilo *et al.*, 2012; Schneider *et al.*, 2013). El SCH es uno de los sistemas de surgencia más productivo en el mundo debido a la alta disponibilidad de nutrientes asociado al transporte de Ekman (Berger *et al.*, 1987, Chavez *et al.*, 2008).

La surgencia consiste en movimientos ascendentes, mediante la cual aguas subsuperficiales son transportadas hacia la superficie (de profundidades generalmente menores de 100 a 200 m) y removidos desde el área de transporte por el flujo horizontal (Transporte Ekman), aportando nutrientes a las aguas superficiales. La surgencia se presenta a lo largo de los bordes orientales de los océanos (costas occidentales de los continentes), como sucede en África, California, Perú y Chile. Estas aguas se caracterizan por presentar bajas temperaturas y a su vez altos niveles de producción primaria (Daneri *et al.*, 2000; Chavez *et al.*, 2008). En las costas de Chile ocurre un tipo de surgencia, donde el transporte de Ekman es modulado por el viento y el efecto de Coriolis (Valentín, 1996). La surgencia costera fertiliza las capas superficiales con aguas con un alto contenido de nutrientes (Morales *et al.*, 1996) y constituye uno de los ecosistemas de surgencia más productivos en el mundo (Chavez *et al.*, 2008).

Tradicionalmente se han identificado cinco tipos de masas de agua en las costas de Chile (Silva *et al.*, 2009). Tres de estas se sitúan en los primeros 500 m de profundidad, que son el Agua Subtropical (AST), Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Las otras dos están situadas entre los 500 y 1000 m, que son las Aguas Intermedias Antárticas (AIAA) y el Agua Profunda del Pacífico (APP) (Llanilo *et al.*, 2012). Actualmente se ha descrito una nueva masa de agua, denominada Agua Subantártica de Verano (ASAV), formada en verano en la zona centro y sur de Chile, que se genera por la mezcla de ASAV con agua dulce (escorrentía intensificada con la fusión estival de los glaciares) (Llanillo *et al.*, 2012).

En la región centro-sur de Chile, la circulación costera ha sido descrita por diversos autores (e.g, Ahumada & Chuecas, 1979; Sobarzo, 2002, Thiel *et al.*, 2007). La Bahía de Valparaíso está localizada entre Punta Concón (32°56' S) y Punta Ángeles (33°03' S),

Durante el periodo predominante de vientos del suroeste, las condiciones hidrográficas son muy variables. En esta región, se ha descrito la ocurrencia de la Contracorriente Perú-Chile (CCPC) y la Corriente Costera Chilena (CCC), las cuales resultan ser las más importantes en la zona (Arntz & Farhbach, 1996; Thiel *et al.*, 2007). Sin embargo, bajo los 40 m de profundidad, las condiciones son más homogéneas, situación que está relacionada principalmente con la CCPC y la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Esta masa de agua presenta una alta salinidad y bajas concentraciones de oxígeno, generando un foco localizado de surgencia en Punta Curaumilla con marcadas fluctuaciones estacionales (Siever & Silva, 1979; Sobarzo, 2002).

En la Bahía de Concepción (36° S y 38°30' S) se encuentra asociada a las corrientes señaladas anteriormente, pero la presencia de una batimetría con pendientes suaves con dirección norte-sur (Sobarzo, 2002). Los principales forzantes de la variabilidad hidrográfica fueron descritas por Ahumada & Chuecas (1979). Estos autores señalan que a esta zona con una alta variabilidad hidrográfica, dependiendo del viento predominante, siguiendo un comportamiento de un estuario inverso. En los meses de mayo a agosto, predomina el viento norte, lo cual transporta las Aguas Subantárticas (ASAA) cerca de la costa. Adicionalmente, no hay una termoclina definida, aparentemente debido a la mezcla causada por el efecto del viento. En tanto, de agosto a septiembre se manifiesta la influencia del viento suroeste. La ASAA comienza a ser reemplazada por el AESS. En primavera-verano, la AESS presenta una elevada salinidad ($>34,5 \text{ g kg}^{-1}$) y bajas concentraciones de oxígeno disuelto ($<2 \text{ mL L}^{-1}$), caracterizado por una introducción de las AESS al interior de la Bahía con una oxiclina superficial (Sobarzo, 2002).

En general, el ascenso de masas de agua subsuperficiales, generalmente con alto contenido de nutriente y menor temperatura, ocurre con mayor intensidad en los bordes orientales de los océanos como en los sistemas de California, de Humboldt (Chile-Perú, Fig. 1a y 1b), Benguela (África) y Canarias (Mann & Lazier, 2006). En este contexto, se ha establecido que mientras el viento sea favorable a la surgencia, el transporte de Ekman predomina lo largo de la costa central de Chile, pero la surgencia más significativa se encuentra asociada con algunos rasgos geográficos del borde costero (Strub *et al.*, 1998). De hecho, Figueroa & Moffat (2002) demostraron que los efectos de la topografía fueron más importantes que el flujo de Ekman fuera de la costa.

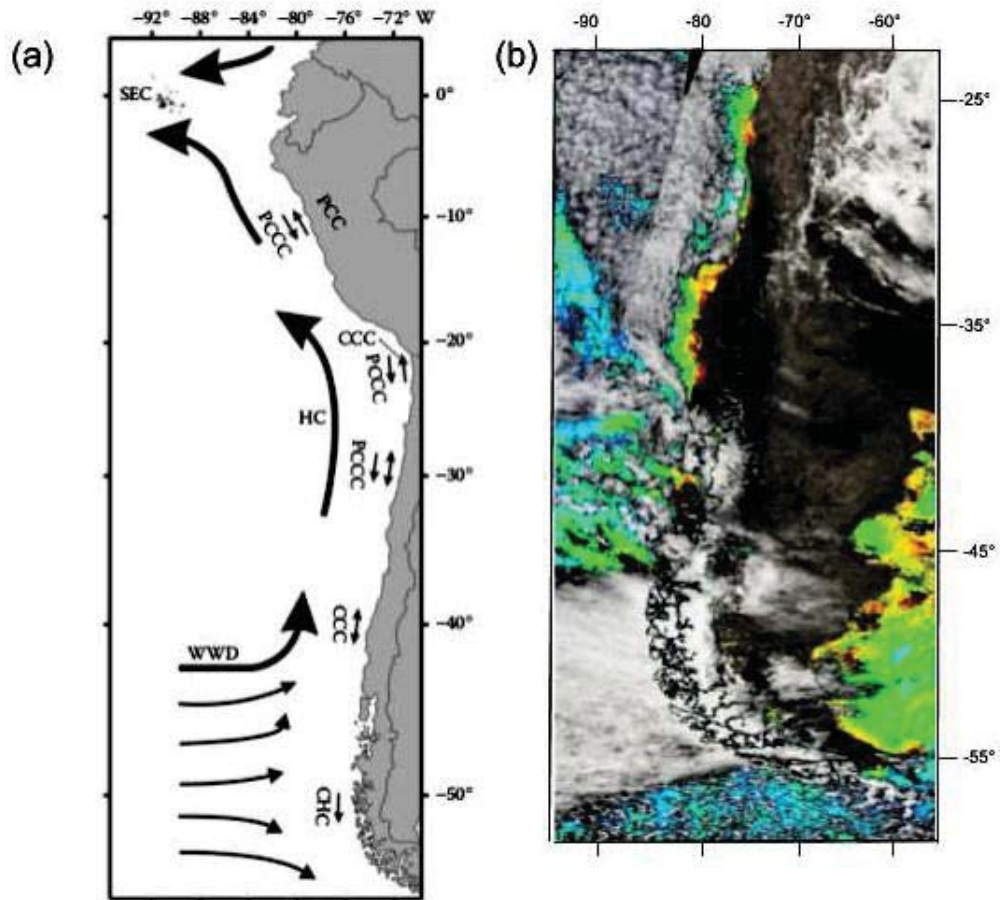


Figura 1: (a) Distribución de las principales corrientes asociadas al SCH; WWD (West Wind Drift=Corriente de Deriva del Oeste), CHC (the Cape Horn Current=Corrientes del Cabo de Hornos), CCC (The Chile Coastal Current= Corriente costera Chilena), PCC (The Peru coastal Current = Corriente costera del Perú), PCCC (The Peru-Chile Countercurrent = Contracorriente Perú-Chile) y la SEC (The South Equatorial Current = Corriente Ecuatorial Sur) (Fuente: Thiel *et al.* 2007), (b) Distribución de la concentración de clorofila-a superficial (Fuente: <http://worldview.earthdata.nasa.gov>).

En general, la zona centro y sur de Chile (30° S - 40° S), exhibe eventos de surgencia, los cuales se intensifican durante la primavera y verano (Cáceres & Arcos, 1991; Strub *et al.*, 1998; Figueroa & Moffat, 2000). La extensión de la plataforma continental para esta región (20-60 km), es 30 km más ancha que en el norte de Chile, pero está interrumpida por cañones submarinos. La lluvia y la escorrentía de los ríos constituyen además, importantes fuentes de agua dulce en esta región que con una baja salinidad ($< 33.8 \text{ g kg}^{-1}$) pueden influenciar la zona costera hasta una extensión mayor a los 30 km

durante invierno y al inicio de la primera (Strub *et al.*, 1998; Faúndez *et al.*, 2001). Sin embargo, una de las características oceanográfica más conspicuas del SCH es la presencia de la zona de mínima de oxígeno (ZMO) está a una profundidad mayor a 50 m y es menos intensa ($O_2 > 0.5 \text{ mL L}^{-1}$) que en el norte (Fossing *et al.*, 1995). Los periodos prolongados de hipoxia en los sedimentos en la plataforma, favorece el desarrollo de la biomasa en forma de tapices bacterianos o tapices del género *Thioploca* (Gallardo, 1977; Gallardo *et al.*, 1995).

1.2. Escala de variabilidad interanual

La SCH está sujeta a una fuerte variación interanual, debido al patrón climático de “El Niño – Oscilación del Sur” (ENOS). En general, una parte importante del conocimiento sobre los efectos de la fase cálida de El Niño (EN) proviene del ecosistema peruano. Esto se debe a las catástrofes por el colapso de las industrias pesqueras peruanas después del evento EN durante 1972-1973 (Enfield & Allen, 1980; Smith, 1983; Huyer *et al.*, 1987; Enfield, 1989; Fahrback *et al.*, 1991). En términos generales, la surgencia es afectada durante las fases del ENOS, causando una reducción significativa en la producción primaria y un empobrecimiento dramático de todo el ecosistema marino (Arntz & Fahrback, 1996).

El evento de EN se origina en el Pacífico Tropical y está relacionado con la Oscilación del Sur (anomalía atmosférica) (Jaksic, 1998). Ambos eventos combinados son conocidos con el nombre de El Niño - Oscilación del Sur (ENOS) (Marchant *et al.*, 1998; Mc Lean *et al.*, 2009). Esto genera el ingreso de aguas cálidas tropicales desde Australia a las costas sudamericanas, registrándose un aumento en la temperatura superficial del mar ($\sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$) en la zona norte de Chile (Barbieri *et al.*, 1995). Las diferencias de presión entre ambas costas (sudamericana y australiana) provoca que la termoclina descienda, y los afloramientos de agua sean pobres en nutriente, entre otras condiciones oceanográficas (Ramage, 1986; Arntz & Fahrback, 1996; Escribano *et al.*, 2004).

Durante un evento del EN, la oxigenación en la columna de agua se incrementa en el norte de Chile (entre Arica y Antofagasta). Las concentraciones de oxígeno alcanzan concentraciones superiores a los $> 4 \text{ mL L}^{-1}$ en los primeros 40 m. En condiciones normales la ZMO predomina entre 0-50 m. En el centro-sur de Chile (Concepción), la ZMO usualmente se observa en la costa (50-100 m de profundidad) durante condiciones de surgencia. La ZMO se profundiza durante un evento EN (ocurrido en mayo, agosto y noviembre de 1997) y retorna a condiciones normales en Marzo y Noviembre 1998, con bajas concentraciones de oxígeno ($< 2 \text{ mL L}^{-1}$), a una profundidad de 30 m. (Escribano *et al.*, 2004). Durante la fase cálida del ENSO, las aguas superficiales se calientan ($< 20 \text{ }^\circ\text{C}$), Blanco *et al.*, 2002) y la capa fótica se profundiza por debajo de los 100 m (González *et al.*,

1998). Los cambios en la composición de las masas de agua en las zonas costeras, la termoclina, la oxiclina y la profundización de la ZMO, oxigenan las aguas subsuperficiales sobre la plataforma continental (Blanco *et al.*, 2002).

1.3. Distribución de clorofila-*a* satelital

La utilización de imágenes satelitales para caracterizar la distribución de clorofila-*a*, han permitido estudiar diferentes procesos oceanográficos que ocurren a escalas espaciales y temporales que imponían diversas restricciones logísticas y operacionales utilizando plataformas de observación basados en cruceros de investigación oceanográficos. De hecho, estas expediciones no permiten obtener una visión a meso o macroescala en tiempo real de los procesos físicos y biológicos. Por lo tanto, una combinación entre resultados medidos en expediciones oceanográficas y la información satelital pareciera ser la mejor alternativa para estudiar los procesos de mayor escala en el océano (Grob *et al.*, 2003).

Las concentraciones de clorofila-*a* son estimadas mediante sensores remotos que miden el color del océano (pigmentos fotosintéticos del fitoplancton). Estas técnicas han sido usadas para determinar y estudiar la variabilidad temporal y espacial de sistemas de surgencia altamente productivo. El color del océano por lo tanto, es un muy buen indicador ya que contiene pigmentos como la clorofila-*a*, en el cual tiene un espectro de absorción definido (440 nm; McClain, 2009). Por otra parte, se ha determinado que los pigmentos de clorofila también tiene una firma espectral específica y distintiva, en la cual puede adsorben en las longitudes de onda correspondiente a los colores azul (455-492 nm) y rojo (622-700 nm). No obstante, existe una reflectancia fuerte para color verde (492-577 nm). Por lo tanto, esto afecta directamente en el color del océano (Morel & Prieur, 1977). Finalmente, los organismos fotosintéticos son los principales exponentes que modifican del color del océano (Stewart, 1985).

1.4. Acoplamiento bento-pelágico

El conocimiento que se tiene acerca de los procesos biológicos y flujos de carbono entre el sistema pelágico-bentónico, aún sigue siendo bastante limitado. El acoplamiento bento-pelágico es definido como el intercambio de materia orgánica y nutrientes entre el sedimento y la columna de agua, siendo los patrones de distribución de clorofila-*a* en los sedimentos un reflejo de las condiciones de sedimentación (Graf, 1989). Esto tiene importantes consecuencias para el reciclamiento de los nutrientes, las interacciones depredador-presa y la estructura comunitaria y la estabilidad de las tramas tróficas marinas (Schindler & Scheuerell, 2002)

La productividad primaria en los océanos es generada por organismos autótrofos, mediante la fotosíntesis, la cual es determinada por la clorofila contenida en los cloroplastos de las microalgas (Kirk, 1994). La medición de las concentraciones de clorofila-a es utilizada universalmente como una medida de la biomasa del fitoplancton (Montecino & Pizarro, 2006) y también como un indicador de la calidad de la materia orgánica en los sedimentos (Gutiérrez *et al.*, 2000). La productividad primaria en el ambiente marino es una propiedad comunitaria de compleja modelación debido a su regulación por múltiples factores, entre ellos la concentración de nutrientes y la intensidad de luz (Iriarte *et al.*, 2007). Los macro y micronutrientes, tales como el nitrógeno, fósforo, sílice y hierro, han sido sugeridos como posibles factores limitantes del crecimiento del fitoplancton, lo que ha sido evidenciado tanto en sistemas oceánicos (Dunne *et al.*, 1999), como en sistemas costeros (Iriarte *et al.*, 2007).

En zonas con una alta actividad productiva, se ha asumido que la producción de cadenas de diatomeas puede ser eficientemente transferida a niveles tróficos superiores a través de la trama trófica clásica o cascada (Ryther, 1969), pero también puede ser exportada desde la zona eufótica como restos fecales, detritus o por sedimentación como nieve marina (Turner, 2002). Con estos antecedentes ha comenzado a ser muy reconocida la influencia de las bacterias como componentes de la biomasa y de los ciclos biogeoquímicos en las zonas costeras productivas (Painting *et al.*, 1992; Ducklow *et al.*, 2001). Las bacterias pueden jugar un rol significativo en los ecosistemas productivos, regulando el flujo de materia orgánica en la columna de agua y su transferencia a los componentes superiores (González *et al.*, 2007).

Las zonas de alta producción biológica, como los sistemas de surgencia ha sido asociado generalmente a tramas tróficas cortas, donde la herbivoría predomina por sobre los procesos de ciclaje de carbono a través del anillo microbiano o sedimentación del fitoplancton (Steele, 1974). Sin embargo, la función o importancia del fitoplancton (pico y nano-fitoplancton) y cómo las bacterias utilizan el carbono orgánico disuelto y particulado, están cambiando la visión del comportamiento de las comunidades pelágicas en las zonas costeras y oceánicas, así como de los flujos de materia a través de ella (Azam, 1998). En estos procesos se tiene poca información sobre las vías de reciclaje de la materia orgánica y la capacidad que tienen los ecosistemas de surgencia de exportar materia orgánica ya sea disuelta o particulada, hacia la zona oceánica o costeras. De la misma manera poco se conoce de los efectos físicos y biológicos de la fertilización de la zona fótica en zonas de surgencia (González *et al.*, 1989).

1.5. Problemática

Una fracción importante de la producción fitoplanctónica es depositada en los sedimentos, lo cual se ha denominado acoplamiento bento-pelágico. Es más, la concentración de clorofila-*a* en los sedimentos ha sido extensamente utilizado como un indicador de la calidad de la materia orgánica y ha sido relacionada con la distribución de las comunidades bentónicas en diversos ecosistemas marinos (Gutiérrez *et al.*, 2000, Sellanes *et al.*, 2007; Quiroga *et al.*, 2013). Existen diferencias en las concentración de pigmentos fotosintéticos (CPE= Chloroplastic Pigment Equivalent o Pigmentos equivalentes de clorofila-*a*) en sedimentos entre la Bahía Valparaíso y la Bahía de Concepción. En la Bahía de Valparaíso (33°S) se han registrado concentraciones de clorofila en sedimentos en diciembre 2012, marzo, junio y septiembre 2013, las cuales fluctuaron en un rango de 30,27 y 60,67 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Soto *et al.*, 2016). En tanto, frente a Concepción (36°40'S), la concentración de CPE en agosto y noviembre 1997, marzo y mayo 1998, septiembre y noviembre de 2002 y marzo y junio 2003 fluctuaron entre 195,8 y 794,6 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Sellanes *et al.*, 2007). Estas diferencias las concentraciones de CPE en los sedimentos podrían ser resultado de la producción fitoplanctónica local o debido a las interacciones de otros factores oceanográficos de carácter local tales como la presencia del zona de mínimo oxígeno (ZMO), la cual es de carácter estacional en estas latitudes y la cual podría influenciar el contenido de materia orgánica fresca puesto que en la ZMO ocurre una menor tasa de degradación de la materia orgánica (Pantoja *et al.*, 2004)

2. HIPOTESIS

Las diferencias en la concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofila-*a* y feopigmentos) en los sedimentos superficiales de las Bahías de Valparaíso y Concepción dependen del grado de acoplamiento bento-pelágico y los niveles de productividad primaria.

Para abordar esta problemática se plantean las siguientes hipótesis de trabajo:

H1: La distribución de la clorofila en sedimentos depende de la extensión y la depositación de clorofila-*a* derivado de la productividad primaria en cada región.

H2: La concentración de la clorofila en los sedimentos depende de la distribución superficial de la ZMO, puesto que en ambientes hipóxicos ocurre una menor degradación de la materia orgánica y consecuentemente una mayor concentración en los sedimentos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar espacial y temporalmente la distribución de clorofila-*a* superficial mediante imágenes satelitales y el grado de acoplamiento bento-pelágico en las Bahías de Valparaíso (33° S) y Concepción (36°40' S).

3.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Describir las condiciones oceanográficas (temperatura, salinidad, densidad, concentración de oxígeno y concentración de clorofila-*a*) en la columna de agua.
- Caracterizar la distribución de clorofila-*a* en sedimentos a partir de mediciones *in situ*.
- Caracterizar la distribución espacial y estacional de la clorofila-*a* superficial a través de imágenes satelitales (sensor MODIS level 3).
- Determinar si las diferencias de las concentraciones de clorofila-*a* en los sedimentos responden a cambios regionales o locales tales como la distribución vertical de la superficie del ZMO.

4. MATERIALES Y MÉTODO

4.1. Caracterización oceanográfica y sedimentos

Los información oceanográfica de Bahía Valparaíso ($33^{\circ}1'50''$ S – $71^{\circ}36'14''$ W) proviene del proyecto FONDECYT iniciación en investigación 2012 (Nro. 11121487) a cargo del Dr. Eulogio Soto (Universidad de Valparaíso) y el Laboratorio de Oceanografía y bentos de la PUCV. La información oceanográfica recopilada consta de registros de CTD-O y mediciones directas de clorofila-a en sedimentos. Las fechas de los muestreos fueron diciembre del año 2012, marzo, junio y diciembre del año 2013, marzo, junio, octubre y diciembre del año 2014 y abril del año 2015 (Fig. 2). La información para el contenido de pigmentos fotosintéticos en los sedimentos correspondió a las fechas de diciembre 2012, marzo, junio y septiembre 2013, marzo, junio, octubre 2014 y abril 2015.

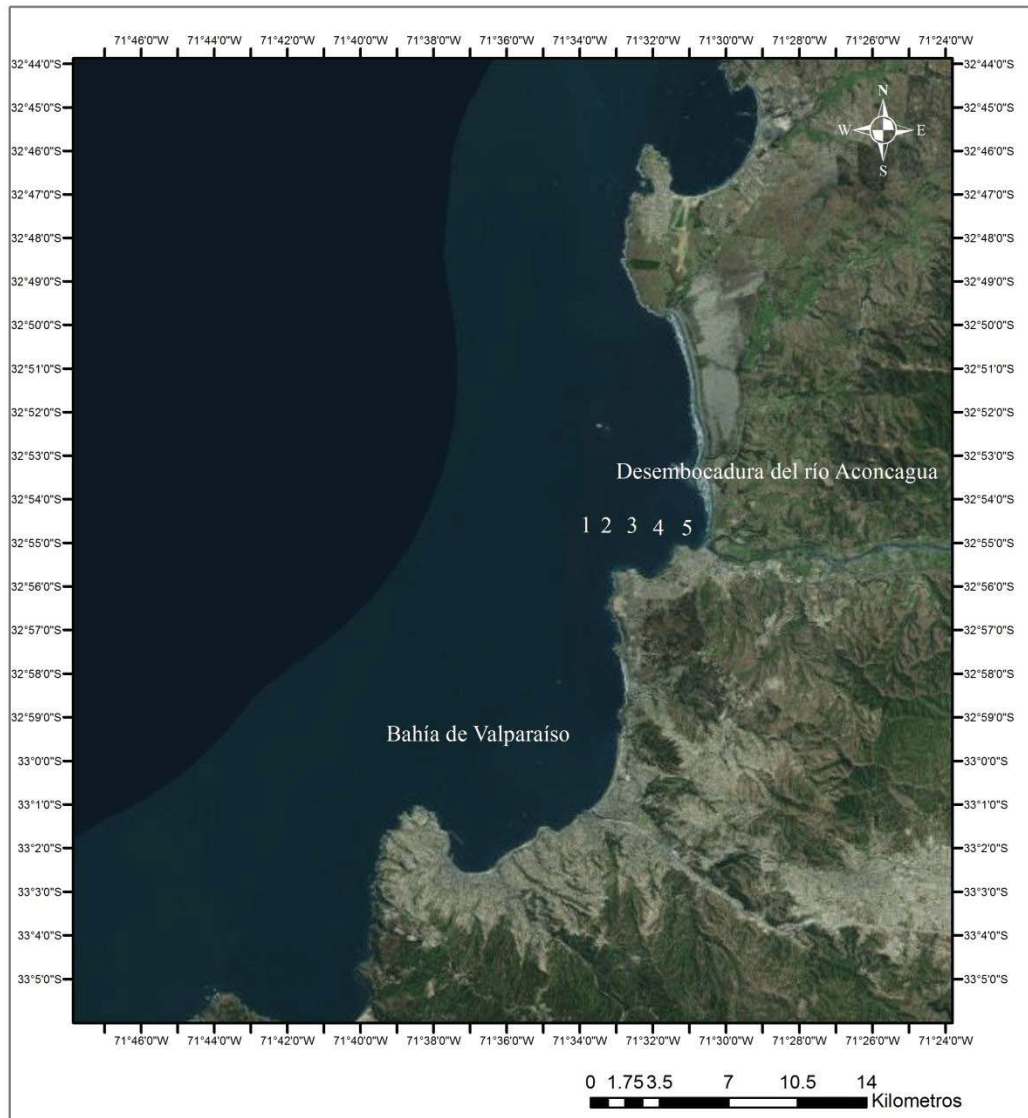


Figura 2: Localización de las estaciones correspondientes a la Bahía de Valparaíso (desembocadura del río Aconcagua). Estación 5: $32^{\circ}54'31$ S - $71^{\circ}31'20$ W, a una profundidad de 134 m. Estación 4: $32^{\circ}54'28$ S - $71^{\circ}32'10$ W, a una profundidad de 99 m. Estación 3: $32^{\circ}55'29$ S - $71^{\circ}32'57$ W, a una profundidad de 72 m. Estación 2: $32^{\circ}54'30$ S - $71^{\circ}33'10$ W, a una profundidad de 52 m. Estación 1: $32^{\circ}55'31$ S - $71^{\circ}34'00$ W, a una profundidad de 18 m.

Adicionalmente, se dispone de información oceanográfica de Bahía Valparaíso provenientes de 5 estaciones de muestreo en abril del 2015 (Fig. 3).

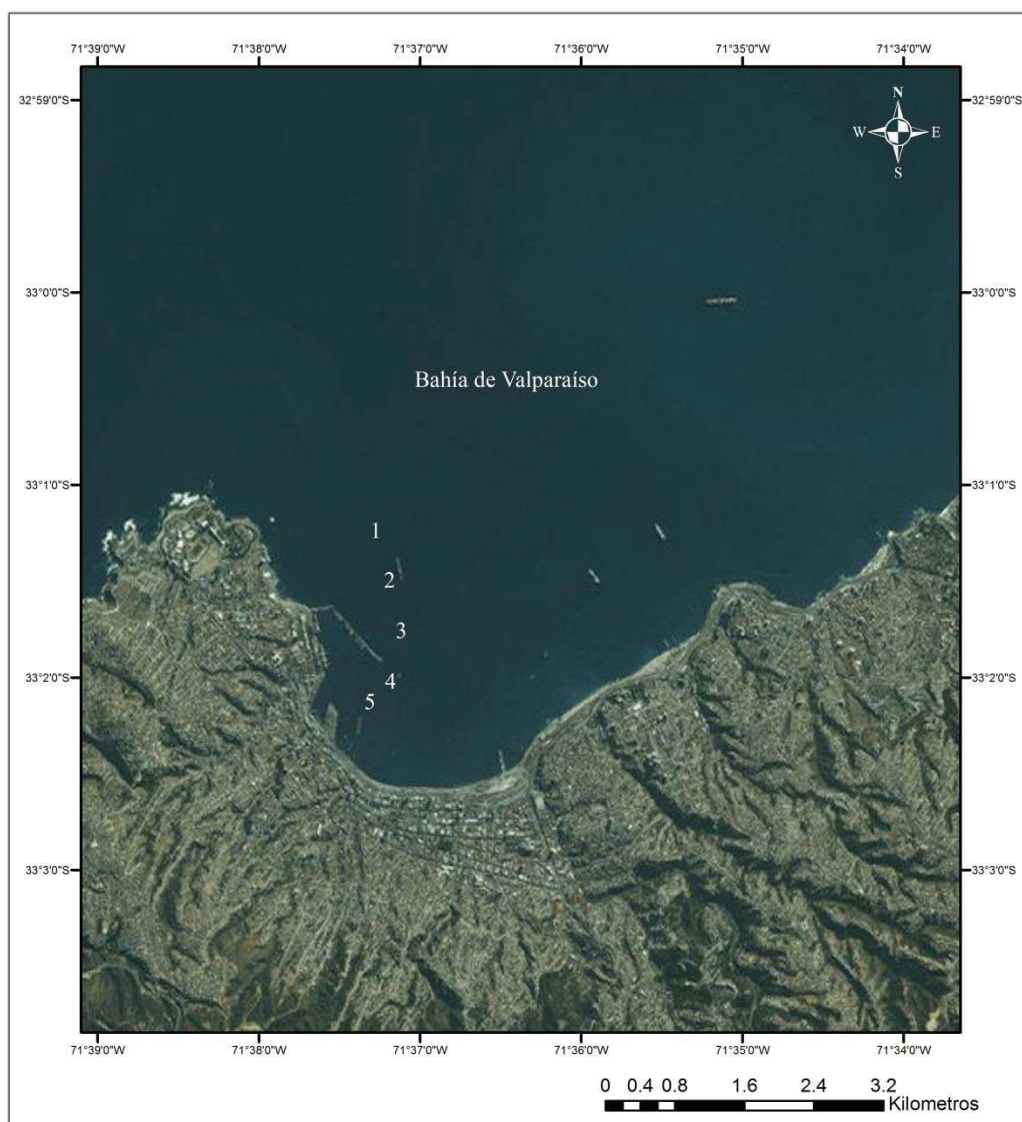


Figura 3. Estaciones realizada por el Laboratorio de Oceanografía y Bentos de la Universidad Católica de Valparaíso. Estación 5: $33,036^{\circ}$ S – $71,612^{\circ}$ W. Estación 4: $33,032^{\circ}$ S – $71,619^{\circ}$ W. Estación 3: $33,030^{\circ}$ S – $71,617^{\circ}$ W. Estación 2: $33,027^{\circ}$ S – $71,617^{\circ}$ W. Estación 1: $33,015^{\circ}$ S – $71,618^{\circ}$ W.

En tanto, la información oceanográfica para la bahía de Concepción ($36^{\circ}40'12''$ S – $73^{\circ}2'17''$ W) no se encuentra disponible, pero la información del contenido de pigmentos fotosintéticos (Clorofila-*a*) provienen de Sellanes *et al.*, (2007). Las muestras para la determinación de la concentración de pigmentos fotosintéticos fueron recolectadas en septiembre y noviembre 2003, marzo y junio 2003 (Fig. 4).

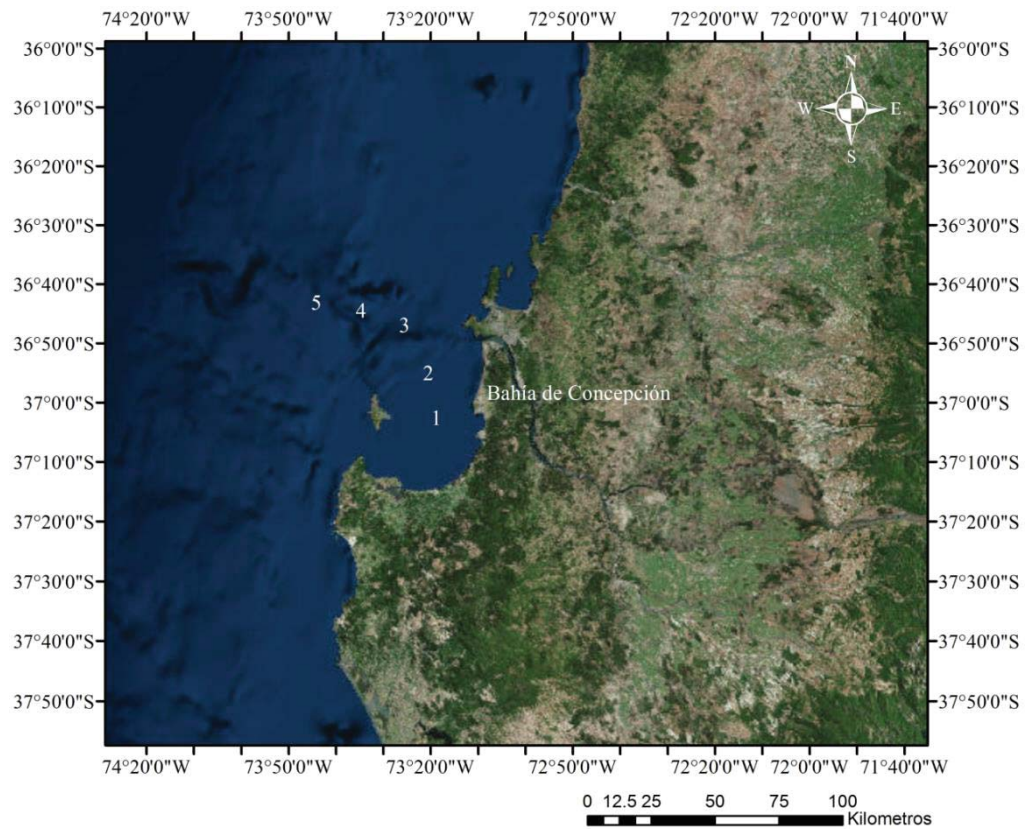


Figura 4: Estaciones correspondientes a la Bahía de Concepción. Estación 1: 36°38' S – 73°04' W, a 29 m de profundidad. Estación 2: 36°37' S – 73°02' W, a una profundidad de 35 m. Estación 3: 36°34' S – 73°04' W, a una profundidad de 64 m. La estación 4: 36°31' S -73°09' W, a una profundidad de 88 m. Estación 5: 36°27' S – 73°25' W, a una profundidad de 121 m.

4.2. Procesamiento de la información

La información oceanográfica para las estaciones en la Bahía de Valparaíso fue obtenida mediante un CTD seabird modelo SBE 19 y SBE 25 CTD-O. Para esto se utilizaron los programas de SBE-Data-Processing y MATLAB R2011. Para tener un mejor resultado con las mediciones se determinó un promedio cada un metro.

La determinación de la concentración de clorofila-*a* en sedimentos se realizó por métodos fluorométricos descritos por Gutiérrez *et al.*, (2000).

Los perfiles de contorno fueron modelados con el programa Ocean Data View 5 (ODV), también para la caracterización de masas de agua (diagramas T-S) en el área de estudio, utilizando la clasificación propuesta por Silva & Konow (1975).

Los resultados para las estaciones en la Bahía de Valparaíso (Fig. 2 y 3), fueron extraídos de un SBE 25 CTD, para esto se utilizó los programas de SBE-Data-Processing y MATLAB R2011. Para tener un mejor resultado con las mediciones se determinó la media cada un metro.

4.3. Distribución espacial y temporal de clorofila-*a* superficial, mediante herramientas satelitales

Para determinar la clorofila-*a* para ambas bahías se utilizaron imágenes satelitales con dos programas de modelación, SeaDAS y ArcGIS. Se usó el satélites las cuales fueron procesadas con el programa SeaDAS y luego exportadas al sistema de información geográfica (SIG) ArcGIS 10.3 para el análisis y cartografía. Se usó información de nivel-3 (level-3) del satélite Aqua, sensor MODIS a una resolución espacial de 4 km. La información de clorofila-*a* fueron descargados desde la página de internet <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>, con promedios mensuales, correspondientes a las fechas de muestreo. Las imágenes satelitales fueron trabajadas con la proyección geográfica WGS84. El formato de los archivos de las imágenes es NetCDF4-CF, para trabajarlo en SeaDAS. Luego estos fueron importados a ArcGIS, utilizando la herramienta NetCDF Raster Layer.

Con las imágenes satelitales de clorofila-*a* en ArcGIS se procedió a: 1) extraer la información de correspondientes a las áreas de interés y 2) elaborar mapas temáticos o cartografías mensuales.

Cada imagen se realizó una extracción de puntos con información correspondiente al área de interés, con los siguientes pasos:

1. Generación de imagen en SeaDAS, geo-referenciando en WGS 84.
2. Exportación de imagen en formato correspondiente al programa ArcGIS.
3. Aplicación de programas System toolboxes para crear la imagen definitiva y la grilla de extracción de información, esta será trabajada en coordenadas UTM 19 S.
4. La grilla considerara el área de interés (bahía) con los máximos puntos de extracción disponibles por la imagen satelital.

5. Para la grilla se consideró una escala de 500 m^2 , de lo cual se extrae el valor central.

6. La información obtenida, será extraída en planilla Excel para sus futuros análisis.

Para la extracción de la información de clorofila-*a* se requiere una zona o región de interés, en nuestro caso corresponde a la bahía de la quinta región (Fig. 5 y 6) y la Bahía de Concepción (Fig. 7 y 8), luego se generó una grilla dónde el área contenga todas las estaciones de muestreo para extraer los puntos con información de clorofila-*a*.

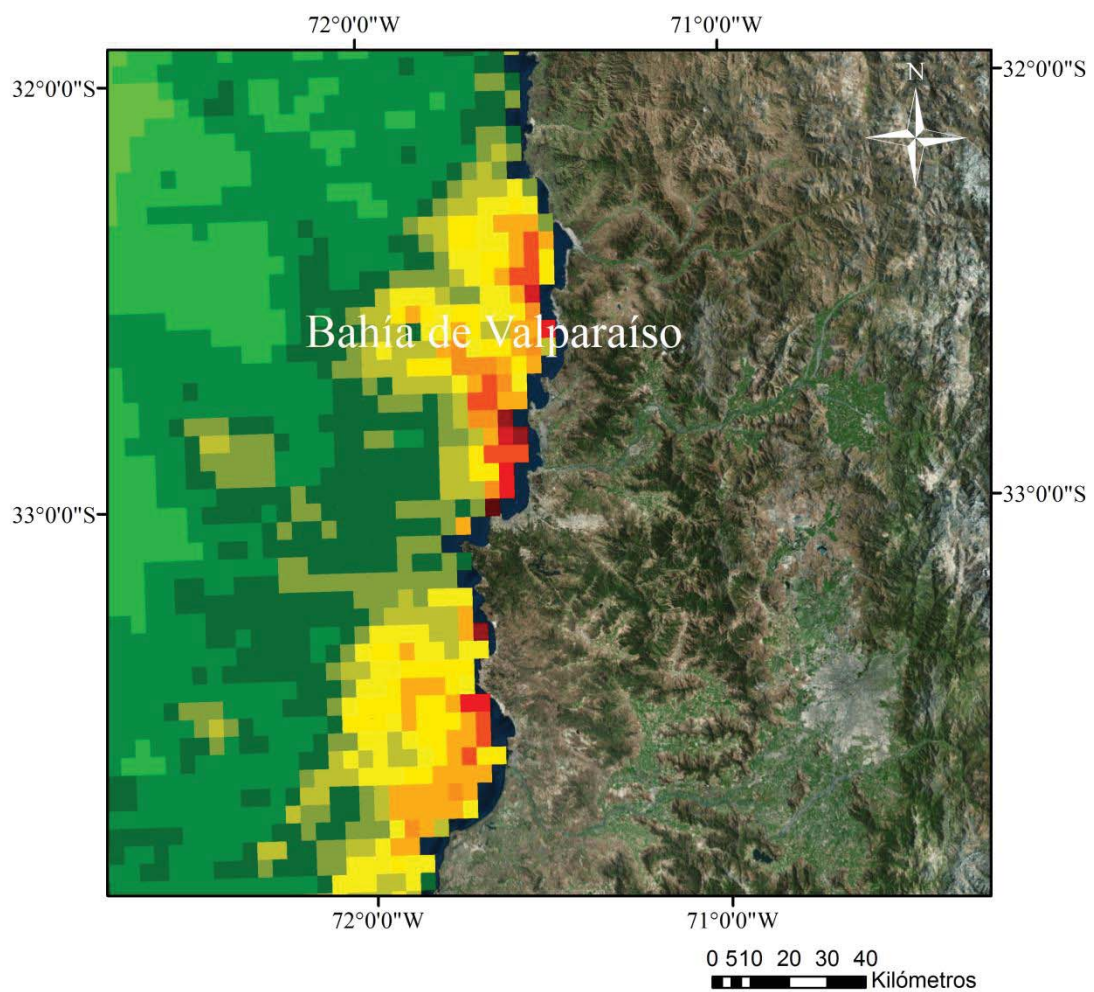


Figura 5: Imagen satelital de clorofila-*a* sin grilla, correspondiente a la Bahía de Valparaíso del mes de marzo 2014.

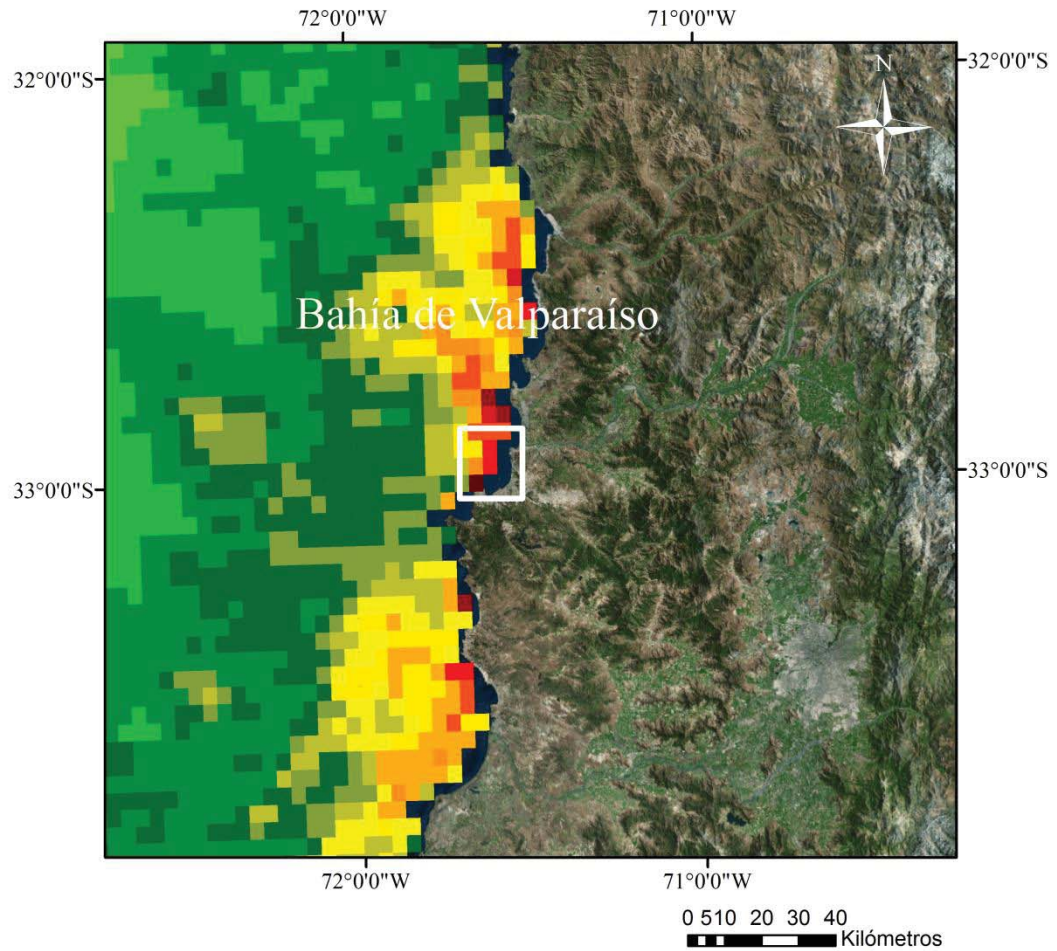


Figura 6: Imagen satelital de clorofila-*a* con la grillas para extraer los puntos de información, correspondiente a la Bahía de Valparaíso del mes de marzo 2014. El área de extracción de la información corresponde a la ubicación geográfica entre 32°51'53'' S - 71°40'24'' W y 33°2'51' S – 71°30'13'' W.

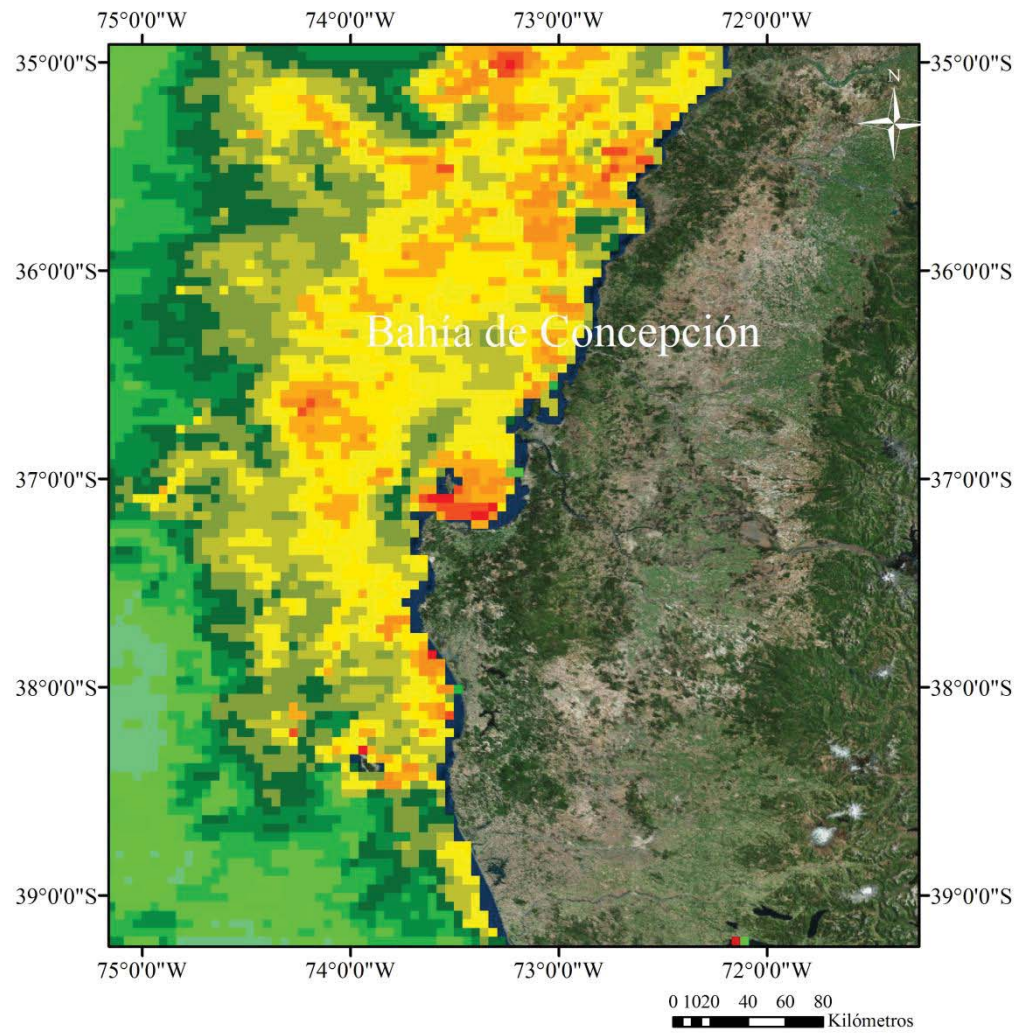


Figura 7: Imagen satelital de clorofila-*a* sin grilla, correspondiente a la Bahía de Concepción del mes de septiembre 2002.

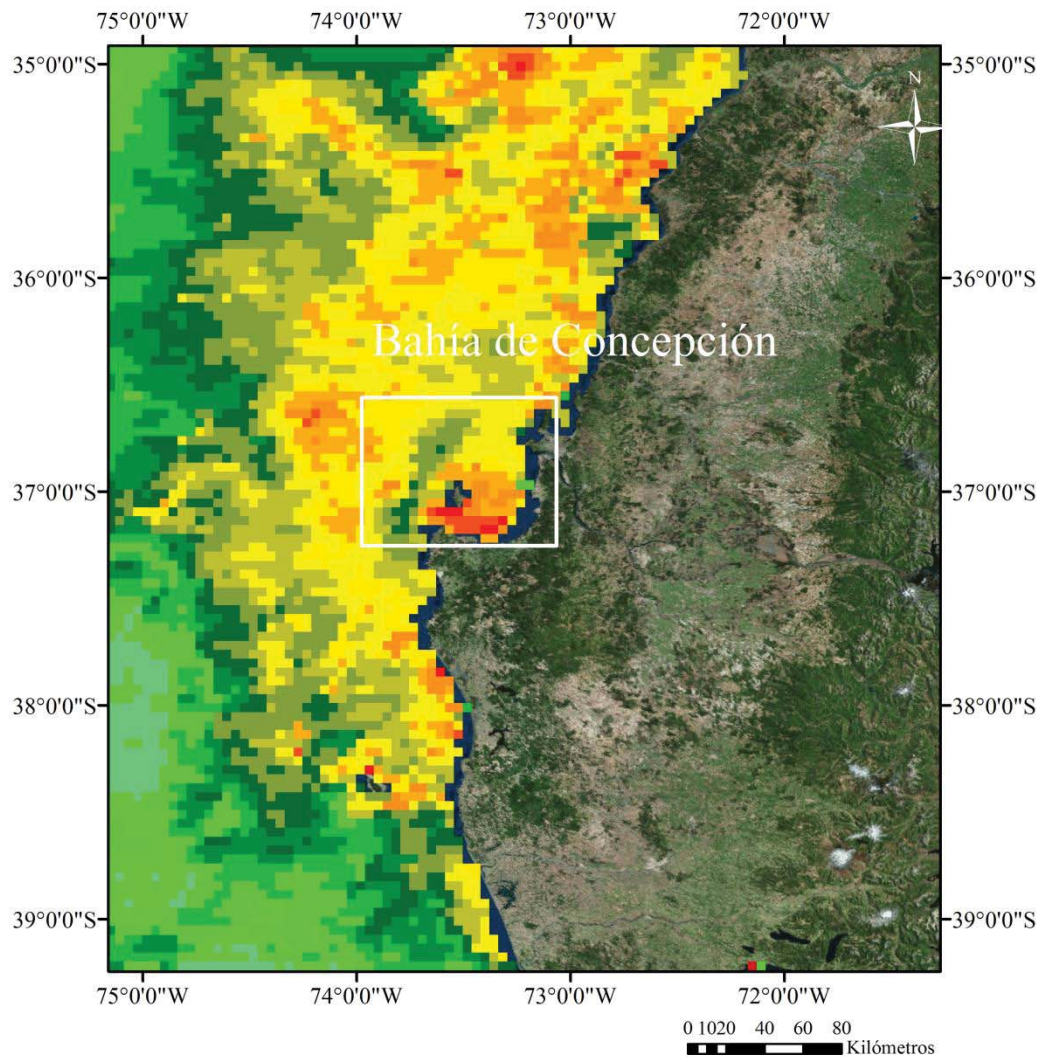


Figura 8: Imagen satelital de clorofila-*a* con grilla, correspondiente a la Bahía de Concepción del mes de septiembre 2002. El área de extracción de la información, corresponden a la ubicación geográfica entre 36°32'22" S – 74°0'18" W y 37°16'29" S – 73°3'46" W.

El objetivo principal es extraer los puntos con información de clorofila-*a* más cercanos a la o zona de interés. El área de la grilla será aplicada para todas las zona en las dos bahías para todas las fechas de muestreo.

4.4. Análisis estadístico

Las diferencias o similitudes en las concentraciones de concentración de clorofila-*a* satelital y en sedimentos se evaluarán mediante un análisis de varianza de una vía para la comprobación de las hipótesis. Se utilizará el programa PAST Versión 3 (Hammer *et al.*, 2001). Para la búsqueda de indicadores se utilizarán los valores promedios para la clorofila-*a* en sedimentos y concentraciones máximas para las imágenes satelitales, ya que es más representativo por la gran variación de la información y existe una mayor probabilidad de encontrar clorofila-*a* en los sedimentos.

5. RESULTADOS

5.1. Resultados de CTD-O para la bahía de Valparaíso y Concepción

Para el sector de la desembocadura del río Aconcagua la información extraída del CTD-O fueron los siguientes:

Diciembre 2012: La distribución vertical de la salinidad (Fig. 9) para el área de estudio presentó concentraciones máximas de 34.58 g kg^{-1} en las estaciones E1 y E2 a una profundidad superior a 100 m. Por otro lado, se observó concentraciones mínimas en la superficie de 34.13 g kg^{-1} , presentando una estratificación en toda la columna.

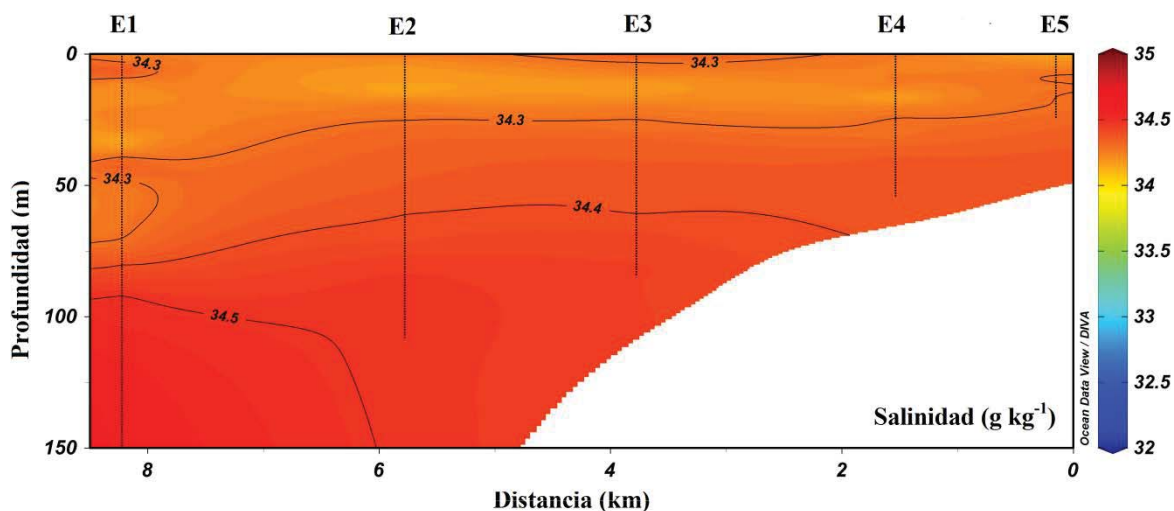


Figura 9: Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2012.

La distribución vertical de la temperatura (Fig. 10) para el área de estudio presentó una capa superficial cuasi homotermal hasta los 6 m con valores de alrededor de $14 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Los valores máximos de temperatura fueron observados en superficie (0 m hasta 6 m) de $14.68 \text{ }^{\circ}\text{C}$ en todas las estaciones, disminuyendo paulatinamente hacia el fondo. Por otro lado, los mínimos detectados fueron de $10.95 \text{ }^{\circ}\text{C}$ cerca del fondo, entre las estaciones E1 y E2. En términos generales esta variable oceanográfica presentó una estratificación en toda la columna en las estaciones E1, E2 y E3 con termoclinas más profundas entre los 10 y 30 m,

algo similar ocurrió en las estaciones E4 y E5 donde la termoclina se generó a una profundidad similar, detectándose a los 15 hasta 18 m de profundidad.

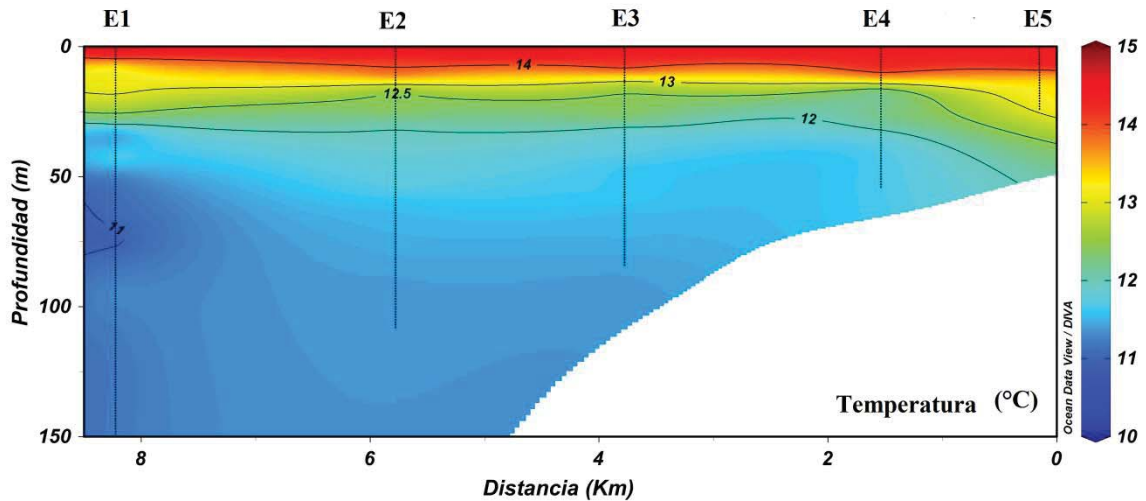


Figura 10: Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2012.

La distribución vertical del oxígeno disuelto (Fig. 11) para el área de estudio presentó homogeneidad en todas las estaciones, con valores máximos en superficie (0 m hasta 20 m) de 6.16 mL L^{-1} entre las estaciones E1, E2 y E4, E5. Por otro lado, las concentraciones mínimas de oxígeno (4.23 mL L^{-1}) fueron detectados en fondo (80 m hasta 150 m) entre las estaciones E2 y E3.

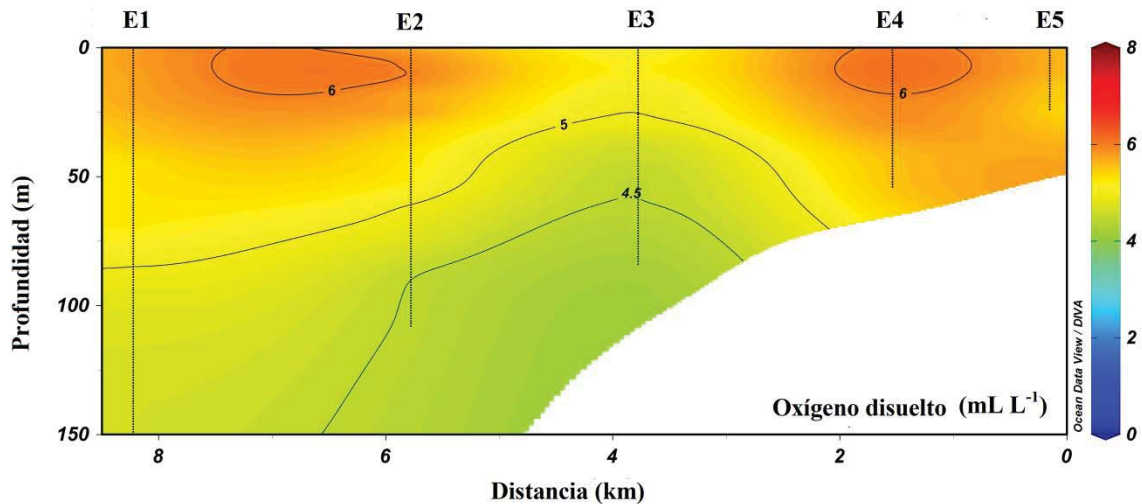


Figura 11: Distribución vertical del oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua diciembre 2012.

Marzo 2013: La distribución vertical de la salinidad (Fig. 12) para el área de estudio presentó haloclina muy superficiales en todas las estaciones entre los 2 hasta 9 m de profundidad, observándose las mayores variaciones en E5 y E3 entre 34.27 y 34.48 g kg⁻¹. Las concentraciones máximas fueron observadas cerca del fondo de 34.60 g kg⁻¹ entre las estaciones E1 y E2. Por otro lado, se observó concentraciones mínimas en la superficie de 34.15 g kg⁻¹ en todas las estaciones, presentando de manera general una estratificación en toda la columna.

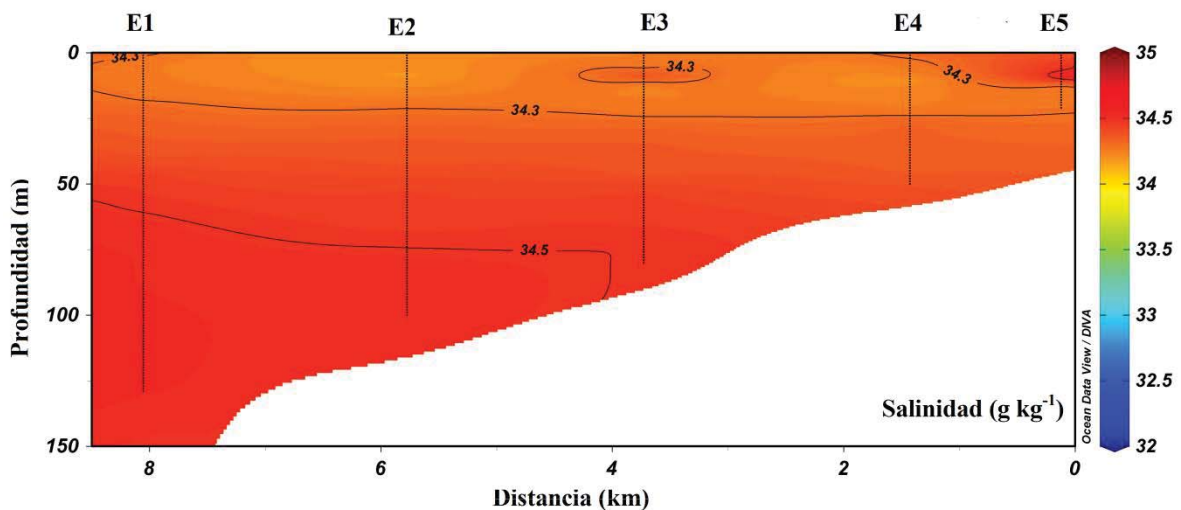


Figura 12: Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.

La distribución vertical de la temperatura (Fig. 13) para el área de estudio presentó una capa superficial casi homotermal desde la superficie hasta los 6, con valores de 14 °C. La temperatura máxima fue observada en superficie (0 hasta 8 m) de 14.20 °C en todas las estaciones y valores mínimos de 11.20 °C cerca del fondo entre las estaciones E1 y E2. Pasando los 6 m de profundidad en todas las estaciones se detectó unas termoclinas bien marcadas, pero acotadas entre los 12 hasta 15 m de profundidad, luego se observó una estratificación en profundidad hasta el fondo.

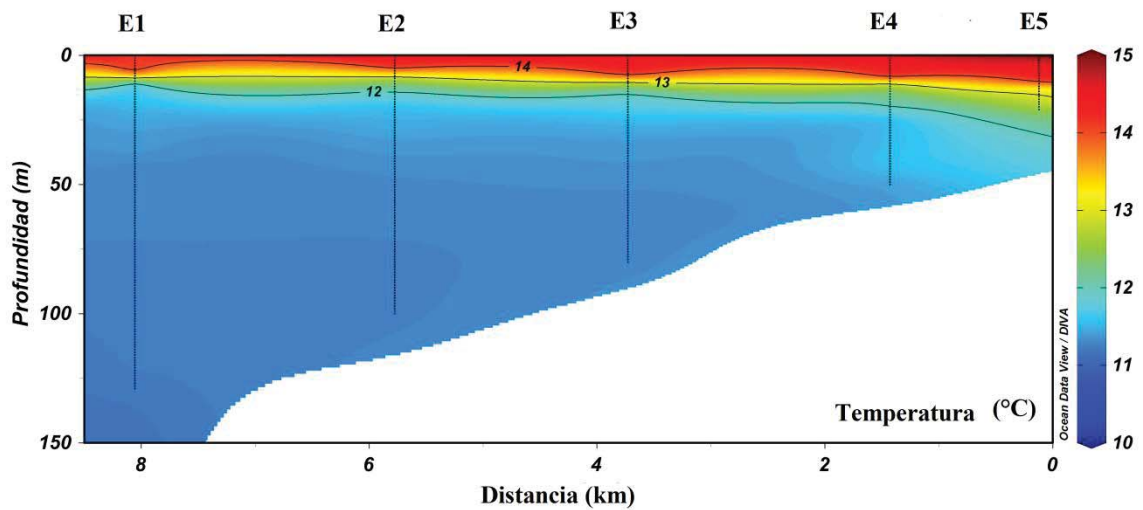


Figura 13: Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.

La distribución vertical del oxígeno disuelto (Fig. 14) para el área de estudio presentó valores máximas en superficie (0 hasta 25 m) de 7.21 mL L^{-1} en la estación E5. Por otro lado, los mínimos fueron detectados en profundidad (80 hasta 150 m) de 3.14 mL L^{-1} entre las estaciones E1 y E2. Entre los 3 hasta 11 m en profundidad se observó una oxiclina poco representativa para todas las estaciones, con una variación entre 4.43 hasta 5.55 mL L^{-1} . Bajo la oxiclina, el oxígeno disminuyó paulatinamente con la profundidad.

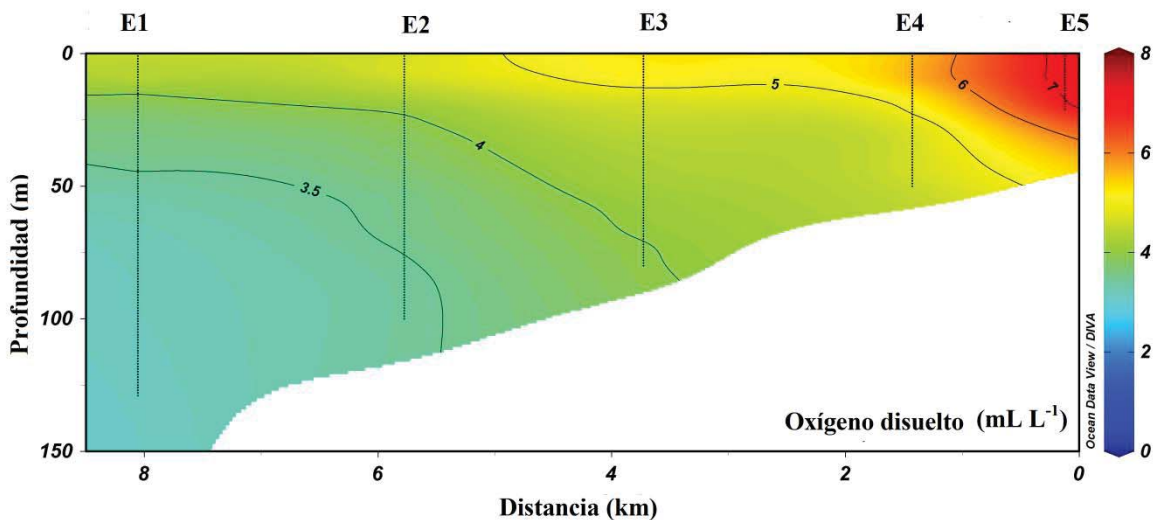


Figura 14: Distribución vertical del oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.

Junio 2013: La distribución vertical de la salinidad (Fig. 15) para el área de estudio presentó una haloclina muy superficial entre 1 y 9 m de profundidad entre las 5 estaciones, luego la salinidad incrementó paulatinamente en profundidad. Las salinidades máximas (34.54 g kg^{-1}) fueron observadas a una profundidad de 94 m en las estaciones E1. Por otro lado se observó salinidades mínimas en la superficie de 32.40 g kg^{-1} entre las estaciones E4 y E5 que están más cercanas a la desembocadura del río Aconcagua. En términos generales el parámetro oceanográfico de la salinidad se distribuye de manera estratificada en toda la columna.

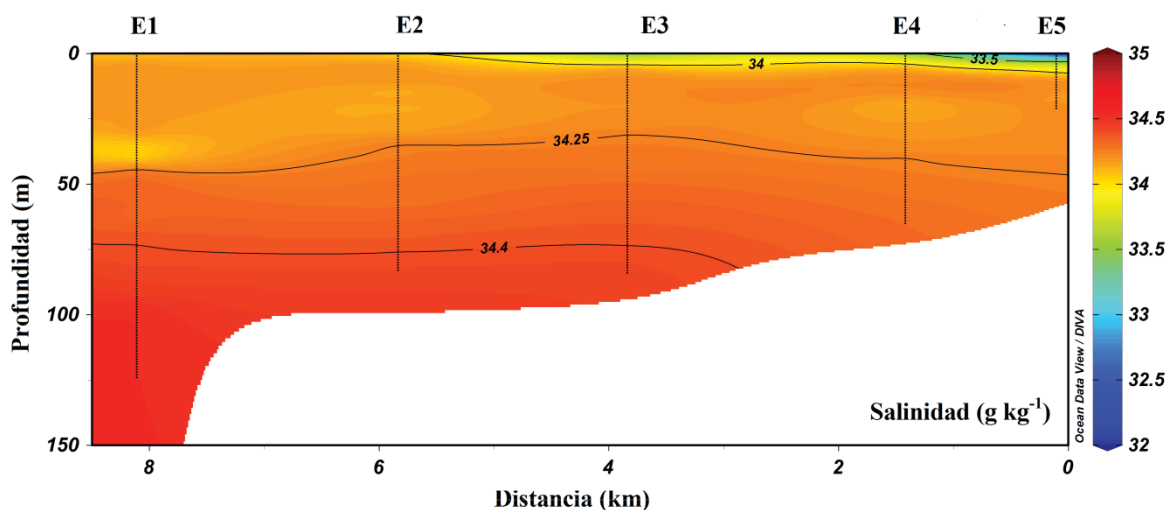


Figura 15: Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.

La distribución vertical de la temperatura (Fig. 16) para el área de estudio presentó una termoclina invertida en la superficie en todas las estaciones (1 - 4 m). Luego se observó una estratificación 8 y 10 m de profundidad, bajo esta profundidad se detectó una termoclina desde los 21 m hasta 37 m de profundidad para todas las estaciones.

Los valores máximos en superficie (0 hasta 24 m) de 13.78 °C en las estaciones E1, E2, E3 y E4. Las mínimas temperatura detectadas de 11.22 °C entre los 30 y 40 m aproximadamente de la estación E1. En la superficie se observó una menor variabilidad de temperatura (13 hasta 13.78 °C), luego desciende paulatinamente hasta los 50 m de profundidad, donde no se observó grandes variaciones, comportándose de manera estratificada hasta el fondo de las estaciones, excepto en E5.

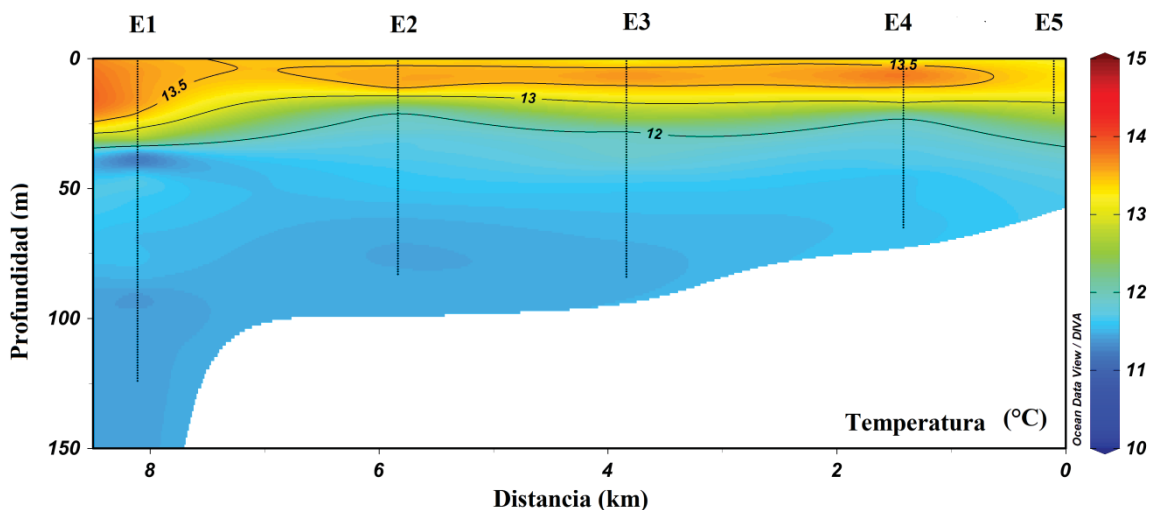


Figura 16: Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.

La distribución vertical del oxígeno disuelto (Fig. 17) para el área de estudio, se presentó una oxiclina en todas las estaciones desde los 3 m hasta 16 m en profundidad con pequeñas variaciones con un rango entre 3.15 y 5.80 mL L⁻¹ aproximadamente para las 5 estaciones. Luego, la concentración de oxígeno disuelto disminuyó con la profundidad.

Las concentraciones máximas de oxígeno se observaron en superficie (0 - 25 m) de 5.94 mL L⁻¹ aproximadamente en las estaciones E1, E3 y E5. Por otro lado, las concentraciones mínimas detectadas de 1.14 mL L⁻¹ a profundidades mayores de 108 m en

la estación E1, no obstante se observó valores muy cercanos en las estaciones E3 y E4 con valores menores a 2 mL L^{-1} .

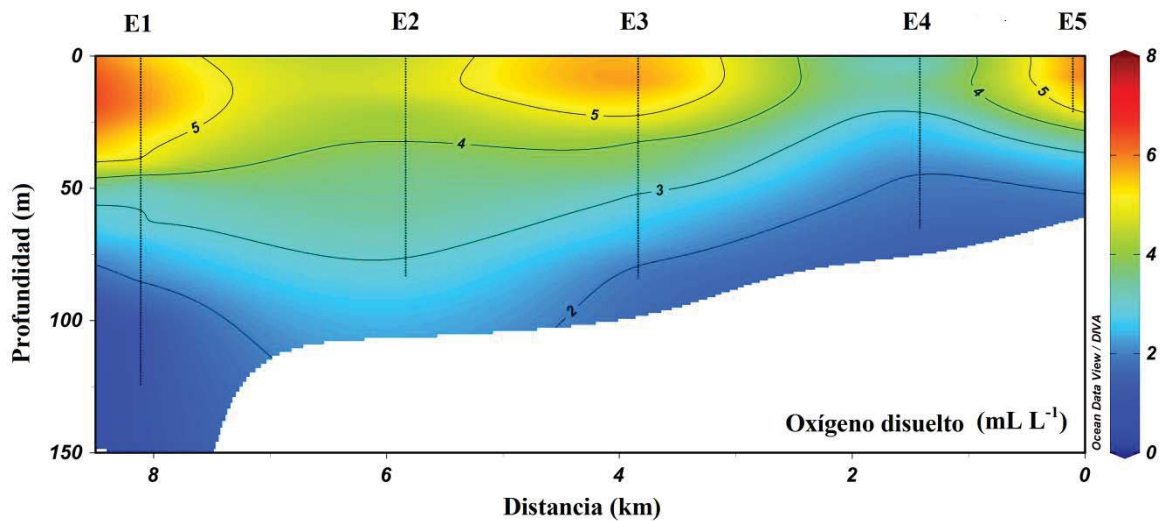


Figura 17: Distribución vertical del oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.

Diciembre 2013: La distribución vertical de la salinidad (Fig. 18) para el área de estudio presentó una haloclina muy superficial en todas las estaciones (entre 1 y 7 m) en todas las estaciones, salinidades que fluctuaron entre 33.70 y 34.52 g kg^{-1} .

Las salinidades máximas observadas (34.66 g kg^{-1}) fueron observadas en todas las estaciones entre 20 y 25 m de profundidad. Por otro lado se observó concentraciones mínimas en la superficie de 33.70 g kg^{-1} en las estaciones E2 y E4. En términos generales, el parámetro oceanográfico de la salinidad incrementó paulatinamente bajo la haloclina y se distribuyó de manera estratificada en toda la columna sin mayor variación en profundidad.

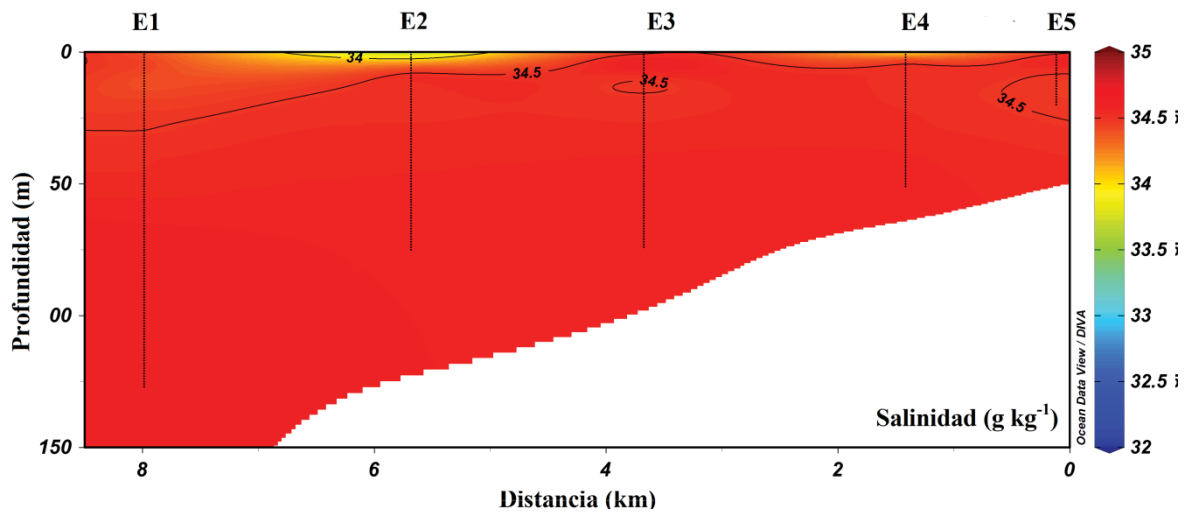


Figura 18: Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2013.

La distribución vertical de la temperatura (Fig. 19) para el área de estudio presentó un termoclina superficial para las cinco estaciones entre 1 hasta 20 m de profundidad para todas las estaciones, con un rango entre 12.56 y 11.86 °C.

Las máximas temperaturas se observaron en superficie (0 hasta 10 m) de 14.72 °C en las estaciones E2 y E5. Por otro lado se observó mínimos en la superficie detectados de 11.17 °C a los 20 m en la estación E1. No obstante las demás estaciones, con excepción E5, presentaron valores muy similares al mínimo detectado. La distribución vertical de esta variable oceanográfica desciende paulatinamente en profundidad, donde no se observó grandes variaciones distribuyéndose de manera estratificada hasta el fondo de cada estación.

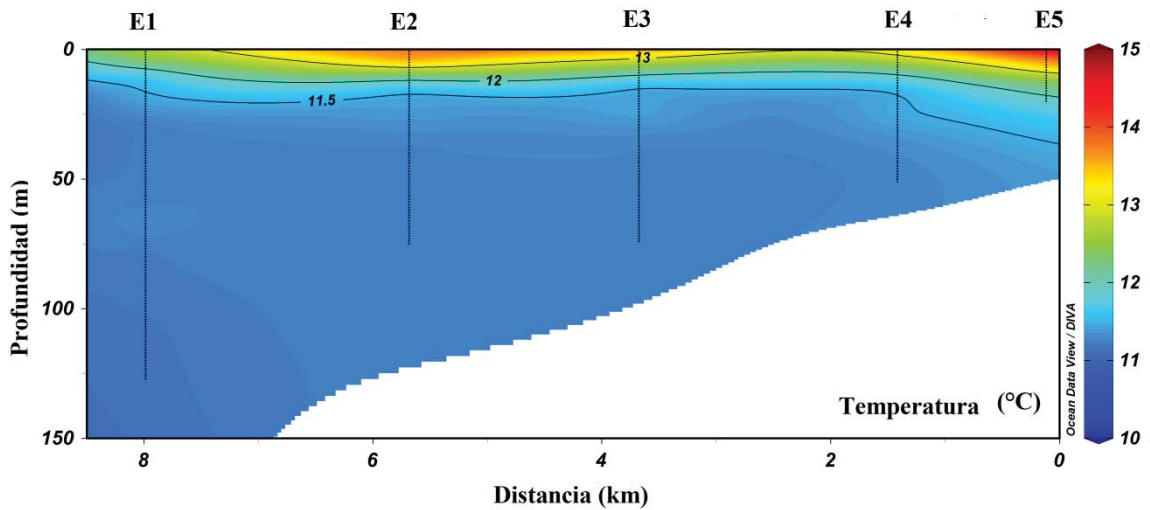


Figura 19: Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2013.

Marzo 2014: La distribución vertical de la salinidad (Fig. 20) para el área de estudio presentó una haloclina muy superficial para todas las estaciones (1 hasta 4 m) en profundidad, con una variación entre 33.35 y 34.38 g kg⁻¹.

Las salinidades máximas fueron observadas cerca del fondo (> 100 m) de 34.61 g kg⁻¹ entre las estaciones E1 y E2. Por otro lado se observó concentraciones mínimas en la superficie de 33.35 g kg⁻¹ en todas las estaciones, presentando una acotada variación de la salinidad en profundidad.

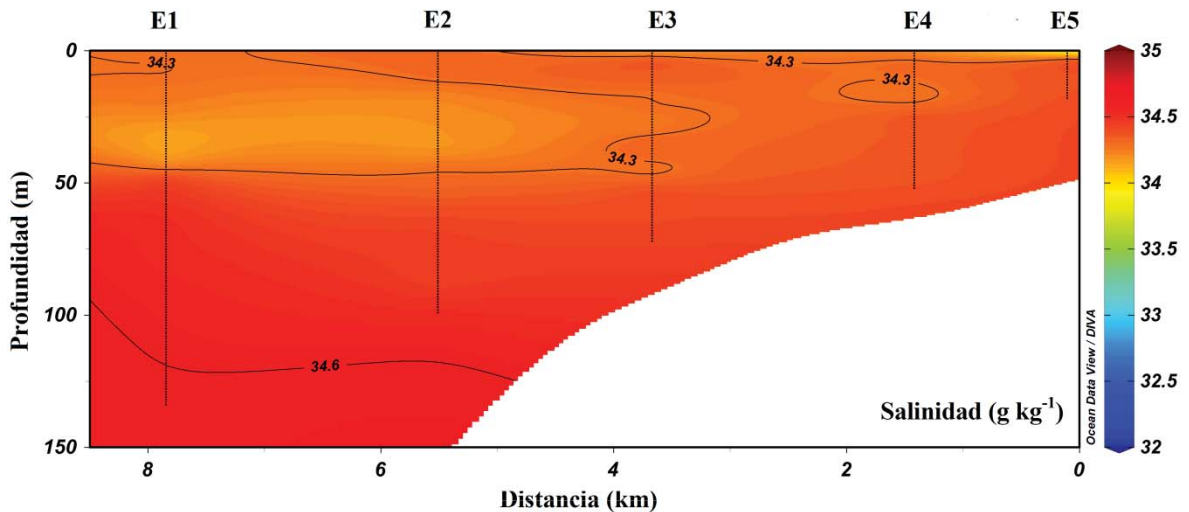


Figura 20: Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2014.

La distribución vertical de la temperatura (Fig. 21) para el área de estudio presentó una termoclina superficial para las 5 estaciones entre 1 y 44 m en profundidad, con una variación entre 14.48 hasta 12 °C.

Las máximas temperaturas se observaron en superficie (0 hasta 9 m) de 14.98°C en las estaciones E1 y E2. No obstante, las estaciones E3 y E4 se detectaron valores muy cercanos al máximo observado. Los valores mínimos de 11.73 °C fueron encontrados a 130 m de profundidad en la estación E1. Por otro lado, la estación E2 presentó un valor muy cercano a mínimo detectado de 11.79 a los 99 m de profundidad.

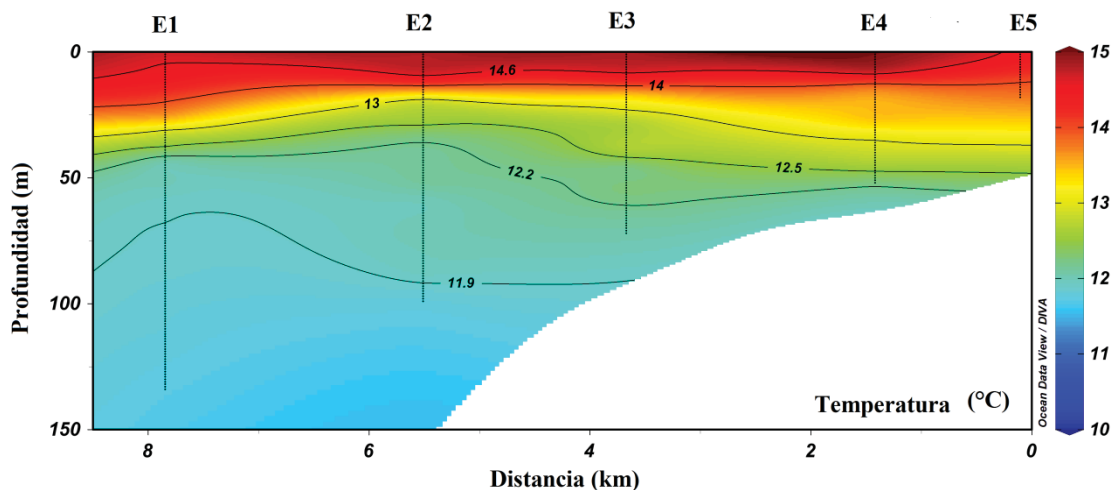


Figura 21: Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2014.

Junio 2014: La distribución vertical de la salinidad (Fig. 22) para el área de estudio presentó una haloclina muy superficial entre los 1 y 6 m en profundidad para todas las estaciones sin mayor variación. Luego de la haloclina, la distribución vertical de este parámetro oceanográfico incrementa paulatinamente en profundidad, observándose una fuerte estratificación hasta el fondo para cada estación.

Las salinidades máximas fueron observadas a los 102 m de profundidad en la estación E1 de 34.70 g kg⁻¹. Las demás estaciones (E2, E3 y E4) presentaron concentraciones muy similares al máximo detectado (34.68 y 34.69 g kg⁻¹). Por otro lado, la estación E5 se observó concentraciones mínimas de 33.06 g kg⁻¹ en superficie (0 m hasta los 4 m).

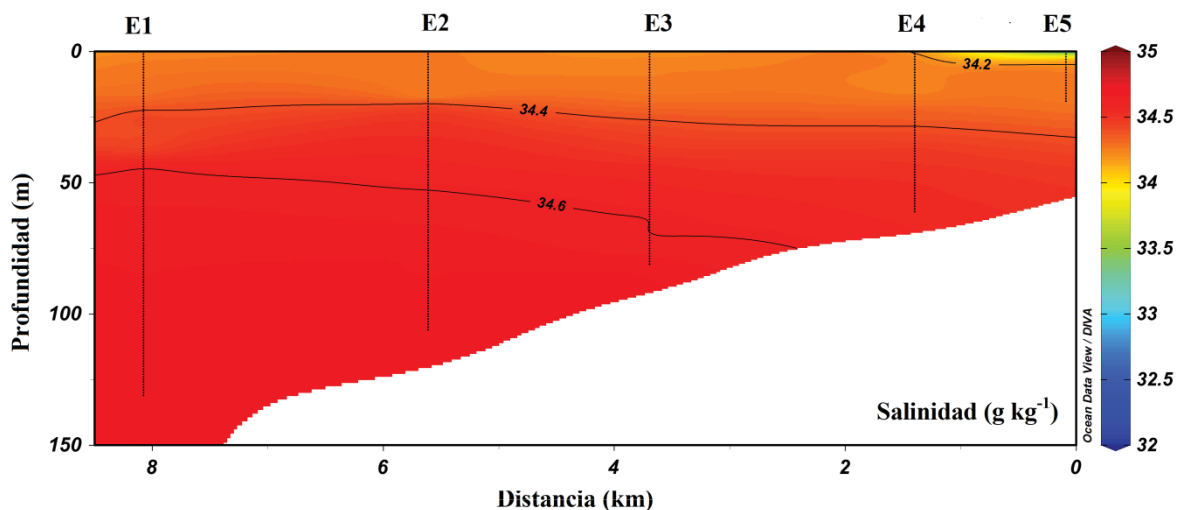


Figura 22: Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.

La distribución vertical de la temperatura (Fig. 23) para el área de estudio presentó una termoclina invertida para la estación E5 entre 1 y 8 m en profundidad, con un rango entre 13.03 y 13.17 °C, luego no presentó una variación en profundidad. Una distribución similar se detectó con la estación E4, solo que es más superficial (0 hasta 3 m) y acotada que la estación E5. Sin embargo, E4 presentó una estratificación desde 3 m hasta 15 m, dónde se generó una termoclina hasta los 46 m con un rango de 13.10 y 12.27 °C, luego no presentó variación importantes. La estación E3 tuvo una distribución más homogénea desde la superficie hasta los 15 m. Bajo de esta profundidad, se detectó una termoclina hasta los 51 m con un rango de 12.59 y 12.11°C, luego decrece paulatinamente. La estación E2 presentó una distribución más homogénea desde la superficie hasta 15 m, luego se observó una estratificación hasta los 19 m con una variación de 12.88 y 12 °C, luego se detectó un leve incremento de la temperatura para luego descender en profundidad. La estación E1 presentó una mayor termoclina, desde la superficie hasta 39 m en profundidad, con un rango entre 13.11 y 11.67 °C, luego se detectó un incremento de +0.39 °C entre 40 m y 48 m de profundidad, para disminuyendo paulatinamente hasta el fondo de la estación.

Las máximas temperaturas se observaron en superficie (0 hasta 16 m) de 13.18° C en todas las estaciones con mínimas variaciones. Los valores mínimos de 11.63 °C fueron encontrados cerca del fondo en la estación E1.

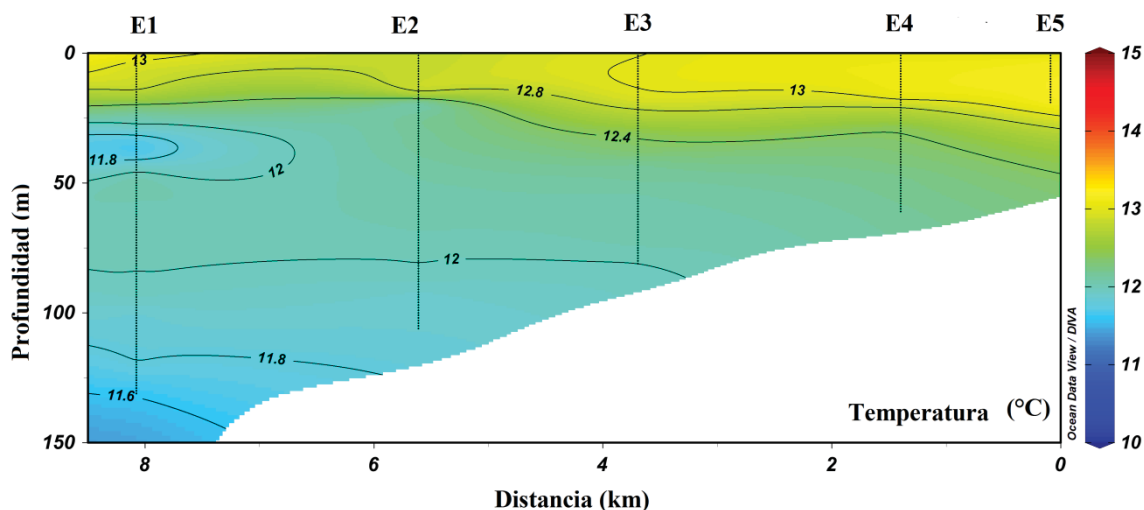


Figura 23: Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.

La distribución vertical del oxígeno disuelto (Fig. 24) para el área de estudio presentó una oxiclina superficial desde 1 hasta 17 m para las estaciones E2, E4 y E5 con un rango entre 4.71 y 4.97 mL L⁻¹. No obstante, las estaciones E1 y E3 presentaron una oxiclina más acotada desde la superficie hasta 9 m de profundidad. Una característica que tuvieron todas las estaciones fue que bajo la oxiclina la concentración de oxígeno disuelto comienza a disminuir paulatinamente hasta el fondo de cada estación.

Las concentraciones máximas de oxígeno disuelto fueron observadas en superficie (4 hasta 5 m) de 6.17 mL L⁻¹ en la estación E1. No obstante, la estación E3 se observó concentraciones similares al máximo de 6.11 mL L⁻¹. Por otro lado, se detectó valores mínimos de 0.13 mL L⁻¹ cerca del fondo para todas las estaciones. Una característica muy interesante que se detectó en esta zona es el límite de mínimo oxígeno (ZMO) desde 45 m de profundidad hasta el fondo, teniendo una acotada variación dependiendo de la estación. Considerando que la ZMO < 0.5 mL L⁻¹ (Quiroga, 2005).

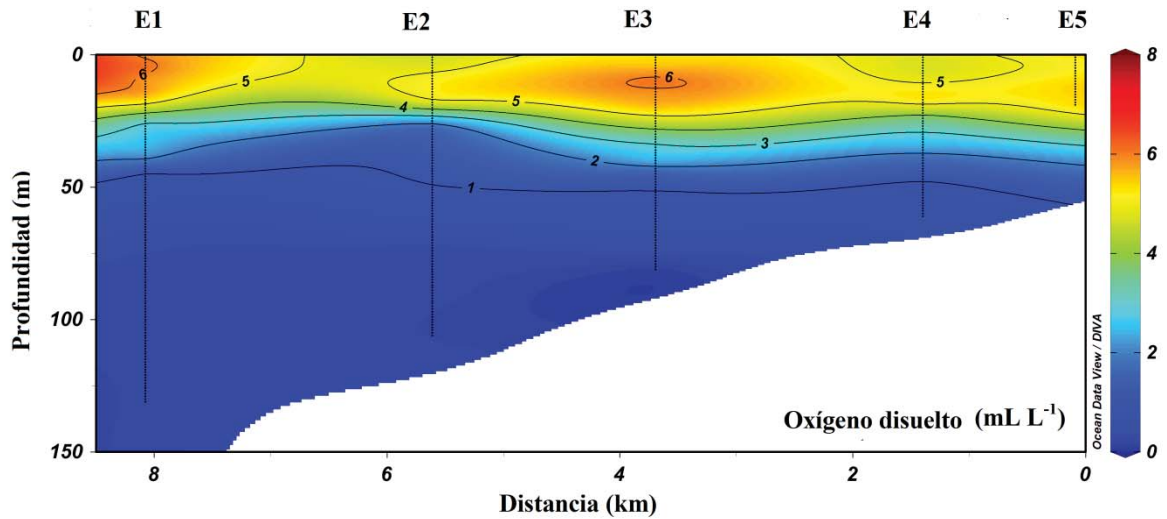


Figura 24: Distribución vertical de la oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.

Octubre 2014: La distribución vertical de la salinidad (Fig. 25) para el área de estudio presentó concentraciones máximas de 34.60 g kg^{-1} a los 90 m de profundidad para las estaciones E1 y E2. Las demás estaciones presentaron concentraciones muy similares al máximo detectado. Por otro lado, las estaciones E1 y E5 se observó concentraciones mínimas de 34.20 g kg^{-1} en superficie (0 m hasta 2 m). De manera general, la distribución vertical incrementó paulatinamente en profundidad, detectándose una fuerte estratificación.

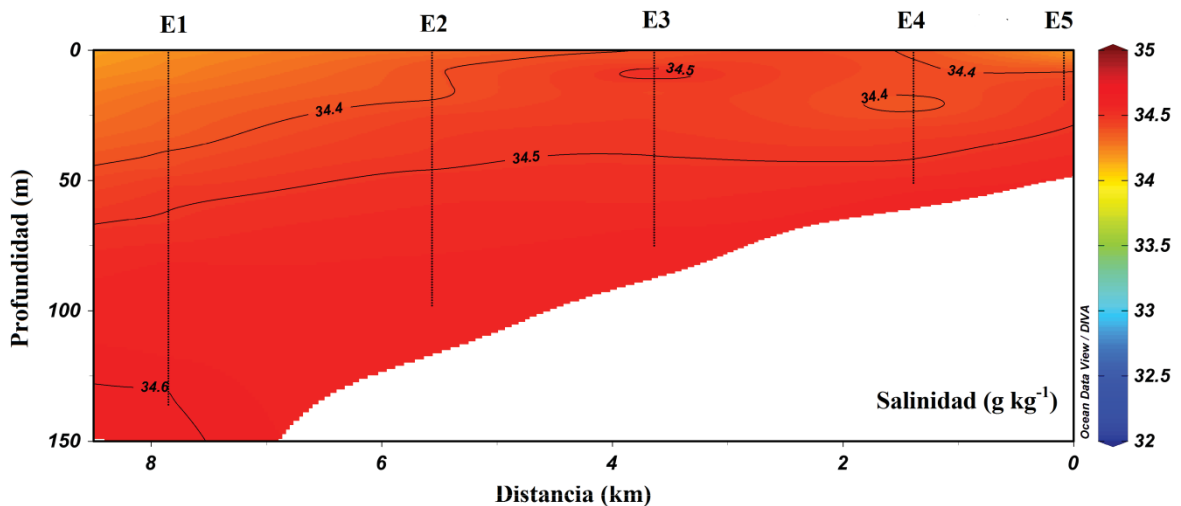


Figura 25: Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.

La distribución vertical de la temperatura (Fig. 26) para el área de estudio presentó en la estación E5 una termoclina invertida en superficie (1 hasta 4 m) con una variación 12.59 hasta 12.71°C. Luego se invierte este patrón, dónde se observó una termoclina hasta 19 m de profundidad con una variación entre 12.69 hasta 11.53 °C. La estación E4 mostró una distribución más homogénea en superficie (0 hasta 7 m), luego se detectó una termoclina hasta 23 m, con una variación entre 12.47 y 11.69 °C. Posteriormente, vuelve a tener una distribución sin mayor variación hasta 28 m para luego disminuir paulatinamente en profundidad. La estación E3 mostró una distribución en superficie similar a E4, luego se detectó una termoclina desde 5 hasta los 17 m, luego este parámetro decreció paulatinamente en profundidad. La estación E2 mostró una termoclina desde la superficie hasta 32 m con un rango entre 12.82 hasta 11.55 °C, luego la temperatura declina hasta el fondo de la estación. Finalmente la estación E1 mostró dos termoclinas, la primera fue observada entre los 7 hasta 14 m de profundidad con una variación entre 13.62 y 14.00 °C y la segunda a los 29 hasta 39 m, con un rango de 12.26 hasta 11.65° C, luego este parámetro disminuye sin mayor variación en profundidad.

Las máximas temperatura se observaron en superficie (0 hasta 6 m) de 13.67°C, solo para la estación E1. Los mínimos fueron de 10.94 °C detectados cerca del fondo para la misma estación.

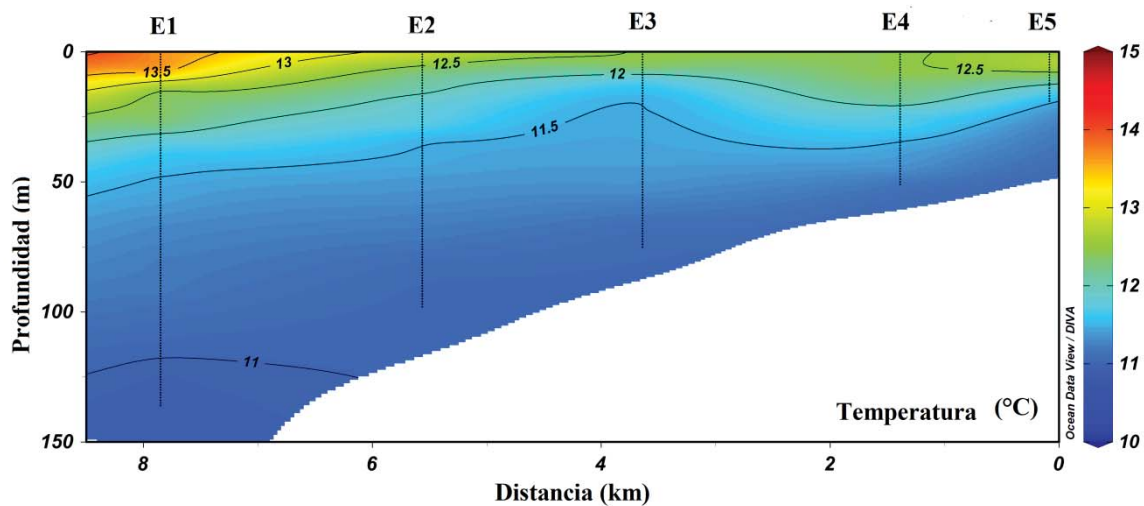


Figura 26: Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.

La distribución vertical del oxígeno disuelto (Fig. 27) para el área de estudio presentó una oxiclina superficial, entre 1 hasta los 11 m para las estaciones E1, E3, E4 y E5

presentando un una variación entre 5.94 hasta 6.85 mL L⁻¹. Sin embargo, la estaciones E2 presentó una oxiclina más superficial (0 hasta 3 m). Una característica que tienen en común es que en todas las estaciones bajo la oxiclina presentaron una disminución en la concentración del oxígeno disuelto hasta el fondo de cada estación, con excepción de la estación E1 que vuelve a incrementar el oxígeno disuelto entre los 21 y 24 m con un rango entre 5.84 y 6.68 mL L⁻¹, luego su tendencia es similar a las demás estaciones.

Las concentraciones máximas de oxígeno disuelto fueron observadas en superficie (7 hasta 9 m) de 6.85 mL L⁻¹ para la estación E1. No obstante, la estación E5 se observó concentraciones cercanas al máximo de 6.44 mL L⁻¹. Por otro lado, se detectó concentraciones mínimas de 0.37 mL L⁻¹ cerca del fondo para la estación E1. Una característica muy interesante que se observó para esta zona es el (ZMO) desde los 110 m de profundidad hasta el fondo.

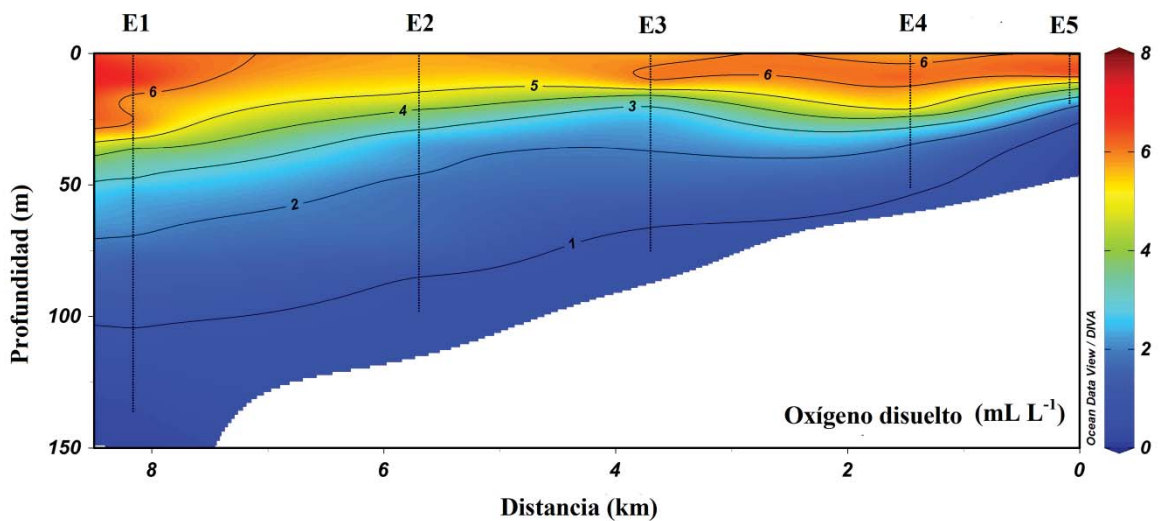


Figura 27: Distribución vertical del oxígeno disuelto en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.

Diciembre 2014: La distribución vertical de la salinidad (Fig. 28) para el área de estudio, presentó una haloclina superficial en todas las estaciones, siendo está más acotada en E5. Entre las estaciones E5 hasta la E2 presentaron haloclinas desde la superficie hasta 3 y 4 m en profundidad. Luego su distribución fue homogénea hasta el fondo para cada estación. Sin embargo, la estación E1 se detectó una haloclina más superficial (0 y 2 m), luego su distribución no tuvo variaciones.

Las salinidades máximas fueron 34.60 y 34.65 g kg^{-1} en las estaciones E5 y E3 entre los 3 y 4 m de profundidad. Por otro lado, los mínimos fueron detectados en las estaciones E4 y E2 de 33.79 y 33.70 g kg^{-1} en superficie.

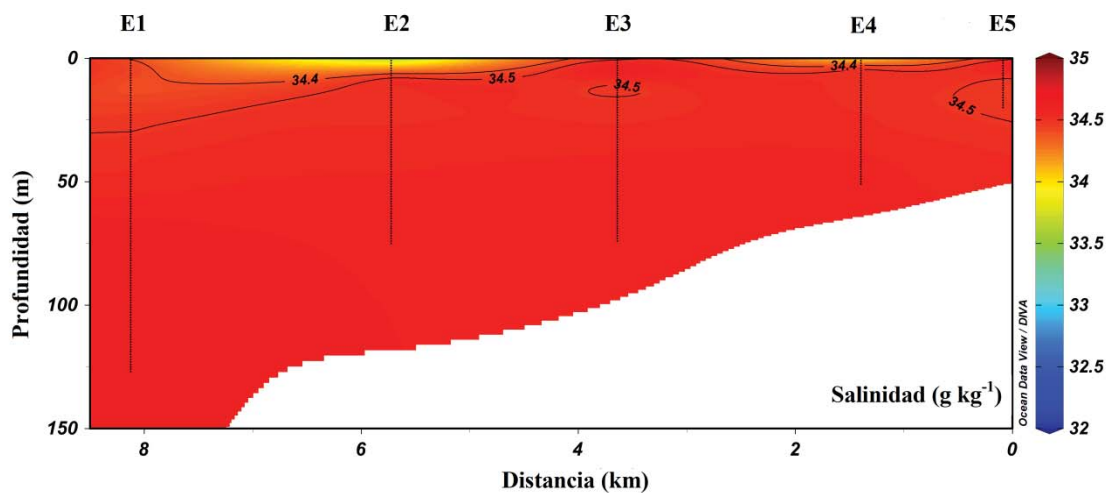


Figura 28: Distribución vertical de la salinidad en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2014.

La distribución de la temperatura (Fig. 29) en la zona de estudio, presentó una termoclina superficial (16 hasta 20 m), para todas las estaciones. Bajo dicha profundidad esta variable fue disminuyendo paulatinamente sin grandes variaciones hasta el fondo de cada estación.

Las máximas temperaturas fueron observadas en superficie (14.72°C), solo para la estación E5. Por otra parte, el mínimo fue de 11.17°C detectados cerca del fondo para la estación E1.

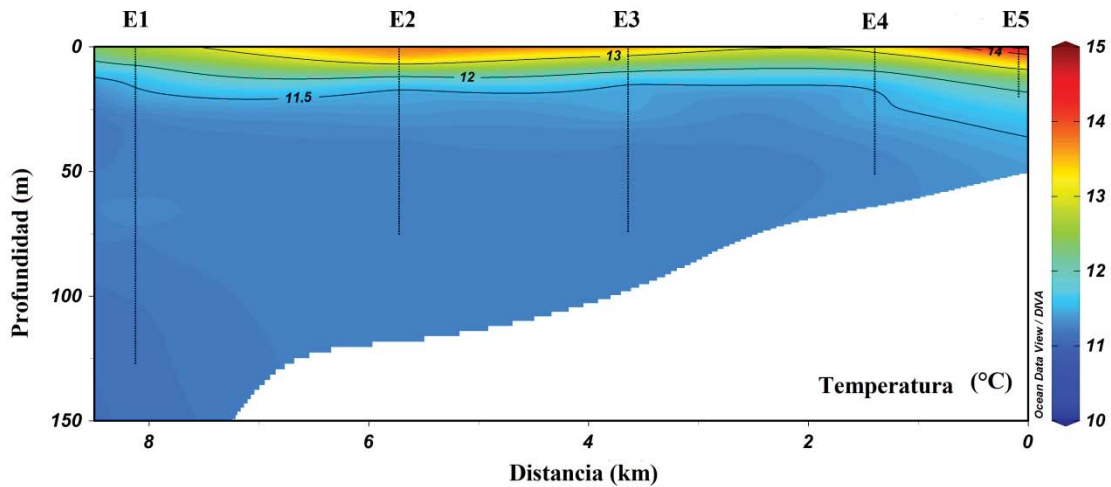


Figura 29: Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2014.

Para el sector correspondiente a la bahía de Valparaíso, la información extraída del CTD-O fueron los siguientes:

Abril 2015: La información obtenida para las estaciones ubicadas en la bahía de Valparaíso (Tabla 1 y Fig. 30). La distribución vertical de la temperatura en el área de estudio, presentó en todas las estaciones una estratificación superficial (0 hasta 9 m), luego se detectó una termoclina para todas las estaciones con diferencias en sus profundidades. Para la estación E5 se observó hasta los 33 m con una variación entre 14.20 hasta 12.00 °C, luego se mantuvo estable hasta el final de la estación. Para la estación E4 y E3 hasta los 36 y 38 m, con un rango de temperatura similar entre las dos estaciones (14.20 hasta 11.90 °C), luego su distribución disminuyó paulatinamente. Para la estación E2 y E1 se detectó una termoclina hasta los 32 y 44 m, con un rango de temperatura entre los 14.40 y 14.30 °C hasta los 12.10 y 12.00 °C, luego la temperatura disminuye hasta el fondo de la estación.

Los valores máximos de temperatura fueron observados en superficie (0 hasta 2 m) de 14.46 °C, solo para la estación E3. Los mínimos (11.56° C) fueron detectados cerca del fondo en la estación E2.

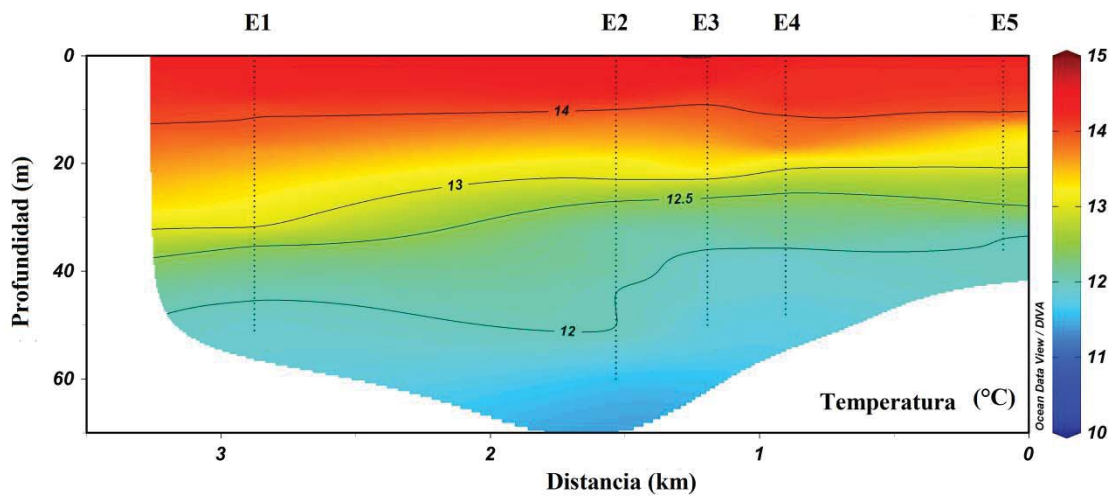


Figura 30: Distribución vertical de la temperatura en la zona correspondiente a la Bahía de Valparaíso, abril 2015.

5.2. Resultados de masas de agua para la desembocadura del río Aconcagua.

Los diagramas T-S fueron contruidos de acuerdo a los cinco tipos de masas de agua más representativos en las costas de Chile. No obstante, las más representativas fueron el Agua Subantártica (ASAA) y el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) para todas las estaciones y fechas correspondientes al área de muestreo (Fig. 31 – 38).

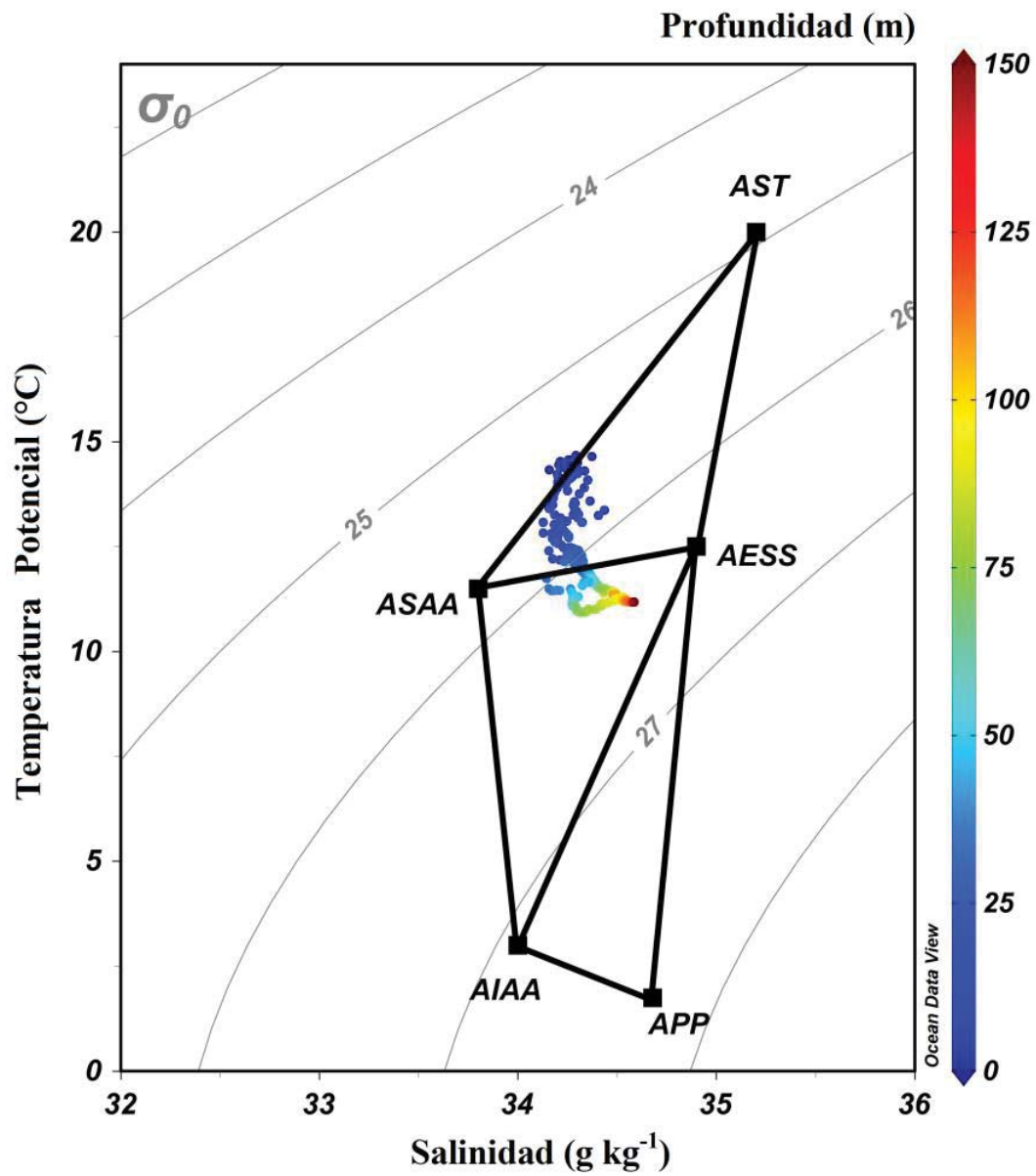


Figura 31: Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua (AST = Agua Subtropical; ASAA = Agua Subantártica; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial; AIAA = Agua Intermedia Antártica; APP = Agua Profunda del Pacífico), para la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2012.

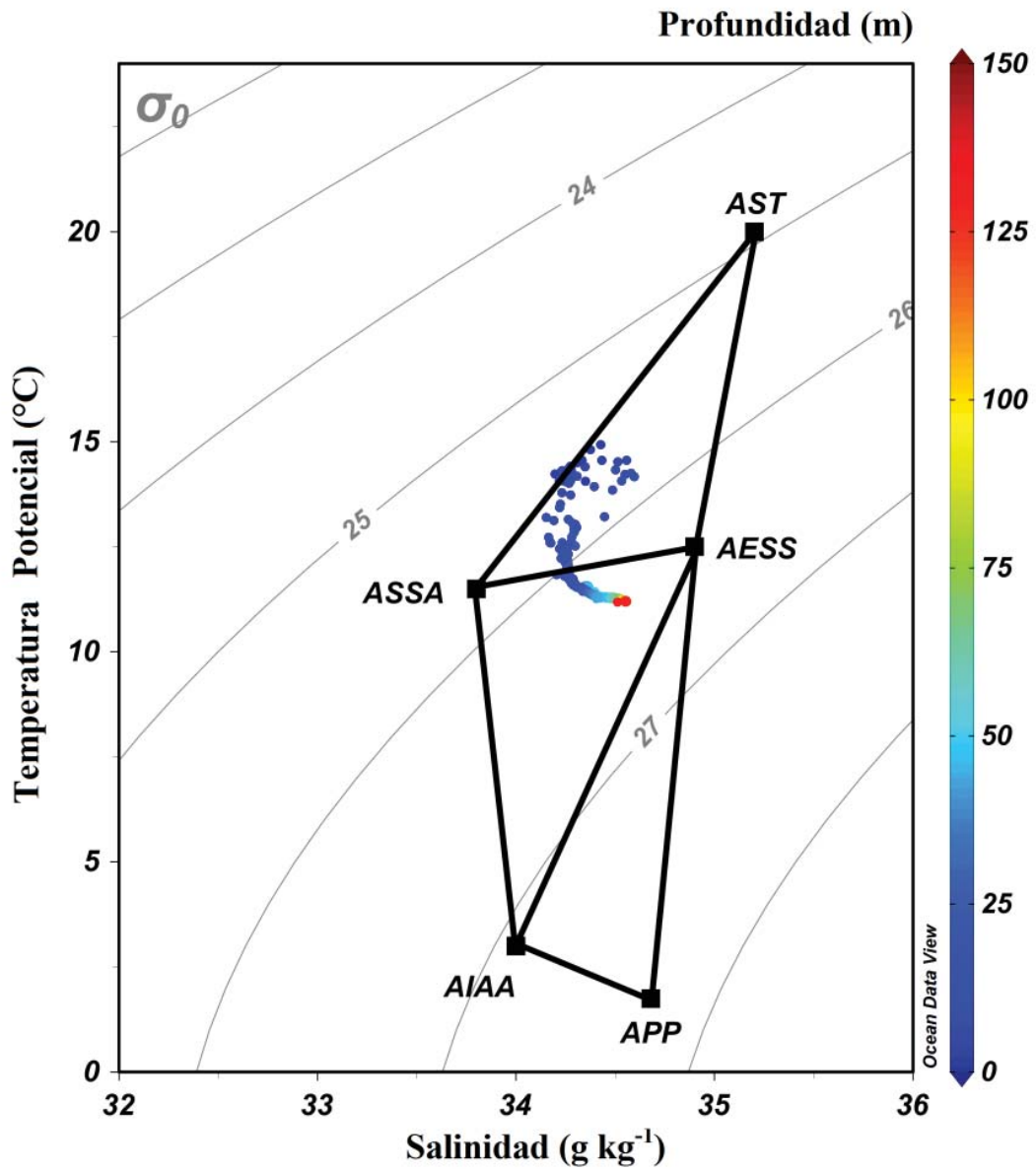


Figura 32: Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua (AST = Agua Subtropical; ASAA = Agua Subantártica; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial; AIAA = Agua Intermedia Antártica; APP = Agua Profunda del Pacífico), para la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2013.

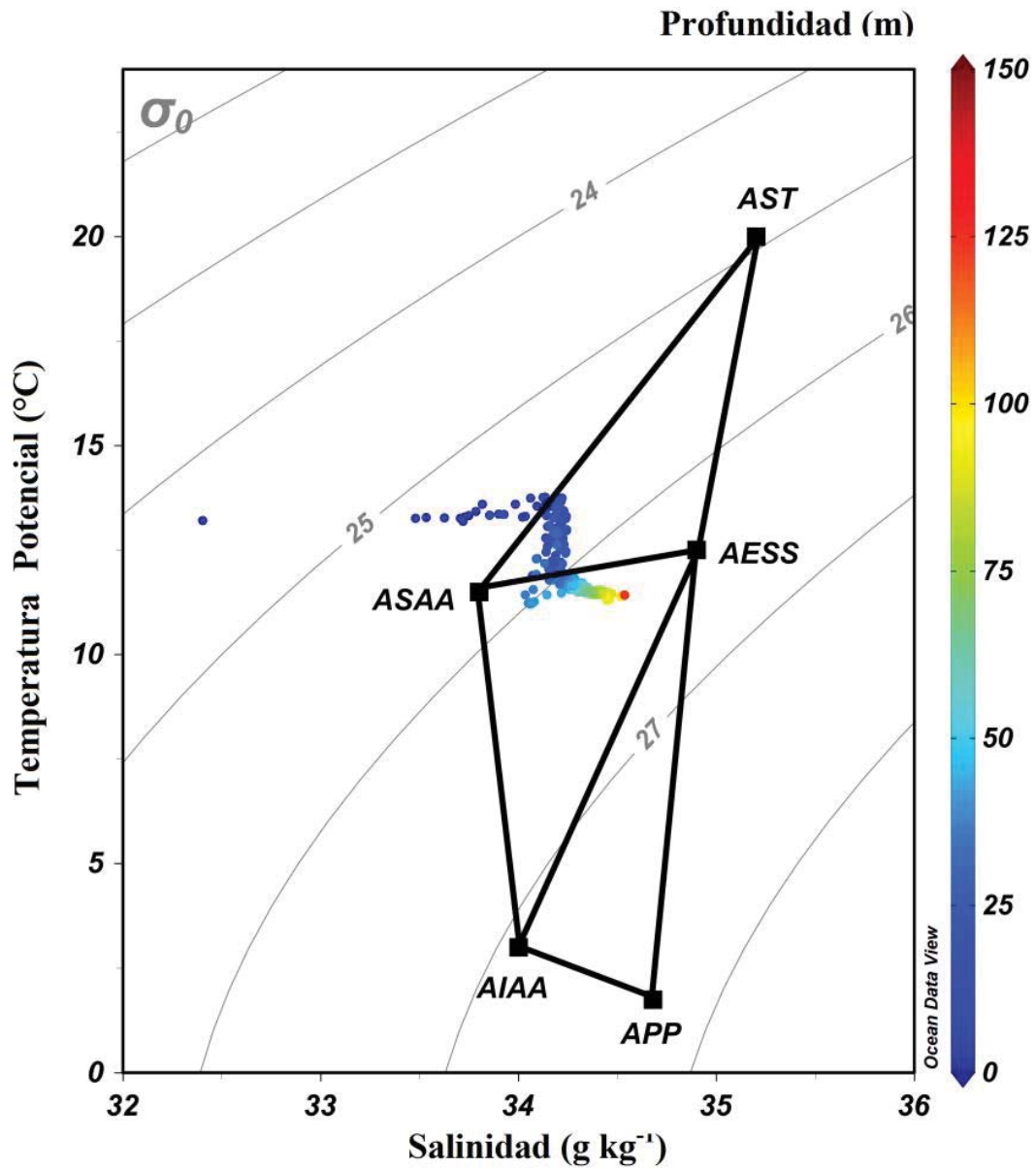


Figura 33: Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua (AST = Agua Subtropical; ASAA = Agua Subantártica; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial; AIAA = Agua Intermedia Antártica; APP = Agua Profunda del Pacífico), para la desembocadura del río Aconcagua, junio 2013.

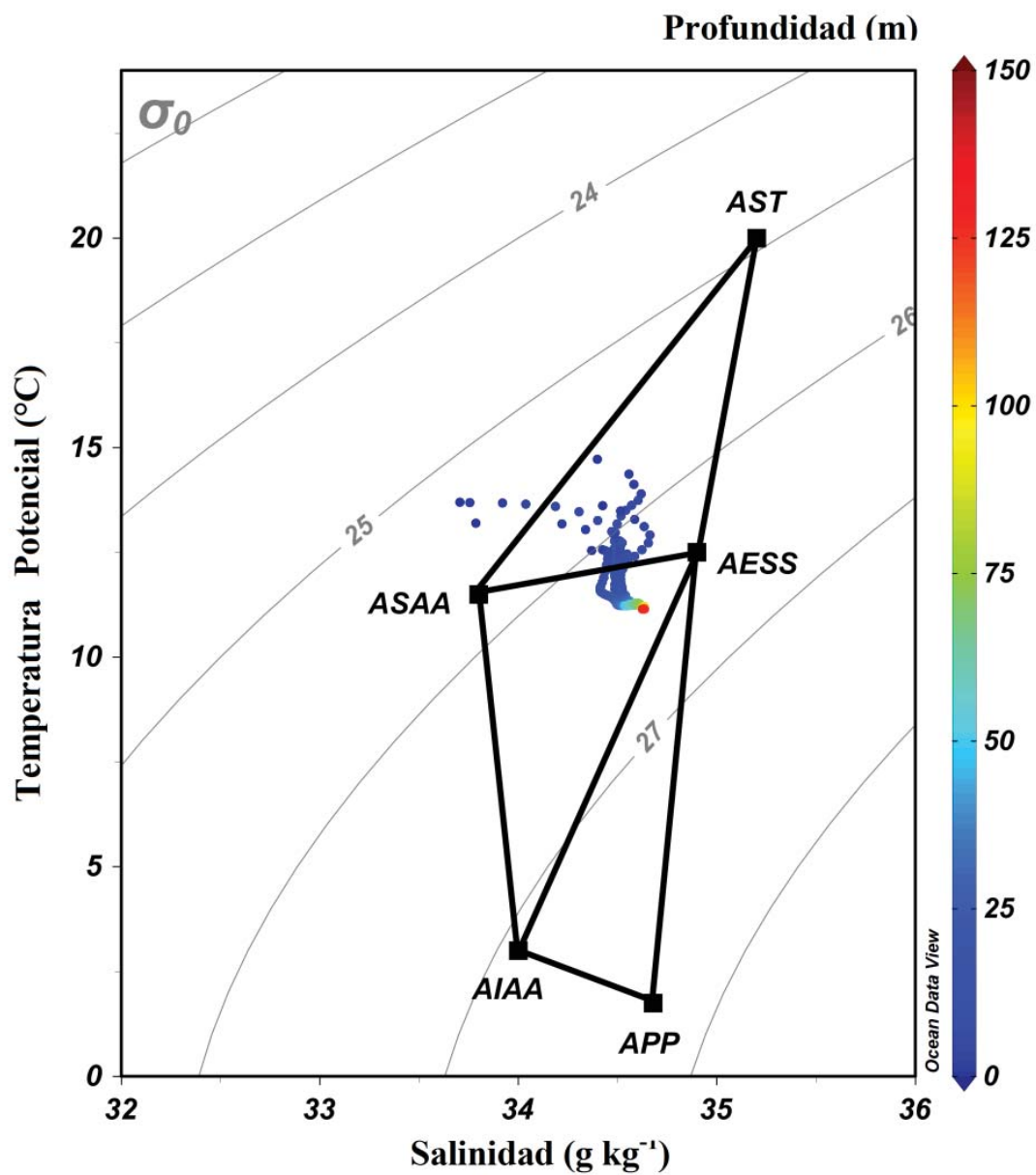


Figura 34: Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua (AST = Agua Subtropical; ASAA = Agua Subantártica; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial; AIAA = Agua Intermedia Antártica; APP = Agua Profunda del Pacífico), para la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2013.

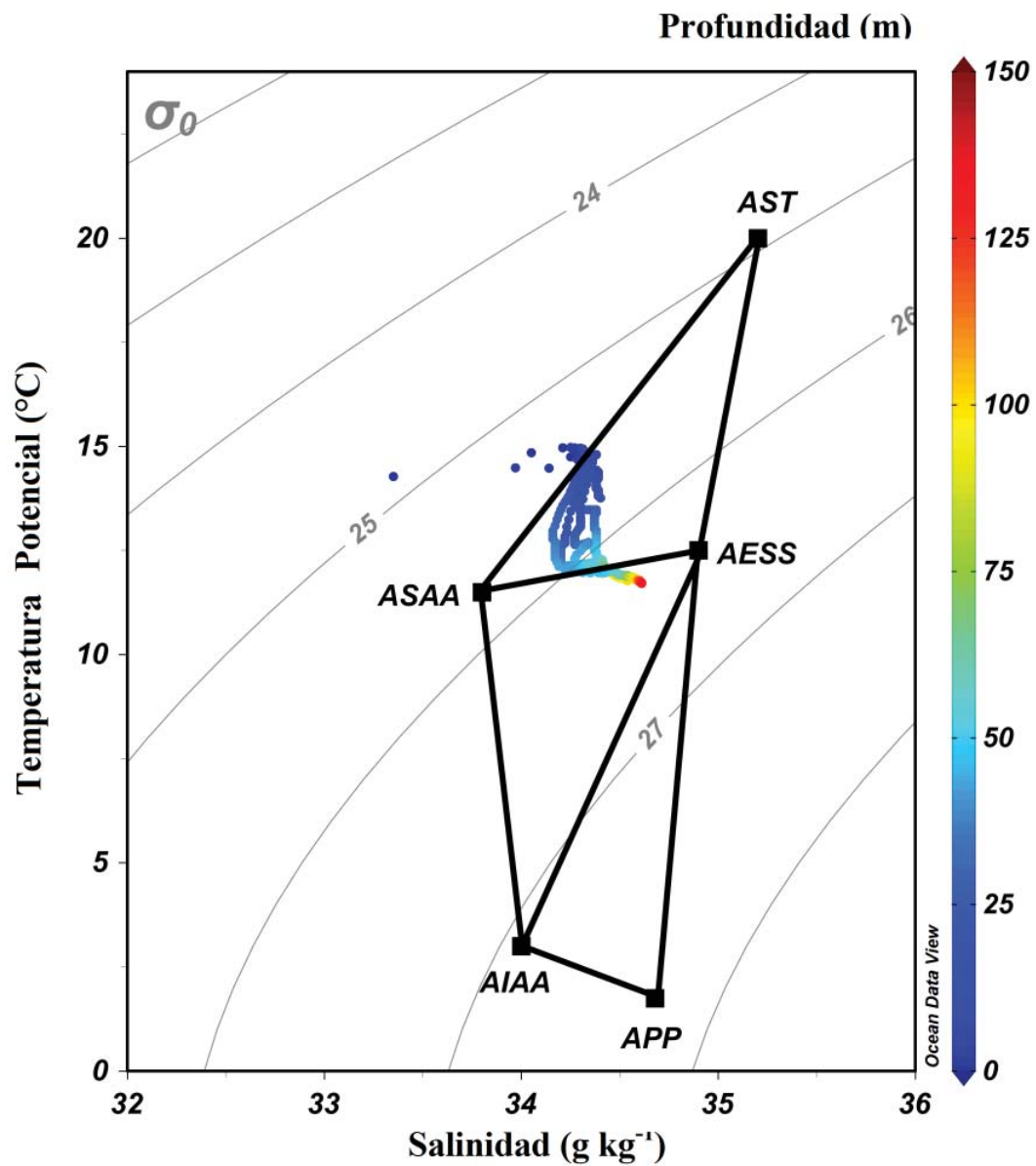


Figura 35: Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua (AST = Agua Subtropical; ASAA = Agua Subantártica; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial; AIAA = Agua Intermedia Antártica; APP = Agua Profunda del Pacífico), para la desembocadura del río Aconcagua, marzo 2014.

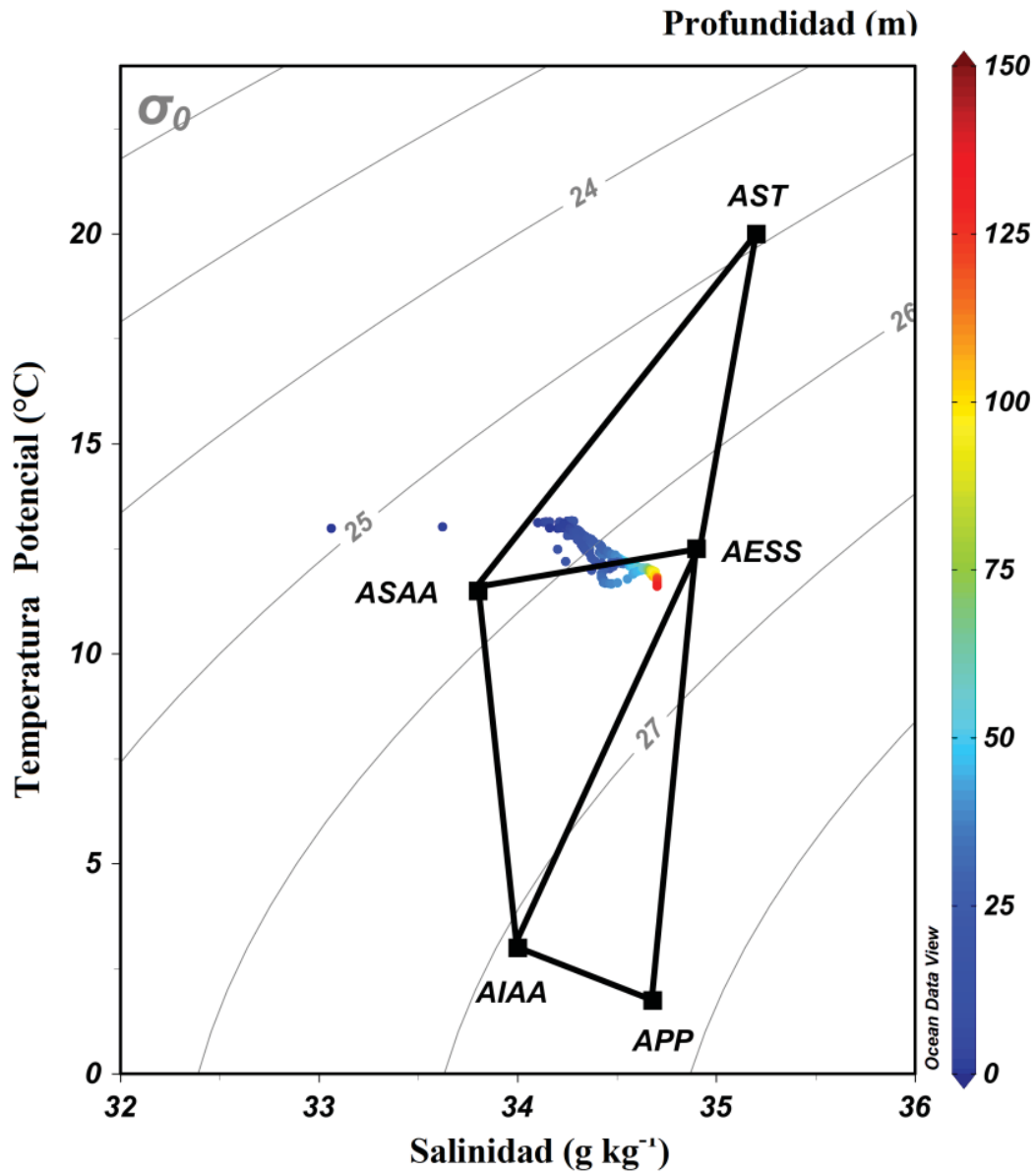


Figura 36: Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua (AST = Agua Subtropical; ASAA = Agua Subantártica; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial; AIAA = Agua Intermedia Antártica; APP = Agua Profunda del Pacífico), para la desembocadura del río Aconcagua, junio 2014.

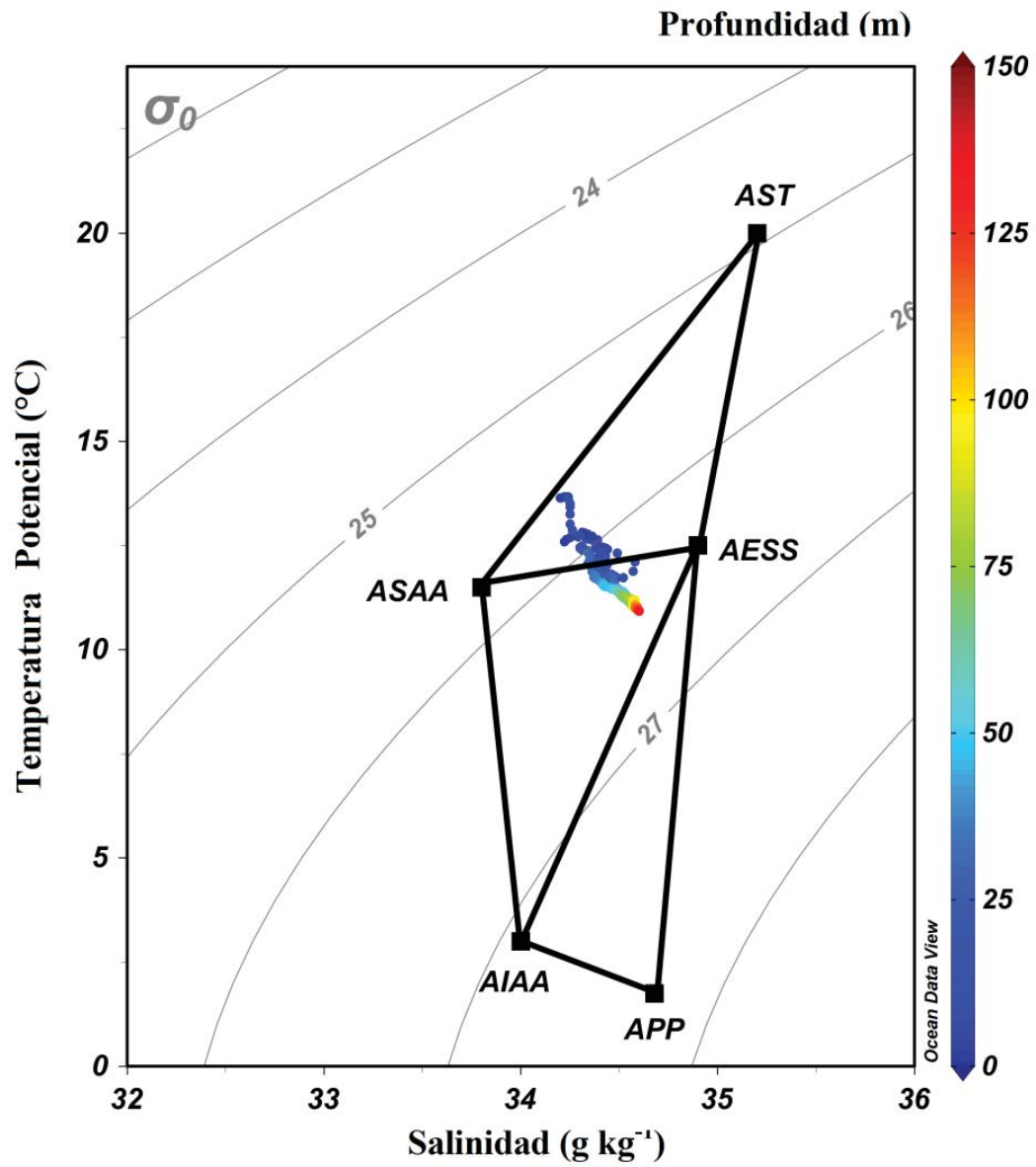


Figura 37: Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua (AST = Agua Subtropical; ASAA = Agua Subantártica; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial; AIAA = Agua Intermedia Antártica; APP = Agua Profunda del Pacífico), para la desembocadura del río Aconcagua, octubre 2014.

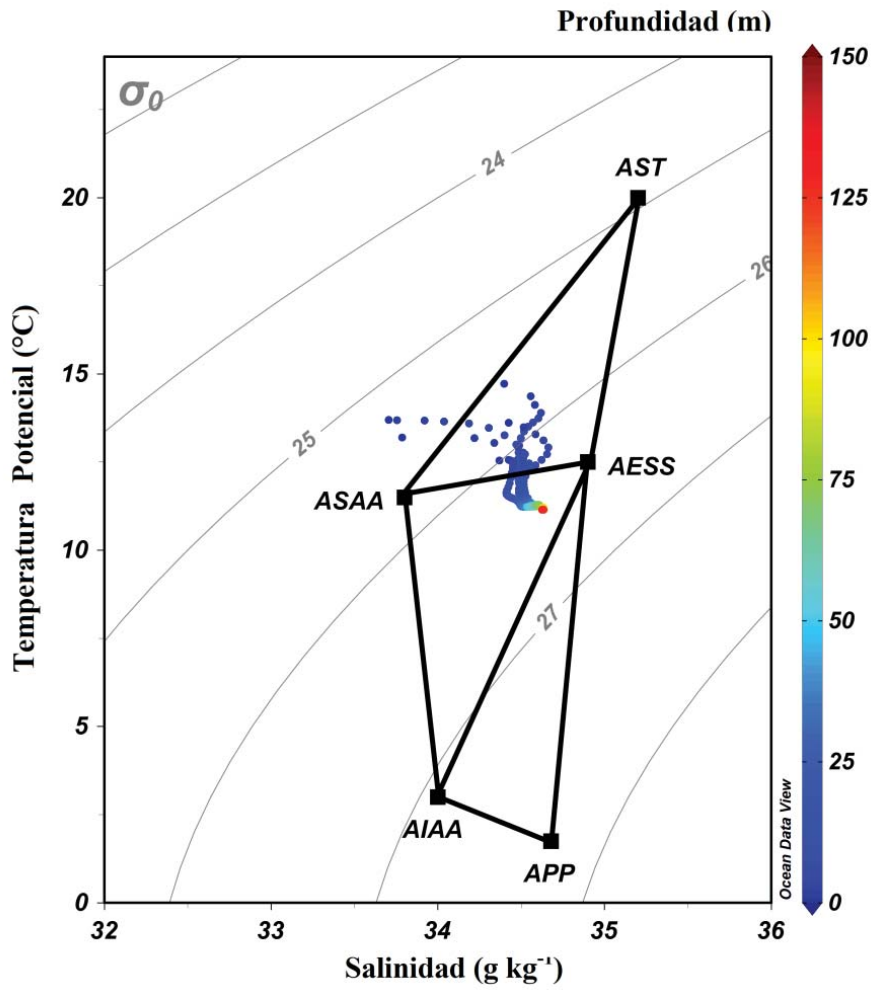


Figura 38: Diagrama T-S con los triángulos de las masas de agua (AST = Agua Subtropical; ASAA = Agua Subantártica; AESS = Agua Ecuatorial Subsuperficial; AIAA = Agua Intermedia Antártica; APP = Agua Profunda del Pacífico), para la desembocadura del río Aconcagua, diciembre 2014.

5.3. Resultados de la distribución espacial de la clorofila-*a*, a través de las imágenes satelitales para la Bahía de Valparaíso y Concepción

Los resultados obtenidos abarca desde la Bahía de Valparaíso hasta la desembocadura del río Aconcagua, de la cual se generaron imágenes satelitales correspondientes a:

I) Diciembre 2012.

II) Marzo, junio, septiembre y diciembre 2013.

III) Marzo, junio, octubre 2014

IV) Abril 2015.

Diciembre 2012: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 2 y Fig. 39) en el área de estudio, se extrajeron 393 puntos de información, con una concentración promedio de 3.07 mg m^{-3} . Sin embargo, se detectaron valores máximos entre 3.80 y 5.51 mg m^{-3} cerca de la Bahía de Valparaíso (Punta Ángel) y una disminución de las concentraciones a medida que se alejaba de la costa, con un valor mínimo de 1.92 mg m^{-3} .

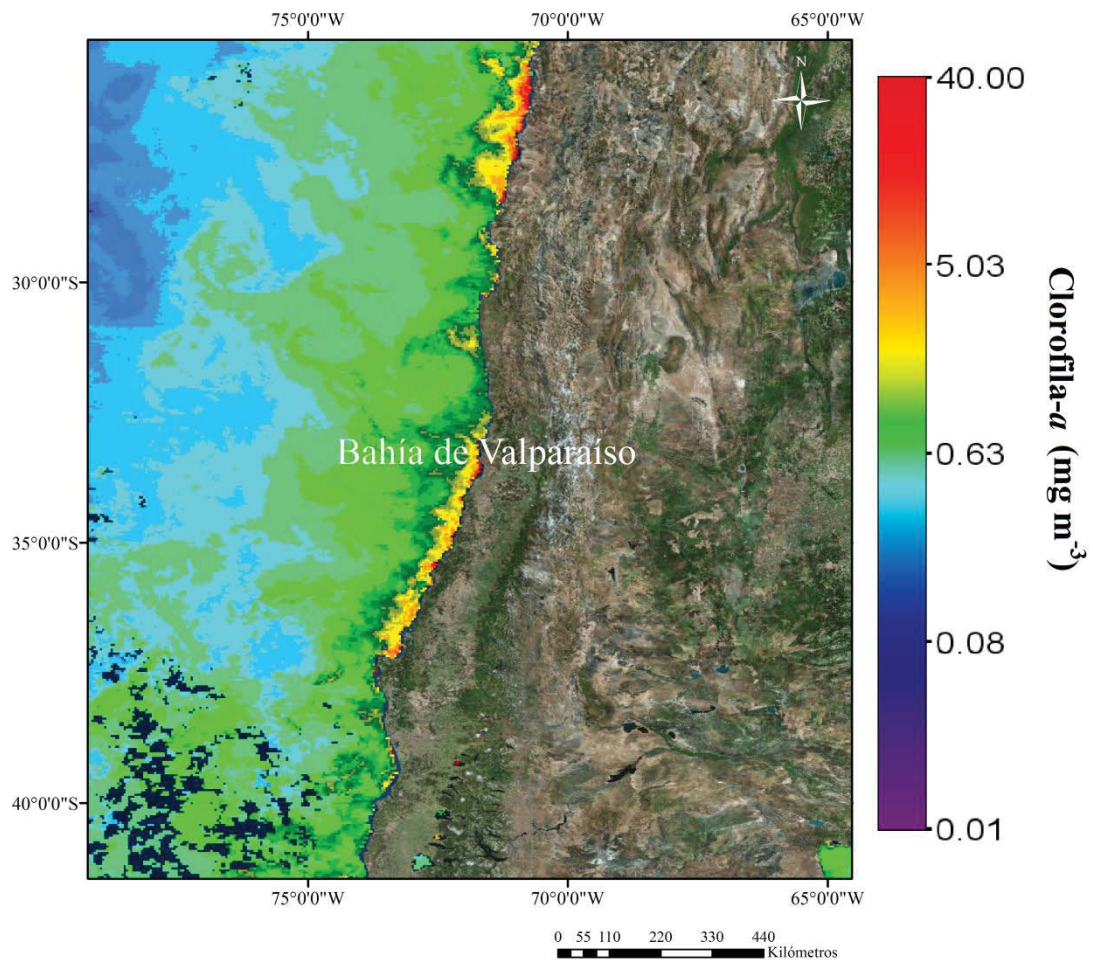


Figura 39: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de diciembre 2012.

Marzo 2013: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 3 y Fig. 40) en el área de estudio, se extrajeron 551 puntos de información, con una concentración promedio de 8.22 mg m^{-3} . Sin embargo, se detectaron valores máximos de 11.70 y 17.24 mg m^{-3} en la desembocadura del río Aconcagua y mínimo de 4.18 mg m^{-3} en el área de interés.

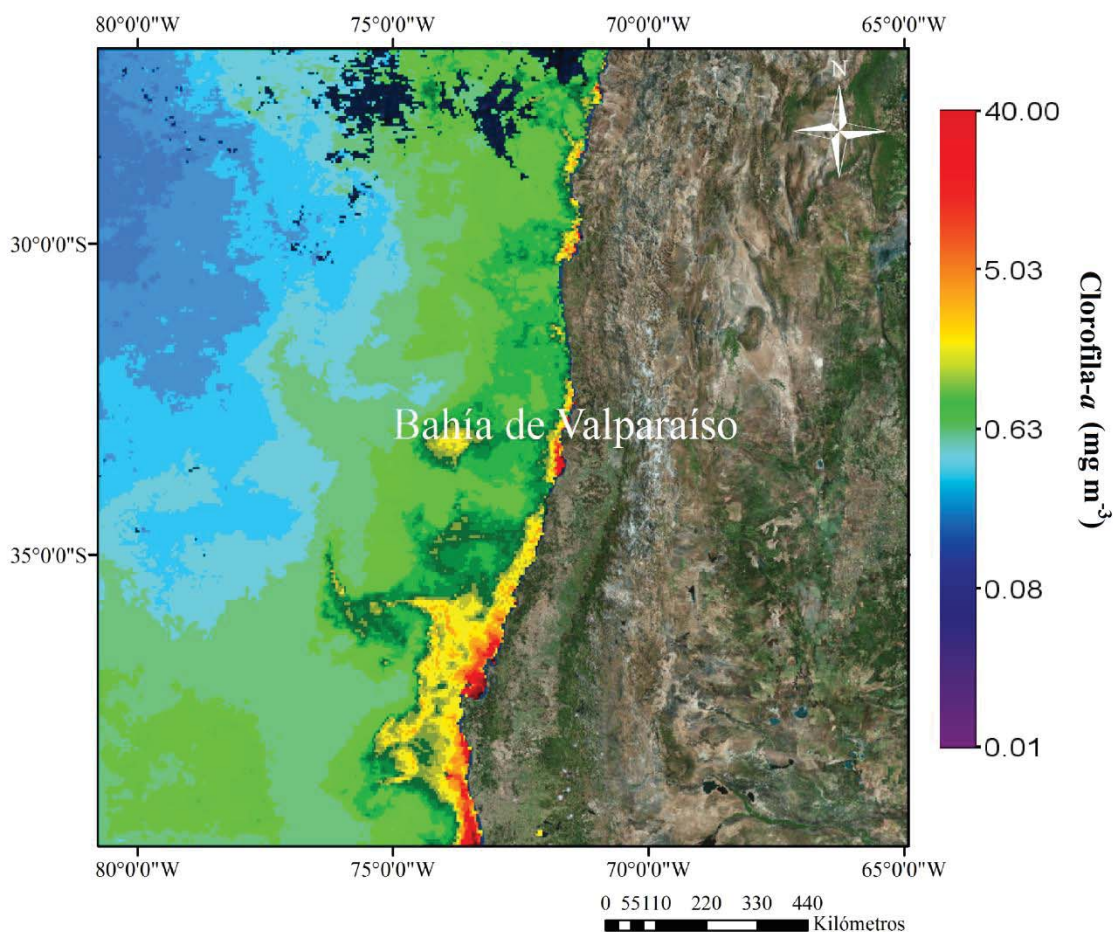


Figura 40: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de marzo 2013.

Junio 2013: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 4 y Fig. 41) en el área de estudio, se extrajeron 731 puntos de información, con una concentración promedio de 0.96 mg m⁻³. Sin embargo, se detectaron valores máximos entre 0.70 y 1.33 mg m⁻³ cerca de la Bahía de Valparaíso (Punta Ángel) y mínimas de 0.58 mg m⁻³ en el área de interés.

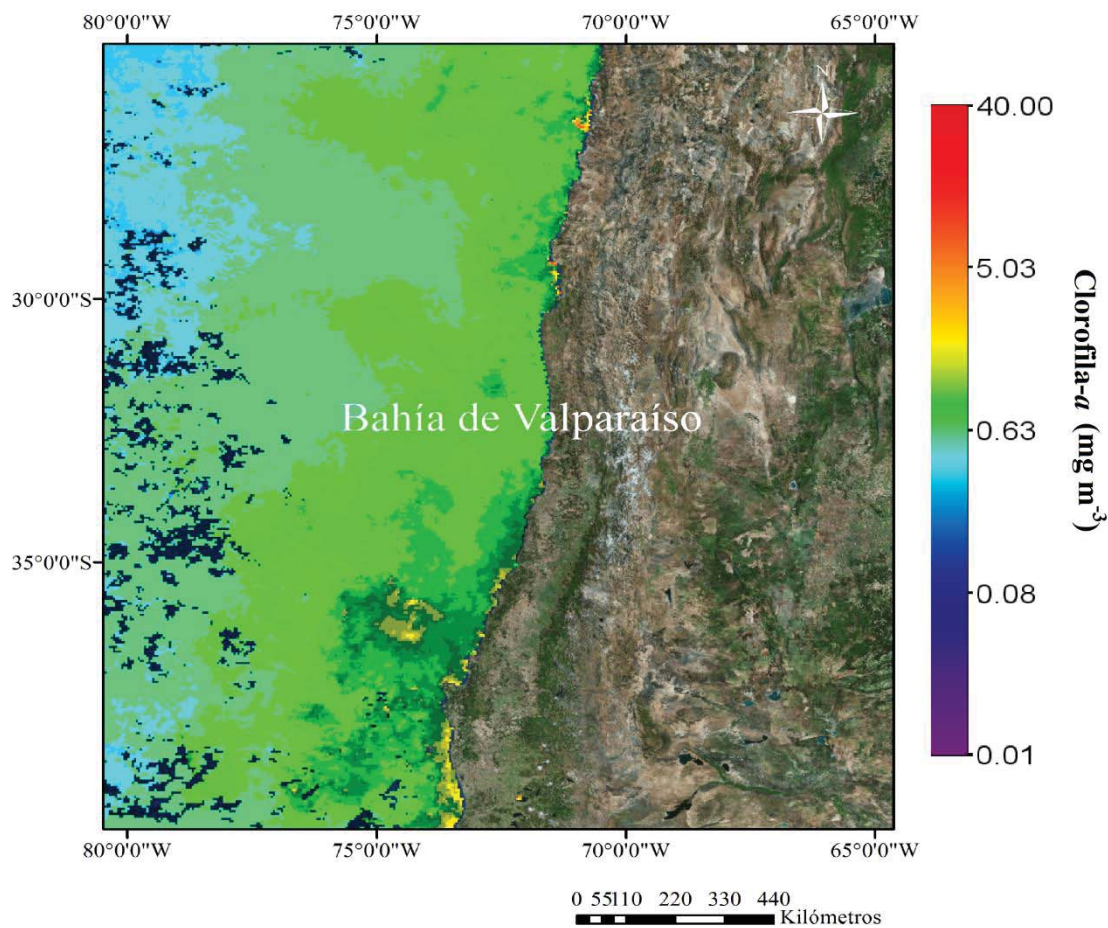


Figura 41: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de junio 2013.

Septiembre 2013: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 5 y Fig. 42) en el área de estudio, se extrajeron 674 puntos de información, con una concentración promedio de 7.30 mg m^{-3} . Sin embargo, se detectaron valores máximos entre 8.02 y 12.77 mg m^{-3} cerca de la Bahía de Valparaíso (Punta Ángel) y mínima de 2.41 mg m^{-3} en el área de interés.

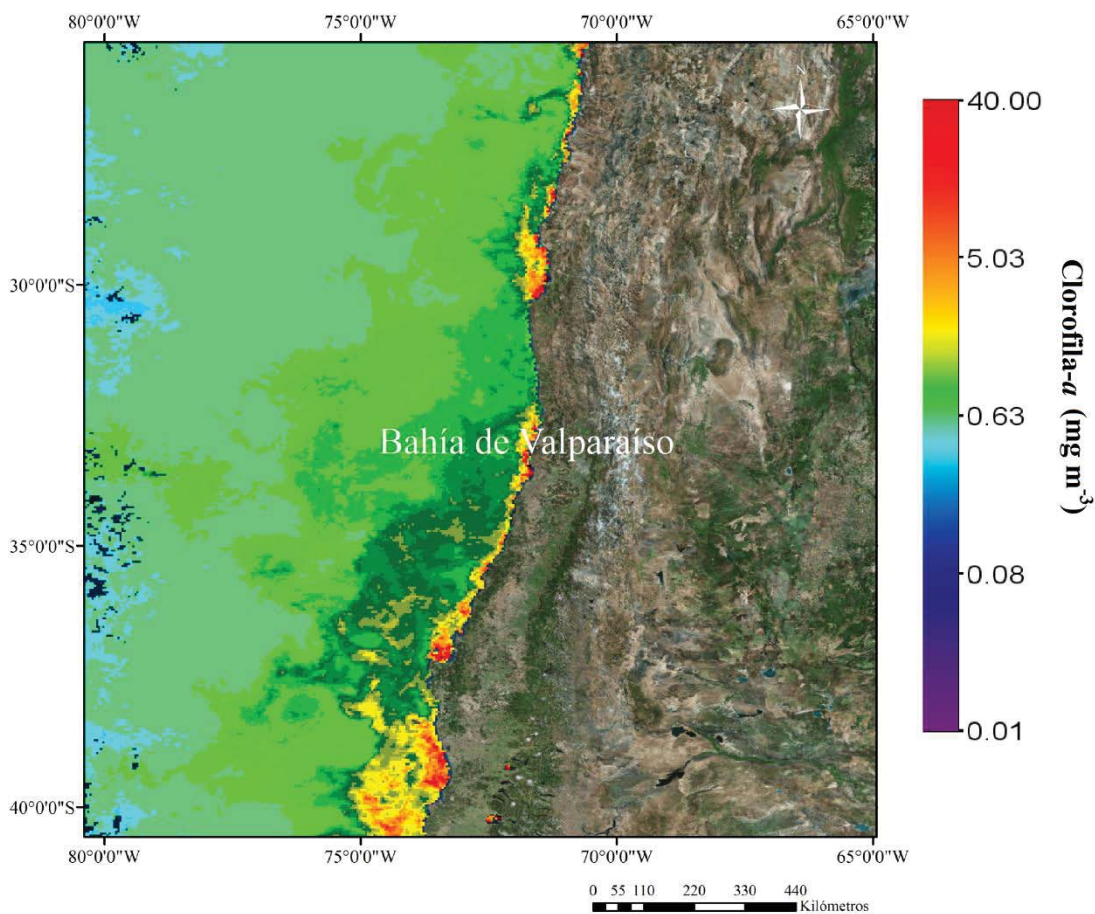


Figura 42: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de septiembre 2013.

Diciembre 2013: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 6 y Fig. 43) en el área de estudio, se extrajeron 1708 puntos de información, con una concentración promedio de 1.51 mg m⁻³. Sin embargo, se detectaron valores máximos entre 3.89 y 5.58 mg m⁻³ en la desembocadura del río Aconcagua y mínimo de 0.48 mg m⁻³ en el área de interés.

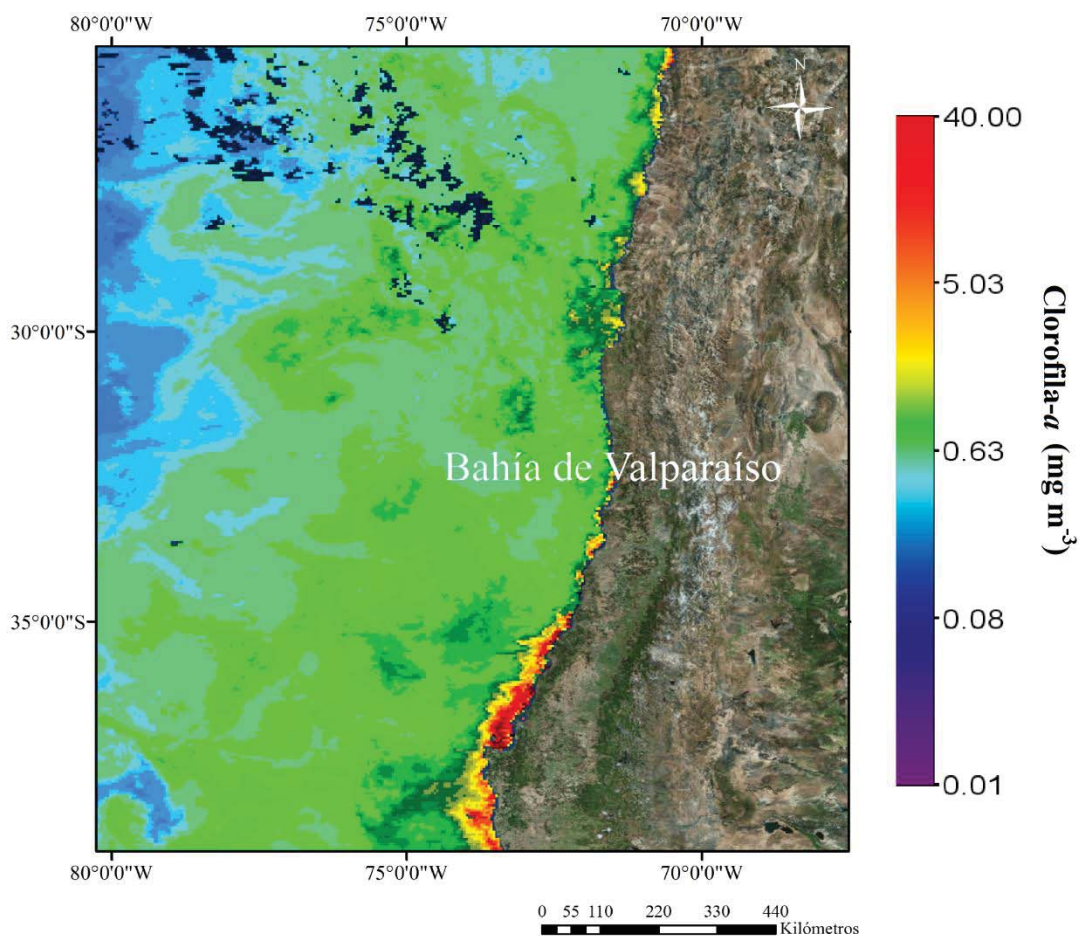


Figura 43: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de diciembre 2013.

Marzo 2014: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 7 y Fig. 44) en el área de estudio, se extrajeron 2334 puntos de información, con una concentración promedio de 6.94 mg m^{-3} . Sin embargo, se detectaron valores máximos entre 20.50 y 27.10 mg m^{-3} cerca de la Bahía de Valparaíso (Punta Ángel) y mínimas de 1.32 mg m^{-3} en el área de interés.

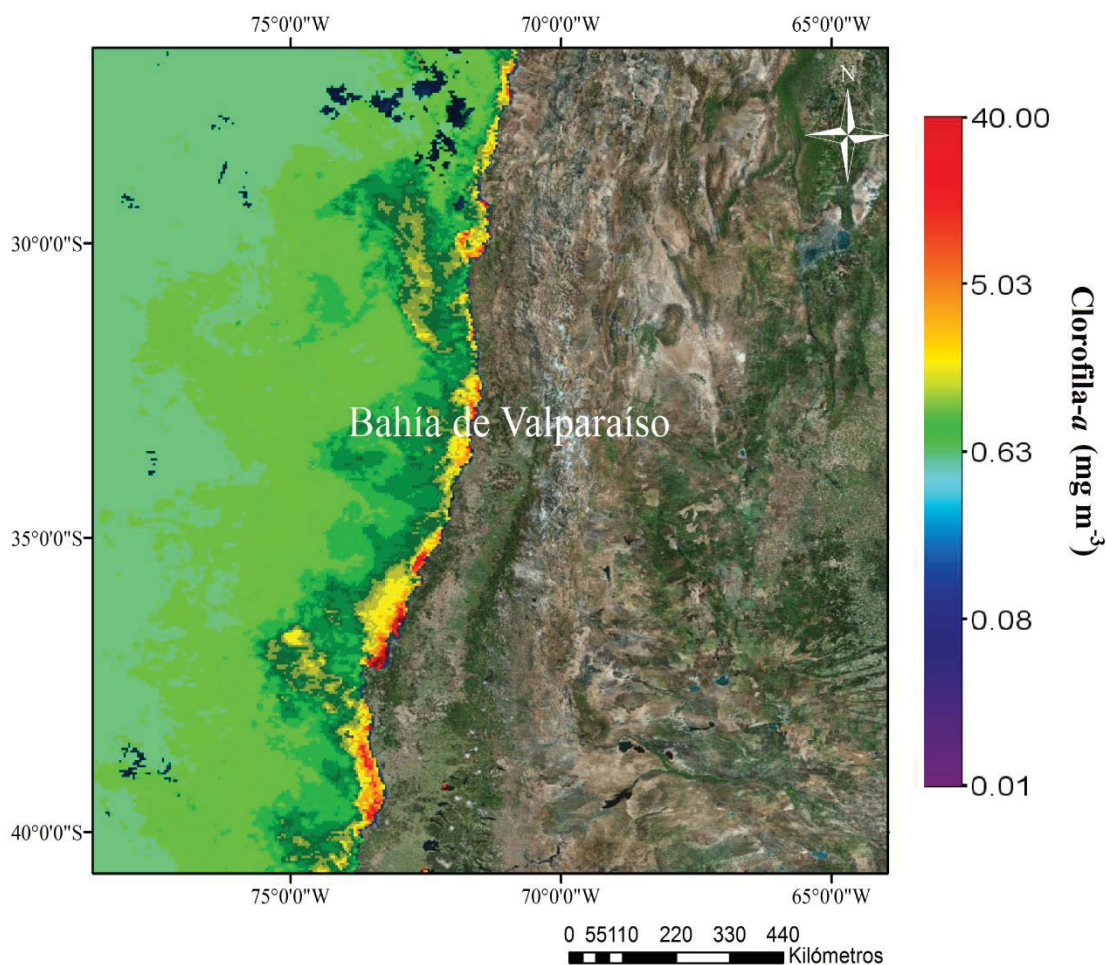


Figura 44: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de marzo 2014.

Junio 2014: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 9 y Fig. 45) en el área de estudio, se extrajeron 986 puntos de información, con una concentración promedio de 1.36 mg m^{-3} . Sin embargo, se detectaron valores máximos entre 1.61 y 2.21 mg m^{-3} cerca de la Bahía de Valparaíso (Punta Ángel) y mínimas de 1.050 mg m^{-3} en el área de interés.

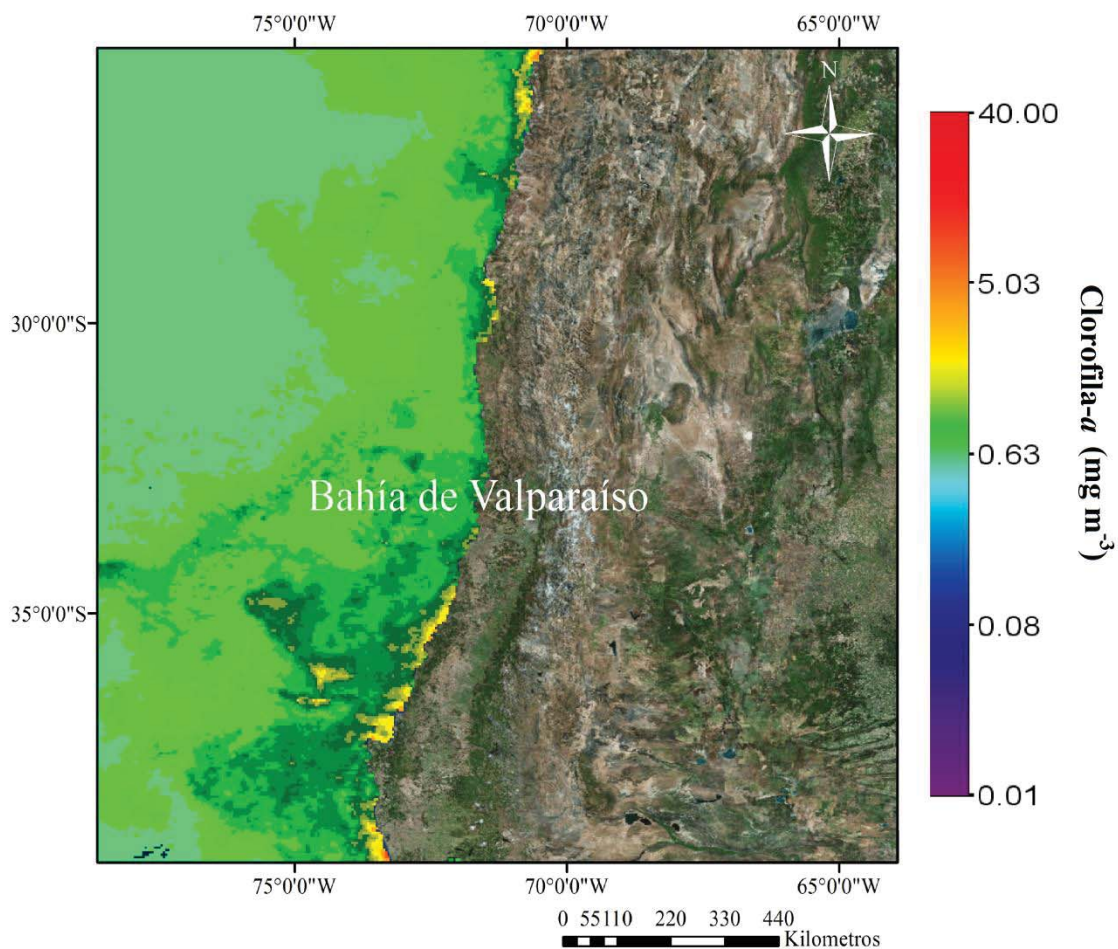


Figura 45: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de junio 2014.

Octubre 2014: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 9 y Fig. 46) en el área de estudio, se extrajeron 1342 puntos de información, con una concentración promedio de 3.11 mg m^{-3} . Sin embargo, se detectaron valores máximos entre 8.90 y 10.74 mg m^{-3} en la desembocadura del río Aconcagua y mínimo de 0.845 mg m^{-3} en el área de interés.

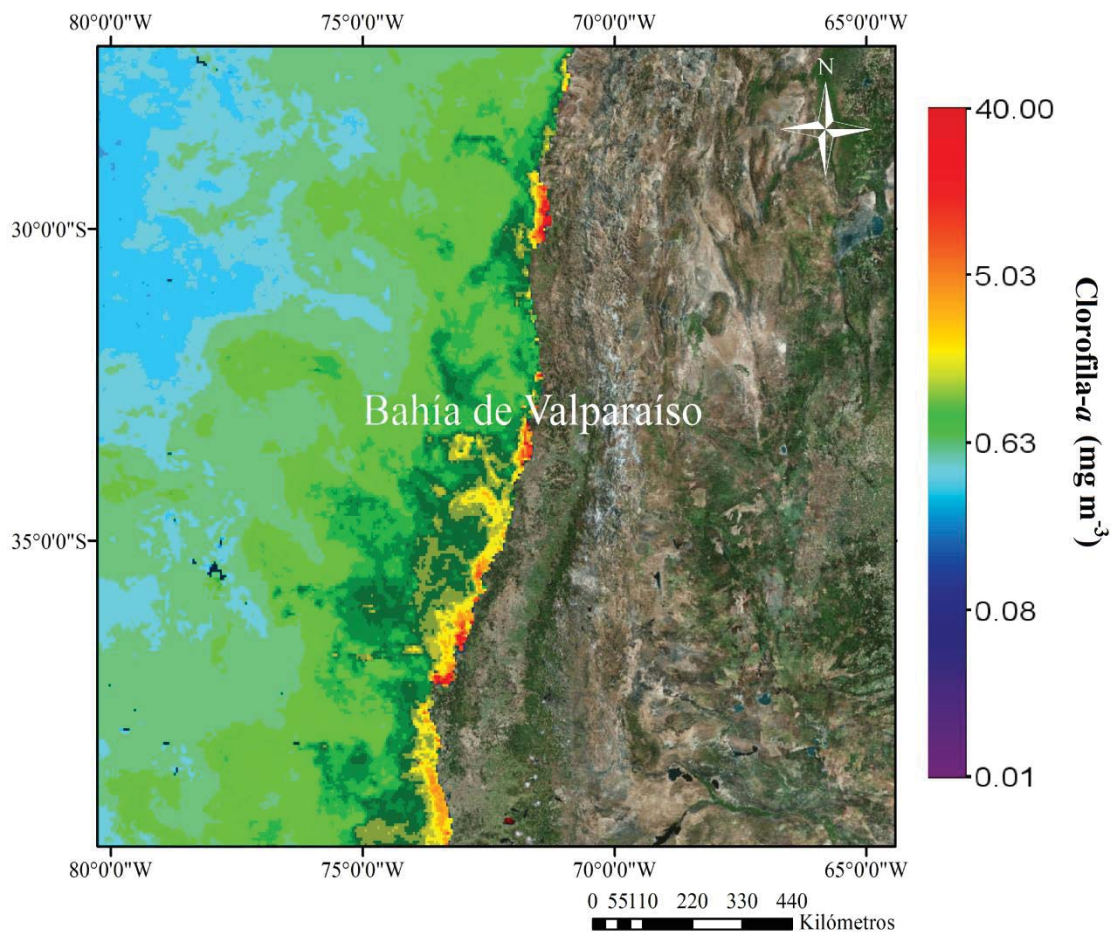


Figura 46: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de octubre 2014.

Diciembre 2014: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 10 y Fig. 47) en el área de estudio, se extrajeron 667 puntos de información, con una concentración promedio de 10.56 mg m^{-3} . Sin embargo, se detectaron valores máximos que predominaron cerca de la Bahía de Valparaíso (Punta Ángel), con un rango entre 20.50 y 27.10 mg m^{-3} y en la desembocadura del río Aconcagua entre 11.70 y 26.21 mg m^{-3} y mínimas de 2.08 mg m^{-3} en el área de interés.

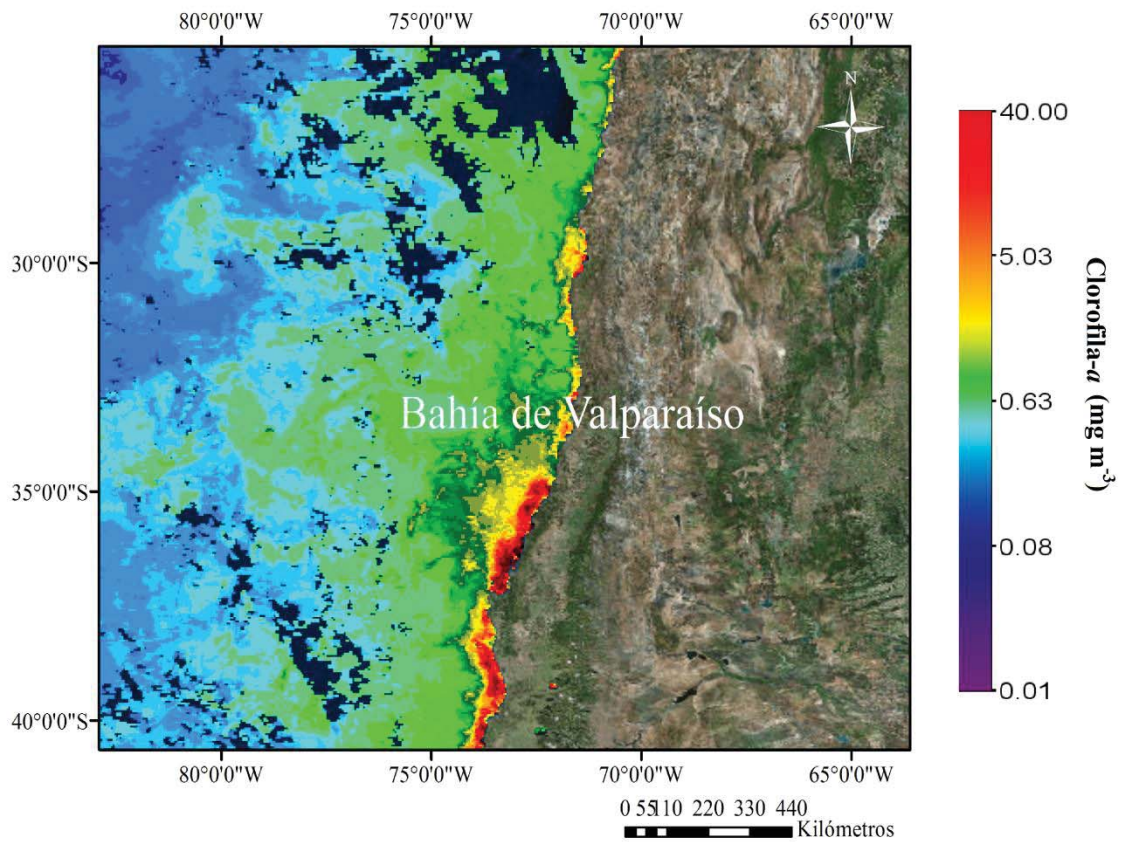


Figura 47: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de diciembre 2014.

Abril 2015: La distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 11 y Fig. 48) en el área de estudio, se extrajeron 818 puntos de información, con una concentración promedio de 7.02 mg m⁻³. Sin embargo, se detectaron valores máximos entre 20.50 y 25.23 mg m⁻³ cerca de la Bahía de Valparaíso (Punta Ángel) y mínimas de 1.22 mg m⁻³ en el área de interés.

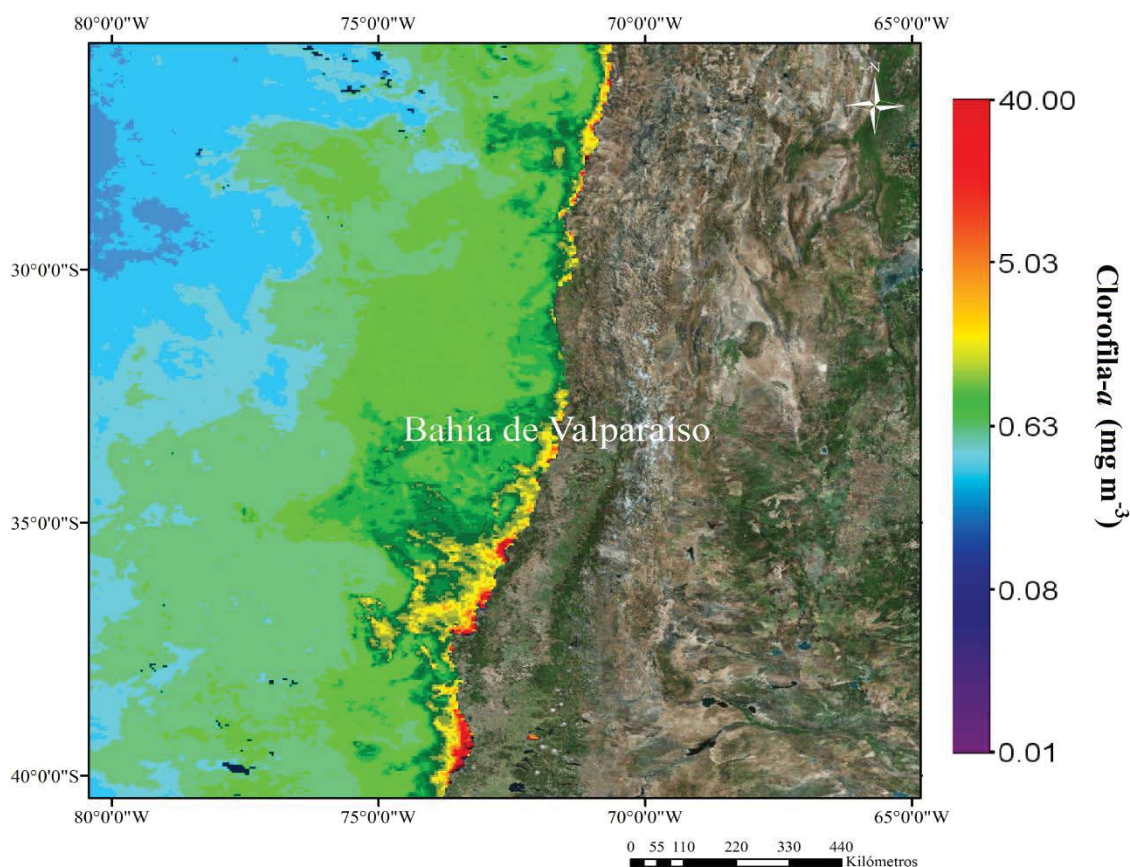


Figura 48: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua, correspondiente al mes de abril 2015.

El área de interés para la Bahía de Concepción se obtuvieron las imágenes satelitales correspondientes a:

V) Septiembre y noviembre 2002.

VI) Marzo y junio 2003.

Septiembre 2002: Para la determinación de la distribución espacial de la clorofila-*a* (Tabla 12 y Fig. 49) en el área de estudio, se extrajeron 20193 puntos de información, con una concentración promedio de 7.02 mg m^{-3} . Sin embargo, se detectaron valores máximos entre 15.50 y 25.23 mg m^{-3} dentro de la bahía y mínimas de 1.22 mg m^{-3} alejándose de la

bahía. En términos generales la distribución superficial de la clorofila-*a* en todas las estaciones se observó que las concentraciones máximas estaban dentro y alrededor de la Bahía de Concepción, dependiendo de la fecha estos valores se observaron con variaciones, de la misma manera que en la Bahía de Valparaíso a medida que se alejaba de la costa las concentraciones disminuían, no obstante en la Bahía de Concepción el área de la distribución espacial de clorofila-*a* fue más amplio.

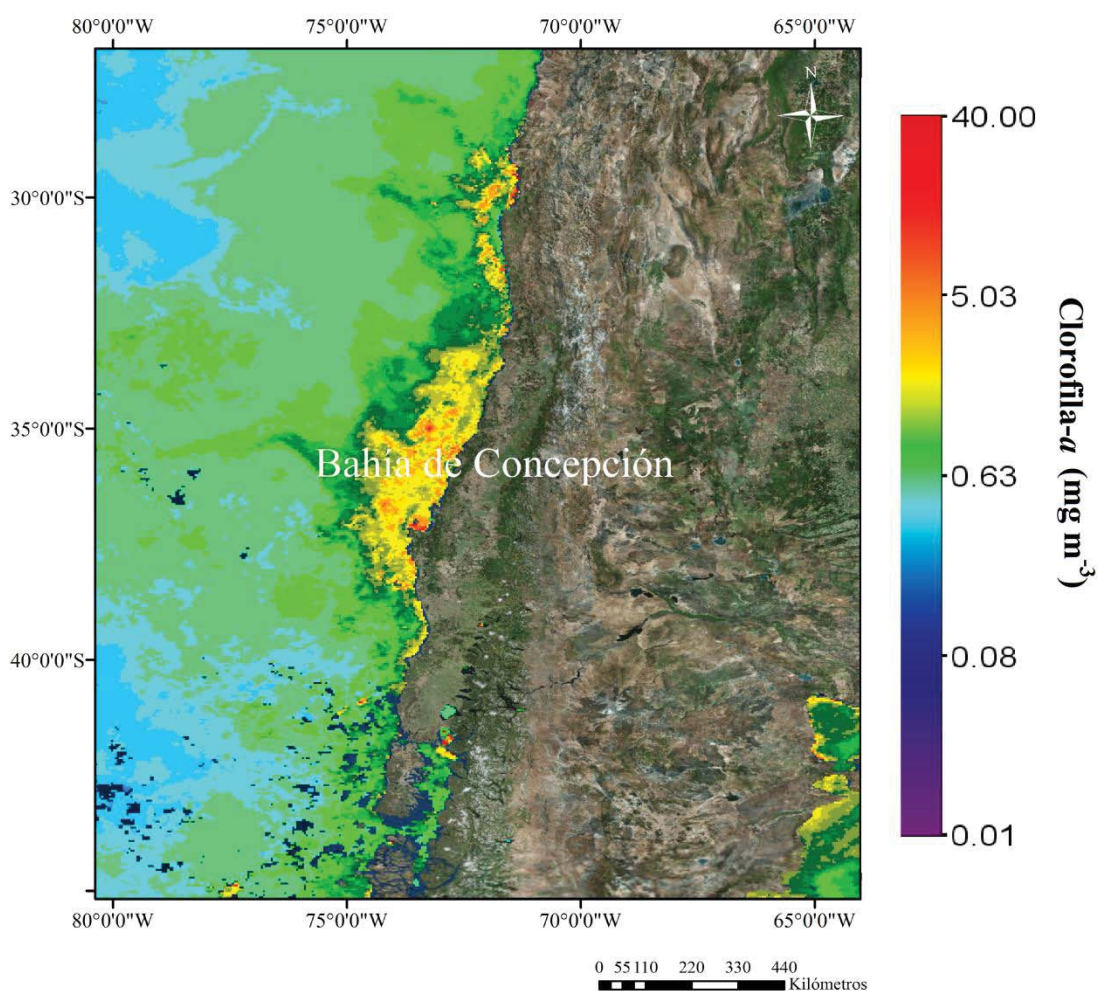


Figura 49: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía Concepción, correspondiente al mes de septiembre 2002.

Noviembre 2002: La distribución espacial de clorofila-*a* (Tabla 13 y Fig. 50) en el área de estudio, se extrajeron 19716 puntos de información, con una concentración promedio de 5.20 mg m^{-3} , sin embargo se detectaron valores máximos entre 27.05 y 39.95 mg m^{-3} dentro de la bahía y mínimo de 0.812 mg m^{-3} en el área de interés.

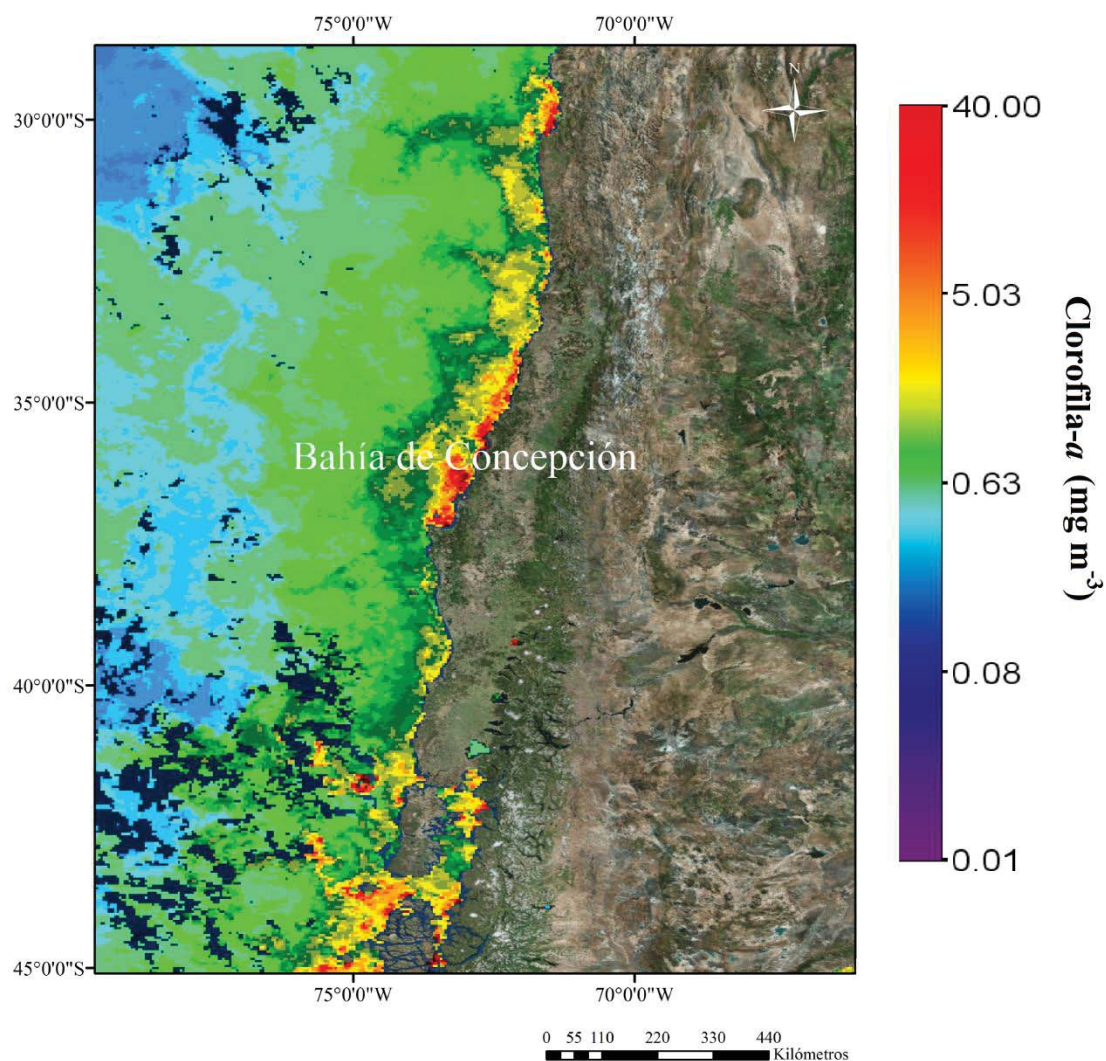


Figura 50: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Concepción, correspondiente al mes de noviembre 2002.

Marzo 2003: la distribución espacial de clorofila-*a* (Tabla 14 y Fig. 51), se extrajeron 19731 puntos de información, con una concentración promedio de 4.27 mg m^{-3} , sin embargo se detectaron valores máximos entre 20.50 y 23.53 mg m^{-3} en la bahía y mínimo de 0.940 mg m^{-3} en el área de interés.

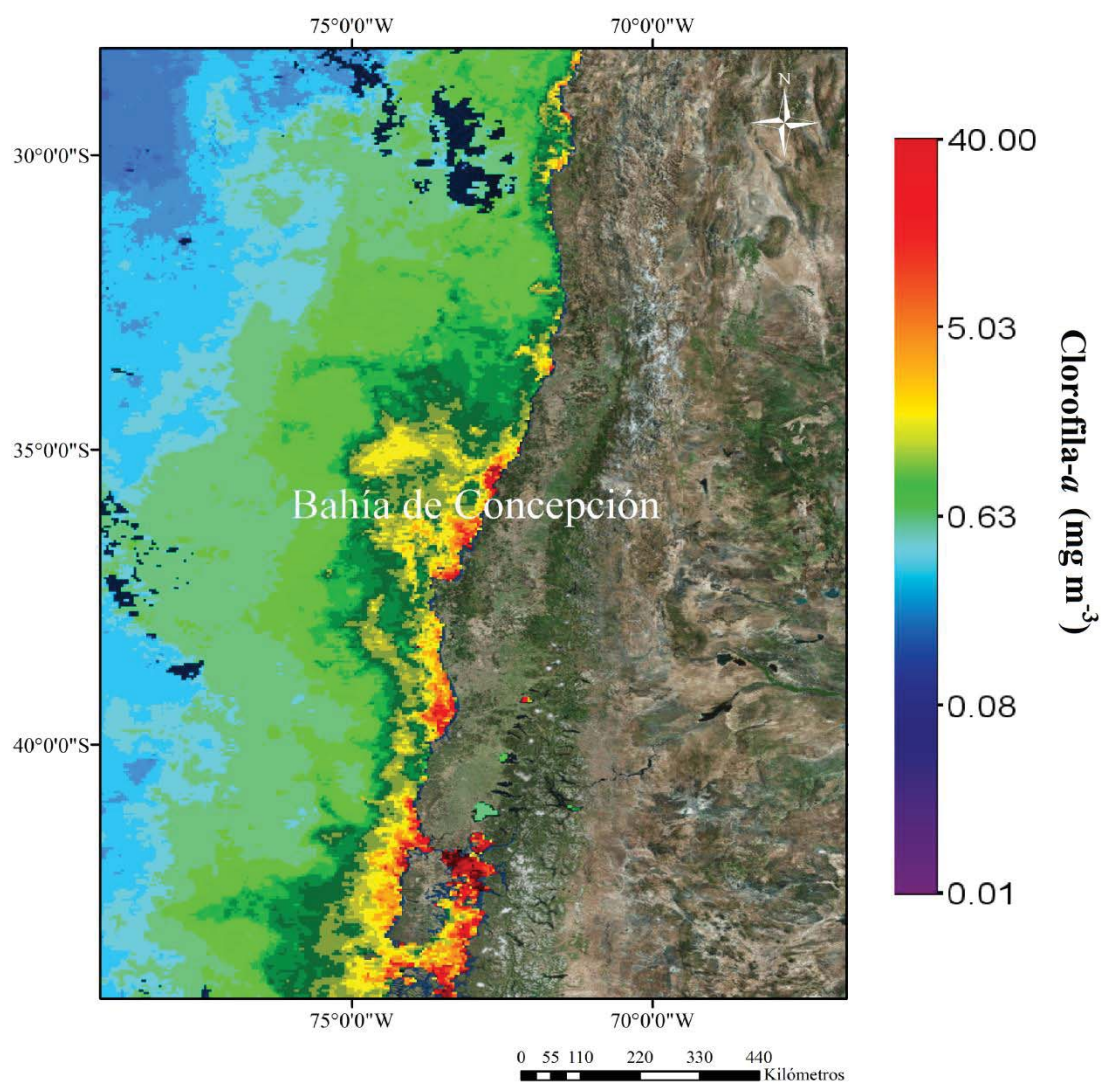


Figura 51: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Concepción, correspondiente al mes de marzo 2003.

Junio 2003: la distribución espacial de clorofila-*a* (Tabla 15 y Fig. 52), se extrajeron 21580 puntos de información, con una concentración promedio de 1.78 mg m^{-3} , sin embargo se detectaron valores máximos entre 11.71 y 18.77 mg m^{-3} en la bahía y mínimo de 0.53 mg m^{-3} en el área de interés.

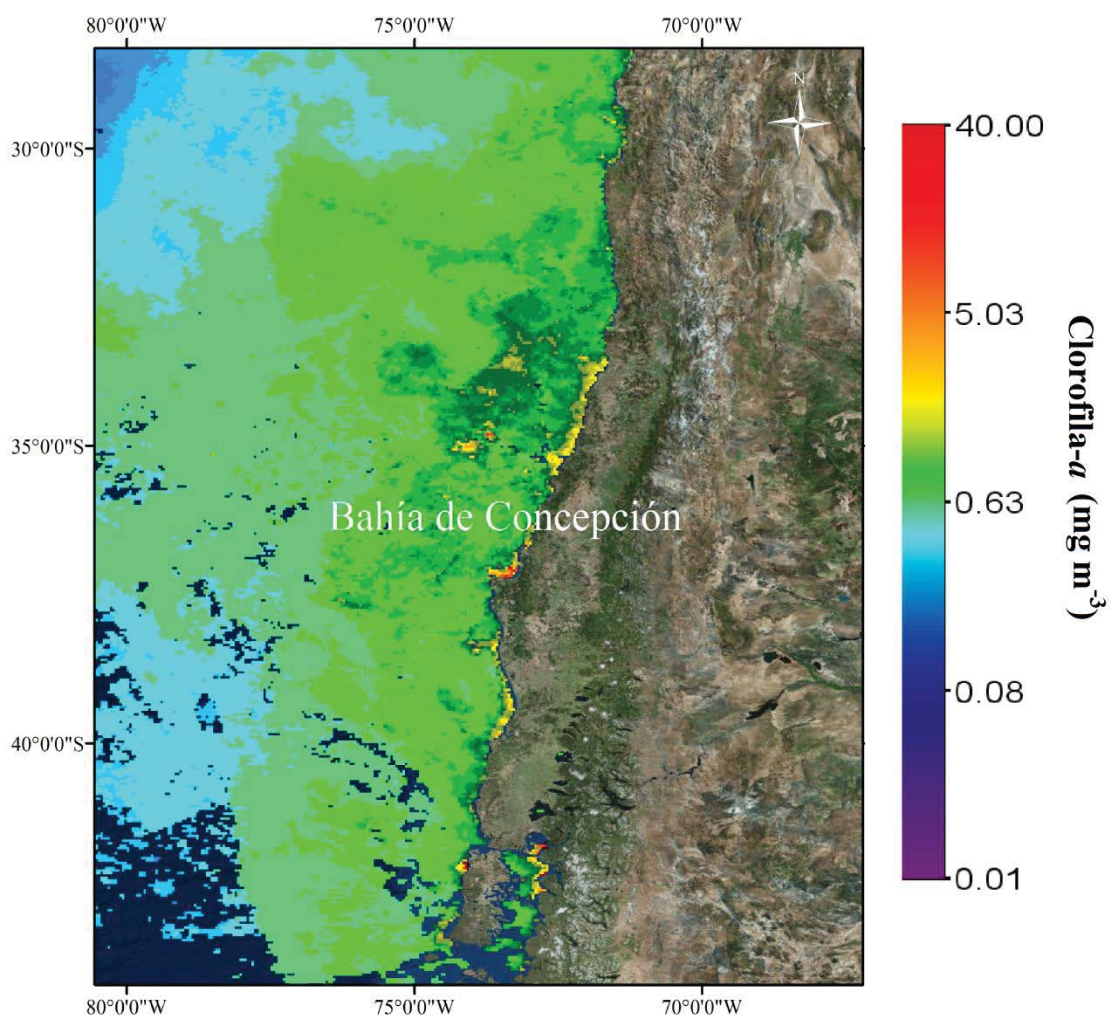


Figura 52: Imagen satelital L3 que muestra la distribución espacial de la clorofila-*a* en la Bahía de Concepción, correspondiente al mes de junio 2003.

5.4. Análisis estadístico

El análisis estadísticos con un 95 % de confianza (Tabla 16 y Fig. 53), mostró una tendencia entre los valores promedio de clorofila-*a* en sedimentos versus las concentraciones máximas en superficie, encontrando una significancia entre ambas variables con un valor de alfa de 0.0104. Por otro lado, los resultados obtenidos en el análisis varianza de una vía (Kruskal-Wallis), demostró una diferencia significativa ($p = 0.0022$), entre las medias para los resultados de clorofila-*a* en los sedimentos y satelital (Tabla 17).

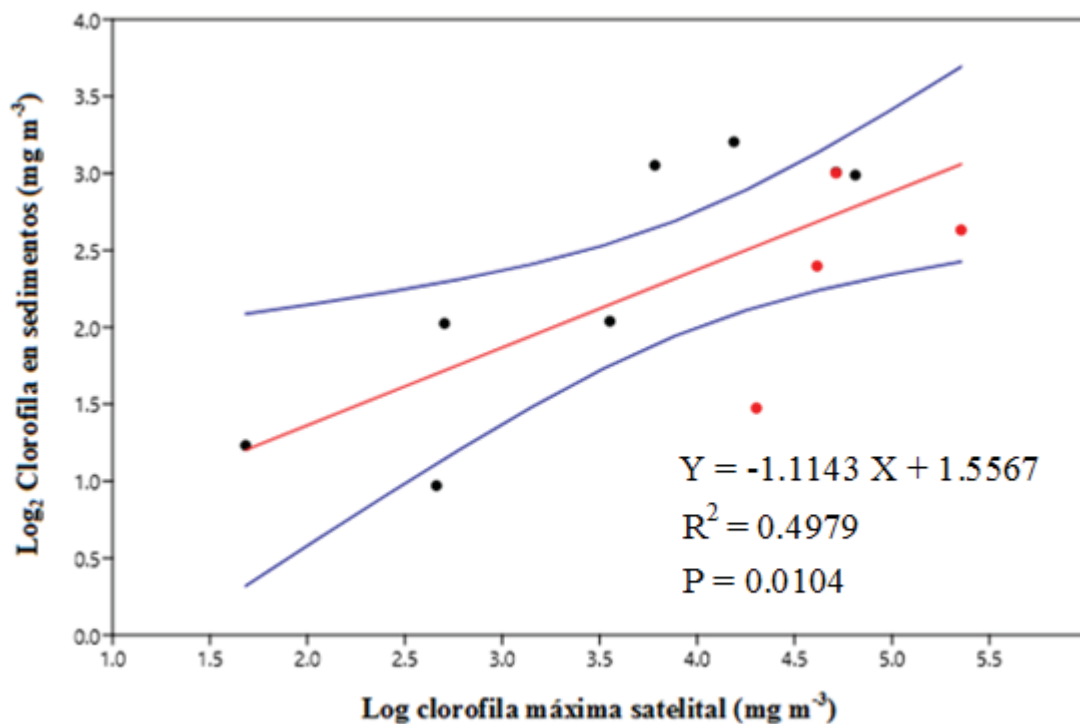


Figura 53: Análisis estadístico para las concentraciones de clorofila-*a* promedio en sedimento versus los máximos detectados en superficie a través de las imágenes satelitales. Los resultados para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua están identificados en color negro, mientras que en la Bahía de Concepción están en rojo.

6. DISCUSIÓN

Las imágenes satelitales han sido utilizadas en diversos estudios que han permitido analizar el comportamiento costero y oceánico de la variabilidad espacial y temporal de la distribución de clorofila-*a* superficial, cuyos resultados indican que la mayor parte de esta variabilidad se encuentra relacionada con el incremento de la productividad primaria (e.g, Correa *et al.*, 2012; Yuras *et al.*, 2005; Thomas *et al.*, 2001; Thomas 1999). La distribución de la clorofila-*a* en la superficie tiene un carácter estacional, presentando un régimen máximo durante el verano austral (diciembre hasta enero), el cual coincide con la influencia del viento y un régimen costa afuera, donde el máximo de la concentración de clorofila-*a* se registró en el invierno austral (junio hasta agosto) (Yuras *et al.*, 2005). Por otro lado, el sistema de corriente Perú-Chile cumple un rol importante, ya que una proporción significativa de la biomasa del fitoplancton y de la producción biológica está vinculada a la surgencia con aguas ricas en nutrientes hacia la capa fótica a través de las corrientes ascendentes costeras producidas por los vientos que soplan hacia el ecuador (Hill *et al.*, 1998). Este patrón incluso se ha registrado en una escala anual, donde el estrés del viento favorece a la surgencia, mostrando concentraciones máximas desde la primavera austral (septiembre - noviembre) hasta el verano (Shaffer *et al.*, 1999). Esto concuerda con nuestros resultados, puesto que las concentraciones máximas de clorofila-*a* superficial fueron registrados en diciembre 2012, septiembre 2013, marzo, octubre y diciembre 2014 y abril 2015, coincidiendo con un centro de surgencia local en el sector de Punta Ángel descrito por Silva & Valdenegro (2003). Por otro lado, también se detectó concentraciones máximas en la desembocadura del río Aconcagua, para marzo y diciembre 2013, octubre y diciembre 2014, estas concentraciones están influenciadas por el río Aconcagua.

Los análisis sobre la distribución de las máximas concentraciones de clorofila-*a* superficial exhibieron fluctuaciones, principalmente en los periodos de diciembre (2012, 2013 y 2014), marzo (2013 y 2014), septiembre (2013), octubre (2014) y abril (2015), caracterizados por presentar rangos que oscilaron entre los 5.51 y 27.10 mg m⁻³. Estas concentraciones máximas no concuerdan con los resultados obtenidos por Thomas *et al.*, (2001), los cuales fueron mayores en la zona centro sur de Chile, en particular en el periodo de verano. Estas concentraciones están relacionadas con el inicio del periodo estival (i.e. primavera), coincidiendo con el aumento de la frecuencia e intensidad de los vientos del sector sudoeste en la Bahía de Valparaíso. Esto provoca una ruptura de la estabilidad de la columna de agua, asociados con un aumento de la radiación solar incidente, favoreciendo las condiciones propicias para que se produzca un incremento en la actividad fitoplanctónica, la cual se mantiene durante la primavera, verano y principio de otoño, disminuyendo cuando con la declinación de los vientos del sudoeste (Avaria, 1975). Sin

embargo, un efecto opuesto ocurrió durante junio (2013 y 2014), caracterizado por registrar mínimas concentraciones, las cuales oscilaron entre 1.33 y 2.21 mg m⁻³, debido a que en el periodo de invierno se registran una mayor homogeneidad de la columna de agua, asociado con un aumento de la nubosidad, lo que trae como consecuencia una disminución de la producción fitoplanctónica (Avaria, 1975). En relación a la hipótesis planteada sobre la distribución de la clorofila-*a* en los sedimentos superficiales depende de la extensión y la depositación de clorofila-*a* derivado de la productividad primaria en cada región. Nuestros resultados sostienen diferencias espaciales, reflejadas en diferencias en la extensión y la depositación de clorofila-*a* derivado de la productividad primaria en cada región, esto depende principalmente de la magnitud de la producción primaria, siendo esta mayor en la Bahía de Concepción y menor en la zona de la Bahía de Valparaíso. Estos resultados son consistentes con aquellos presentados por Thomas *et al.*, (2001). Cabe señalar que los resultados máximos obtenidos de clorofila-*a* superficial en el presente estudio, resultan de un mejor indicador, basado en la técnica de imágenes satelitales. De hecho, los valores máximos de clorofila-*a* superficial se encuentra relacionado con las mayor probabilidad de traspaso o permanencia en la columna de agua, por lo tanto resulta de una mejor opción cuando se desea detectar eventos de concentración de clorofila-*a* (Patissier *et al.*, 2014), incluso esto es un indicador más utilizado para el monitoreo global de las floraciones de algas en los océanos del mundo (Grower & King, 2008). Gutiérrez *et al.*, (2000) establece que existe un fuerte acoplamiento bento-pelágico en la Bahía de Concepción, caracterizado por un aporte menor de los flujos de clorofila-*a* hacia los sedimentos desde otoño/invierno 1997 hasta otoño 1998, en comparación al periodo de noviembre 1998. Esta tendencia coincide con el debilitamiento de los vientos favorables a la surgencia y con ello de la producción primaria. Por otra parte, teniendo en consideración que la vida media de la clorofila-*a* en los sedimentos (i.e. degradación) varía entre los 0.03 y 0.055 d⁻¹, en condiciones óxicas y anóxicas, respectivamente, la clorofila-*a* en los sedimentos puede ser usado como trazador de procesos en una escala de 40 a 85 días (Gutiérrez 2000). Es más, la relación positiva entre los valores máximos de concentración de clorofila-*a* satelital y la concentración de clorofila-*a* en los sedimentos, sugiere un alto grado de acoplamiento, encontrando diferencias entre área geográfica en los valores máximos (i.e análisis de varianza).

Por otro lado, los parámetros oceanográficos como la salinidad no presentaron mayores variaciones en la mayoría de las estaciones, evidenciando una alta homogeneidad, aspecto muy característico para estas zonas (Carrasco & Silva, 2010). No obstante, en algunas épocas del año, principalmente en junio del año 2013 y junio del 2014, se registraron menores salinidades en superficie (ver Fig. 15 y 22), lo cual está relacionado con la influencia de las descargas fluviales, escurrimiento costero y posición de las estaciones cercanas a desembocaduras de ríos importantes (Carrasco & Silva, 2010). En

este contexto, en nuestro estudio las estaciones E5, E4 y E3 fueron desplegadas en la zona más cercana a la desembocadura del río Aconcagua y de esta manera se registraron una menor salinidad en comparación con el resto de las estaciones. En tanto, el parámetro de temperatura presentaron valores máximos en superficie, esto es producto de la radiación solar, lo cual la temperatura disminuye paulatinamente a medida que aumenta la profundidad (Sievers & Silva, 2006). Estos resultados, concuerdan con la distribución de este parámetro en la columna de agua, mostrando una estructura con una capa superficial más cálida que la profunda, pudiendo o no haberse formado una capa de mezcla, para luego descender monotónicamente hacia el fondo, sin presentar inversiones térmicas. Éstas son principalmente el resultado del calentamiento superficial producto de la fluctuación anual de la radiación solar, la mezcla superficial provocada por el viento en gran medida, actúa como forzante en la generación de la capa de mezcla donde es homogéneo en superficie (Silva & Palma, 2006). Los periodos de muestreo que mostraron este comportamiento fueron diciembre del 2012, marzo y diciembre 2013, marzo, octubre y diciembre 2014 y abril 2015. Por otro lado, en junio 2013 y 2014 más octubre 2014, se observó una estructura termal invertida (termoclina invertida). En este sentido, existen otros forzantes físicas que pueden provocar dichas inflexiones, como por ejemplo, la advección de aguas externas más frías (descarga del río Aconcagua), o aportes fluviales que entregan agua con temperatura relativamente bajas a una zona con una estructura inicial similar a las mencionadas anteriormente (Silva & Palma, 2006). En este sentido, cabe señalar que basado en registros históricos para la Bahía de Concón (Tabla 18 y Fig. 56) mostraron una mayor pluviosidad en la zona para el mes de junio (<https://es.climate-data.org/location/21730>).

En relación a las concentraciones de oxígeno disuelto en la columna de agua, nuestros resultados indican que las mayores concentraciones fueron registradas en superficie, mientras que las concentraciones fueron menores hacia el fondo para cada estación, lo cual se encuentra relacionado con la descomposición de la materia orgánica a través de los mecanismos de acoplamiento bento-pelágico, lo que produce una disminución de las concentraciones para este parámetro oceanográfico (Libes, 1991; Silva & Guerra, 2008) y a la menor ventilación que presenta la capa subsuperficial. No obstante, las principales forzantes que pueden afectar la distribución vertical del oxígeno disuelto son la producción primaria y el consumo de oxígeno por parte de organismos, intercambio gaseoso océano atmósfera, ingreso de agua de mar con mayor o menor concentraciones oxígeno, mezcla vertical producida por el viento y consumo de oxígeno por remineralización de materia orgánica (Silva *et al.*, 1997). Para el área de estudio, se ha señalado la presencia de una zona de mínimo oxígeno, la cual fue detectada en el periodo de junio y octubre 2014, coincidiendo con una distribución alta de salinidad. Este patrón coincide con lo observado por Llanillo *et al.*, (2012), quién establece que la masa de agua que puede responder a esta característica es la AESS.

La distribución de las masas de agua en las costas de Chile han sido bien estudiadas (Silva & Konow, 1975). En general, los diagramas T-S evidencian la presencia de cinco tipos de masas de agua. El uso de este método ofrece una ventaja para determinar la distribución espacial de cada una de las masas de aguas y su contribución cuando existe mezcla. La información obtenida demuestra que las masas de Agua Ecuatorial Subsuperficial y el Agua Subantártica fueron las únicas que se detectaron en todas las fechas de muestreo en el rango de profundidad analizado, coincidiendo con el trabajo de Silva *et al.*, (2009). Sin embargo, en relación a la influencia de la ZMO sobre la distribución y concentración del contenido de clorofila-*a* superficial, fueron inconclusas debido a la falta de información, ya que solo fueron detectadas en dos meses. No obstante lo anterior, es bien conocido que la distribución de la ZMO ($< 0.5 \text{ mL L}^{-1}$) cumple un rol importante en distribución de las concentraciones de clorofila-*a*. La distribución de la clorofila-*a* en los sedimentos dependerá de la extensión y de la depositación de esta, derivado de la productividad primaria, afectado por el Sistema Corriente de Humboldt (SCH), que se caracteriza por presentar una elevada productividad, mínima de oxígeno, aguas frías y una variabilidad interanual (Chavez *et al.*, 2008), también por las surgencias localizadas, como en el caso de Punta Ángel (Silva & Valdenegro, 2003).

Existen diferentes procesos que pueden afectar la estructura y distribución del acoplamiento bento-pelágico, Sellanes *et al.*, (2007) describió los cambios en las características sedimentarias y la macrofauna bentónica, durante un evento de El Niño (1997 – 1998), el cual establece que existe una variabilidad inter anual en la columna de agua y en los sedimentos en la zona centro sur de Chile (36° S), describiendo un calentamiento general de la columna de agua ($> 12^\circ \text{ C}$), asociado con altos niveles de oxígeno disuelto ($> 0.5 \text{ mL L}^{-1}$), una profundización de la termoclina y una baja disponibilidad de nutrientes. No obstante, en el periodo de verano del 2002 – 03 (i.e. en condiciones normales), se observó una hipoxia extendida ($\sim 0.08 \text{ mL L}^{-1}$) con aguas ricas en nutriente y bajas concentraciones de oxígeno, cubriendo una larga área de la plataforma continental de la zona. Una de las mayores consecuencias de la fase del ciclo ENSO es la profundización de la ZMO (Gutiérrez *et al.*, 2000), generando cambios en la biogeoquímica de los sedimentos, afectando la estructura de las comunidades, distribución y contribución funcional de estos grupos (Gutiérrez *et al.*, 2000; Neira *et al.*, 2001). Gutiérrez *et al.*, (2000) también enfatizó que el área de estudio (i.e. Bahía de Concepción) se caracterizó por presentar intensa surgencia, lo que explicaría las altas concentraciones de clorofila-*a* en un rango entre 23.53 mg m^{-3} y 39.95 mg m^{-3} , además, durante EN se generó un empobrecimiento de la producción primaria en la superficie del agua. En este sentido, la alta variabilidad en las concentraciones máximas de clorofila-*a* medido mediante herramientas satelitales también podrían estar influenciadas por la presencia de los remolinos de mesoescala, que desempeñan un rol importante en el transporte de aguas

costeras con altos niveles de nutrientes, mediante Eddies intertermoclina (EIT), los cuales se debilitan durante la fase cálida del ciclo ENSO, generando una relajación de las isopícnas a lo largo de la costa (Combes *et al.*, 2015).

7. CONCLUSIÓN

La relación entre la concentración máxima de clorofila satelital y la concentración de clorofila-a en los sedimentos sugiere un alto nivel de acoplamiento bento-pelágico. Sin embargo, la limitada disponibilidad de información sobre estas variables constituye un elemento importante para validar las técnicas satelitales y encontrar indicadores geoquímicos que permitan evaluar la calidad y cantidad de la materia orgánica en los ambientes de surgencia.

La presencia de la zona de mínimo oxígeno (ZMO) estacional en el área de estudio podría cumplir un rol importante en los procesos de degradación de la materia orgánica en los sedimentos asociados en los ecosistemas de surgencia costera. Sin embargo esta fue detecta en junio y octubre del 2014, con concentraciones de oxígeno disuelto inferior a los 0.5 mL L^{-1} . Por lo tanto la información disponible no permite determinar la influencia de las bajas concentraciones de oxígeno disuelto sobre la preservación de la materia orgánica en los sedimentos, en particular en la zona de Bahía Valparaíso

Finalmente, los resultados obtenidos mediante herramientas de percepción remota y cruceros oceanográficos en conjunto constituyen una buena aproximación metodológica para describir la alta variabilidad espacial y temporal de las condiciones oceanográficas en las zonas costeras y su grado de acoplamiento bento-pelágico

REFERENCIAS

- **Ahumada, R. & L. Chuecas. 1970.** Algunas características de la bahía de Concepción y áreas adyacentes, Chile. *Gayana Miscelánea* 8:3-56.
- **Avaria, S. 1975.** Estudio de ecología fitoplanctónica en la bahía de Valparaíso II. Fitoplancton 1970-1971. *Rev. Biol. Mar. Valparaíso*, 15(2): 131-148.
- **Arntz, W.E. & E. Fahrback. 1996.** El Niño Experimento Climático de la Naturaleza. Causas físicas y efectos biológicos. Fondo de Cultura Económica, México, DF, 312 pp.
- **Azam, F. 1998.** Microbial control of oceanic carbon flux: The plot thickens. *Science* 280: 694-696.
- **Barber, R.T. & R.L, Smith. 1981.** Coastal upwelling ecosystems. In: AME. Academic Press, New York, 31–68.
- **Berger, W. K, Fischer. C, Lai & G, Wu. 1987.** Ocean productivity and organic carbon flux. Part I. Overview and maps of primary production and export productivity, University of California, San Diego. *SIO*, 87-30: 1-67.
- **Blanco, J.L. A.C, Thomas. M.E, Carr. & P.T, Strub. 2001.** Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. *JGR*, 106:11451–11467.
- **Blanco, J.L. M, Carr. A.C, Thomas. & P.T, Strub. 2002.** Hydrographic conditions off northern Chile during the 1996–1998 La Niña and El Niño. *JGR*, 107 (C3), 1:20.
- **Cáceres, M. & D, Arcos. 1991.** Variabilidad en la estructura espacio-temporal de un área de surgencia frente a la costa de Concepción, Chile. *Investigación Pesquera (Chile)*, 36:17-38.
- **Carrasco, C. & N. Silva. 2010.** Comparación de las características oceanográficas físicas y químicas presentes en la zona de Puerto Montt a la Boca del Guafo entre el invierno y la primavera de 2004 y entre las primaveras de 1995 y 2004. *Cienc. Tecnol. Mar*, 33(2): 17-44.
- **Calbet, A. & R, Landry. 2004.** Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbón cycling in marine systems. *Limnol. Oceanogr*, 49(1):51-57.

- **Carr, M. P.T, Strub. A.C, Thomas & J.L, Blanco. 2002.** Evolution of 1996–1999 La Niña and El Niño conditions off the western coast of South America: a remote sensing perspective. *JGR* 107 (C12):1-16.
- **Combes, V. S, Hormazabal & E. Di Lorenzo. 2015.** Interannual variability of the subsurface Eddy field in the Southeast Pacific. *J. Geophys. Res. Oceans*, 120:4907-4924.
- **Correa, A. S, Hormazabal & E, Morales. 2012.** Espacial patterns of anual and interanual surface chlorophyll-*a* variability in the Peru-Chile Current System. Elsevier, 92-95(2012):8-17.
- **Cower, J. & King, S. 2008.** Satellite images Show the Movement of Floating Sargassum in the Gulf of Mexico and Atlantic Ocean. *Nature Proccedings*.
- **Chavez, F. A, Bertrand. R, Carrasco. P, Soler & J, Csirke. 2008.** The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and view towards the future. Elsevier, 79(2008): 95-105.
- **Ducklow, H.W, D.C, Smith. L, Cambell, M.R, Landry. H.L, Quinby. G.F, Steward & F. Azam. 2001.** Heterotrophic bacterioplankton in the ArabianSea: Basin wide response to year-round high primary productivity. *Deep-Sea Res II*, 42: 1.303-1.323.
- **Dunne, J.P. W, Murray. A, Aufdenkampe. S, Blain & M, Rodier. 1999.** silicon-nitrogen coupling in the equatorial Pacific upwelling zone. *Global Biogeochem Cycles*, 13(3):715-726.
- **Enfield, D.B. & J.S, Allen, J.S. 1980.** On the structure and dynamics of monthly mean sea level anomalies along the Pacific coast of North and South America. *JPO*, 10:557–578.
- **Enfield, D.B. 1989.** El Niño, past and present. *RG*, 27:159–187.
- **Escribano, R. D, Giovanni. F, Farías. V, Gallardo. E, Humberto. D, Gutiérrez. C, Lange. C, Morales. O, Pizzaro. O, Ulloa. & M, Braun. 2004.** Biological and chemical consequences of the 1997-1998 El Niño in the Chilean coastal upwelling system: a synthesis. *Deep-Sea Res. II*. 51(2004):2389-2411.
- **Fahrbach, E. F, Trillmich. & W.E, Arntz. 1991.** The time sequence and magnitude of physical effects of the El Niño in the eastern Pacific. In: Trillmich F., Ono, K.A. (Ed.), *Pinnipeds and El Niño Responses to Environmental Stress*. Springer, Berlin, 8–21.

- **Faúndez, P.B. C, Morales. & D, Arcos. 2001.** Variabilidad espacial y temporal en la hidrografía invernal del sistema de bahías frente a la VII región (Chile centro-sur). *Chilena de la Historia Natural*, 74:817-831.
- **Figueroa, D & C, Moffas. 2000.** On the influence of topography in the induction of coastal upwelling along the Chilean coast. *GRL*, 27:3905–3908.
- **Fossing, H. V, Gallardo. B, Jorgensen. M, Huttel. L.P; Nielsen. H, Schultz. D, Canfield. S, Forster. R.R, Glud. J.K, Gundersen. N.B, Ramsing. A, Teske. B, Thamdup. & O, Ulloa. 1995.** Concentration and transport of nitrate by the mat-forming sulphur bacterium *Thioploca*. *Nature* 374, 713–715.
- **Gallardo, V.A. 1977.** Large benthic microbial communities in sulfide biota under Perú–Chile subsurface countercurrent. *Nature*, 268:331–332.
- **Gallardo, V.A. F.D, Carrasco. R, Roa & J.I, Cañete. 1995.** Ecological patterns in the benthic macrobiota across the continental shelf off central Chile. *Ophelia*, 40:167–188.
- **González, H. D, Giovanni. D, Figueroa. L, Iriarte. N, Lefevre. G, Pizarro. R, Quiñones. M, Sobarzo & A, Troncoso. 1998.** Producción primaria y su destino en la trama trófica pelágica y océano profundo e intercambio océano-atmosférico de CO₂ en la zona norte de la Corriente de Humboldt (23°S): Posible efectos del evento El Niño, 1997-98 en Chile. *Rev. Chi. Hist. Natur.* 71: 429-558.
- **González, H. G, Daneri. J.L. Iriarte & L, Vargas 2007.** Producción primaria y su destino en la trama trófica pelágica del estuario Reloncaví, sur de Chile. Página[http://www.shoa.cl/n_cendhoc/productos/cimar12/resumenes/pdf/gonzalez.pdf]. Revisado: 26/10/2016.
- **Grob, C. R, Quiñones & D, Figueroa. 2003.** Cuantificación del transporte de agua costa-océano a través de filamento y remolinos ricos en clorofila-*a*, en la zona centro-sur de Chile. *Gayana*, 67(1):55-67.
- **Gutiérrez, D. V, Gallardo. S. Mayor, C, Neira. C, Vasquez. J, Sellanes. M, Rivas. A, Soto. F, Carrasco & M, Baltazar. 2000.** Effects of dissolved oxygen and fresh organic matter on the bioturbation potential of macrofauna in sublittoral sediments off Central Chile during the 1997/1998 El Niño. *Mar Ecol. Prog Ser*, 202:81-99.
- **Hill, E. B, Hickey. F, Schillington. F, Strub. P, Brink. K, Barton & A, Thomas. 1998.** Eastern ocean boundaries coastal segment (E). *The sea*, vol. 11. Jhon Wiley and Sons. New York, pp 29-67.

- **Huyer, A. R. L, Smith & T, Paluszkievicz. 1987.** Coastal upwelling off Peru during normal and El Niño times, 1981–1984. *JGR*, 92:297–308.
- **Iriarte, J.L. G, Pizarro. V.A, Troncoso & M, Sobarzo. 2000.** Primary production and biomass size-fractionated phytoplankton off Antofagasta, Chile (23–241S) during pre-El Niño and El Niño 1997. *JMS*. 26:37–51.
- **Jaksic, F.M. 1998.** Las múltiples facetas del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur. *Ambiente y Desarrollo*, 14(2): 53-61.
- **Kirk, J.T.O., 1994.** Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems, Second Edition, Cambridge Univ. Press, 558 pp.
- **Libes, S. 1992.** An introduction to marine biogeochemistry. J. Wiley and Sons, Inc. Eds. New York. 774 pp.
- **Llanillo, P.J. JL, Pelegrí. MC, Duarte. M, Emelianov. M, Gasser & J, Gourrion. 2012.** Cambios latitudinales y zonales en los parámetros oceanográficos a lo largo del talud continental en la zona centro y norte de Chile. *Ciencias Marinas*, 38(1B): 307-332.
- **Mann, k. & J, Lazier. 2006.** Dynamics of marine ecosystem: Biological-Physical interactions in the oceans. Blackwell publishing. Oxford, 496 pp.
- **Marchant, M. D. Hebbeln & G. Wefer. 1998.** Seasonal flux patterns of planktic Foraminifera in the Peru-Chile Current. *Deep-Sea Research*, I 45: 1161-1185.
- **McClain, R. 2009.** A Decade of Satellite Ocean Color Observation. *ARMS*, 1:19-42.
- **Mc Lean, R. De Freitas & R, Carter. 2009.** Influence of the Southern Oscillation on tropospheric temperature. *JGR*, 114(D14104): 1-8.
- **Montecino, V. & G, Pizarro. 2006.** Productividad primaria, biomasa y tamaño del fitoplancton en canales y fiordos australes: patrones primavera-verano. Página [<http://www.cona.cl/revista/spanish/6-2%20Productividad%20primaria-biomasa.pdf>]. Revisado: 24 de octubre 2016.
- **Morales, C. M, Braun. H, Reyes. JL, Blanco & AG, Davies. 1996.** Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: the effect of low dissolved oxygen concentrations and of a cold-warm sequence (1990-95). *Investigaciones Marinas, (Chile)* 24: 77-96.

- **Morales, C. J, Blanco. M, Braun. H, Reyes & N, Silva. 1996.** Chlorophyll-a distribution and associated oceanographic conditions in the upwelling region off northern Chile during the winter and spring 1993. *Deep-Sea Res*, 43: 267-289.
- **Morales, C. S, Hormazábal & J.L. Blanco. 1999.** Interannual variability in the mesoscale distribution of the upper boundary of the oxygen minimum layer off northern Chile (18- 24S): Implications for the pelagic system and biogeochemical cycling. *J. Mar. Res*, 57: 909-932.
- **Morel, A. & L, Prieur. 1977** Analysis of variations in ocean color. *Limnology Oceanography*, 22(4):709-722.
- **Neira, C. J, Sellanes. A, Gutiérrez & D, Gallardo. 2001.** Meiofauna and sedimentary organic matter off central Chile: response to changes caused by the 1997-1998 El Niño. *Oceanologia Acta* 24, 313-328.
- **Patissier, D. J, Grower. A, Dekker. S, Phinn & V, Brando. 2014.** A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. *Rev. Elsevier*. Vol. 123. pp 123-144.
- **Painting, S.J. C.L, Moloney. T.A, Probyn & B. Tibbles. 1992.** Microheterotrophic pathways in the Southern Benguela Upwelling System. In Payne AIL, Brink KH, Mann KH, Hilborn R (eds) *Benguela Trophic Functioning*. S. Afr. J. mar. Sci. 12: 527-543.
- **Quiroga, E. 2005.** La influencia de la zona de mínimo oxígeno sobre el macrobentos sublitoral en el sistema de Corrientes Humboldt. [<http://repositorio.udec.cl/handle/11594/1679>], revisada el 07 noviembre 2017.
- **Quiroga, E. 2016.** Manual de terreno y laboratorio de bentos, Escuela de Ciencias del Mar-PUCV, 23 pp.
- **Ryther, J. H. 1969.** Photosynthesis and fish production in the sea. *Science* 166: 72-76.
- **Schindler, D. & M, Scheuerell. 2002.** Habitat coupling in lake ecosystems. *Oikos*, 98:177-189.
- **Schneider, W. R, Fuenzalida & J, Garcés. 2013.** Corrientes Marinas y Masas de Agua. *BM*, 178-194.
- **Sellanes, J. E, Quiroga. J, Neira. & D. Gutierrez. 2007.** Composition and function in contrasting ENSO cycle phases. *CSR*, (27):1002–1016.

- **Sievers, H. & N. Silva. 2006.** Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. N. Silva & S. Palma (eds.). Comité oceanográfico Nacional-Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. pp 53-58.
- **Sievers, H. & N, Silva. 1979.** Variación temporal de las condiciones oceanográficas frente a Punta Curaumilla, Valparaíso, Chile. *Invest Mar*, 7:3-20.
- **Silva, N. 1973.** Variaciones estacionales de temperatura, salinidad y contenido de oxígeno en la zona costera de Valparaíso (Septiembre de 1969-agosto de 1970). *Invest. Mar. Valparaíso*, 4(3):89-112.
- **Silva, N & A, Valdenegro. 2003.** Evolución de un evento de surgencia frente a punta Curaumilla, Valparaíso. *Invest. Mar. Valparaíso*, 31(2):73-89.
- **Silva, N. C. Calvete & H.A. Sievers. 1997.** Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre Puerto Montt y laguna San Rafael (Crucero CIMAR-Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar*, 20:23-106.
- **Silva, N. & D. Guerra. 2008.** Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutriente en el canal Pulluche-Chacabuco, Chile. (Crucero CIMAR 9 Fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar*, 31(2): 5-19.
- **Silva, N. & D, Konow. 1975.** Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición Krill. Cruceros 3-4, julio-agosto 1974. *Rev. Com. Per. Pacífico Sur*, 3: 63-75.
- **Silva, N. N, Rojas & A, Fedel. 2009.** Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. *Deep-Sea Res*, 56:1004-1020.
- **Silva, N. & S. Palma (eds.). 2006.** Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. Comité Oceanográfico Nacional-Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso. pp 167.
- **Sobarzo, M. 2002.** Wind, Tides, and Circulation in Chilean Embayments. En: J.C. Castilla & J.L. Largier (eds.). *The Oceanography and Ecology of the Nearshore and bays in Chile*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, pp. 97-113.
- **Soto, E. W, Caballero, & E. Quiroga. 2015.** Composition and vertical distribution of metazoan meiofauna assemblages at continental shelf off central Chile. *LAJAR*, 43(5): 922-935.

- **Smith, R.L. 1983.** Peru coastal current during El Niño: 1976 and 1982. *Science*, 221:1397–1399.
- **Steele, J.H. 1974.** The structure of marine ecosystems. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 19(6): 1015-1016.
- **Stewart, R. 1985.** Methods of satellite oceanography. San Diego, EUA: Scripps Institution of Oceanography. *Geological Magazine*, 123(1):85.
- **Strub, P. J, Mesías. V, Montecino. J, Rutllant & S, Salinas. 1998.** Coastal ocean circulation off Western South America. In: Robinson, B. (Ed.), *The Sea*, vol. 11. Wiley, pp. 273–313.
- **Thomas, C. 1999.** Seasonal distributions of satellite-measured phytoplankton pigment concentration along the Chilean coast. School of Marine Ciencias, University of Marine, Orono, pp 877-890
- **Thomas, C. J.L, Blanco. M, Carr. P.T, Strub. & J, Osses. 2001.** Satellite-measured chlorophyll and temperature variability off northern Chile during the 1996–1998 La Niña and El Niño. *JGR*, 106 (C1), 899–915.
- **Thomas, C. M, Carr & PT, Strub. (2001).** La variabilidad de la clorofila-*a* en corrientes fronteriza orientales. *Geophys. Res. Letón*, 28:3421-3424.
- **Thiel, M. C, Macayan. E, Acuña. W, Arntz. H, Bastias. K, Brokordt. P, Camus. J, Castilla. L, Castro. M, Cortez. C, Dumont. R, Escribano. M, Fernández. H, Gonzales. P, Haye. J, Sellanes. J, Iriarte. D, Lancellott. G, Jorquera. C, Luxoro. P, Manríquez. V, Marín. P, Muñoz. S, Navarrete. E, Perez. E, Poulin. J, Sellanes. H, Sepulveda. W, Stotz. F, Tala. A, Thomas. C, Vargas. J, Vásquez & A, Vega. 2007.** The Humboldt Current System of Northern and Central Chile. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. (Ed.) Taylor & Francis, pp 195-344.
- **Thunell, R. E, Tappa. C, Pride & E. Kincaid. 1999.** Sea-surface temperature associated with the 1997–1998 El Niño recorded in the oxygen isotope composition of planktonic foraminifera. *Geology*, 27(9): 843-846.
- **Tomicic, J. 1985.** Efectos del fenómeno El Niño 1982–83 en las comunidades litorales de la península de Mejillones. *Investigaciones Pesqueras*, 32:209–213.
- **Turner, J.T. 2002.** Zooplankton faecal pellets, marine snow and sinking phytoplankton blooms. *Aquat. Microb. Ecol.* 27: 57-102.
- **Valentin, L. 1996.** Aguas de Surgencia. *Ciencia y Tecnológica de la Asociación ciencia Hoy*. 6:41-48.

- **Yuras, G. O, Ulloa & S, Hormazabal. 2005.** On the anual cycle of coastal and open ocean satellite chlorophyll off Chile (18° - 40° S). *Geophy. Res. Lett.* Vol. 32.

ANEXOS

Tabla 1: Resultados obtenidos de temperatura para la Bahía de Valparaíso, abril 2015.

Profundidad (m)	Temperatura °C				
	E5	E4	E3	E2	E1
1	14.30	14.27	14.46	14.41	14.31
2	14.24	14.25	14.45	14.41	14.30
3	14.23	14.24	14.41	14.41	14.31
4	14.23	14.22	14.37	14.40	14.30
5	14.20	14.20	14.29	14.39	14.29
6	14.17	14.18	14.15	14.37	14.29
7	14.13	14.16	14.10	14.32	14.26
8	14.11	14.16	14.07	14.25	14.19
9	14.07	14.17	13.99	14.11	14.11
10	14.03	14.08	13.94	14.03	14.03
11	13.95	13.98	13.94	13.93	14.00
12	13.83	13.95	13.92	13.82	13.99
13	13.53	13.94	13.84	13.74	13.96
14	13.37	13.88	13.70	13.70	13.94
15	13.29	13.82	13.66	13.62	13.88
16	13.27	13.80	13.60	13.53	13.77
17	13.22	13.76	13.50	13.49	13.69
18	13.19	13.48	13.44	13.43	13.63
19	13.11	13.19	13.39	13.25	13.59
20	13.06	13.08	13.35	13.15	13.57
21	12.97	12.98	13.29	13.07	13.51
22	12.81	12.92	13.24	13.06	13.42
23	12.69	12.80	12.98	12.96	13.39
24	12.63	12.62	12.66	12.87	13.34
25	12.59	12.50	12.60	12.72	13.30
26	12.56	12.45	12.50	12.58	13.27
27	12.52	12.39	12.46	12.48	13.24
28	12.45	12.36	12.42	12.39	13.21
29	12.37	12.31	12.30	12.34	13.13
30	12.27	12.24	12.24	12.32	13.06
31	12.20	12.20	12.20	12.25	13.10
32	12.09	12.19	12.12	12.13	12.97

33	12.03	12.19	12.07	12.11	12.77
34	12.01	12.17	12.05	12.11	12.65
35	12.01	12.08	12.03	12.11	12.52
36	11.99	11.94	11.99	12.11	12.44
37	-	11.92	11.95	12.09	12.36
38	-	11.92	11.95	12.06	12.34
39	-	11.92	11.94	12.06	12.25
40	-	11.90	11.94	12.07	12.20
41	-	11.88	11.93	12.06	12.24
42	-	11.87	11.92	12.04	12.14
43	-	11.86	11.91	12.04	12.11
44	-	11.86	11.89	12.04	12.03
45	-	11.85	11.88	12.01	11.97
46	-	11.81	11.85	11.99	11.96
47	-	11.79	11.84	11.98	11.95
48	-	11.76	11.83	11.98	11.94
49	-	11.76	11.79	11.97	11.93
50	-	-	11.78	11.97	11.92
51	-	-	-	11.97	11.91
52	-	-	-	11.96	-
53	-	-	-	11.93	-
54	-	-	-	11.85	-
55	-	-	-	11.81	-
56	-	-	-	11.76	-
57	-	-	-	11.74	-
58	-	-	-	11.73	-
59	-	-	-	11.61	-
60	-	-	-	11.56	-

Tabla 2: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua. Corresponden al mes de diciembre 2012.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ⁻³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
393	5.513	3.067	1.918

Tabla 3 Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua. Corresponden al mes de marzo 2013.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ⁻³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
551	8.218	17.242	4.180

Tabla 4: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua. Corresponden al mes de junio 2013.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ⁻³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
731	0.959	1.333	0.580

Tabla 5: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua. Corresponden al mes de septiembre 2013.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ⁻³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
674	7.304	12.772	2.405

Tabla 6 Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua. Corresponden al mes de diciembre 2013

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ⁻³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
1708	1.507	5.561	0.482

Tabla 7: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua Corresponden al mes de marzo 2014.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ⁻³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
2234	6.944	27.103	1.320

Tabla 8: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua. Corresponden al mes de junio 2014.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
986	1.359	2.210	1.050

Tabla 9: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua. Corresponden al mes de octubre 2014.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
1342	3.110	10.736	0.845

Tabla 10: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua. Corresponden al mes de mes diciembre 2014.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
667	10.559	27.104	2.081

Tabla 11: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua. Corresponden al mes de mes abril 2015.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
818	7.018	25.226	1.221

Tabla 12: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Concepción. Corresponden al mes de septiembre 2002.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
20193	7.018	25.226	1.221

Tabla 13: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Concepción. Corresponden al mes de noviembre 2002.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ⁻³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
19716	5.200	39.947	0.8121

Tabla 14: Resultados obtenidos de imagen satelital de clorofila-*a* para la Bahía de Concepción. Corresponden al mes de marzo 2003.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ⁻³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
19731	4.269	23.525	0.94

Tabla 15: Resultados obtenidos de imagen satelital de temperatura superficial para la Bahía de Concepción. Corresponden al mes de noviembre 2003.

Resultados de clorofila- <i>a</i> (mg m ³)			
N° datos	Promedio	Valor máx.	Valor mín.
21580	1.779	18.766	0.526

Tabla 16: Resultados obtenidos de clorofila-*a* extraídos de los sedimentos e imágenes satelitales, correspondientes a las zonas de interés. Las informaciones de CPE están expuestas a Log2 y las concentraciones máximas satelital en Log.

Concentración de clorofila- <i>a</i>			
Zona	Fechas	CPE en sedimentos (mg m ⁻³)	Máxima satelital (mg m ⁻³)
Bahía de Valparaíso y desembocadura del río Aconcagua	Diciembre 2012	4.84	2.70
	Marzo 2013	4.97	4.19
	Junio 2013	5.31	1.22
	Septiembre 2013	5.73	3.78
	Marzo 2014	5.09	4.81
	Junio 2014	3.08	1.68
	Octubre 2014	3.30	3.55
	Abril 2015	4.00	4.71
Bahía de Concepción	Septiembre 2002	7.83	4.71
	Noviembre 2002	7.86	5.36
	Marzo 2003	9.64	4.62
	Junio 2003	8.85	4.31

Tabla 17 Resultados obtenidos en el análisis de varianza.

Análisis Kruskal-Wallis	
H(chi ²)	9.363
H _c	9.367
p	0.0022

Tabla 18: Resultados históricos de precipitación en Concón.

Fuente: <https://es.climate-data.org/location/21730/>.

Resultados históricos de precipitación en Concón	
Fechas	Precipitación (mm)
Enero	1
Febrero	0
Marzo	3
Abril	19
Mayo	61
Junio	105
Julio	95
Agosto	58
Septiembre	26
Octubre	9
Noviembre	7
Diciembre	2

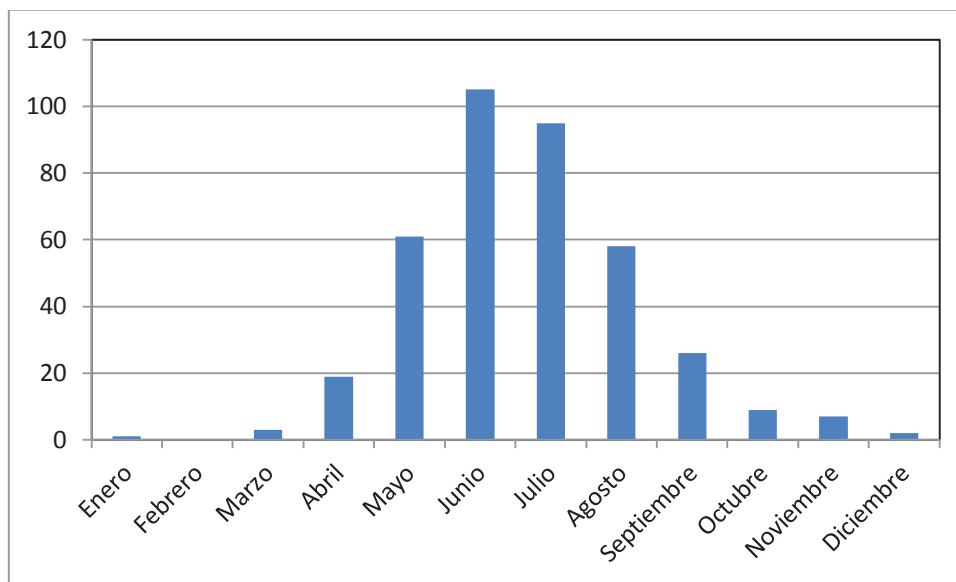


Figura 56: Resultados históricos de pluviosidad en Concón.