



INFORME FINAL

Convenio de desempeño 2019:

Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte
Hidrodinámico y su Relación con Procesos Biogeoquímicos
en la Patagonia Norte.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / marzo 2021

INFORME FINAL

Convenio de desempeño 2019:

Modelación de Alta Resolución Aplicada al
Transporte Hidrodinámico y su Relación con
Procesos Biogeoquímicos en la Patagonia Norte.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / marzo 2021

REQUIRENTE

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretaria de Economía y
Empresas de Menor Tamaño
Julio Pertuzé Salas

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

Jefe División Investigación en Acuicultura
Leonardo Guzmán Méndez

JEFE PROYECTO

Gabriel Soto Soto

AUTORES

Gabriel Soto Soto
Elías Pinilla Matamala
Pablo Reche García
Camila Soto Riquelme
Javier Cortés Puebla

COLABORADORES

Patricio Salas Salas
Manuel Moya Vega
Miguel Vergara Barria
Oliver Venegas Mella
Luis Avello Fernández
Marcela Arriagada Ortega

RESUMEN EJECUTIVO

Como parte del convenio de desempeño entre el Ministerio de Economía mediante la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño e IFOP, se encuentra en ejecución el proyecto: “Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico y su Relación con Procesos Biogeoquímicos en la Patagonia Norte”.

El principal objetivo de este estudio estuvo enfocado en determinar la variabilidad inter-anual de la circulación dentro de la zona de estudio, mediante la implementación de modelos numéricos de alta resolución, además de caracterizar las propiedades químico-biológicas en la columna de agua. Dentro de la zona de estudio, se realizaron 4 cruces oceanográficos, entre junio de 2019 a marzo de 2020. Con la finalidad de cubrir la mayor variabilidad temporal.

Para caracterizar la oceanografía del área seleccionada, se efectuaron mediciones de correntometría mediante la instalación de perfiladores acústicos de efecto Doppler (ADCP) los cuales efectuaron mediciones en la columna de agua por periodos que variaron entre los 8 y 16 meses. Las mediciones de corrientes se realizaron entre los 0-90 metros. Para caracterización meteorológica se utilizó información de 3 estaciones que posee IFOP, las cuales efectúan transmisión de información en línea. Se instalaron sensores de presión para efectuar registro del nivel del mar. Para ampliar la información derivada de las observaciones realizadas en las campañas oceanográficas, se desarrolló un modelo hidrodinámico, basado en MIKE 3 FM, que incluye el forzamiento atmosférico de alta resolución mediante el modelo meteorológico WRF de 3 Km. Para otorgar una medida cuantitativa de la capacidad de transporte del sistema, se estimaron diferentes esquemas de conectividad hidrodinámica. En cada uno de los cruces oceanográficos, se realizaron estaciones de CTDO, (salinidad, Temperatura y oxígeno disuelto). Para complementar la caracterización en la columna de agua, fueron tomadas muestras de aguas a profundidades oceanográficas discretas (muestreo estratificado), para obtener información de nutrientes (nitrato, fosfato y silicato), junto con información de biomasa fitoplanctónica (clorofila y feopigmentos). Además, fue implementado un sistema de sensores de oxígeno y temperatura, para obtener series de tiempo de estas variables, en la capa superficial y en zonas más profundas. Se identificaron fuentes de nutrientes en algunos de los principales ríos comprendidos entre la región de Los Lagos y La región de Aysén. Para determinar el balance de nutrientes, se utilizó el modelo Biogeoquímico LOICZ (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone). El balance se realizó en una zona acotada dentro del MIC (fiordo Compu), dentro de esta zona se efectuó una caracterización hidrológica, con mediciones de algunos caudales que descargan agua dulce directo en la zona costera, además se tomaron muestras de nutrientes en estos ríos. Para el mar interior de Aysén, también se efectuó un balance dentro del fiordo Quitralco, utilizando la información generada en este estudio, incluyendo también estudios anteriores.

Durante la ejecución del estudio, se produjeron retrasos debido a las restricciones de desplazamiento impuestas para el control de la pandemia Covid-19, atrasos que estaban relacionados con el análisis de nutrientes y biomasa fitoplanctónica y que terminaron repercutiendo directamente en el desarrollo de los objetivos 2 y 3 del proyecto. Debido a que estos análisis se realizaron en laboratorio externos a IFOP, específicamente en localidad de Coihayque (laboratorios de CIP Centro Investigación Patagonia). La totalidad de los resultados de estos análisis, estuvieron disponibles la segunda semana de enero 2021 razón por la cual, se realizó la última solicitud para contar con tiempo adicional para el análisis de resultados y elaboración del presente informe final.

Los resultados de este estudio indicaron que, las escalas temporales de transporte, tales como: la edad del agua o el tiempo de residencia, proporcionan una visión de los procesos de transporte advectivo y difusivo pudiendo ser usado para estimar la variabilidad en la distribución de importantes propiedades que son críticas para los ecosistemas marinos, tales como: temperatura, salinidad, clorofila, nutrientes u oxígeno disuelto, transformando a este tipo de métricas, en instrumentos de gran utilidad para la gestión marina.

Se describió la implementación y resultados de calibración de los dominios de alta resolución centrados en el mar interior de la región de Los Lagos (R1-Chiloé) y Aysén (R2-Aysén), actividades pertenecientes al primer objetivo de este proyecto. Para esto se utilizó el modelo hidrodinámico MIKE 3D FM. Los dominios de ambos se basaron en la compilación de información batimétrica de cartas náuticas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), la descarga de los ríos proviene del modelo hidrológico VIC-IFOP, con información de caudales diarios, mientras que el forzamiento atmosférico proviene de la implementación del modelo WRF-IFOP de 3 Km de resolución espacial. El modelo R1-Chiloé cubre el periodo de 2016-2018, mientras que R2-Aysén lo hace entre 2017-2018.

Las calibraciones de los modelos hidrodinámicos R1-Chiloé y R2-Aysén utilizados para este estudio, entregaron un buen ajuste respecto de diversos parámetros físicos medidos, capturando la variabilidad espacial y temporal de estos sistemas estuarinos. El modelo atmosférico WRF, presentó buen acuerdo con respecto a las observaciones otorgando un adecuado ajuste al patrón local de viento otorgado por la compleja topografía de los canales y fiordos de la Patagonia norte.

El patrón de circulación superficial (hasta 50 m) en el mar de Chiloé (2016-2018) muestra una corriente hacia el sur, bien definida e intensa ($10-20 \text{ cm s}^{-1}$) que se prolonga por el costado continental, desde el seno de Reloncaví hasta la parte sur del golfo Corcovado, esta se divide en dos ramas a la altura de las islas Desertores intensificándose en los pasos de Apiao y Desertores, continuando su recorrido por la zona costera continental del golfo Corcovado, parte de la estructura de esta intensa corriente fue observada, tanto en el ADCP, como el modelo cercano al paso Desertores. Por otra parte, en la parte sur de la isla Chiloé, se observa una corriente hacia el norte que comunica desde isla San Pedro hasta isla Tranqui.

La circulación media en la región de Aysén (2017- 2018) entre 0-50 m presentó, en general, corrientes medias menos energéticas que en Chiloé. El sector sur de la región, desde el estero Elefantes y pasando por el canal Costa, es comunicado a través de una corriente hacia el norte de alrededor de 10 cm s^{-1} y que se intensifica en la constricción de Meninea conectando con el límite norte del archipiélago de Chonos (Melinka) a través del sector oeste del canal Moraleda. El canal Moraleda por su parte, presentó por el lado este, un flujo hacia el sur con un remolino ciclónico hacia la mitad del canal.

La edad del agua en el mar interior de Chiloé, modelada para el periodo 2016-2018, reveló espacialmente a las islas Desertores como el límite más importante entre condiciones de edad de aguas relativamente menores, al sur de Desertores y aguas de edad mayores, al norte de estas. Las aguas más densas que penetran por el paso Desertores permiten renovar los grandes golfos y fiordos a norte de islas Desertores, las entradas de ríos tienen un impacto menor en la renovación de estas regiones.

La influencia de las condiciones hidrográficas y atmosféricas en los tiempos de intercambio de agua parecen relevantes. El año 2016, se presentó en la zona sur de Chile, un año muy seco, originado por un fuerte evento de El Niño y la fase positiva del Modo Anular del Sur. La descarga de ríos se redujo casi a la mitad de su condición promedio anual, la menor disponibilidad de agua dulce inhibió la

estratificación y a la vez, el flujo estuarino superficial se debilitó, esto también redujo el flujo de aguas más densas oceánicas que penetran por el paso Desertores, lo que limitó la renovación de las cuencas al norte de esta.

La edad del agua en la región de Aysén muestra a la constricción de Meninea como un límite similar al descrito en islas Desertores. Las aguas de origen oceánico que penetran por el canal Moraleda registraron edades menores al resto de la región, los valores promedio mayores, se encontraron en la cuenca sur de la región de Aysén, especialmente en la Laguna San Rafael y el fiordo Cupquelán.

Las variables medidas en los diferentes periodos estuvo estrechamente relacionada al esquema de circulación estuarina, básicamente la capa superficial, estuvo caracterizada por bajos valores de salinidad, bajo niveles de nutrientes (fosfatos y nitratos) alta concentración de oxígeno disuelto. Debajo de la capa estuarina, mayores registros salinos, mayores concentraciones de nutrientes y menores valores de oxígeno disuelto.

La conformación batimétrica tiene un rol dentro del mar interior de Chiloé (MIC), como el Mar interior de Aysén (MIA). En el caso del MIC las diferentes propiedades medidas en la columna de agua permitieron diferencias espaciales, separando esta zona en 2 cuencas una al norte de la isla Desertores y otra al sur de las s islas Desertores. Una situación similar ocurrió en el MIA, producto de la barrera que genera la isla Meninea, separando ambas cuencas con propiedades diferentes. Si bien no se han detectados las bajas de oxígeno en la boca del Fiordo Quitralco, como fueron registrados en el estudios anteriores, durante el periodo las mediciones realizadas dentro de la depresión del Fiordo, arrojaron intenso valores de hipoxia, llegando en la parte más profunda de la depresión a registrar una concentración mínima absoluta de 0,3 ml/L , además, se detectaron en zonas cercanas a la depresión, valores de oxígeno de 3-3,5 ml/L, por una parte es probable que en esta zona ocurra una acumulación de materia orgánica y posterior consumo de oxígeno por degradación(materia orgánica). No obstante, también se debe considerar que estos niveles de hipoxia serían recurrentes en el tiempo y acontecidos en periodos recientes, ya que al explorar los datos de cruceros como el Hudson 1971, en esta zona y también diferentes cruceros CIMAR Fiordo en sus diferentes expediciones (2001 y 2007), no detectaron estos bajos niveles de oxígeno disuelto, en la zona de la depresión del Fiordo o zona cercanas a la cabeza. Por otro lado, los datos arrojados por el modelo VIC, tampoco revelen grades descargas de agua dulce que pudieran trasportar material particulado como es el caso del Fiordo Aysén, y en este sentido se debe considerar también la influencia de la actividad acuícola en los aportes de material orgánico.

LOICZ es uno de los modelos más sencillos de implementar, esencialmente por los requerimientos de una acotada cantidad de información que, permiten resolver de una manera adecuada y con cierta robustez los cálculos, para determinar: cuál es el flujo de nutrientes dentro de un sistema determinado. Además, LOICZ permite realizar aproximaciones tanto del metabolismo neto del ecosistema, como de algunos de los procesos más relevantes que ingresan y/o remueven nutrientes dentro de un sistema. Los resultados de LOICZ determinaron que la principal fuente natural, que aporta nutrientes dentro de los sistemas denominados estero Compu y Fiordo Quitralco, sería el ingreso de aguas de origen marino, correspondiendo a los niveles (concentraciones) de nutrientes propios de las condiciones del Mar Interior de Chiloé (MIC), como a las condiciones del Mar Interior de Aysén. Para el caso del fiordo Quitralco, los aportes por esta vía serían ~98%, el restante correspondería a los aportes fluviales y pluviales (solo para el caso del nitrógeno), condición similar a lo registrado en estero Compu: aporte de nutrientes por el sistema marino ~95% y la diferencia correspondería a los aportes fluviales y pluviales. En el Fiordo Quitralco, se encontraron diferencias entre los flujos de nutrientes (fósforo y nitrógeno) entre el estrato profundo y el estrato superficial, lo que estaría indicando, una posible carga

de nutrientes no cuantificada dentro ambos sistemas, en este sentido y considerando que el fiordo Quitralco es una zona con importante actividad acuícola (salmonicultura), el siguiente paso sería cuantificar el efecto de la acuicultura para determinar los aportes Materia Orgánica (nitrógeno y fósforo) dentro del fiordo Quitralco y también dentro del estero Compu. El modelo LOICZ es consistente con lo esperado para un sistema estratificado tipo fiordo como Fiordo Quitralco. El modelo resuelve el flujo de nutrientes para un estado estacionario y se puede considerar una herramienta adecuada, para comprender el flujo de nutrientes dentro de un sistema altamente complejo. Para el caso del Estero Compu se observaron algunas diferencias en el metabolismo del sistema, con un flujo de fósforo con rasgos de sumidero, junto con un flujo negativo de nitrógeno (sumidero), pero con una predominancia de la desnitrificación, lo cual no pareciera corresponder con el alto ingreso de nitrógeno de la zona del mar interior. Es posible que el modelo no resuelva bien todos los procesos, para este tipo de sistemas (sistemas mezclados verticalmente) o se requiera utilizar una configuración espacial diferentes, como dividir el sistema en más número de compartimentos).

Con los diferentes resultados obtenidos en este estudio, Fiordo Quitralco debe ser considerado una zona frágil desde el punto de vista ambiental, ya que presenta bajas concentraciones de oxígeno disuelto a niveles de hipoxia, que son recurrentes en el tiempo, elevada concentración de nutrientes (carga dentro del sistema) que también son retenidos dentro del mismo fiordo, aspectos que deben ser considerados para el desarrollo de las actividades productivas (e.g salmonicultura y mitilicultura). Finalmente, con la información generada en este estudio y generada en estudio anteriores de IFOP y los diferentes cruceros CIMAR Fiordo, se realizó una caracterización oceanográfica a nivel de ACS, una parte está contenida en este informe, mediante resúmenes estadísticos, los cuales incluyen información relevante de salinidad temperatura oxígeno disuelto, y nutrientes: nitrato fosfato y silicato. Otra parte, correspondiente a la correntimetría la cual puede ser visualidad de manera interactiva en el portal Chonos, además se elaboró una guía práctica para acceder a esta información.

INDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	1
ÍNDICE GENERAL	5
1. ANTECEDENTES	7
2. OBJETIVOS	12
2.1 objetivo general	12
2.2 Objetivos específicos	12
3. METODOLOGÍA	13
3.1 Objetivo específico 2.2.1.	13
Determinar la variabilidad inter-anual de la circulación al interior de la región de Los Lagos y de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, mediante la Implementación de un modelo hidrodinámico de alta resolución.	
3.2 Objetivo específico 2.2.2.	24
Realizar una caracterización biogeoquímica a través de observaciones de nutrientes (nitrato, fosfato y silicato) de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y biomasa fitoplanctónica.	
3.3 Objetivo específico 2.2.3.	27
Determinar las principales fuentes naturales de nutrientes que aportan al sistema y realizar el balance de nutrientes.	
3.4 Objetivo específico 2.2.4.	36
Generar mapas temáticos con la información recopilada en el estudio, enfocados en la caracterización de las Agrupación de Concesiones de Salmónidos (ACS), que pertenecen a la región de Los Lagos y Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	
4. GESTIÓN DEL PROYECTO	37
4.1 Reunión Investigadores IFOP personal SUBPESCA: 05/09/2019	

4.2	Licitación embarcación: marzo-mayo/2019	
4.3	Seminario Presentación de resultados relevantes en el desarrollo de estudios oceanográficos y modelación hidrodinámica ejecutados por IFOP en la región de Los Lagos, Aysén y Magallanes.	
4.4	solicitud postergaciones informe final.	
4.5	Seminario Presentación de resultados: Oceanografía y Modelación Numérica en Fiordos y Canales de la Patagonia.	
5.	RESULTADOS	40
5.1	Objetivo específico 2.2.1	40
5.2	Objetivo específico 2.2.2	67
5.3	Objetivo específico 2.2.3	78
5.4	Objetivo específico 2.2.4	92
6.	DISCUSIÓN	101
7.	CONCLUSIÓN	110
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
9.	Anexos	
	Anexo I. Base de datos	
	Anexo I. Base de datos	
	Anexo II. Distribución espacial variables hidrográficas salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes.	
	Anexo III. Modelo conceptual para las cargas de nutrientes en un sistema estuarino.	
	Anexo IV. Resúmenes estadísticos de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes.	

1. ANTECEDENTES

1.1 Condiciones oceanográficas generales de la Patagonia chilena

La geografía patagónica es producto de la acción glacial acontecida principalmente en el cuaternario, estos eventos formaron una línea de costa desmembrada, caracterizada por fiordos profundos y canales que comunican numerosos cuerpos de agua (Araya-Vergara 1996, 1999 y 2006), particularmente la topografía submarina, se exhibe como irregular alternando conformaciones tipo cuencas explanadas de represamiento y cuencas explanadas tipo cubeta (Rodrigo, 2006).

Debido a que no existía un gran desarrollo de la información sobre estudios ambientales en los canales y fiordos australes, el comité oceanográfico nacional CONA, elaboró el año 1994 un programa denominado crucero CIMAR, para efectuar una serie de cruceros oceanográficos, con la finalidad de cubrir esta extensa área, siendo los 3 primeros de carácter exploratorio. Posteriormente sobre la base de estos cruceros, se realizó un número significativo de cruceros, con la finalidad de determinar y documentar procesos oceanográficos relevantes, considerando que en muchas de estas áreas existe un fuerte desarrollo productivo acuícola (Silva & Palma 2006). Esto permitió generar una base de datos y un conjunto de publicaciones científicas, además de generar líneas base de investigación para estas zonas. Dentro de los resultados destacables, se logró establecer patrones y procesos oceanográficos, identificándose y caracterizando las principales masas de agua presentes, no solo en la zona oceánica, sino que también los cuerpos de agua que se forman dentro de la zona de canales y fiordos, diseñando algunos esquemas de circulación. Las propiedades físicas (e.g), de los cuerpos de agua localizados dentro de estos sistemas está en gran medida determinada por las tipologías de las masas de agua adyacentes (aguas oceánicas) y la mezcla que experimenta esta masa de agua con el agua dulce (aporte fluvial, nival, glacial y pluvial), siendo esta mezcla proporcional a la distancia de la fuente de agua dulce (Carrasco & Silva 2010). De esta forma las condiciones oceanográficas, producto de la interacción de agua oceánica y agua dulce, revela la presencia de una columna de agua estratificada, constituida en 2 capas: una superficial de profundidad variada, determinada por menor salinidad, menor densidad y mayor concentración de oxígeno disuelto, siendo esta capa superficial la que presenta mayor variabilidad espacial y temporal. Mientras que la segunda capa, es de mayor salinidad y densidad, menos concentración de oxígeno. Entre ambas capas se observa un intenso gradiente conformando una marcada haloclina, pycnoclina, oxiclina y nutriclina, esta estructura ha sido utilizada como trazador para realizar modelos esquemáticos de circulación horizontal, donde el agua dulce sale de los fiordos y canales (capa superficial), mezclándose en diferentes grados con el agua oceánica que ingresa en dirección opuesta (capa profunda), Silva *et al.*, (1997 1998); Sievers *et al.*, 2002; Valdenegro & Silva, 2003). De esta forma, desde la hidrodinámica, este transporte de agua dulce genera la llamada circulación gravitacional, o comúnmente denominada circulación estuarina y sus principales rasgos estarán definidos por la combinación entre la circulación y el gradiente salino, definiéndose básicamente con un flujo medio por diferencias de densidad.

En estas condiciones geográficas y oceanográficas se ha desarrollado la acuicultura en la zona sur Austral de Chile, centrada básicamente en Salmónidos, llevando a Chile a ser uno de los principales productores a nivel mundial, por lo que esta actividad ha sido considerada de gran importancia en la dinámica económica del país (Buschman *et al.*, 2009). No obstante, el desarrollo de la acuicultura no

ha estado exento de problemas, a partir del 2007, la industria salmonicultora experimentó una fuerte crisis producto de problemas sanitarios relacionados con el virus ISA (Godoy *et. al.*, 2008), lo que también trajo como consecuencia grandes pérdidas económicas, bajo estos antecedentes, la gestión de la acuicultura y su regulación por parte del estado de Chile se proyectaron como una actividad de alta complejidad (Bustos, 2012), ya que por una parte se debe promover el máximo nivel posible de crecimiento económico en el tiempo, pero en un marco de sustentabilidad ambiental. Si bien a partir del año 1991 se elaboran cambios en la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA) enfocados en acuicultura, solo en 2003 se comienza a incluir los conceptos de sustentabilidad ambiental, mediante la Política Nacional de la Acuicultura (PNA) estableciendo un marco regulatorio para esta actividad. Sin embargo, debido a la insuficiencia de este marco regulatorio, evidenciado tras la crisis del salmón producto del Virus ISA, es que actualmente, la LGPA establece un marco de obtención de información científica en los cuales se debe sostener las decisiones de carácter público y sobre la base de esta información deberán ser desarrolladas los instrumentos de ordenamiento territorial, donde no solo estaría contenida la salmonicultura, sino todo los usuarios que ejerzan alguna actividad dentro del borde costero (Fuentes 2014).

1.2 Consideración de la hidrodinámica en la acuicultura costera

FAO en 2010, elaboró un extenso documento donde indicó casos de estudios y una serie de directrices, que deben ser considerados para el desarrollo de la acuicultura en términos sostenibles. Valle-Levinson (2010) describió lo forzantes principales en los sistemas sujetos a circulación gravitacional y como estos deben ser identificados, medidos y considerados, dentro de la actividad acuícola, ya que estos forzantes y los procesos que los gobiernan, deben ser considerados para un ordenamiento en la gestión territorial y para el ordenamiento de la acuicultura, considerando que esta actividad debe ser desarrollada como una actividad económica y ambientalmente sostenible.

Si bien la estructura básica del esquema de circulación gravitacional, es un rasgo distintivo dentro del sistema de fiordos y canales, como el caso de la Patagonia Chilena, la dinámica de estos flujos no está solo determinada por los gradientes de densidad, producto del intercambio de agua dulce y agua salada, sino que también, está determinada y modificada por otros forzantes, que pueden actuar de manera unitaria o en conjunto, generando complejos patrones de circulación. A continuación, se señalan los principales alcances detallados por el autor anteriormente señalado:

La Influencia de la marea, puede modificar la circulación de acuerdo con las diferentes fases del ciclo mareal, generando, por ejemplo, flujos de mayor intensidad debido a los cambios en el grado de mezcla vertical (diferencias entre sicigia y cuadratura), modificando de esta manera los campos de masa (temperatura, salinidad, densidad).

Por otra parte, la geomorfología submarina puede tener un marcado efecto en los diferentes flujos que se producen por la circulación gravitacional, así una conformación tipo V, generará diferentes tipos de cizalles laterales generando flujos laterales, mientras que conformaciones más explanadas a lo largo del canal en forma de U facilitan la circulación gravitacional, ya que los flujos tienden a darse de manera horizontal.

La dirección e intensidad del viento, puede tener un rol significativo en la circulación, ya que por ejemplo un viento en contra de la circulación superficial (flujo de agua dulce/salobre), disminuirá la velocidad de éste, (aumentando el tiempo de residencia del agua), ejerciendo una mezcla más intensa y cambiando la profundidad de la estratificación.

Por otro lado, el agua dulce, es el forzante principal en la circulación gravitacional, dado que los aportes de agua dulce mantienen el balance de masa en sistemas estuarinos y de fiordos, como es la zona austral de Chile, tienen una marcada influencia en la estabilidad de la columna de agua por gradientes de densidad.

Debido a las brechas de conocimiento que aún existen en estos sistemas, la identificación de los diferentes forzantes y sus grados de influencia sobre los patrones de circulación, se ha vuelto un proceso clave, para desarrollar y focalizar estudios que permitan formular una línea base suficientemente robusta sobre la cual establecer los marcos regulatorios ambientales (e.g) zonificar, ordenar la instalación y/o selección de sitios aptos para la acuicultura.

El estudio de la conectividad de un sistema a partir de la variabilidad climática ambiental, entendiendo por tal la variabilidad estacional intra-anual de dicho sistema, permite establecer cuál es la zonificación y compartimentación más adecuada en función de la hidrodinámica local, para en última instancia determinar cuál sería el emplazamiento de los centros de cultivo salmonícolas que minimizará las probabilidades de arribo y dispersión de partículas entre dichos centros. La conectividad es determinada a partir de los campos de corrientes que transportan masas de agua y las partículas contenidas en ella en suspensión, dilución o flotación. Dado que la conectividad implica el desplazamiento de masas de agua entre dos puntos (o parcelas de agua), cuanto más reducida sea el área sobre el cual se calculará la conectividad más pérdida de información tendremos, pues el intercambio de masas y partículas está confinado a los límites de dicha área. Por ello si bien se puede estimar la conectividad en áreas pequeñas a partir de mediciones de los campos de corrientes, para la estimación de la conectividad en grandes superficies (miles de km²) la medición en terreno de tales campos de corrientes es una tarea que demandaría de enormes recursos económicos y humanos que harían que esta tarea fuera prácticamente irrealizable. La modelación numérica, partiendo del principio de que proporciona una línea base bien definida contra la cual comparar las observaciones empíricas, y así los modelos apropiados pueden proporcionar hipótesis comprobables y dar una idea de los aspectos específicos de los procesos biológicos o hidrodinámicos en el mundo real (Adams *et al.*, 2012), son la solución a la limitación antes planteada. Además, a través de la modelación numérica podemos modular *ad hoc* las condiciones ambientales a fin de dar representación a la variabilidad climática ambiental, lo cual no puede ser garantizado cuando se realizan mediciones en terreno

1.3 Implementación de medidas en la gestión de la acuicultura

Actualmente se lleva a cabo el desarrollo e implementación de múltiples medidas y normativas, las cuales están dirigidas a resolver los principales temas sanitarios y ambientales que afectan a la acuicultura. Entre estas medidas una de las de más amplio impacto es el establecimiento de macrozonas, concepto que conlleva un nivel de organización y control de cobertura y nivel superior a los barrios o agrupaciones de concesiones establecidas en versiones anteriores de la Ley de Pesca y Acuicultura. Uno de los efectos principales de este nuevo concepto de organización es la necesidad

de establecer sectores en los cuales no deberá desarrollarse actividad de cultivos, especialmente salmónidos. Junto a esta situación se observa una constante evolución del conocimiento de la oceanografía en la zona sur austral, motivada por la necesidad de gestionar en forma sustentable el desarrollo de la industria acuícola. Este desarrollo ha mostrado la gran cantidad de complejidades de este ambiente, así como la dificultad de aplicar directamente herramientas complejas, tales como los modelos numéricos, a la solución de problemas ambientales, sanitarios y productivos. Es así como se torna clara la necesidad de mejorar dichas herramientas, así como también potenciar el uso de los productos generados por ellas, proveyendo a la autoridad de utilidades que permitan dicha gestión. Las posibilidades de aumentar el conocimiento en estos sectores y mejorar la administración por parte del estado hacen imprescindible la ejecución de esfuerzos mayores en la mejora de las herramientas disponibles, en la diversificación de sus usos y en la obtención de información de línea base de dichas áreas. La investigación para proveer esta información debe comenzar por la descripción del medioambiente físico, especialmente su dinámica y variabilidad espacial y temporal como base para la comprensión y manejo sustentable del medio ambiente. Sin embargo, la gran extensión y difícil acceso de la zona sur austral dificultan su estudio. Debido a esto se han priorizado áreas de interés, seleccionado en este estudio el Mar Interior de Chiloé, incluyendo en boca de Guafo, estuario Reloncaví, fiordo Comau, fiordo Refihue

El desarrollo de la investigación enfocado a determinar la dinámica estuarina, ha permitido la implementación de modelos numéricos para el estudio de amplias zonas geográficas. Este tipo de estudios tiene como una de sus ventajas la capacidad de extender los resultados de la medición y monitoreo puntual a un área geográfica mayor, con la capacidad de predecir su comportamiento en diferentes escenarios. Una de las formas de entender y poder predecir el comportamiento de un sistema marino es a través de modelos numéricos, estos son abstracciones de la realidad, por ello tienen errores al intentar simularla. Cualquier modelo de predicción intenta simular los múltiples procesos que producen cambios en un sistema, por lo tanto, su objetivo es comprender estos procesos y predecir los efectos en los cambios e interacciones (Kamga *et al*, 2000). La simulación se realiza mediante la descripción de un sistema en términos de leyes físicas, por consiguiente, un modelo numérico está compuesto por una serie de ecuaciones que expresan estas leyes (Kalnay *et al*, 1998). Siempre existen desviaciones entre lo simulado y lo real, que se corrigen a medida que las simulaciones avanzan y se contrastan contra lo real, ajustando a posteriori los datos, y volviendo a ejecutar las simulaciones. Es un proceso de retroalimentación, sin el cual, sería muy imprudente tomar como certeras las predicciones realizadas (Jolliffe *et al*, 2003).

Existen múltiples experiencias de modelamiento hidrodinámico en sistemas similares a la Patagonia Chilena como los fiordos Escandinavos o canadienses. De especial interés es el experimento NorKyst-800 (Albretse *et al*, 2011) el cual, es un sistema de modelamiento hidrodinámico basado en ROMS para las zonas costeras de Noruega. El dominio de este modelo cubre toda la costa de Noruega con una resolución de 800 m. Funciona como un dominio madre para ejecuciones de alta resolución en zonas particulares.

En proyectos anteriores ASIPA en el ámbito de oceanografía y modelación, se han implementado y validado modelos a diferentes escalas y en distintas regiones de la zona sur austral de Chile, pero aún se hace necesario ampliar la cobertura de información oceanográfica detallada en zonas donde esta es aún insuficiente, como lo es el Mar Interior de Chiloé, particularmente el verano del año 2016, esta área, se vio afectada por una floración de la microalga *Pseudochattonella sp.*, lo que provocó una alta

mortandad de peces en los centros de cultivos. Posteriormente, se produjo una proliferación del dinoflagelado *Alexandrium catenella*, la cual tuvo una inusual extensión dentro de la región, alcanzando inclusive a la región de Los Ríos, llevando al gobierno central a declarar zona de catástrofe a la región de Los Lagos. Esta proliferación de algas y sus consecuencias han demostrado que se hace necesario identificar los forzantes que favorecen estos eventos, por lo cual es necesario establecer la línea base sobre las variables biogeoquímica acopladas al patrón de circulación de la zona.

Es de suma importancia señalar, que el desarrollo de este proyecto se encuentra dentro del marco de convenio de desempeño entre Ministerio de Economía e IFOP, el cual, está encaminado en una perspectiva de desarrollo de mediano y largo plazo en temáticas de gestión costera asociada al conocimiento oceanográfico y desarrollo de herramientas cuantitativas como son los modelos numéricos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar los patrones de circulación mediante la implementación de modelos alta resolución y su relación con los procesos biogeoquímicos al interior de las regiones de Los Lagos y de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

2.2. Objetivos específicos

- 2.2.1** Determinar la variabilidad inter-anual de la circulación al interior de la región de Los Lagos y de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, mediante la Implementación de un modelo hidrodinámico de alta resolución.
- 2.2.2** Realizar una caracterización biogeoquímica a través de observaciones de nutrientes (nitrato, fosfato y silicato) de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y biomasa fitoplanctónica.
- 2.2.3** Determinar las principales fuentes naturales de nutrientes que aportan al sistema y realizar el balance de nutrientes.
- 2.2.4** Generar mapas temáticos con la información recopilada en el estudio, enfocados en la caracterización de las Agrupación de Concesiones de Salmónidos (ACS), que pertenecen a la región de Los Lagos y Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

3. METODOLOGÍA

3.1 **Objetivo específico 2.2.1** *Determinar la variabilidad inter-anual de la circulación al interior de la región de Los Lagos y de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, mediante la Implementación de un modelo hidrodinámico de alta resolución.*

Para determinar la circulación en los mares de la región de los Lagos y Aysén se utilizó un modelo hidrodinámico, además de observaciones oceanográficas y meteorológicas distribuidas en distintos sectores de los mares interiores para analizar y validar la información derivada del modelo. A continuación, se describen, la fuente de información instrumental y análisis realizado, y posteriormente, la configuración del modelo hidrodinámico.

3.1.1 Observaciones oceanográficas y meteorológicas

a) Caudales de río

Se utilizaron 4 series de tiempo de caudal del río: Puelo, Palena, Cisnes y Aysén (<http://explorador.cr2.cl/>). Series con intervalo de medición diaria, el largo de la serie es 15 años (2003 -2020). Se construyó una climatología, incorporando la desviación estándar mensual (barras de error). Finalmente, se graficó una comparación interanual de la descarga, incluyó un promedio interanual.

b) Viento

Se analizaron 4 estaciones meteorológicas (figura 1) ubicadas en seno Reloncaví, Apiao, Cucao y Melinka, la información detallada de las estaciones se encuentra en la tabla 2. Se utilizó la serie de tiempo de magnitud y dirección del viento, para graficar rosa de vientos de la serie total y luego se realizó una climatología del viento para cada estación.

c) Corrientes

Se realizaron mediciones de correntometría euleriana en la columna de agua dentro del mar interior de Chiloé - Aysén (Figura 1), se analizó la corriente y marea de la zona en base a 11 ADCP anclados a media agua con una frecuencia de medición de 20 minutos Se utilizaron ADCP RDI 300kHz y ADCP ROWE 300kHz, la información detallada de los anclajes se encuentra en la tabla 1.

Se realizó un análisis preliminar entre los cuatro transductores del ADCP, sólo se trabajó con los datos que obtuvieron 90% de correlación y se eliminó el nivel más cercano a la superficie, para eliminar el efecto de variación de nivel del mar. Posteriormente, se realizó la corrección magnética correspondiente a cada punto, de esta manera los datos fueron orientados al norte geográfico. Luego se calculó las componentes ortogonales de la corriente; U (este) y V (norte), el análisis de eje de máxima varianza (EMV), por medio de un análisis de componentes principales, basado en vectores y valores propios de la matriz de covarianza de la corriente, determina la oscilación predominante de la corriente. Para una observación general se calculó la estadística descriptiva de la corriente total (perfil

promedio U, perfil promedio V, varianza U, varianza V, amplitud de eje de máxima varianza, porcentaje explicado por el eje de mayor variabilidad, ángulo, elipticidad).

Se realizó un análisis espectral, en el dominio de la frecuencia, utilizando la técnica de autoespectro (Bendat y Piersol, 1986) para las componentes vectoriales y rotatorios de la corriente (Mooers, 1973) para los componentes de la corriente del mar interior de Chiloé - Aysén, se efectuó el siguiente procedimiento, para una mayor significancia estadística, las series se dividieron en segmentos de igual tamaño, con cada segmento se calculó un espectro, el cual se promedió para cada frecuencia (Emery & Thomson, 1998). Puesto que cada estimación espectral posee una distribución X^2 con dos grados de libertad, los grados de libertad del espectro promedio son dos veces el número de trozos (Bendat y Piersol, 1986). En estos registros se empleó sobre 12 grados de libertad. Posteriormente se calculó el porcentaje de varianza explicado por la banda diurna, semidiurna y baja frecuencia en la corriente total en base a integrar una banda de frecuencia específica en el espectro de energía. Posteriormente se realizó un mapa superficial interpolado para la varianza explicada por la banda semidiurna de la marea. Finalmente, se calculó el flujo residual de la corriente, aplicando un filtro de pasa-baja, coseno de Lanczos de 121 pesos y periodo de corte de 40 horas.

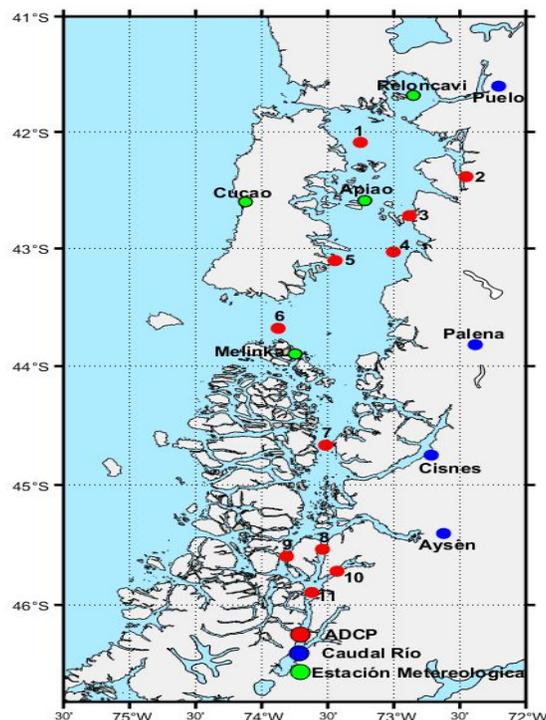


Figura 1. Mapa con la ubicación geográfica de las mediciones de corriente, meteorológicas y caudal de ríos utilizadas para caracterización de Chiloé – Aysén.

Tabla 1. Información general de instrumentos utilizados en la caracterización Chiloé – Aysén.

Medición	Instrumento	Fecha inicio	Fecha Termino	Intervalo medición
Meteorología				
Seno Reloncaví	Boya	17/03/2017	31/07/2020	10 min
Apiao	Estación Hobo	03/09/2017	30/11/2020	10 min
Cucao	Estación Hobo	01/08/2017	29/11/2020	10 min
Melinka	Estación Hobo	12/12/2017	30/11/2020	10 min
Caudal de Río				
Puelo		01/04/2003	05/06/2020	Diario
Palena		01/01/2003	05/06/2020	Diario
Cisnes		23/04/2001	24/03/2016	Diario
Aysén		01/01/1996	05/06/2020	Diario
Corriente				
Ancud (1)	ADCP RDI	09/09/2017	17/04/2018	15 min
Fiordo Comau (2)	ADCP RDI	01/09/2019	18/02/2020	30 min
Desertores (3)	ADCP RDI	11/11/2017	18/03/2018	20 min
Corcovado (4)	ADCP RDI	11/11/2017	07/03/2018	20 min
Chaiguao (5)	ADCP Rowe	12/12/2019	08/02/2020	30 min
Boca Guafo (6)	ADCP RDI	19/08/2018	30/06/2019	30 min
Canal Moraleda (7)	ADCP RDI	21/08/2018	10/03/2019	30 min
Canal Costa (8)	ADCP Rowe	24/08/2018	08/11/2018	30 min
Canal Errázuriz (9)	ADCP RDI	05/03/2015	28/05/2015	10 min
Fiordo Quitralco (10)	ADCP Rowe	17/03/2019	10/10/2019	30 min
Estero Elefante (11)	ADCP RDI	30/08/2016	23/11/2016	10 min

d) Información utilizada para evaluación modelo hidrodinámico

Con el fin de calibrar el modelo atmosférico e hidrodinámico, se han realizado muestreos en distintos puntos de los mares interiores de la región de Lagos y Aysén. A continuación, en la **Tabla 2**, se describen los lugares y tipo de medición realizada.

Tabla 2: Descripción del instrumental utilizado en campaña oceanográfica

Variable	Instrumento	Periodo	Posición
Series de corrientes	ADCP RDI 300 kHz	09/09/2017 13/04/2018	-73.266°, -42.902° Isla Tranqui
	ADCP RDI 300 kHz	07/07/2017 10/11/2017	72.875°, -42.722° Paso Desertores -
	ADCP RDI 300 kHz	08/08/2018 10/03/2019	Canal Moraleda -73.497°, -44.611°
	ADCP ROWE 300 kHz	23/08/2018 15/03/2019	Canal Costa -73.530°, -45.523°
	ADCP ROWE 300 kHz	25/08/2018 17/3/2019	fiordo Quitralco -73.463°, -45.754°
Serie tiempo Temperatura	MiniDot Logger 150 m	07/07/2017 23/03/2018	Paso Desertores -72.875°, -42.722°
	MiniDot Logger 150 m	08/07/2017 22/03/2018	Ayacara -72.898°, -42.325°
	MiniDot Logger 20 y 120 m	08/08/2018 10/03/2019	Canal Moraleda -73.497°, -44.611°
	MiniDot Logger 20 y 120 m	23/08/2018 15/03/2019	Canal Costa -73.530°, -45.523°
	MiniDot Logger 15 y 110 m	25/08/2018 17/3/2019	fiordo Quitralco -73.463°, -45.754°
Perfiles de temperatura y salinidad	CTD SBE 19plus	Chiloé: noviembre 2017 Aysén: noviembre de 2018	Ídem posición a anclajes de ADCP
Estaciones meteorológicas	EMA Hobo RX300 con anemómetro Young	Registro continuo desde junio de 2017	Isla Apiao -73.219°, -42.594° Llaguepe -72.575°, -41.737° Melinka -73.756°, -43.886°

Nivel del mar	Mareógrafo SHOA	Registro continuo	Castro -73.758°, -42.479°
	Sensor de presión HOBO U-20, compensado con sensor de presión atmosférica.	Junio 2018 – marzo 2019	f. Puyuhuapi -73.299°, -44.907° Canal Errázuriz -73.737°, -45.409°

3.1.2 Sistema de modelación de IFOP

Para determinar el transporte y la circulación marina en los canales y fiordos de la Patagonia norte se requirió de un sistema de modelación acoplado que permitió el suministro del forzamiento atmosférico y la entrada de agua dulce a un modelo hidrodinámico (Figura 2). A continuación, se describe cada componente:

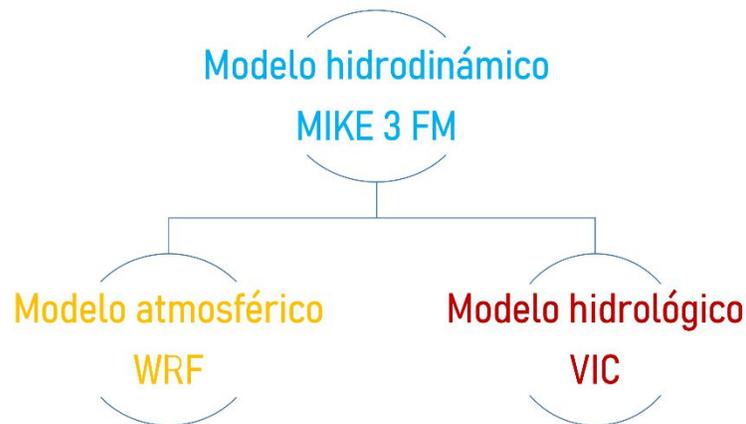


Figura 2. Sistema de modelación que incluye los módulos hidrodinámico, atmosférico e hidrológico.

a) Modelo hidrodinámico

Se utilizó el modelo hidrodinámico MIKE 3D FM (DHI, 2019), el cual fue implementado en dos dominios para los mares interiores de la región de Los Lagos y Aysén. MIKE 3 FM, es un sistema de modelamiento en 3 dimensiones que considera la solución numérica de las ecuaciones tridimensionales incompresibles de Navier-Stokes utilizando el enfoque de Reynolds, los supuestos de Boussinesq y de presión hidrostática, por lo que el modelo consiste en las ecuaciones de conservación de masa y de momentum, transporte de calor y de sal considerando un esquema turbulento de cierre. Como algoritmo de solución discreta de las ecuaciones indicadas, el modelo utiliza el método de volúmenes finitos centrados en cada celda. La estructura de discretización en una malla irregular permite un buen ajuste al borde costero, por lo que se considera que este tipo de solución es la adecuada para zonas de topografía compleja. En la vertical utiliza coordenadas un número fijo de

elementos (coordenadas sigma) que se adaptan a permiten seguir la topografía submarina. Para la integración temporal, se utiliza un enfoque semi-implícito donde los términos horizontales son tratados explícitamente y los verticales de manera implícita (DHI 2019).

Los dominios de los modelos de la región de los Lagos (R1-Chiloé) y Aysén (R2-Aysén) se extienden desde la zona oceánica en similar longitud de isla Guafo por el oeste, cubriendo canales y fiordos interiores en ambas regiones (Figura 3). La información batimétrica fue obtenida de las cartas náuticas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA), reprocesadas e interpoladas linealmente mediante el método del vecino natural (Sibson, 1981). Se utilizaron distintos tamaños en los elementos triangulares, de acuerdo a la geometría de la cuenca, de forma que aquellos lugares someros y estrechos tuvieran una mayor resolución. El sector de menor resolución es el más cercano al borde abierto oceánico con un tamaño aproximado de 1000 m, en algunas zonas (algunos lugares como pasos restringidos o zonas someras) la resolución puede alcanzar a los 200 m. En la dimensión vertical el modelo está dividido en 55 capas combinadas sigma-cuadrangular para la región R2-Aysén, y 40 para la región R1-Chiloé, en ambos casos, con mayor resolución en las capas superficiales. Ambos dominios ya fueron utilizados en etapas anteriores de este proyecto (Pinilla et al., 2018; Pinilla et al., 2019), lo cuales resultaron estables, pero con tiempos de simulaciones relativamente extensos, especialmente R2-Aysén, el cual requiere de 22 días de cómputo para simular 1 año, alrededor del doble de tiempo necesario que el dominio R1-Chiloé (Tabla 3).

Tabla 3: Características de implementación de modelos hidrodinámicos

Parámetros MIKE 3 FM	R1-Chiloé	R2-Aysén
<i>Resolución espacial</i>	<i>Variable ~200 a 1300 m</i>	<i>Variable ~200 a 1000 m</i>
<i>Resolución vertical</i>	<i>55 capas sigma-Z superficie ~1 m, fondo ~20 m</i>	<i>40 capas sigma-Z superficie ~1 m, fondo ~25 m</i>
<i>Resolución temporal</i>	<i>600 s (almacena datos horarios)</i>	<i>300 s (almacena datos horarios)</i>
<i>Periodo de simulación</i>	<i>01-10-2015: 31-12-2018 (3 años)</i>	<i>01-01-2017: 31-12-2018 (2 años)</i>
<i>Condiciones de borde</i>	<i>Climatología CTD -Cimar</i>	<i>Climatología CTD -Cimar</i>
<i>Forzante atmosférico</i>	<i>WRF-IFOP 3 Km</i>	<i>WRF-IFOP 3 Km</i>
<i>Ríos</i>	<i>VIC-IFOP</i>	<i>VIC-IFOP</i>
<i>Modelo de turbulencia</i>	<i>Esquema k-epsilon</i>	<i>Esquema k-epsilon</i>
<i>Tiempo de cómputo para simular 1 año (servidor Intel-32 núcleos)</i>	<i>~12 días</i>	<i>~22 días</i>
<i>Periodo de estabilización (spin up)</i>	<i>3 años</i>	<i>4 años</i>

Las condiciones de borde de nivel del mar, en ambos dominios fueron obtenidas mediante el análisis armónico de mareas de mediciones realizadas desde el año 2011 producto de campañas oceanográficas realizadas por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). De esta forma, se obtuvo un pronóstico para las fechas requeridas. En cuanto a los bordes de temperatura y salinidad fueron utilizadas observaciones provenientes de perfiles de CTD realizados por el programa CIMAR-Fiordos (CF-4, CF-7, CF-8, CF-9, CF-10, CF-11 y CF-12) (Guzmán y Silva 2002; Guerra y Silva 2004; Valdenegro y Silva 2003; Carrasco y Silva 2010), de esta forma se pretendió cubrir la máxima cantidad de meses a lo largo del año, de manera que fuera representativo del ciclo anual de temperatura y salinidad, los meses que no contaban con datos fueron interpolados entre valores anteriores y posteriores esta condición de borde varía en el espacio y en el tiempo. Para las condiciones iniciales de temperatura y salinidad fueron utilizadas mediciones de CTD de campaña realizadas por IFOP previamente, para lo cual, se procedió a generar una interpolación horizontal y vertical para cubrir todo el dominio, luego el modelo es corrido con todos los forzantes para estabilizar las condiciones de

temperatura y salinidad, este periodo de estabilización (spin up) alcanzó 3 años para el dominio R1-Chiloé y 4 años para R2-Aysén.

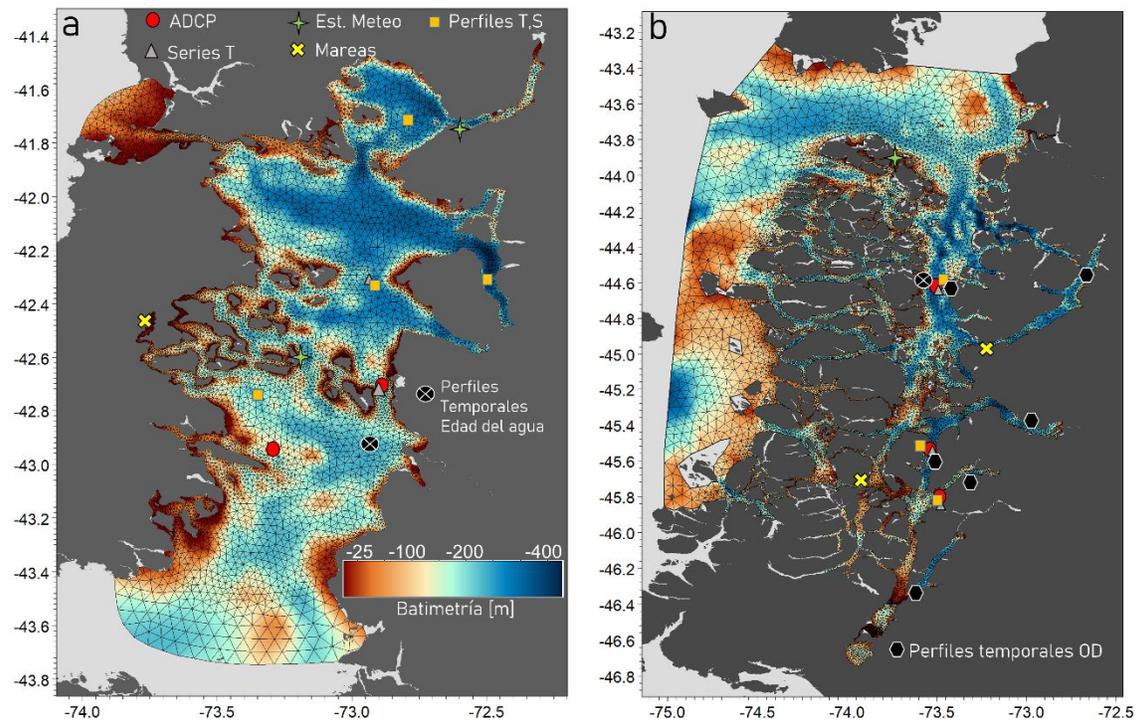


Figura 3. Malla no-estructurada de los modelos hidrodinámicos de la región de los a) Lagos y b) Aysén. Se detallan las posiciones en donde se realizan las evaluaciones y análisis de los modelos.

b) Modelo atmosférico WRF

La circulación marina en fiordos con entornos montañosos está fuertemente influenciada por el patrón de viento local, esto requiere de modelos atmosféricos con resolución suficientemente alta para resolver los impactos de la topografía en la circulación atmosférica (Myksovoll et al., 2012). Se modelaron las condiciones atmosféricas locales utilizando el modelo no hidrostático (WRF v. 3.5.1) (Skamarock et al., 2008), anidado dentro del sistema operacional NCEP con resolución espacial de 25 km (National Centers for Environmental Prediction, 2000). Para este caso se establecieron dos dominios (Figura 4), siguiendo una relación de 1:3. El primero corresponde al padre y comprendió un área entre $\sim 39 - 48^\circ\text{S}$ y $\sim 69 - 85^\circ\text{W}$, con resolución espacial de 9km. Y el segundo corresponde al dominio hijo, alcanzando una resolución horizontal de 3 km y abarcando un área entre $\sim 41 - 47^\circ\text{S}$ y $\sim 71 - 76^\circ\text{W}$. Este último dominio contuvo la región de mares interiores de Chiloé y Aysén.

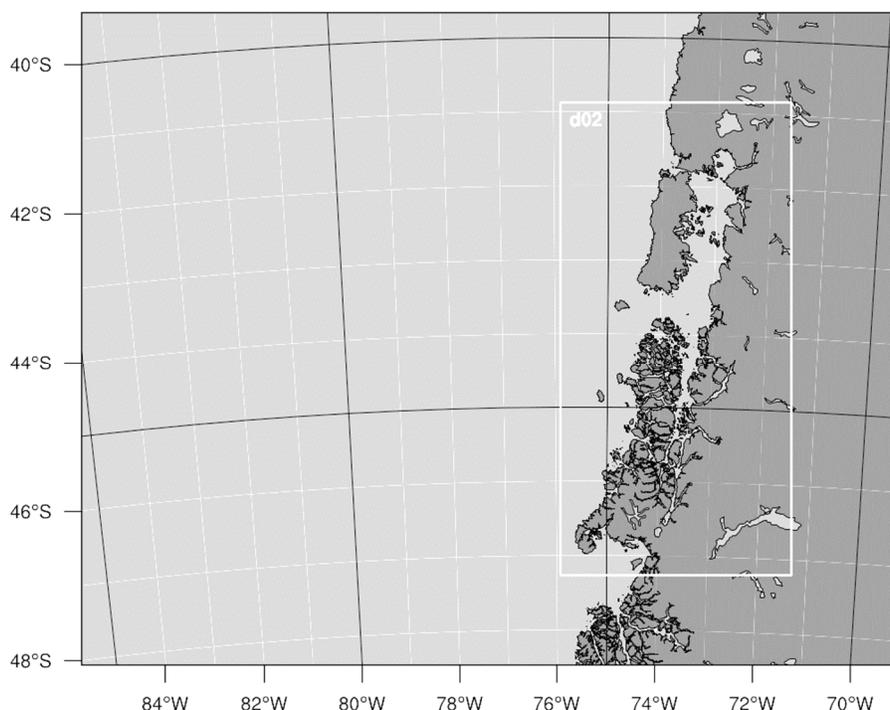


Figura 4. Dominios establecidos para la simulación de WRF, con resolución espacial de 9km y 3km para el dominio 1, 2 respectivamente.

c) Modelo hidrológico VIC

Los caudales de ríos que desembocan en el sistema marino han sido simulados con el modelo hidrológico VIC que es alimentado con series de precipitaciones y temperatura del producto grillado CR2MET (<http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/>) de una resolución espacial de 5 x 5 km. Con esa información, VIC simula la escorrentía en intervalos horarios mediante la cual se calculan series diarias de caudales en una red hidrográfica sintética (obtenida a partir de información satelital) para el dominio de análisis. Luego de un proceso de calibración realizada con observaciones fluviométrica de la DGA, en la cual algunos parámetros del modelo VIC se ajustan para optimizar el desempeño del modelo determinado, el modelo es ejecutado para obtener estimaciones del caudal diario para el periodo 1980 a 2018, en todas las cuencas costeras del dominio espacial de la simulación. Toda la información de descargas en las cuencas marinas es desplegada en la plataforma Chonos de IFOP en <http://chonos.ifop.cl/aguadulce/visor>. El modelo VIC fue desarrollado para IFOP por la empresa consultora MeteoData Limitada. El sistema de modelación de agua dulce tiene varios componentes que se muestran en la Figura 5 y la Tabla 4.

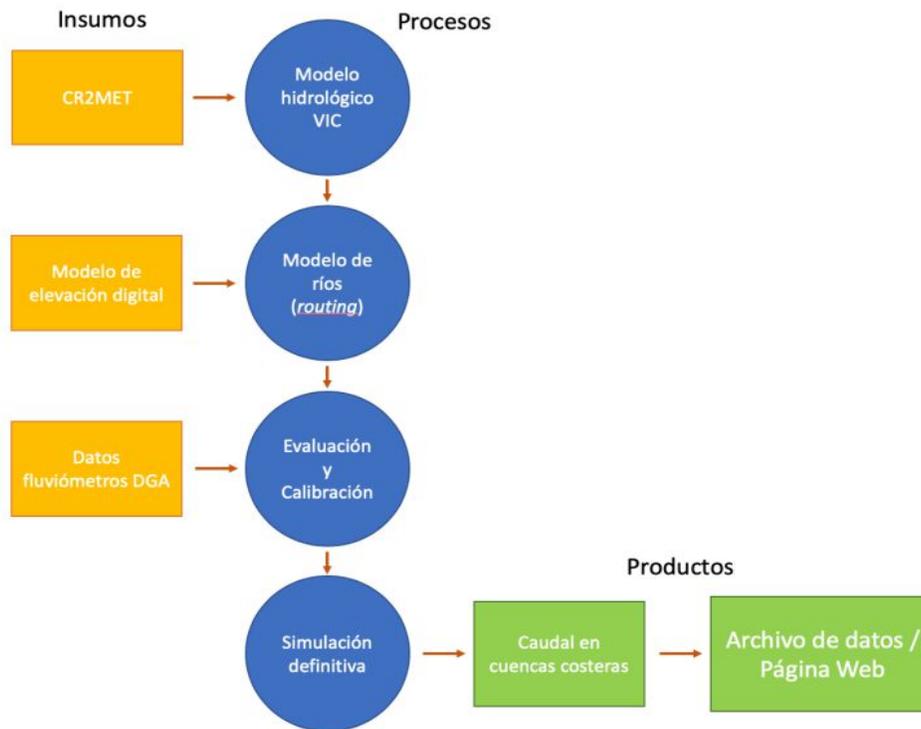


Figura 5. Esquema general del proceso de modelación y construcción de los productos del proyecto.

Tabla 4: Características sistema de modelación hidrológico

<i>Parámetros</i>	<i>Variable Infiltration Capacity (VIC)</i>
<i>Resolución espacial</i>	<i>0.05° (aproximadamente 5 Km)</i>
<i>Área de la simulación</i>	<i>Territorio Chileno entre 41°S y 56°S</i>
<i>Resolución temporal</i>	<i>Diario</i>
<i>Periodo de simulación</i>	<i>1980 – 2018</i>
<i>Datos de entrada</i>	<i>Base de datos CR2MET</i>
<i>Modelo terreno digital</i>	<i>SRTM (90 metros de resolución)</i>
<i>Modelo para red hidrográfica</i>	<i>TauDEM</i>
<i>Calibración y evaluación</i>	<i>Datos fluviométricos de la DGA (~50 estaciones)</i>

3.1.3 Estimación intercambio de agua interanual:

Mediante un modelo de trazadores acoplados al modelo hidrodinámico se estimarán las escalas temporales de transporte a través del método de la edad del agua, este forma parte de una completa teoría que ha sido desarrollada en los últimos 20 años a través de teoría de la edad y tiempo de residencia orientada a los constituyentes, CART (Delhez et al., 1999, Deleersnijder et al., 2001). Entonces, para calcular la distribución de la edad del agua, se utilizó un trazador pasivo, así las ecuaciones de transporte para calcular el trazador y la concentración de la edad se escriben de acuerdo a la ecuación 1 y 2 (Delhez et al., 1999). Aquí la edad del agua es definida como el tiempo requerido para que una parcela viaje desde un límite o borde del sistema a un lugar determinado dentro del cuerpo de agua, aquí el límite se refiere al borde abierto del modelo hidrodinámico, pero también a las entradas de agua dulce, entonces las cuencas interiores son renovadas por aguas oceánicas y de ríos.

$$\frac{\partial c(t, \vec{x})}{\partial t} + \nabla(uc(t, \vec{x}) - K\nabla c(t, \vec{x})) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \alpha(t, \vec{x})}{\partial t} + \nabla(u\alpha(t, \vec{x}) - K\nabla \alpha(t, \vec{x})) = c(t, \vec{x}) \quad (2)$$

Donde, c es la concentración del trazador, α es la concentración de la edad, u es el campo de velocidad, K es el tensor de difusividad, t es el tiempo y x la posición. La edad media "a" entonces puede calculada como:

$$a(t, \vec{x}) = \frac{\alpha(t, \vec{x})}{c(t, \vec{x})} \quad (3)$$

Sin embargo, si no hay mezcla con agua no originaria de la fuente, el único constituyente es el agua de la propia fuente y entonces la concentración de edad es casi igual a la edad media ($\alpha \sim a$). Luego, puede ser directamente evaluada como:

$$\frac{\partial a(t, \vec{x})}{\partial t} + \nabla(ua(t, \vec{x}) - K\nabla a(t, \vec{x})) = 1 \quad (4)$$

En este estudio, la edad del agua está implementada en el módulo Ecolab de MIKE 3 FM. Para los trazadores provenientes de las fuentes de agua dulce, en donde, la dilución con agua no originaria de los ríos es significativa, se utilizan las ecuaciones (1) y (3), con esto es posible calcular la concentración del trazador y la edad, aquí el trazador pasivo que ingresa por los ríos tiene una concentración de 1 y una edad de 0. Las condiciones iniciales para c y α se igualan a cero.

3.2 Objetivo específico 2.2.2 *Realizar una caracterización biogeoquímica a través de observaciones de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes y biomasa fitoplanctónica, que permitan relacionar el estado de las condiciones químico-biológicas, con la hidrodinámica del sistema.*

Para caracterizar la columna de agua, se realizaron 4 cruceros oceanográficos para considerar períodos de otoño, invierno, primavera y verano, en el Mar Interior de Chiloé (MIC) y Mar Interior de Aysén (MIA) durante los meses de junio, agosto, diciembre de 2019 y febrero de 2020, con el fin de cubrir un ciclo anual de las diferentes variables ambientales. En cada crucero oceanográfico se realizaron estaciones de CTDO (salinidad, temperatura, densidad y oxígeno disuelto) para caracterizar la hidrografía de la zona de estudio (figura 6).

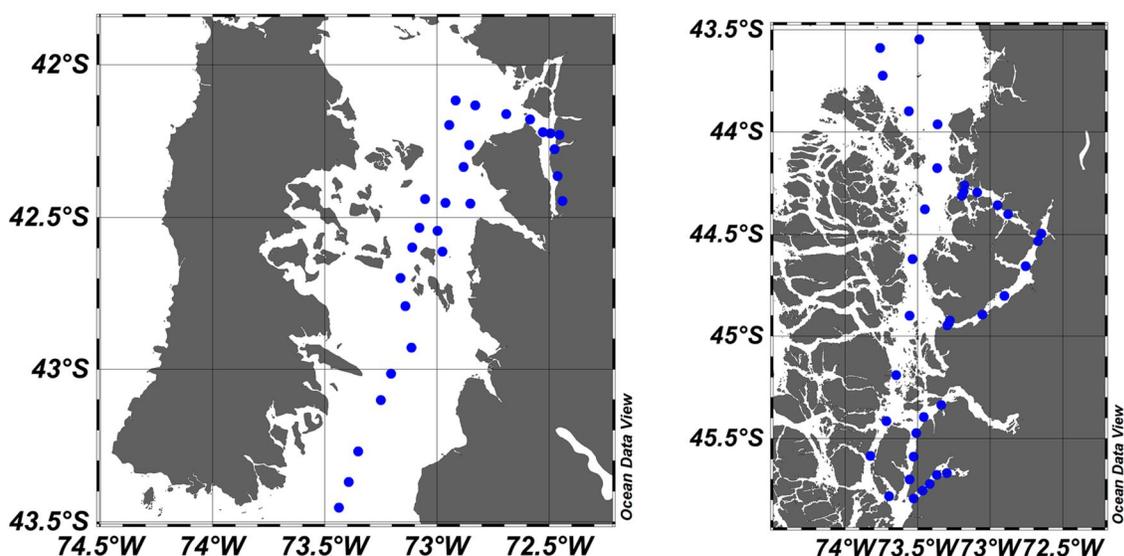


Figura 6. Área de estudio de los cuatro cruceros oceanográficos. Puntos azules indican la ubicación geográfica de las estaciones oceanográficas. Panel derecho Estaciones Mar Interior de Chiloé. panel izquierdo estación Mar Interior de Aysén.

Conjuntamente para la caracterización en la columna de agua, se tomaron muestras de agua discretas a profundidades estándar: 0, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 300, 400 metros. Las muestras de agua fueron utilizadas para determinar concentración de nutrientes (nitrato, nitrito, fosfato y silicato) y biomasa pigmentaria (clorofila total, clorofila activa y feopigmentos), las estaciones se detallan en la figura 6. Las muestras de agua fueron filtradas mediante un filtro de microfibras whatmann GFS de 0.7 μM . aproximadamente 1000 ml de agua, el filtro fue almacenado en papel aluminio y congelado hasta su análisis, para determinar la biomasa pigmentaria, mientras que el agua filtrada fue utilizada para el

análisis de nutrientes. las muestras fueron almacenadas en contenedores plásticos y congelados hasta su análisis en laboratorio externo. Los análisis químicos para las variables anteriormente mencionadas, fueron realizadas en laboratorio externo del Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP) utilizando la metodología descrita por nitritos (EPA, 2000: Method 353.2, Revision 2.0; APHA/AWWA/WEF, 2000: method 4500-NO3--F), nitratos (USEPA, 1993: Method 353.2, Revision 2.0; APHA/AWWA/WEF, 2000: method 4500-NO3--F), fosfatos (USEPA, 1993: Method 365.1, Rev. 2.0; APHA/AWWA/WEF, 1999: method 4500-P-F (1999 forward), y silicatos (USEPA, 1983: Method 370.1; APHA/AWWA/WEF, 2000: method 4500 SiO2- D (2000 forward).

Para la estimación de la clorofila integrada en la columna de agua se utilizó el procedimiento recomendado por Ramírez y Pizarro 2005.

Con la información de nutrientes y CTD se realizaron diversos análisis gráficos y estadísticos básicos de los parámetros, utilizando mínimos, máximos y promedios, las gráficas y análisis fueron realizadas mediante el software ODV (Schlitzer 2017). Además, con este software se construyeron las diferentes gráficas para describir el comportamiento y la distribución de cada una de estas variables. También se compararon las secciones temporalmente para determinar si existen diferencias en los patrones y/o la distribución.

Es importante considerar que para el caso de las secciones verticales (junio, agosto, diciembre y febrero), se utilizó un esquema de batimetría, el cual no representa el DEM, sino más bien una aproximación, considerando la máxima profundidad de las mediciones de CTD ~300 como profundidad máxima de muestreo.

Para cuantificar los grados de mezcla o estratificación vertical, basados en la salinidad, se utilizó el parámetro de estratificación η_s , siguiendo los procedimientos detallados en (Haralambidou *et al.*, 2010), posteriormente se promediaron los valores obtenidos para cada perfil vertical en cada una de las secciones verticales y se obtuvo un valor promedio para cada sección y para cada periodo estacional. El parámetro se obtiene de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\eta_s = - \frac{(S_f - S_s)}{(S_f + S_s) * 0.5} \quad (6)$$

Donde S_f : salinidad de fondo, S_s : salinidad superficial. El valor del parámetro considera que cuando $\eta_s < 0.1$ la columna de agua se encuentra completamente mezclada, $\eta_s > 0.1$ indica que en la columna de agua se produce una mezcla parcial, $\eta_s > 1$ la columna de agua está bien estratificada.

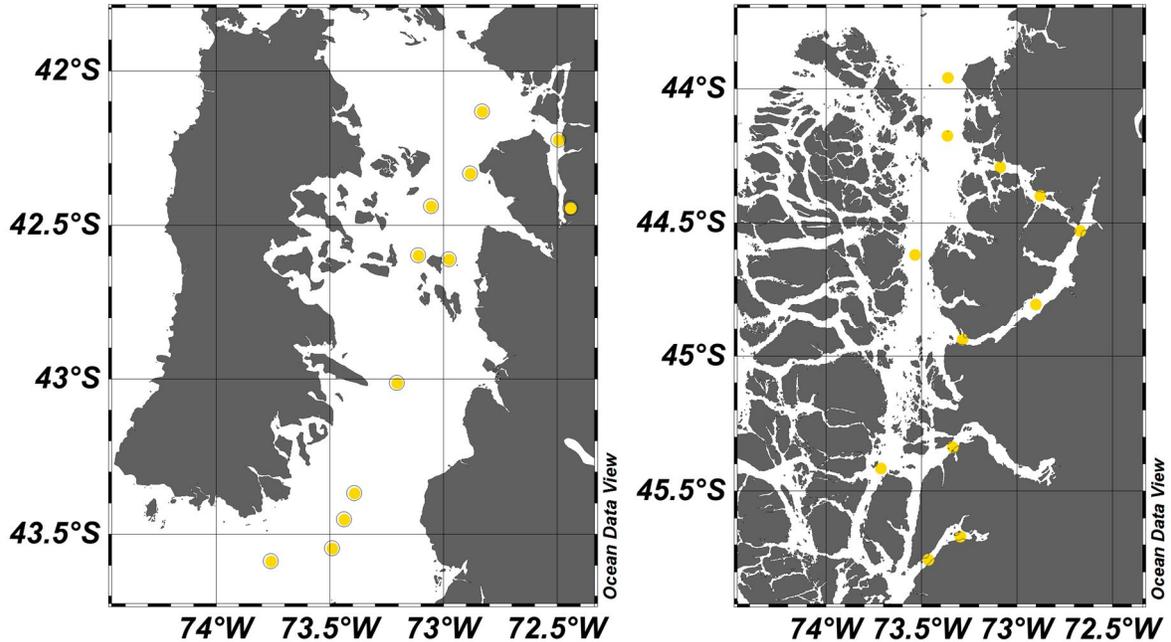


Figura 7. Área de estudio de los cuatro cruceros oceanográficos. Puntos amarillos indican la ubicación geográfica de las estaciones donde se tomaron muestras de agua para análisis de nutrientes y biomasa pigmentaria. Panel derecho Estaciones Mar Interior de Chiloé, panel izquierdo estación Mar Interior de Aysén.

Para complementar las mediciones hidrográficas, en la línea de anclaje de los ADCP, se instalaron una serie de sensores para medir: conductividad, oxígeno disuelto y temperatura. En cada línea se instalaron sensores lo más cercano a la superficie (~15-20 m), junto al ADCP (90 m) y a 200m (máxima capacidad de los sensores) o hasta la máxima profundidad de fondo. Se debe señalar que se dio especial énfasis a mejorar las mediciones que se han efectuado en estudios anteriores, junto con extender los tiempos de medición para generar series de tiempo que capten la variabilidad temporal de un ciclo anual completo. Es importante señalar que solo pudieron utilizadas las series de tiempo de los sensores de oxígeno disuelto y temperatura, las series de conductividad no pudieron ser utilizadas, debido a registros erróneos e inconsistentes. Las zonas descritas con series de tiempo fueron: Boca del Guafo y Fiordo Quitralco. Sin embargo, de manera completaría debido al atraso de este informe (detallado en sección 2: gestión del proyecto), fue posible incluir dentro de la descripción y análisis del fiordo Quitralco, un segundo set de datos con cobertura de 11 meses, localizados en la depresión del Fiordo Quitralco, ubicados próximos a la cabeza, información que originalmente no estaba contemplada para este estudio.

3.3 Objetivo específico 2.2.3 *Determinar las principales fuentes naturales de nutrientes que aportan al sistema y realizar el balance de nutrientes.*

Se identificaron las principales fuentes que aportan nutrientes de manera natural al sistema. Con esta información se construyó un modelo conceptual el cual permitió guiar la construcción del balance de nutrientes para aplicar un modelo adecuado, considerando la información disponible.

3.3.1 Modelo conceptual

Para los aportes de ríos se utilizó información de:

- IFOP: Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en cuerpos de agua de la zona centro sur austral, Etapa III, 2018-2019. En este estudio se midieron nutrientes en diferentes ríos comprendidos desde el fiordo de Reloncaví hasta el fiordo Aysén (Salvo 2019).
- IFOP: Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico, al interior del Estero Elefante XI Región de Aysén. En este estudio se midieron nutrientes en diferentes puntos descarga en Bahía exploradores (fiordo Cupquellan).
- Información de cruceo CIMAR fiordo 7, disponibles en: http://www.shoa.mil.cl/n_cendhoc/productos/cimar-7/RESUMENES/PDF/Prado.pdf

Posteriormente, con esta información, se construyó una grilla con los diferentes puntos de medición en ríos, para obtener una aproximación sobre la cantidad y variabilidad espacial de los diferentes nutrientes que ingresan en la zona de la Patagonia norte, para esto, se utilizó una aproximación mediante interpolación DIVA, realizada con el software ODV.

Para los aportes pluviales se utilizó la información del trabajo realizado por Prado-Fiedler y Salcedo-Castro 2008, este trabajo cuantificó los aportes nitrógeno, bajo las formas de nitrato y amonio cubriendo un ciclo anual completo.

Para determinar los aportes de nutrientes dentro de la columna de agua, se utilizó la información de los diferentes cruceos CIMAR, utilizando el trabajo de Sievers & Silva 2008, disponible en: <http://www.cona.cl/revista/spanish/4-1%20Masas%20agua-circulaci%C3%B3n.pdf>, complementado con la publicación, ambos trabajos sintetizan y esquematiza de forma adecuada todas las propiedades químicas como nutrientes que son transportadas dentro de los sistemas de fiordos y canales Australes.

3.3.2 Balance de nutrientes

Para determinar el balance de nutrientes se utilizó el modelo Biogeoquímico LOICZ (Land Ocean Interactions in the Coastal Zone), siguiendo los procedimientos detallados en Gordon et al., 1996. La modelación de los balances, se ejecuta mediante 3 etapas diferentes, las cuales se describen a continuación:

Etapa 1 - Balance de agua:

En esta etapa se determina el balance de agua, mediante los diferentes flujos (volumen de agua por unidad de tiempo $m^3 d^{-1}$) que ingresan en dentro de la zona estuarina, tal como la descarga directa de agua dulce (ríos), aportes de lluvia, aguas subterráneas y que salen como evaporación y flujos residual, mediante la ecuación general:

$$\frac{dV}{dt} = Vq + Vp + Vg + Vo - Ve + Vr \quad (7)$$

Donde los términos son:

Vq: flujos de agua que ingresa al sistema por descarga fluvial.

Vp: flujo agua que ingresa al sistema por precipitación.

Vg: flujo de agua que ingresa al sistema de manera subterránea

Ve: flujo de agua que sale del sistema por evaporación

Vo: flujos de agua de fuentes no determinadas.

Vr: flujo de agua residual que sale del sistema (capa superficial).

Sí alguna de estas fuentes de información, es desconocida o por antecedentes previos es poco relevante, dentro del sistema se puede asumir su valor = 0.

Etapa 2 - Balance de sal:

Está constituido básicamente por el intercambio de sal en el sistema, producto del transporte hidrodinámico, no solo por los flujos residuales (Vr) sino que también, por los flujos de mezcla (Vx) que remueven sal del sistema estuarino hacia las zonas aledañas de condiciones más oceánicas., se encuentran esquematizada por la ecuación general:

$$\frac{d(VS)}{dt} = VpSp - VeSe + VrSr + Vx(Sm - Sfd) \quad (8)$$

Donde los términos son:

Sp: salinidad de precipitación

Se: Salinidad evaporación

Sr: salinidad promedio del flujo residual entre dos fronteras (estuario/fiordo zona oceánica adyacente)

Sm: salinidad promedio de la zona marina adyacente

Sfd: salinidad promedio de la zona estuarina o fiordo.

Vp: flujo de la precipitación

Ve: flujo de la evaporación

Etapa 3 - balance de elementos no conservativos:

Para esto se utiliza el principio de balance de masa simple, entre los elementos que se intercambia entre un sistema estuarino y un sistema oceánico, se representa mediante la ecuación general:

$$\frac{dV}{dt} = VrYr + Vx(YM - YF) + \Delta Y \quad (9)$$

Donde los términos son:

Yr: concentración de nutriente DIN y DIP en el flujo residual, entre dos bordes (estuario/fiordo zona marina adyacente).

YM: concentración promedio de nutrientes en la zona marina adyacente al fiordo.

YF: concentración promedio de nutrientes en zona estuarina o en fiordo.

ΔY : flujos del material no conservativo, en este caso la concentración de nutrientes corresponderá a nitrógeno inorgánico disuelto denominado DIN (nitrito + nitrato + amonio) y fósforo inorgánico disuelto DIP, bajo la forma de PRS (fósforo reactivo soluble, comúnmente denominado fosfato).

Debido a que los nutrientes (ΔY) no tienen un comportamiento conservativo dentro del sistema, es decir la dinámica de estos está sujeta a una serie de interacciones biológicas, que hacen fluctuar sus valores en diversas escalas espacio/temporales, para el modelo LOICZ es fundamental resolver algunos mecanismos biológicos básicos del sistema, como aproximaciones basadas en el carbono, mediante el principio de la respiración y producción ($r-p$), que en este caso el modelo denomina NEM (Metabolismo Neto del Ecosistema), debido a que el carbono en la práctica, es difícil de medir se realizan aproximaciones basados en la relaciones estequiométricas del (C:N:P), cuando no existen datos disponibles (Gordon et al., 1996) recomiendan utilizar las relaciones estequiométricas de Redfield (106:16:1), en este estudio se utilizaron estas relaciones.

De esta manera El modelo efectúa el cálculo del NEM mediante la ecuación:

$$\text{NEM [p-r]} = -[\Delta \text{DIP} * (\text{C:P}) * (12:31)] \quad (10)$$

Donde la expresión C:P corresponde radio estequiométrico entre la relación de carbono inorgánico disuelto y fósforo inorgánico disuelto. Los términos 12 y 31, corresponden a las unidades de masa molar del carbono y el fosforo respectivamente. En este estudio dado que no se contó con información disponible de Carbono en columna de agua, se utilizó el radio teórico de Redfield (C:P=106).

Si $\text{NEM} > 0$ el sistema está predominado por los autótrofos (productores de materia orgánica).

Si $\text{NEM} < 0$ el sistema está dominado por los heterótrofos (consumidores de materia orgánica).

Otro de los términos importantes que LOICZ resuelve, corresponde al ΔDIP este término es el flujo de fosforo inorgánico disuelto (fosfato) dentro del sistema y de cada compartimento, así:

$$\Delta \text{DIP} = \Sigma \text{ ingresos} - \Sigma \text{ egresos} \quad (11)$$

Si $\Delta \text{DIP} > 0$ el sistema se comporta como exportador de fósforo

Si $\Delta \text{DIP} < 0$ el sistema se comporta como sumidero de fósforo

Para el caso del nitrógeno LOICZ asume consideraciones similares a las del fósforo, de esta forma identifica los flujos de nitrógeno como ΔDIN , término que corresponde a todas las fracciones de nitrógeno inorgánico disponibles, en este caso DIN (Nitrógeno Inorgánico Disuelto) correspondió a la sumatoria de nitrato, nitrito y amonio. Particularmente en este estudio el DIN consideró la información disponible y se detalla en cada una de las fuentes de los diferentes balances descritos más adelante. El ΔDIN se estima con la fórmula simplificada:

$$\Delta\text{DIN} = \Sigma \text{ ingresos} - \Sigma \text{ egresos} \approx \Delta\text{DIN (observado)} \quad (12)$$

Otro de los términos importante que LOICZ considera desde la perspectiva del nitrógeno corresponde al término $E\Delta\text{DIN}$ este representa al flujo de nitrógeno esperado y se obtiene mediante la expresión:

$$E\Delta\text{DIN} = \Delta\text{DIP} * (\text{N:P}) * (16:31) \quad (13)$$

Donde la expresión N:P corresponde radio estequiométrico entre la relación de nitrógeno inorgánica disuelto y fósforo inorgánico disuelto. Los términos 16 y 31 corresponden a las unidades de masa molar del nitrógeno y el fósforo respectivamente, para hacer las transformaciones de unidad.

Otro término importante para LOICZ corresponde a $N_{\text{fix}} - D_{\text{nit}}$, expresión que representa una aproximación de la transferencia de nitrógeno fijado y el nitrógeno gaseoso (Smith *et al.*, 2000). Se obtiene mediante:

$$[N_{\text{fix}} - D_{\text{nit}}] \approx \Delta\text{DIN} - E\Delta\text{DIN} \quad (14)$$

Si $N_{\text{fix}} - D_{\text{nit}} < 0$, dentro del sistema predominaría la desnitrificación y se infiere que puede existir un sumidero adicional de nitrógeno.

Si $N_{\text{fix}} - D_{\text{nit}} > 0$, dentro del sistema predominaría la fijación, dado que esto es una aproximación, se puede inferir que debería existir una fuente adicional de nitrógeno.

El balance de nutrientes mediante el modelo LOICZ, se realizó en dos zonas oceanográficas diferentes, una dentro al Mar Interior de Chiloé (MIC) correspondiente al estero Compu y otra zona dentro del Mar Interior de Aysén (MIA), correspondientes al fiordo Quitralco, ambas se exponen en la figura 8.

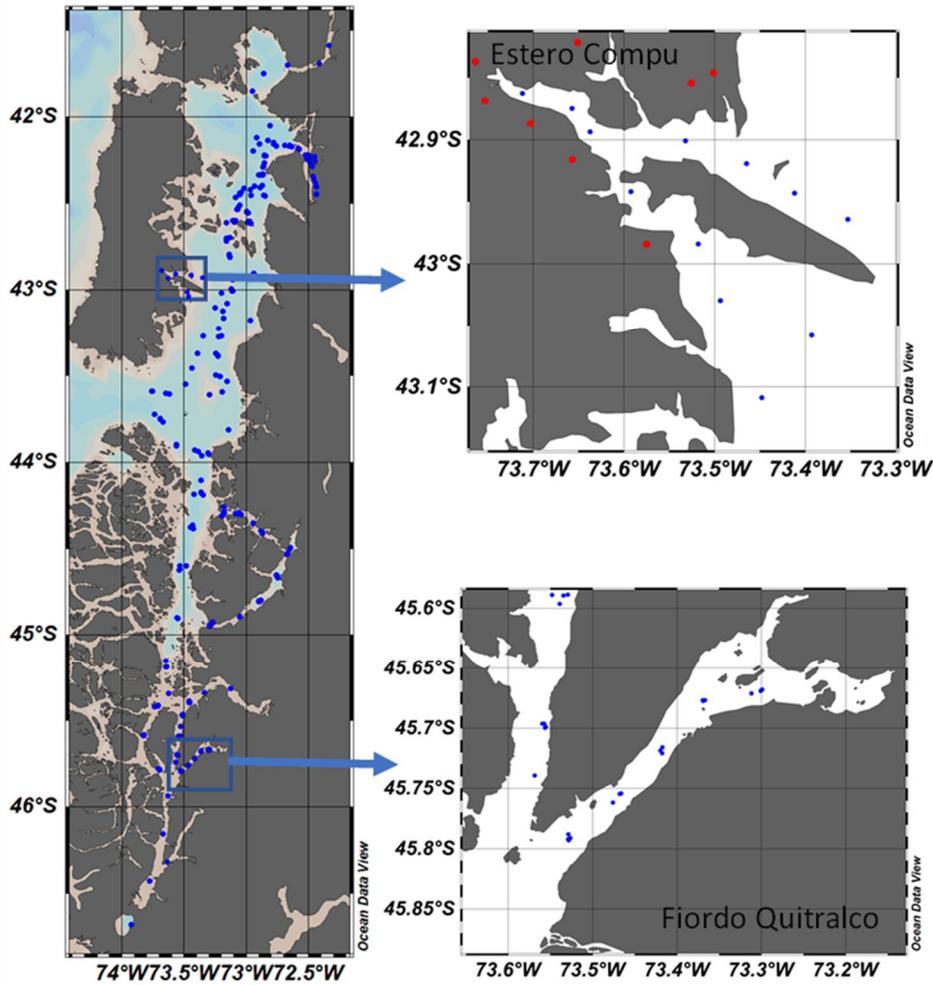


Figura 8: zona de estudio con las estaciones con mediciones hidrográficas de salinidad y nutrientes que se utilizaron para los balances de sal y nutrientes (puntos azules) y también donde fueron medidos los nutrientes en ríos (puntos rojos) en estero Compu (Panel derecho superior) y fiordo Quitralco (panel izquierdo inferior).

3.3.4 Fuentes de información utilizada para las estimaciones de los balances.

Para efectuar el Balances de agua se utilizó la información detallada en la tabla 5.

Tabla 5: fuentes de información utilizadas para los aportes de agua dulce

Tipo de fuente	Estero Compu	Fiordo Quitralco
Aporte de fluvial (ríos)	Se descargaron datos del modelo hidrológico VIC, disponible: http://chonos.ifop.cl/flow/visor	Se descargaron datos del modelo hidrológico VIC, disponible: http://chonos.ifop.cl/flow/visor
Aporte pluvial (lluvias)	Se descargaron datos de la estación meteorológica DGA en Quellón (-43,1086°S y -73,6119°O), disponibles en: http://explorador.cr2.cl/	Se descargaron datos de la estación meteorológica DGA en Puerto Chacabuco (-45,4644°S y -73,8178°O), disponibles en: http://explorador.cr2.cl/

Para efectuar los balances de sal, se utilizó información de CTDO de las campañas oceanográficas efectuadas por IFOP.

Para el caso del estero Compu (figura 5 panel superior derecho) los datos correspondieron a 3 campañas oceanográficas en periodos diferentes: invierno (agosto 2019) primavera (noviembre 2019) y verano (febrero 2020). Correspondiendo al estudio IFOP: Estudio del desempeño ambiental de la acuicultura en Chile y su efecto en los ecosistemas de emplazamiento, Vidal *et al.*, 2020.

En el caso del fiordo Quitralco, se utilizaron las mediciones de las campañas oceanográficas diseñadas para este estudio, en los periodos de: otoño (junio 2019), invierno (agosto 2019), primavera (diciembre 2019) y verano (febrero 2020), como se indica en la figura 5 panel inferior derecho.

Para efectuar el Balances de nutrientes, se utilizó la información detallada en la tabla 6.

Tabla 6. Tipos de fuentes (nutrientes) utilizadas para ingresar al modelo LOICZ.

Tipo de fuente	Estero Compu	Fiordo Quitralco
Aporte de nutrientes por carga fluvial (ríos)	Se realizaron mediciones dentro de 8 diferentes ríos, que descarga directamente, Las mediciones se efectuaron en 3 periodos diferentes invierno (julio 2019), primavera (octubre 2019) y verano (marzo 2020)	Se utilizó información de los estudios de IFOP: Oceanografía en Estero Elefante (Soto <i>et al.</i> , 2017). Monitoreo de la especie plaga <i>Didymosphenia g.</i> Salvo 2019. Datos cruceo CIMAR 7 en ríos, disponible en : http://www.shoa.mil.cl/n_cendhoc/productos/cimar-7/RESUMENES/PDF/Prado.pdf
Aporte de nutrientes por carga pluvial (lluvias)	Se utilizó información solo para fuentes de nitrógeno, DIN (nitrato + amonio) del estudio realizado por Prado-Fiedler y Salcedo-Castro (2008).	Se utilizó información solo para fuentes de nitrógeno, DIN (nitrato + amonio) del estudio realizado por Prado-Fiedler y Salcedo-Castro (2008).
Aporte de nutrientes por carga en la columna de agua	Se utilizaron los datos de las campañas oceanográficas detalladas en los balances de sal. El DIN = (nitrato + nitrito) y el DIP = fosfato	Se utilizaron los datos de las campañas oceanográficas detalladas en los balances de sal. El DIN = (nitrato + nitrito) y el DIP = fosfato

3.3.5 Configuración del modelo

Dado que los sistemas estuarinos suelen tener una serie de clasificaciones, basados principalmente en sus propiedades, el modelo LOICZ contiene diferentes configuraciones (espaciales y temporales), lo que permite realizar estimaciones en sistemas estuarinos mezclados verticalmente y que lo podemos visualizar en el esquema de la figura 9 - panel superior y que dentro de este estudio correspondió al estero Compu. Por otro lado, LOICZ también permite efectuar estimaciones en sistemas altamente estratificados, como son los estuarios tipo fiordo, este tipo de configuración se aplicó en el fiordo Quitralco (figura 9 - panel inferior). considerando toda información disponible, para el caso del estero Compu se utilizó una configuración temporal de 3 periodos: invierno, primavera, y verano. En contraste, para el fiordo Quitralco se utilizó una configuración temporal de 4 periodos: otoño, invierno, primavera y verano.

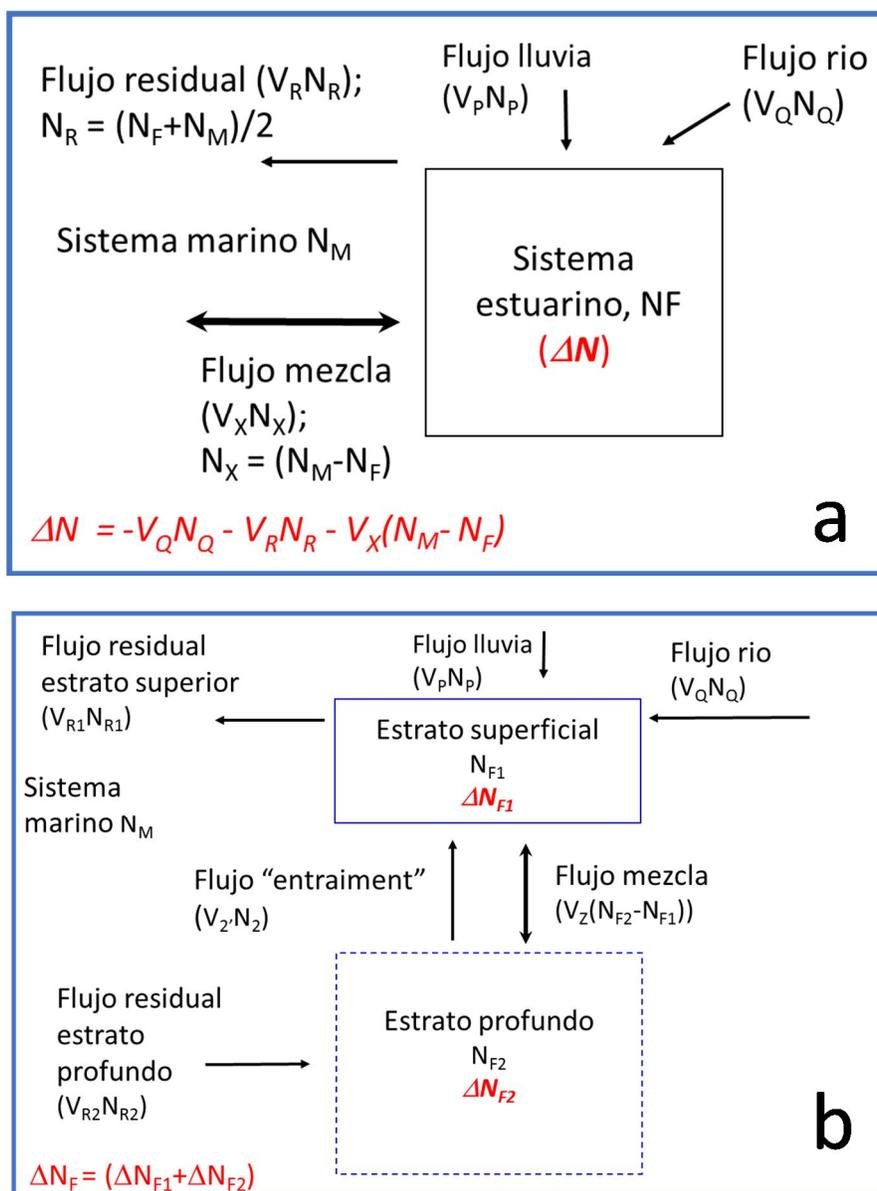


Figura 9. Esquema simplificado modelo LOICZ, para un sistema verticalmente mezclado panel superior (a), sistema estratificado tipo fiordo panel inferior (b). V representa el volumen de los flujos que ingresan y/o, salen (\leftarrow / \rightarrow), como los que se intercambian $\uparrow \downarrow$ dentro y fuera del sistema.

Dado que LOIZ opera bajo el principio de “cajas” para la estimación del volumen de estas cajas se utilizó la información de batimetría de las diferentes cartas náuticas SHOA, con esta información se construyó una representación de la batimetría, utilizando el software ODV y se realizó una estimación del volumen y superficie total utilizando el software global mapper. Para el caso del estero Compu, se utilizó una configuración de un solo compartimento, se estimó un solo volumen (figura 10 panel superior), mientras que para el Fiordo Quitralco, como se utilizó una configuración de sistema estratificado, se consideró un volumen para el compartimento superior (capa superficial) y otro para un estrato profundo figura 10 panel inferior.

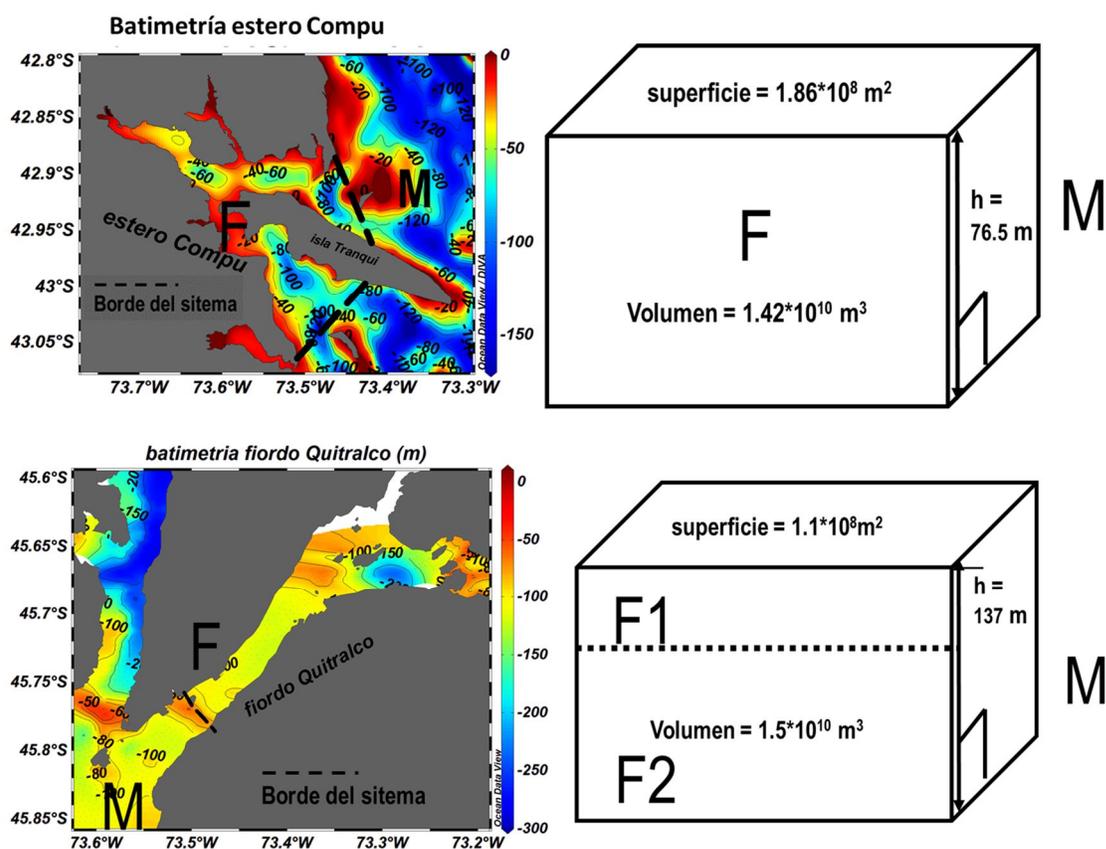


Figura 10. Representación de la batimetría del estero Compu y dimensiones del volumen total (panel superior) del sistema estero Compu representado mediante el esquema de caja. Panel inferior representación de la batimetría y volumen de un sistema dividido en 2 compartimentos correspondientes al fiordo Quitralco.

3.4 Objetivo específico 2.2.4 *Generar mapas temáticos con la información recopilada en el estudio, enfocados en la caracterización de las Agrupación de Concesiones de Salmónidos (ACS), que pertenecen a la región de Los Lagos y Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo*

Con toda la información analizada, tanto de los estudios anteriores asociados a las regiones de Los Lagos y de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, y los resultados obtenidos en este estudio se generó una caracterización ambiental preliminar a nivel de ACS. En este informe se describen mediante tablas resúmenes información de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes (nitrato, fosfato y silicato), esta información es detallada mediante los promedios de toda la columna de agua, promedios superficiales y rango de distribución, en una ACS o en caso de contar con poca información, se juntaron 2 o más ACS. La información referente a circulación podrá ser visualizada en de manera interactiva en el sistema de información oceanográfico CHONOS (www.ifop.cl/chonos) en la sección de atlas, en los resultados de este objetivo se describe un tutorial para acceder a la información disponible en la plataforma oceanográfica.

4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Reunión Investigadores IFOP personal Subpesca: 05/09/2019

- Fecha: • 05 de septiembre de 2019.
- Ubicación: • Sala de reuniones dependencia CTPA IFOP castro,
- Participantes:

Susana Giglio	SUBPESCA
Gabriel Soto	IFOP
Elías Pinilla	IFOP

Objetivo de la reunión: Detallar los detalles de las mediciones, señalar las principales problemáticas, se indican la incorporación de información biogeoquímica a las mediciones de la hidrodinámica y los registros con series de tiempo (oxígeno disuelto, conductividad y temperatura). Se informa que a la fecha los equipos se han instalados exitosamente, y que además se han efectuado las mediciones de otoño (junio) e invierno (agosto).

4.2 Licitación embarcación: marzo-mayo/2019

El Instituto de Fomento Pesquero, en el marco del proyecto “Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico y su Relación con Procesos Biogeoquímicos en la Patagonia Norte”, llama a licitación pública a armadores, personas naturales y jurídicas, para la contratación de embarcación menor destinada al transporte de personal. Las bases aparecen publicadas en portal: www.mercadopublico.cl.

Los servicios fueron Adjudicado a embarcación Don Felipe II, perteneciente a armador servicios marítimos Don Felipe. 30/05/2019

4.3 Seminario Presentación de resultados relevantes en el desarrollo de estudios oceanográficos y modelación hidrodinámica ejecutados por IFOP en la región de Los Lagos, Aysén y Magallanes.

Fecha: 14 de mayo 2019

Ubicación: Salón de reuniones Hotel Dreams, Coyhaique.

Objetivo del Taller: Presentar información actualizada de los diversos proyectos oceanográficos realizados por el Instituto de Fomento Pesquero, en la región de Los Lagos, Aysén y Magallanes. Para los distintos órganos de administración del Estado con competencia ambiental, como son la SEREMI del Medio Ambiente, DGA y Gobernación Marítima. Las temáticas expuestas fueron:

1.- Oceanografía física y circulación en la zona Sur-Austral de Chile.

- 2.- Evaluaciones y selección de sitios para producción salmonícola.
- 3.- Biogeoquímica del sistema de fiordos y canales de la zona Sur-Austral de Chile.
- 4.- Sistema de Información Oceanográfica CHONOS.

4.4 solicitud postergaciones informe final.

Fecha: agosto 2020, noviembre 2020, enero de 2021

Ubicación: IFOP Valparaíso.

Objetivo la solicitud: IFOP solicita formalmente a contraparte técnica (Subsecretaría de Pesca de Acuicultura (SUBPESCA), en 3 ocasiones aplazamiento de informe final. Esta solicitud fue aprobada mediante oficios MINECON-SUBPESCA, DDP 1071, DDP 1341 y DDP 406 el cual fija entrega informe final para 12 de marzo.

Los motivos que obedecieron estas diferentes instancias de solicitud se detallan a continuación:

Durante la ejecución del estudio se produjeron retrasos debido a las restricciones de desplazamiento impuestas para el control de la pandemia Covid-19, atrasos que estaban relacionados con el análisis de nutrientes y biomasa fitoplanctónica y que terminaron repercutiendo directamente en el desarrollo de los objetivos 2 y 3 del proyecto. Debido a que estos análisis se realizaron en laboratorio externos a IFOP, específicamente en localidad de Coihayque (laboratorios de CIP Centro Investigación Patagonia). La totalidad de los resultados de estos análisis, estuvieron disponibles la segunda semana de enero 2021 razón por la cual, se realizó la última solicitud para contar con tiempo adicional para el análisis de resultados y elaboración del presente informe final.

4.5 Seminario Presentación de resultados: Oceanografía y Modelación Numérica en Fiordos y Canales de la Patagonia.

Fecha: 4 de marzo 2021

Ubicación: Mediante vía telemática, utilizando googlemeet .

Objetivo del Taller: Presentar resultados relevantes de estese estudio y demás estudios oceanográficos ejecutados por IFOP en el ámbito de oceanografía. Los trabajos y expositores se detallan a continuación:

Circulación, tiempos de transporte y dinámica de oxígeno disuelto en la Patagonia norte:
Elías Pinilla Matamala, IFOP

Conectividad lagrangiana, caso de estudio ACS XI región de Aysén.
Pablo Reche

El viento y el agua dulce: una competencia por la circulación en la Patagonia.
Camila Soto Riquelme, IFOP

Fiordo Quitralco: condiciones oceanográficas y balance de nutrientes
Gabriel Soto, IFOP

El taller contó con la asistencia del jefe (a) División Acuicultura IFOP, Jefe Departamento de Medio ambiente de División Acuicultura IFOP, junto con diversos profesionales de la institución. De parte de las autoridades y entidades gubernamentales relacionadas con los estudios de IFOP, se contó con representante de SUBPESCA, MINECON, SEREMI MEDIO AMBIENTE, SERNAPESCA, GOBERNACIÓN MARÍTIMA. Junto también, con académicos de diferentes universidades y profesionales de consultoras ambientales.

5. RESULTADOS

5.1 Objetivo 2.2.1 *Determinar la variabilidad inter-anual de la circulación al interior de la región de Los Lagos y de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, mediante la Implementación de un modelo hidrodinámico de alta resolución.*

5.1.1 Observaciones

Previo a explorar la variabilidad interanual que presentó el sistema Chiloé – Aysén en base a la información obtenida del modelo hidrodinámico, se realizará un breve resumen de la caracterización del área de estudio de acuerdo a los datos obtenidos in situ; de viento superficial, marea, descarga de ríos y corriente residual.

a) Viento

La figura 11, corresponde a la rosa de viento de verano (octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo) e invierno (abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre) de cuatro estaciones meteorológicas que se encuentran midiendo; en Seno Reloncaví, Isla Apiao, Cucao y Melinka. En esta figura se observó la importante influencia local; en verano es frecuente registrar vientos del sur. Particularmente el seno Reloncaví domino el viento del sur, en Apiao la rosa de vientos se amplía, desde el sur, sur-oeste y sur este, en Cucao el sector más expuesto al océano, registró viento del sur y sur oeste durante verano, en Melinka hubo presencia de vientos del sur, pero dominaron vientos del oeste. El viento del norte en Chiloé – Aysén estuvo presente a lo largo de todo el año con altas magnitudes, pero es en los meses de invierno cuando dominaron eventos extremos. En invierno el seno Reloncaví registró altas magnitudes de velocidad de viento, dominando el viento del norte, Apiao capturó las menores velocidades y concentró viento del oeste (desde sur y norte), Cucao dominó viento del norte, al igual que Melinka.

La figura 12 es la climatología del viento cubico para cada estación meteorológica y su respectiva comparación de invierno/verano. Esta figura indico cuanta energía mecánica (el cubo de la velocidad del viento o viento cubico) está disponible para generar mezcla. En seno Reloncaví, Cucao y Melinka la mayor energía del viento se concentró en invierno a diferencia de Apiao que lo hace en verano. Comparativamente las estaciones en Reloncaví y Cucao son lugares que concentraron las magnitudes altas de energía y velocidad del viento.

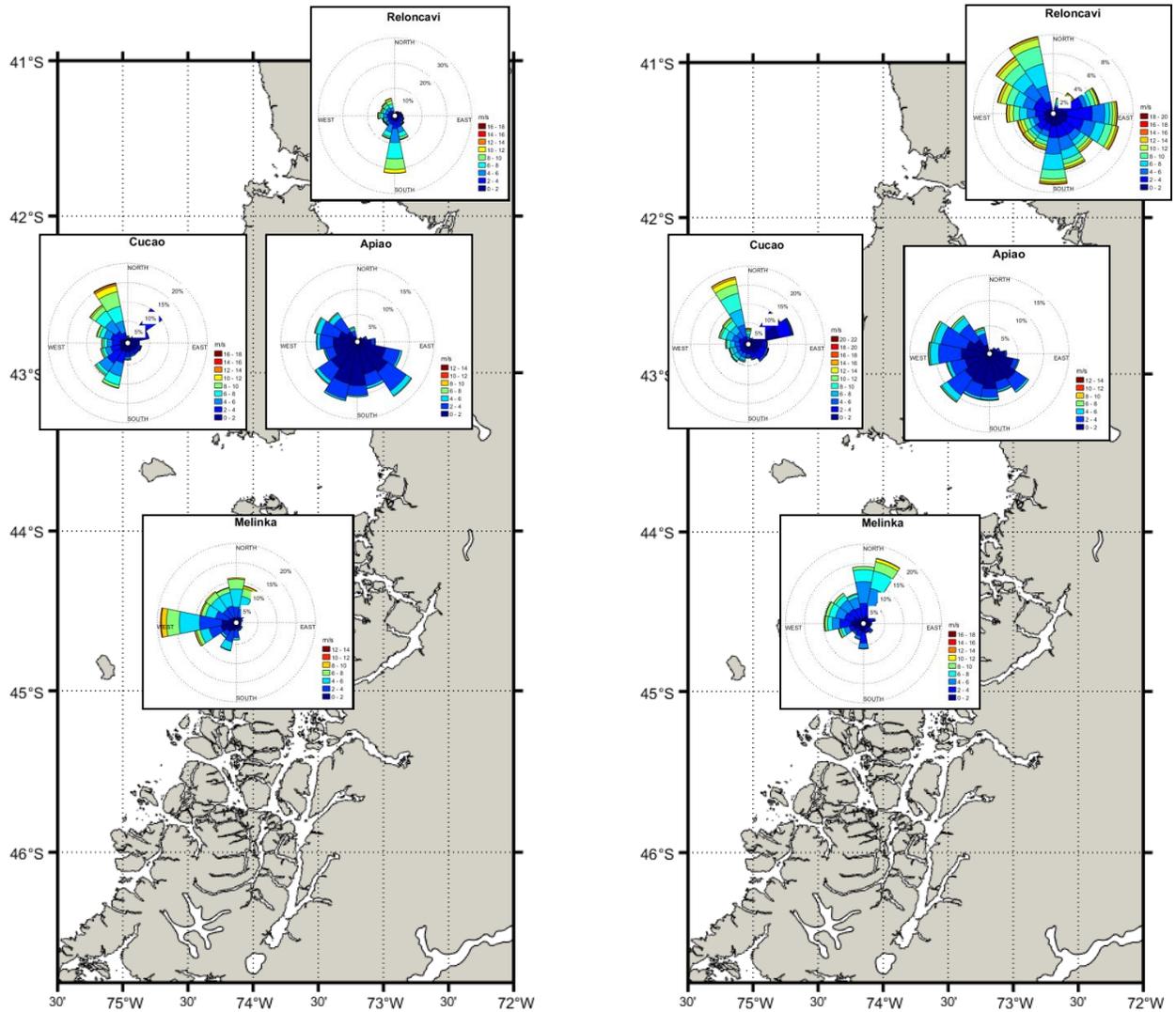


Figura 11. Rosa de viento estaciones Meteorológicas Seno Reloncaví, Apiao, Cucao y Melinka. Izq: Verano y Der: Invierno.

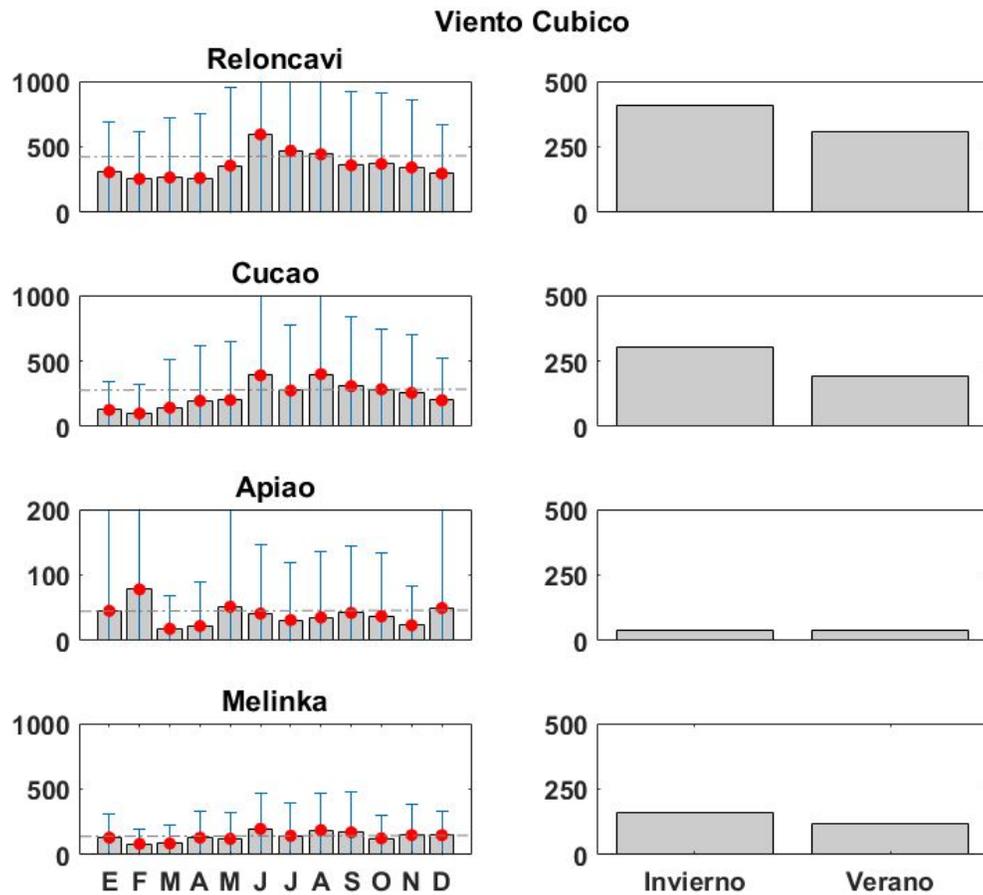


Figura 12. Viento Cubico estaciones de Meteorológicas Seno Reloncavi, Apiao, Cucao y Melinka. Izq: Climatología del viento cubico y Der: promedio de invierno y verano del viento cubico para cada estación.

b) Marea

La figura 13 muestra la varianza explicada por la banda semidiurna en la corriente total en dos capas integradas de 0 – 25m y >25 – 50m, esta interpolación se realizó en base a 11 ADCPs los cuales se encuentran marcados en el mapa. La capa de 0 – 25m se encontró influenciada además por el viento superficial por lo que los porcentajes son menores que en la capa >25 -50m. Los mayores porcentajes se concentraron en Guafo, Corcovado, Desertores y mar insular de Chiloé alcanzado >80 % de la varianza explicada de la corriente total. Hay puntos intermedios, como; Estero Elefantes, Fiordo Quitralco y Canal Costa que alcanzaron el 50%, y Canal Errazuriz entorno al 40% de la varianza explicada de la corriente total. También existieron puntos donde la señal semidiurna es baja, en torno al 20% de la varianza de la corriente total, como Golfo Ancud, Fiordo Comau y Canal Moraleda.

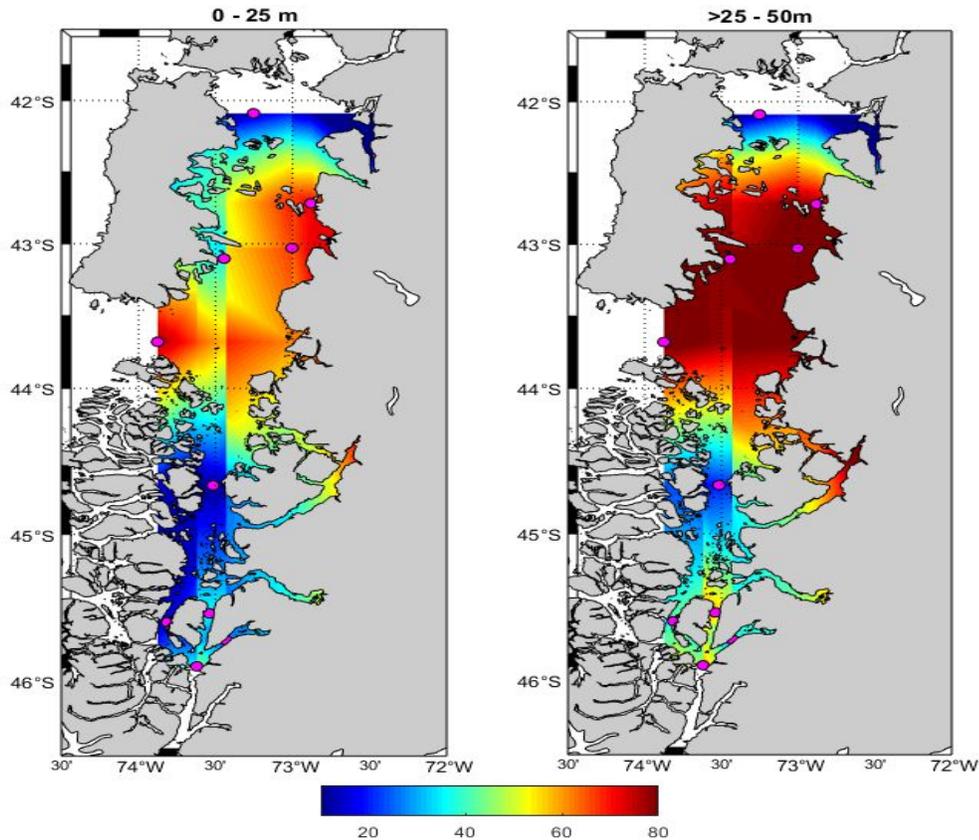


Figura 13. Porcentaje de varianza espectral de la banda semidiurna de la corriente total (interpolación). Izq.: Capa promedio de 0 - 25 m y Der: capa promedio de >25 – 50m.

c) Ríos

La figura 14 mostró la climatología y la comparación interanual de los ríos; Puelo, Palena, Cisne y Aysén. La climatología del Puelo y Palena son semejantes en el nivel de descarga que alcanzaron, con máximos $>1500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y el régimen mixto que presentaron con 2 máximos anuales en invierno y primavera, interanualmente se han mantenido en el promedio, destacó el año 2016 con una abrupta disminución del caudal (para el caso de los 4 ríos). El río Cisnes y Aysén presentaron sus mínimas descargas en los meses de otoño. La máxima descarga del Cisnes $<500 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ y Aysén $<1000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

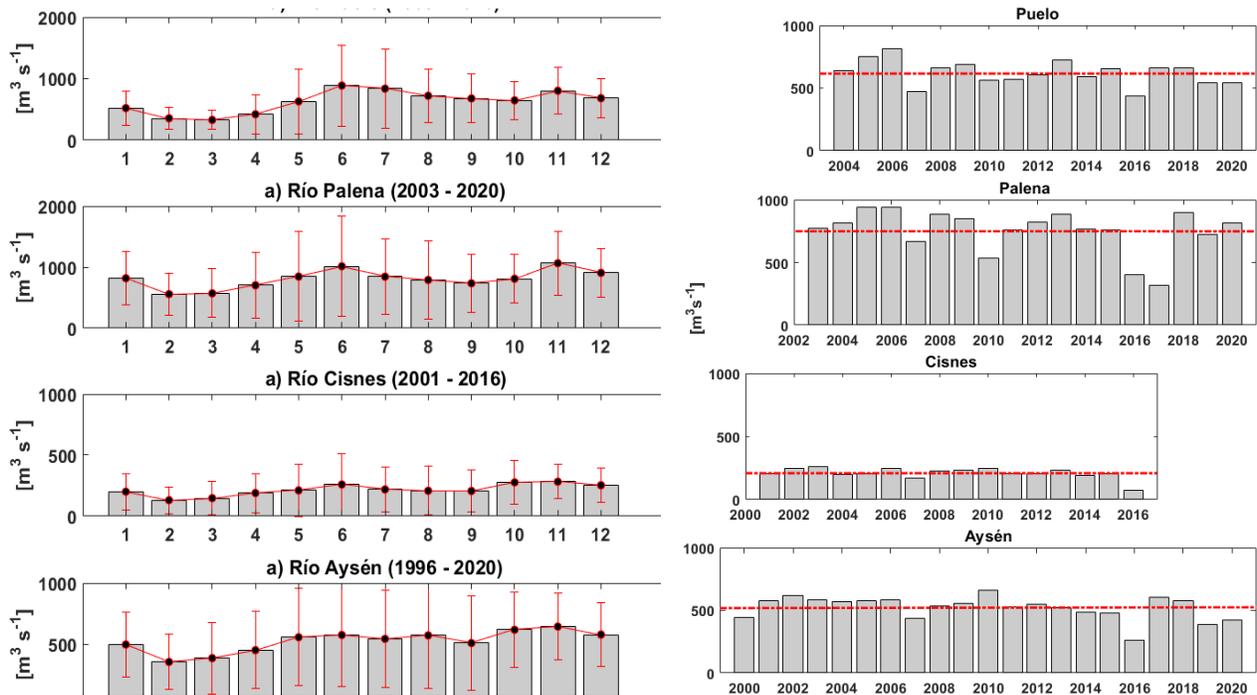


Figura 14. Climatología de caudal de ríos; Puelo, Palena, Cisne y Aysén. Izq: climatología y Der: comparación interanual.

d) Corriente Residual

La figura 15 y 16 mostraron 11 puntos de medición dentro del mar interior, los cuales correspondieron a fechas diferentes, incluyó un mes de medición para cada serie de ADCP: Golfo Ancud (insular), fiordo Comau, Chaiguao, Desertores, Boca del Guafo, Golfo Corcovado, Canal Moraleda, Canal Errázuriz, Canal Costa, fiordo Quitralco y Estero Elefantes. Para la componente v (fig. 15) y componente u (fig.16), la oscilación predominante cambió en cada punto; la corriente osciló mayoritariamente en la componente u en; Chaiguao, Guafo y Quitralco, mayoritariamente en la componente v en; Comau, Desertores, Moraleda, Costa, Errázuriz y Elefante. En ambas figuras se observó la variabilidad que existió en la estructura de velocidad de la corriente residual en el mar interior de Chiloé – Aysén.

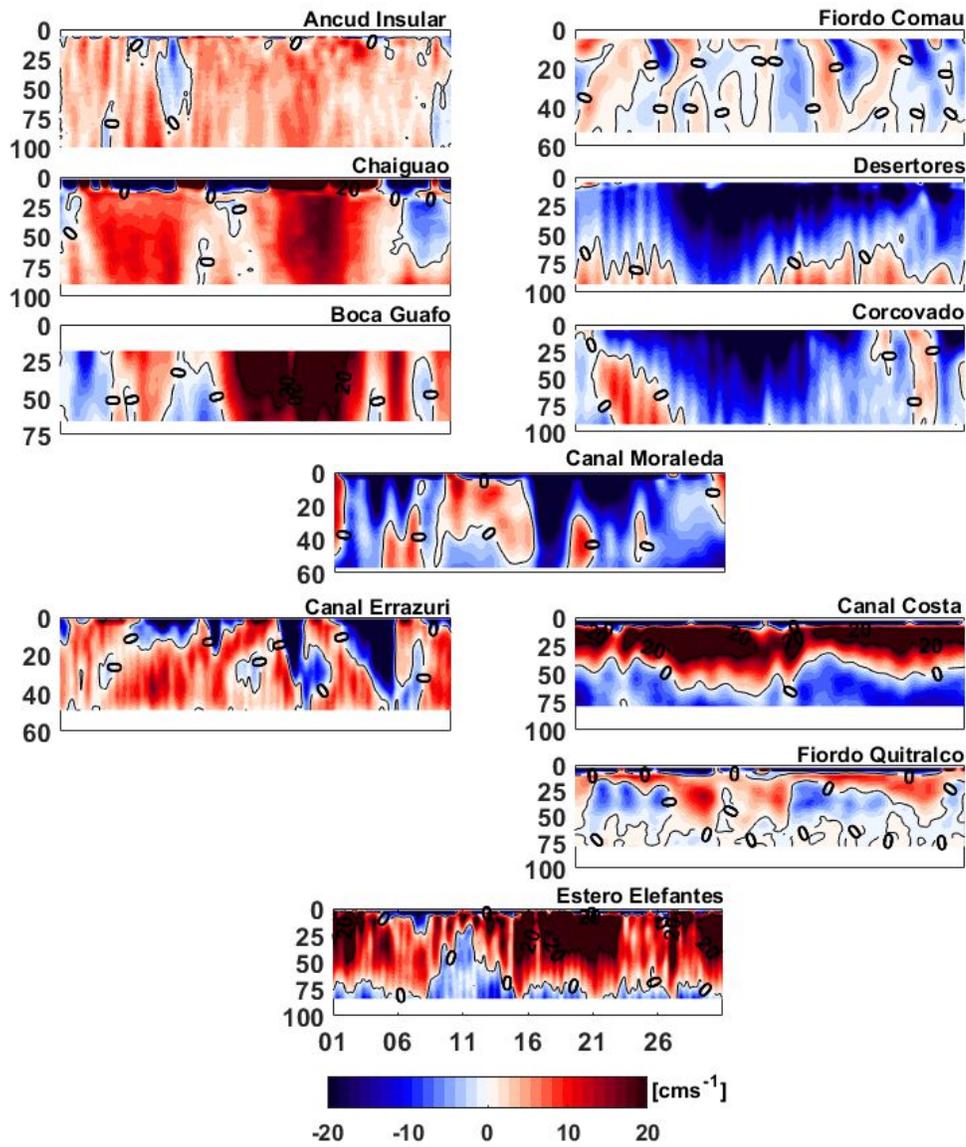


Figura 15. Corriente residual de la componente v de un mes de Anclaje; Ancud, Fiordo Comau, Chaiguao, Desertores, Boca de Guafo, Golfo Corcovado, Canal Moraleda, canal Errazuri, canal Costa, Fiordo Quitrusco y Estero Elefantes.

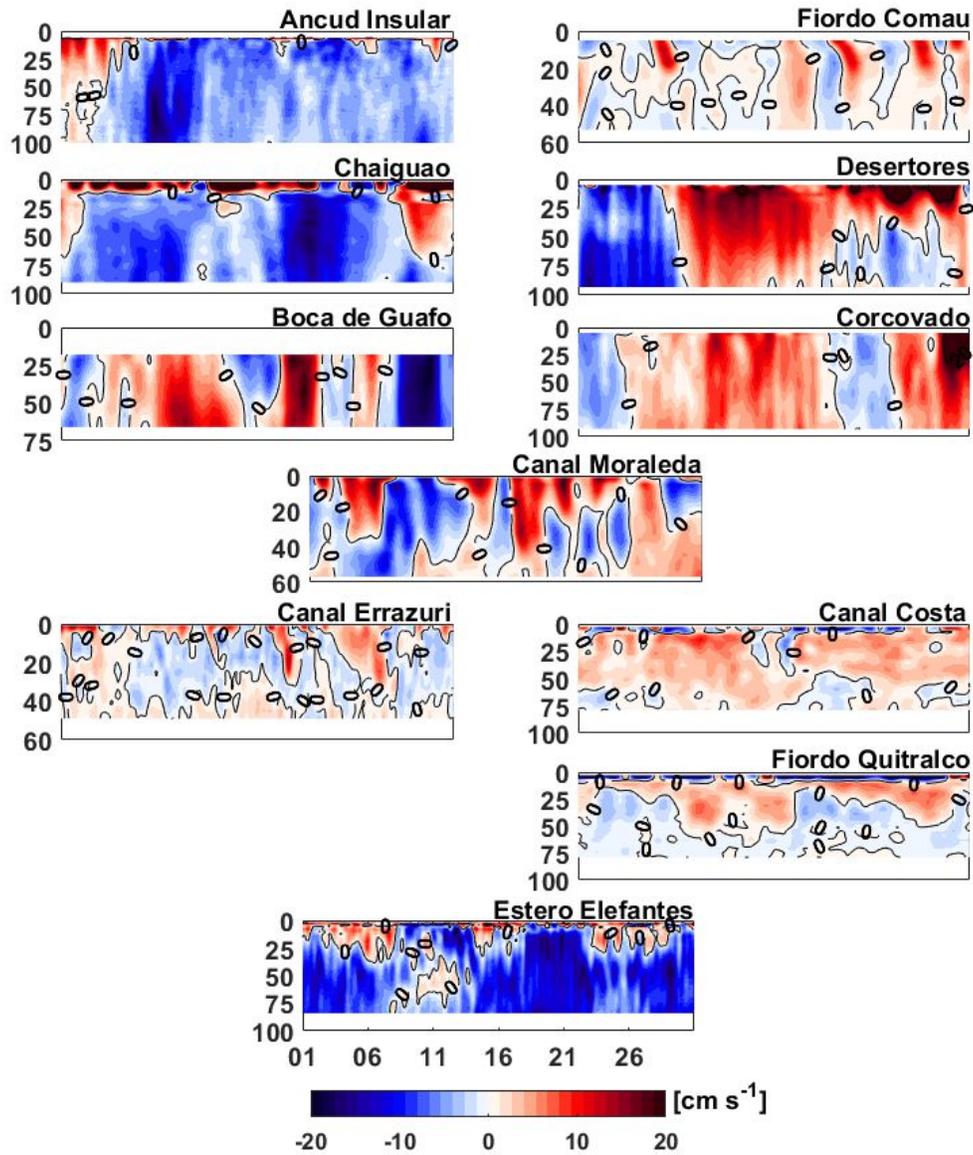


Figura 16. Corriente residual de la componente u de un mes de Anclaje; Ancud, Fiordo Comau, Chaiguao, Desertores, Boca de Guafo, Golfo Corcovado, Canal Moraleda, canal Errázuriz, canal Costa, Fiordo Quitralco y Estero Elefantes.

5.1.2 Modelo numéricos

Los modelos, tanto de la región de los Lagos como de Aysén, fueron evaluados respecto de información recopilada por monitoreos que lleva a cabo IFOP descritos en la tabla 7.

5.1.2 Evaluación Modelo atmosférico WRF

Se compararon observaciones de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de ambos dominios del modelo WRF. Para esto fueron utilizadas las componentes del viento más energéticas de cada lugar. Los resultados muestran que el modelo WRF tiene buena capacidad de predicción en zonas más expuestas, como Melinka (Figura 17) con coeficientes de correlación y Willmott sobre 0.9. Para las zonas interiores, el modelo paulatinamente pierde calidad, aunque sus índices siguen siendo altos como el caso de isla Apio ($r=0.85$ $d=0.78$). El desempeño de menor calidad se observa en Llaguepe, fiordo Reloncaví ($r=0.72$ $d=0.68$), dada la configuración de una topografía más compleja y que requiere una mayor resolución para resolverla con mayor calidad, aun así, el modelo logra representar un ciclo diario del viento que no es visualizado con claridad en el resto de las estaciones evaluadas.

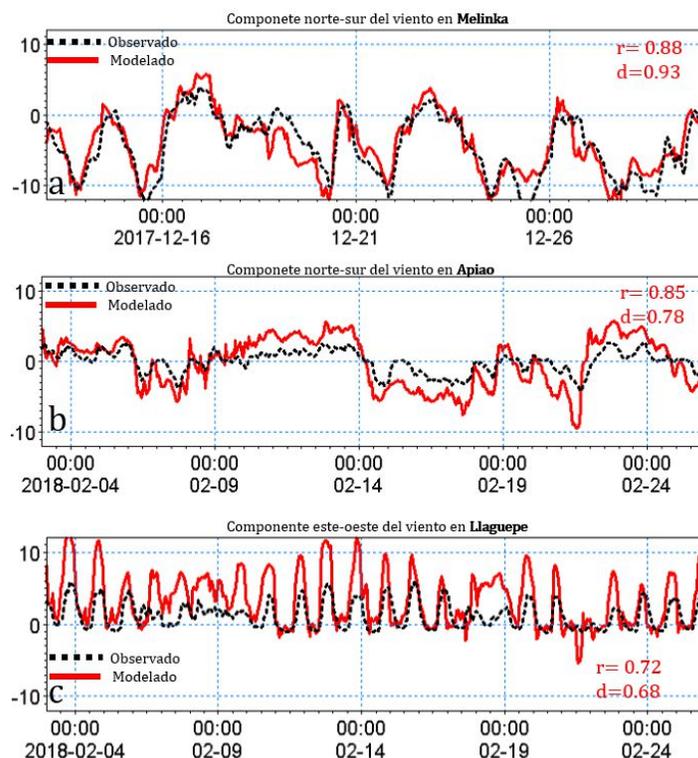


Figura 17: Series de tiempo observadas (negro) y modeladas (rojo) por componentes del viento en Melinka (a), Apiao (b) y Llaguepe (c).

5.1.3 Evaluación modelo Hidrodinámico

a) Nivel del mar: Un primer punto de control del modelo hidrodinámico es la capacidad que tiene para reproducir las fluctuaciones del nivel del mar, para la evaluación del R1-Chiloe se utilizó el mareógrafo del SHOA ubicado en la ciudad de Castro. Los resultados muestran un buen acuerdo entre el modelo y la observación, alcanzando valores de r de 0.98 e índices de Willmott de 0.99 (Figura 18). En la región de Aysén, las 2 mediciones con mareógrafos, uno ubicado en el canal Errazuriz y otro a la entrada del fiordo Puyuhuapi (Figura 19). Los resultados muestran un buen acuerdo entre el modelo y la observación, alcanzando valores para el canal Errazuriz de $r=0.93$ y $d=0.96$ (Figura 19a), mientras que para el fiordo Puyuhuapi valores de $r=0.96$ y $d=0.97$ (Figura 19b).

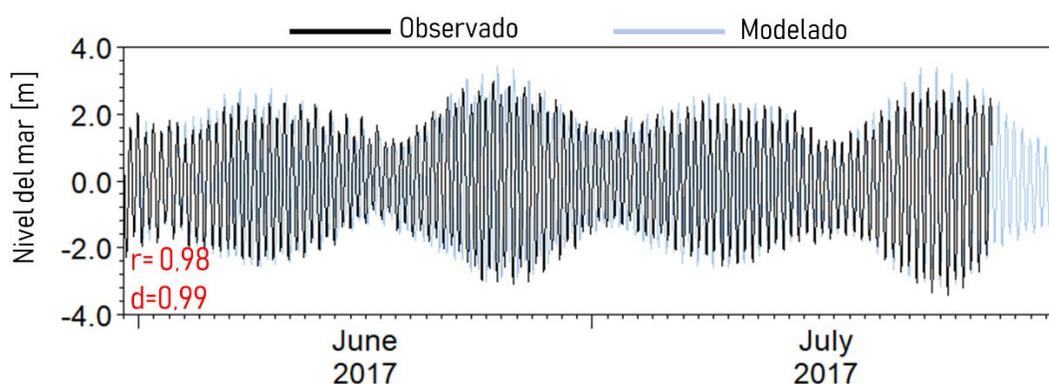


Figura 18: Series de tiempo de nivel del mar observado (negro) y modelado (rojo) para un punto ubicado en la ciudad de Castro.

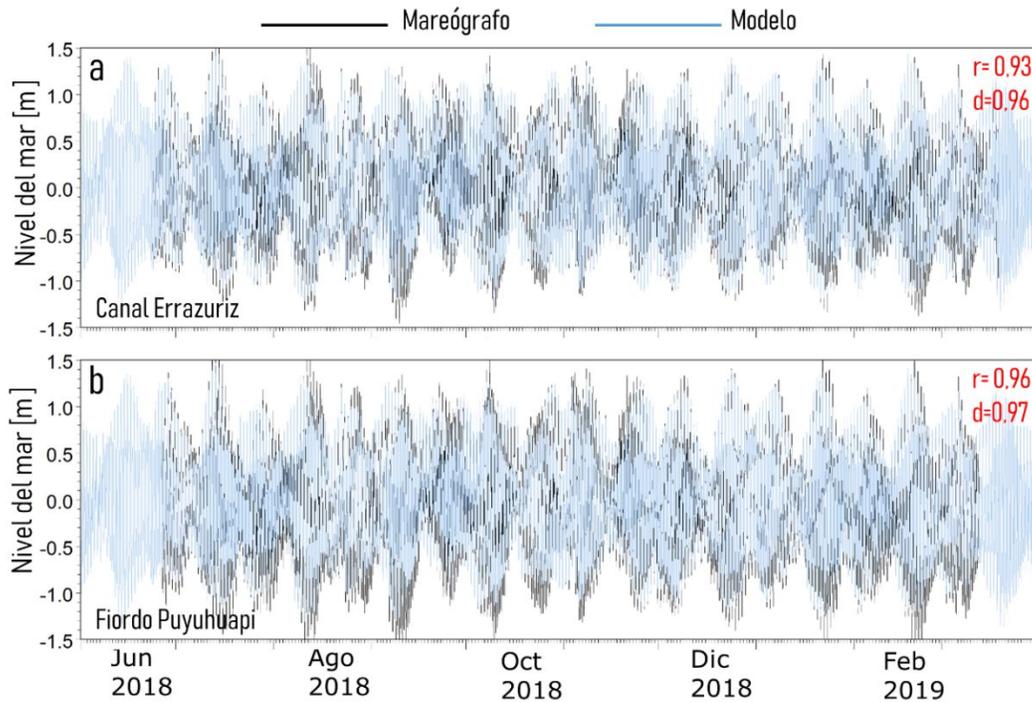


Figura 19: Series de tiempo horaria de nivel del mar observado (negro) y modelado (azul) para a) canal Errázuriz y b) fiordo Puyuhuapi.

b) Hidrografía

Mar interior de Chiloé: El modelo reproduce de forma correcta cada perfil, obteniéndose estructuras verticales más mezclados al norte de las islas Desertores (Corcovado y Detif), y paulatinamente más estratificadas mientras se avanza hacia el norte, especialmente en el fiordo Comau, lugar en donde la estratificación es más intensa. Cabe señalar que los perfiles de salinidad observados fueron realizados en un periodo de cuadratura, momento en que la energía otorgada por la propagación de la onda de marea es menor, aun así, las estaciones ubicadas hacia el sur del dominio se encuentran fuertemente mezcladas (Figura 20).

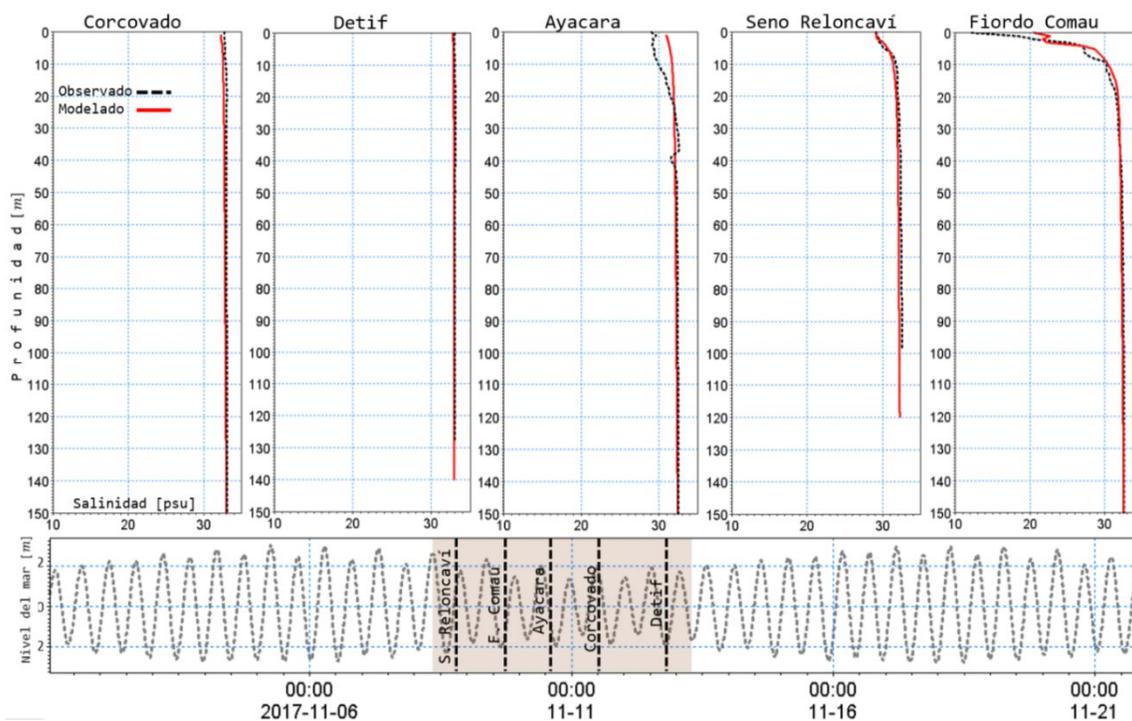


Figura 20: Perfiles de salinidad (arriba) observados (negro) y modelados (rojo) en distintos puntos del mar interior de Chiloé. Serie del nivel de la mar modelada para Castro (abajo), las líneas indican el momento en que se realizaron los perfiles en cada lugar.

Mar interior de Aysén: La temperatura y salinidad modeladas fueron evaluadas mediante la comparación con perfiles de CTD realizados durante las campañas oceanográficas realizadas en periodo invernal (agosto 2018) y primavera (noviembre 2018), en distintos puntos del mar interior de Aysén (Figura 21). La temperatura hasta los ~20 m presenta cambios estacionales evidentes. Durante agosto, se apreció una inversión térmica en todos los sitios (Figura 21a, 21e y 21i) siendo más acentuada en fiordo Quitralco, lo cual es correctamente reproducido por el modelo, en este último sitio se observó bajo los 80 m, un aumento ostensible en la temperatura respecto de los otros sitios, lo cual no logró ser reproducido por el modelo (Figura 21i). Para el periodo de primavera, la temperatura en los primeros 20 m de la columna de agua, aumentó sus valores rompiendo la inversión térmica observada en agosto (Figura 21b, 21f y 21j), lo cual, es reproducido en general por el modelo, obteniendo una mejor aproximación en canal Costa (Figura 21f). Al igual que en invierno, en el fiordo Quitralco el perfil de temperatura observado presentó un aumento paulatino de sus valores desde los 40 m hasta profundidades mayores, lo cual, no logró ser reproducido por el modelo.

La Salinidad durante agosto presentó una fuerte mezcla en canal Moraleda (Figura 21c) y mayor estratificación en el fiordo Quitralco (Figura 21k), mientras que el canal Costa presentó una condición intermedia entre los sitios anteriormente señalados (Figura 21c, 21g y 21k), el modelo reproduce, en primer lugar, el orden de magnitud de la salinidad en cada uno de los sitios, >33 en canal Moraleda, ~31 en canal Costa y ~30 en Quitralco, en este último sitio parece más evidente la subestimación por parte del modelo del volumen de agua dulce en los primeros 30 m (Figura 21k). Hacia noviembre se

apreció un aumento de la estratificación en los primeros 20 m de la columna de agua en todos los sitios, especialmente en canal Costa (Figura 21h).

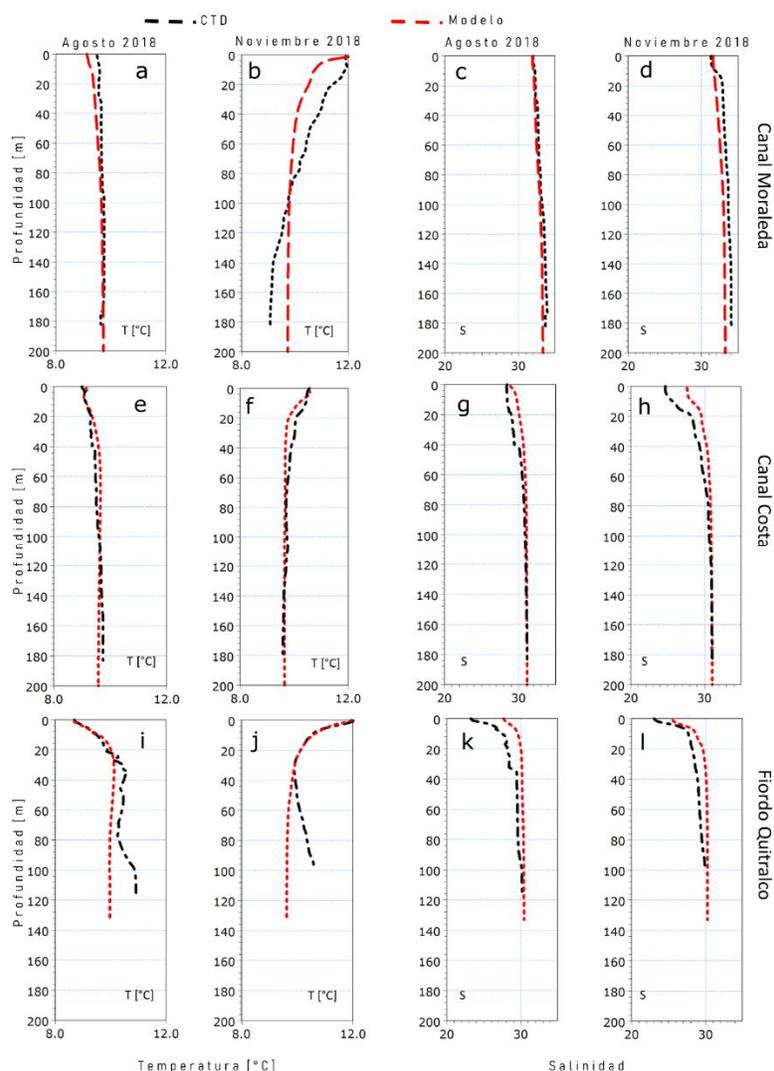


Figura 21: Perfiles de temperatura y salinidad en canal Moraleda (a, b, c y d), canal Costa (e, f, g y h) y fiordo Quitralko (i, j, k y l) observados (negro) y modelados (rojo) para invierno (agosto 2018) y primavera (noviembre 2018).

c) Variabilidad temporal de la temperatura de agua profunda:

La temperatura a los 150 m (Figura 22), tanto el Desiertos como en Ayacara, muestra que los menores valores son alcanzados entre septiembre y octubre ($\sim 10.4^{\circ}\text{C}$), el modelo muestra coincidencia en el periodo en que se produce esta menor temperatura, sobrestimándolo levemente ($\sim 0.2^{\circ}\text{C}$). A partir de octubre, la temperatura comienza a elevarse para alcanzar máximos entre febrero y marzo, esta tendencia es replicada correctamente, sin embargo, en el caso de desiertos las

temperaturas observadas muestran fluctuaciones importantes que son completamente capturadas por el modelo, en Ayacara estas fluctuaciones son más leves y el modelo alcanza un mejor ajuste. En general, el patrón temporal de temperatura de agua profunda es capturado por el modelo, siendo el caso de Ayacara que alcanza un mejor desempeño ($r=0.93$ y $d=0.92$), mientras que en Desertores los índices de calidad son levemente inferiores ($r=0.78$ y $d=0.87$).

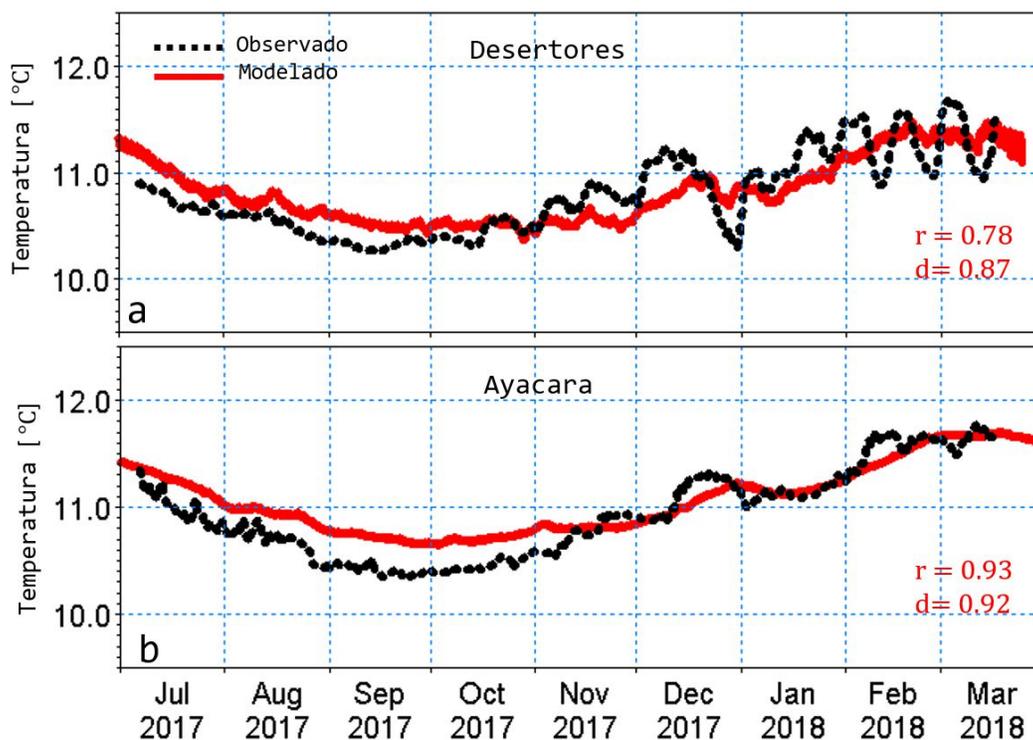


Figura 22: Series de tiempo de temperatura a 150 m en Desertores (a) y Ayacara (b) observados (negro) y modelado (rojo).

La temperatura en los primeros 20 metros en todos los sitios medidos en el Mar Interior de Aysén, mostró una alta fluctuación estacional con los valores más bajos hacia finales de agosto y los máximos en febrero, esto fue replicado por el modelo, lo cual se corroboró con las altas correlaciones encontradas ($r > 0.9$) (Figura 23a, 23c y 23e). En aguas más profundas (~120 m), el canal Moraleda presentó una menor variación respecto de los otros sitios, lo que el modelo reprodujo de manera correcta, sin embargo, la serie observada presentó pulsos que el modelo no logró estimar, lo cual incidió en menores valores de correlación (Figura 23b). Para el caso de canal Costa y fiordo Quitralco, mostraron una estacionalidad más evidente, lo que fue apreciado tanto en las series observadas, como en las modeladas y sus altas correlaciones (> 0.96) (Figura 23d y 23f).

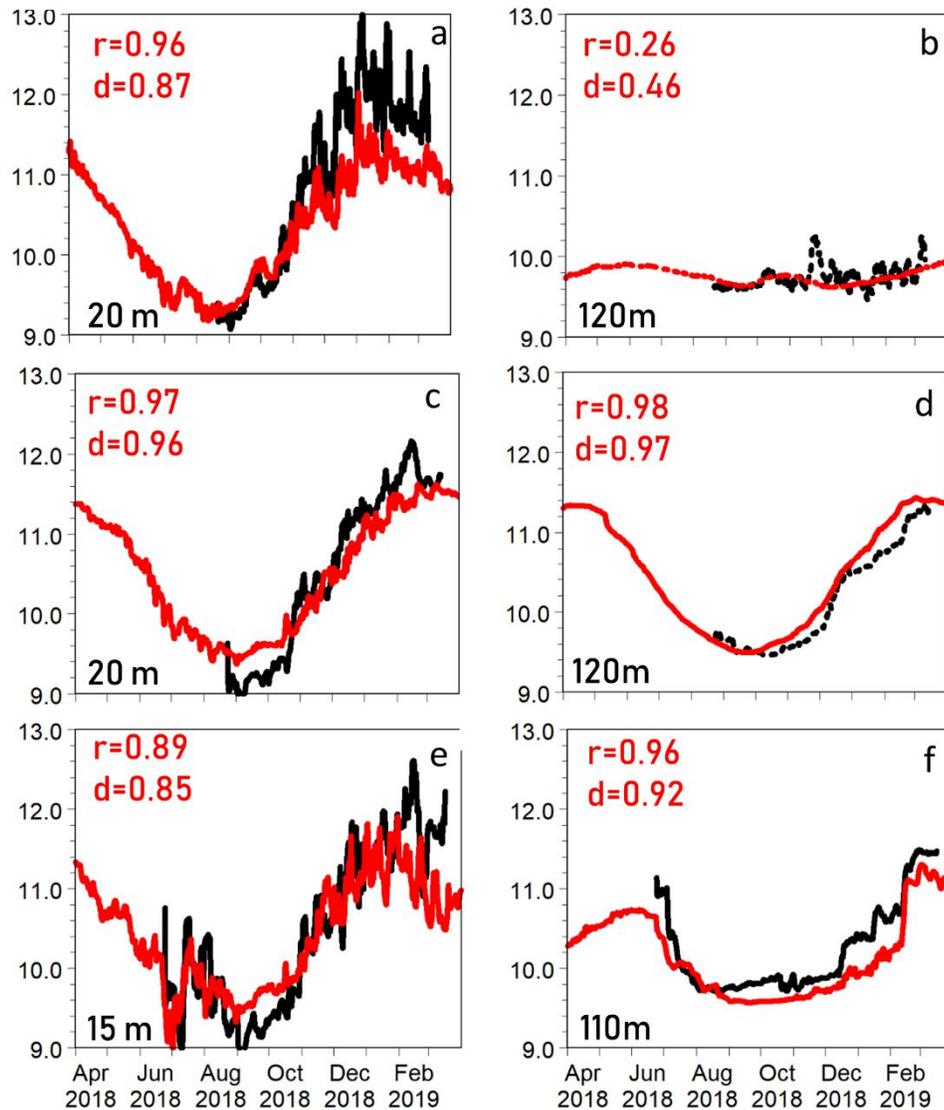


Figura 23: Series de tiempo de temperatura en canal Moraleda: a 20 m (a) y 120 m (b), canal Costa a 20 m (c) y 120 m (d) y en fiordo Quitralco a 15 m (e) y 110 m (f) para valores observados (negro) y modelados (rojo).

5.1.4 Circulación residual

La circulación residual en las cercanías de isla Tranqui muestra que la componente este-oeste de la corriente durante periodo de sicigias aumenta la intensidad de flujo hacia el interior de la isla de Chiloé, mientras que, en cuadratura el flujo se debilita e incluso en la parte superficial es posible observar un transporte neto hacia afuera de la isla (Figura 24). El modelo logra capturar esta estructura temporal reflejando la importancia que esta zona puede tener las mareas quincenales en el transporte de agua.

La circulación a lo largo del paso Desertores observado muestra un intenso flujo hacia el sur que ocupa la casi totalidad del perfil (hasta 80 m), el agua que es transportada hacia el norte en este punto, se concentra bajo los 60 m y tiene una estructura temporal irregular. El modelo muestra el flujo hacia el sur ocupando la mayor parte de la columna de agua, mientras que, en la parte inferior, pulsos de corrientes hacia el norte, con apariciones irregulares, interactúan con un flujo predominante hacia el sur. (Figura 25).

La circulación residual observada (ADCP) en el canal Moraleda, en la región de Aysén, mostró pulsos intensos de corrientes que se relacionaron fuertemente con el viento, así durante episodios prolongados e intensos de viento hacia el sur (Figura 26c), como se muestra en la segunda mitad de septiembre (entre líneas grises), la corriente se direccionó en el mismo sentido (Figura 26d), mientras que, con un viento soplando hacia el norte, la corriente se dirigió hacia esta dirección, esto fue posible evidenciarlo más claramente durante principios del mes de diciembre (entre líneas grises), en donde la corriente presentó un flujo intenso hacia norte acoplado al viento y posiblemente intensificado por el aumento del caudal del río Cisnes ocurrido hacia fines de noviembre (Figura 26b). Todo esto consistente en cuanto a su estructura con lo reproducido por el modelo (Figura 26e).

En canal Costa la circulación residual respondió a una estructura de 3 capas hasta los 80 m (Figura 27d), siendo la más superficial (hasta ~5 m) y angosta respuesta del viento (Figura 27c), dominada por flujos hacia el norte, luego una capa hasta los ~60 m hacia el sur y bajo esta una capa hacia el norte, el modelo resolvió de manera apropiada esta estructura, aunque subestimando la magnitud de la corriente. El fiordo Quitralco (Figura 28) presentó una compleja estructura de la corriente residual, la cual no fue completamente replicada por el modelo, aunque presentaron similitudes importantes, la capa superficial (hasta 10 m) se encontró influenciada por el viento.

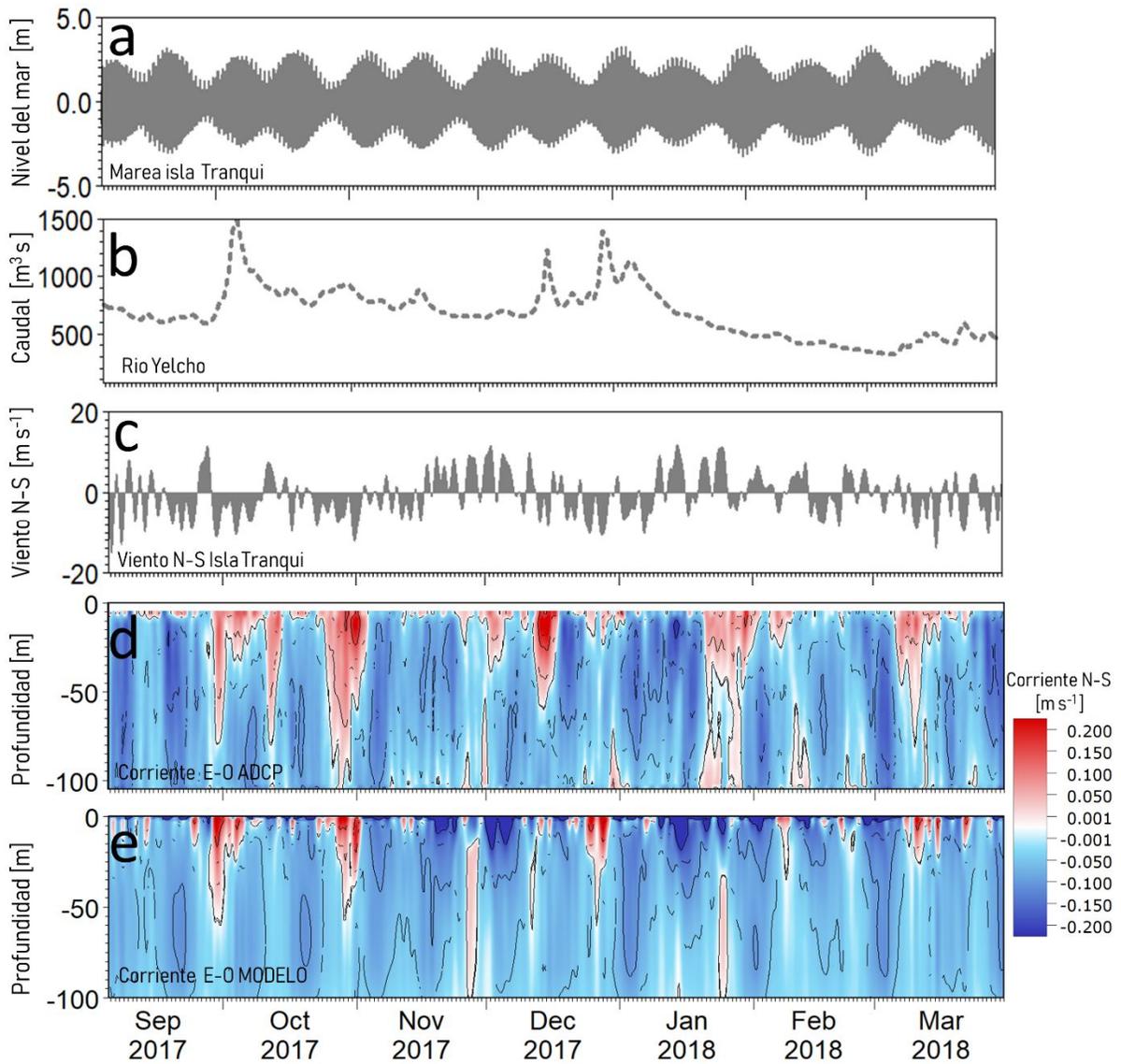


Figura 24: Series temporales del nivel del mar (a), caudal del río Yelcho, viento N-S en cercanías de isla Tranqui y perfil temporal de la corriente observada (d) y modelada (e) con filtro de 40 h en el sitio denominado Tranqui.

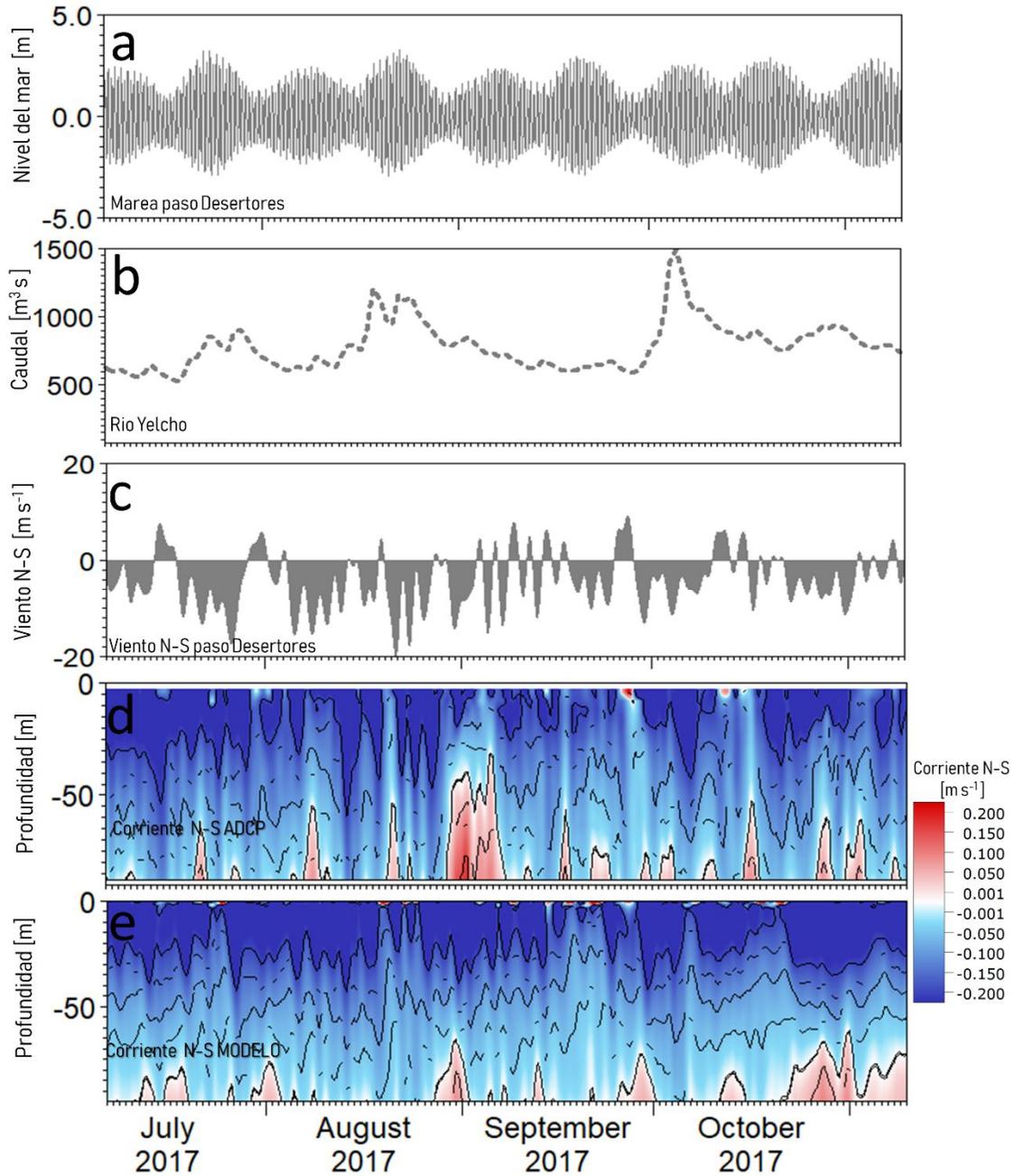


Figura 25: Componente norte-sur del viento modelado y filtrado con 40 h de corte (b), nivel del mar (c) y perfil temporal de la corriente observada (d) y modelada (e) con filtro de 40 h en el sitio denominado Desertores.

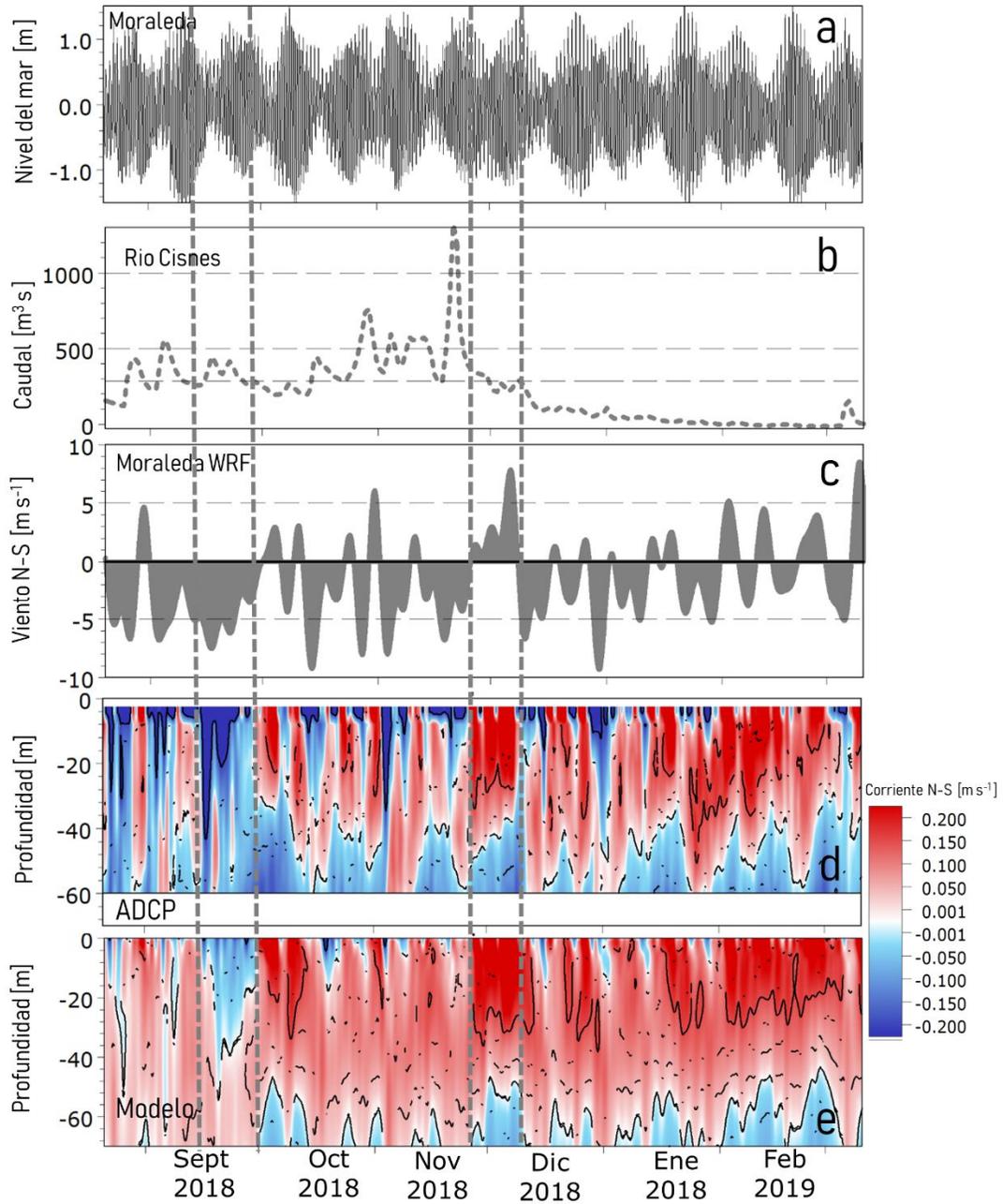


Figura 26: a) Nivel del mar, b) caudal rio Cisnes, c) viento N-S del modelo WRF, d) perfil de corriente N-S residual observada y e) perfil de corriente N-S residual modelada en el canal Moraleda.

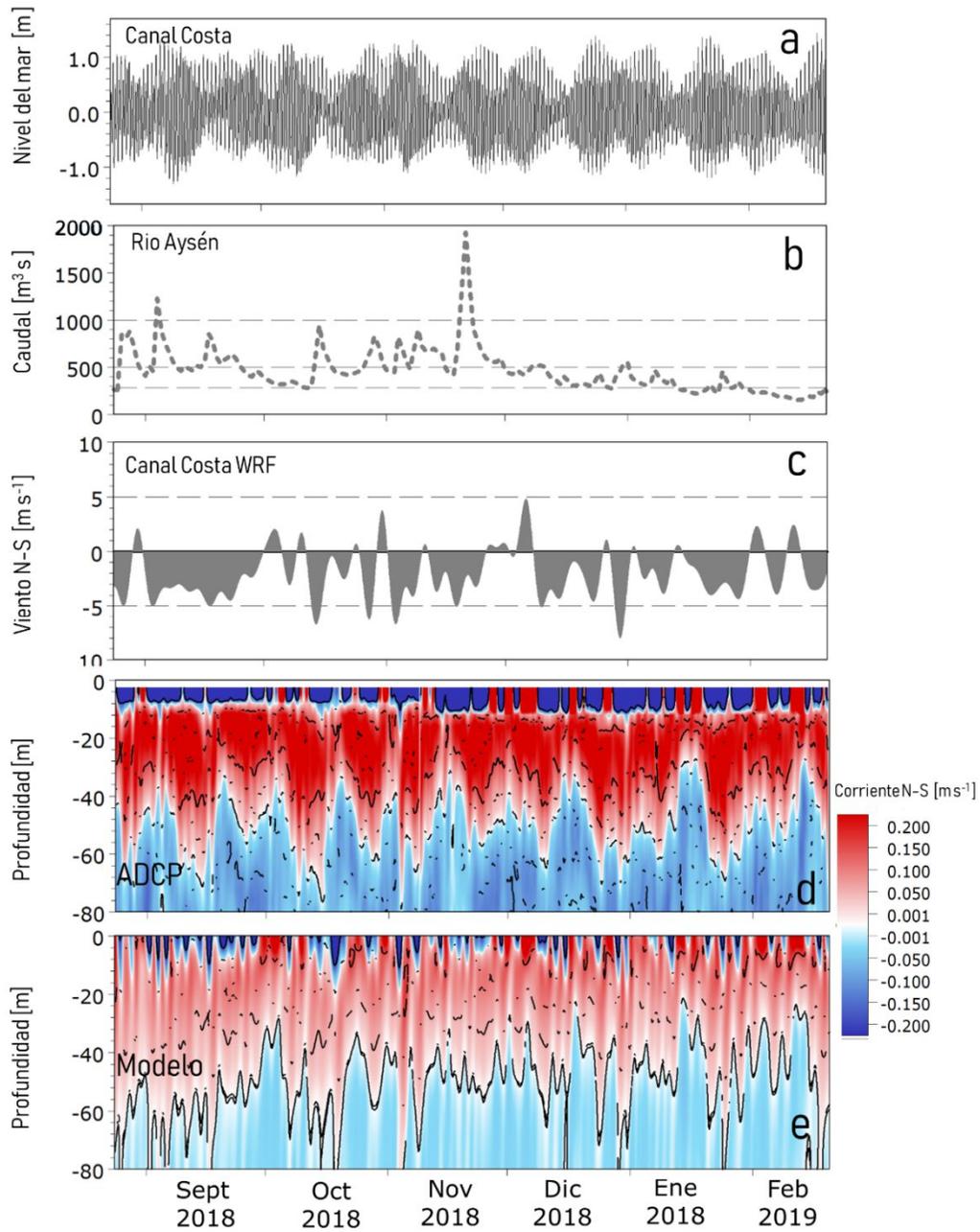


Figura 27: a) Nivel del mar, b) caudal rio Aysén, c) viento N-S del modelo WRF, d) perfil de corriente N-S residual observada y e) perfil de corriente N-S residual modelada en el canal Costa.

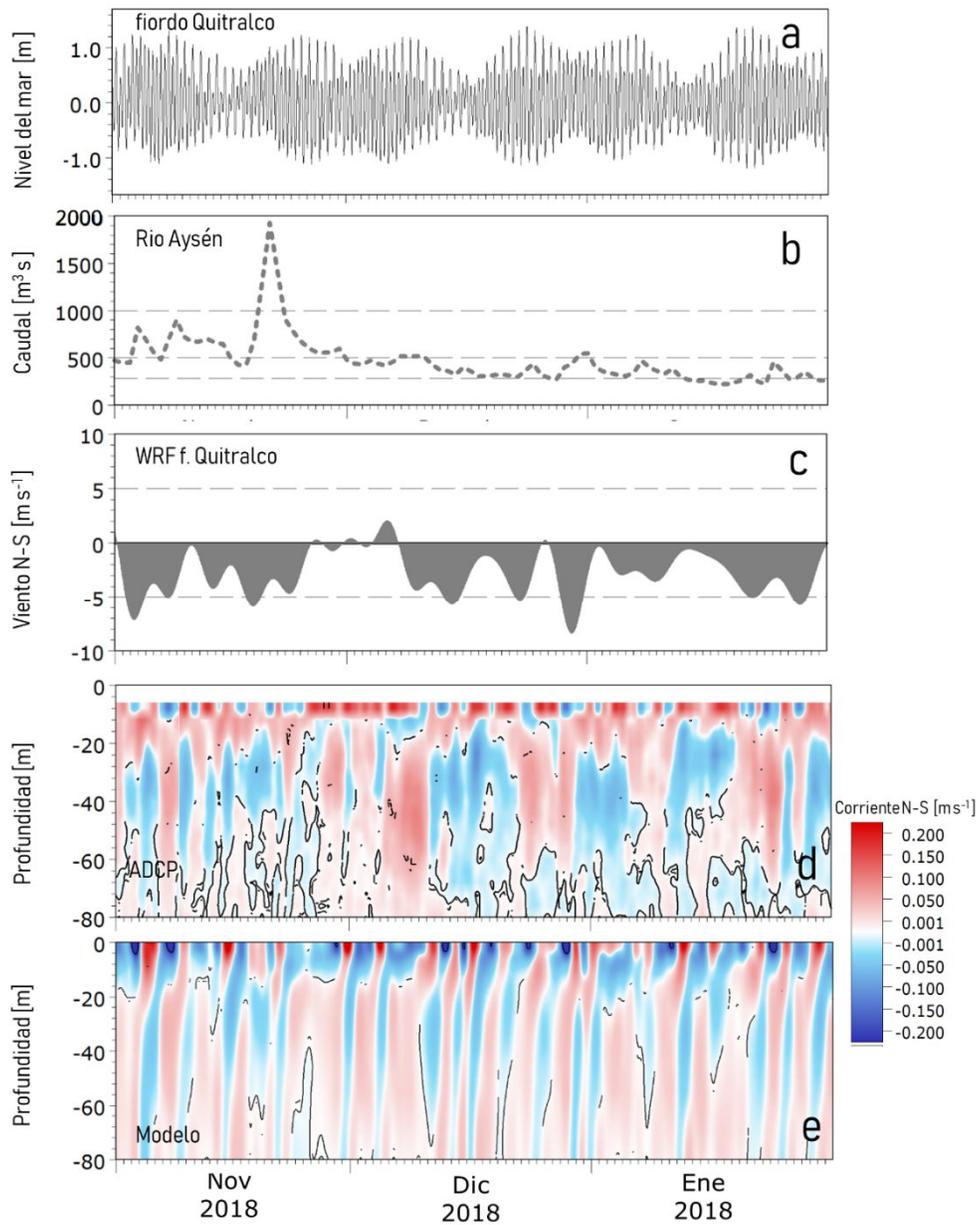


Figura 28. a) Nivel del mar, b) caudal rio Aysén, c) viento N-S del modelo WRF, d) perfil de corriente N-S residual observada y e) perfil de corriente N-S residual modelada en el fiordo Quintralco.

5.1.5 Circulación general del mar interior de Chiloé y de Aysén.

La circulación promedio en el mar de Chiloé, entre la superficie y los 50 m. durante el periodo 2016-2018 (Figura 29a), muestra una alta variabilidad espacial en la magnitud de la corriente, de acuerdo al campo de corrientes, desde el seno de Reloncaví hasta la parte sur del golfo Corcovado se aprecia por el costado continental una corriente bien definida hacia el sur, que se divide en dos ramas a la altura de las islas Desertores intensificándose en los pasos de Apiao y Desertores, continuando su recorrido por la zona costera continental del golfo Corcovado, parte de la estructura de esta corriente fue observada, tanto en el ADCP como el modelo, cercano al paso Desertores (Figura 25d y 25e). Por otra parte, en la parte sur de la isla Chiloé se observa una corriente hacia el norte que comunica desde isla San Pedro hasta isla Tranqui.

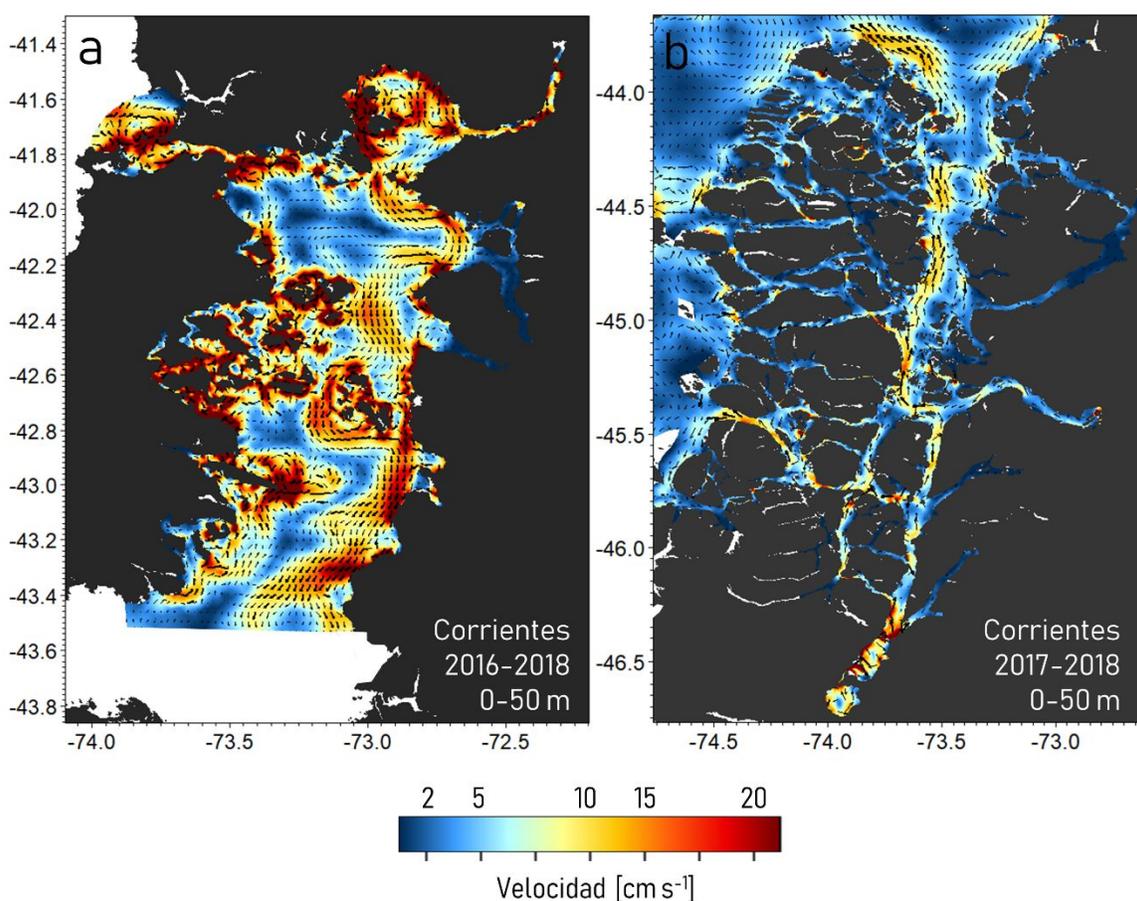


Figura 29: Esquema de circulación promedio para a) el mar interior de Chiloé, periodo 2016-2018, entre 0 – 50m y b) mar de interior de Aysén, periodo 2017-2018, entre 0 - 50m.

La circulación media en la región de Aysén (2017- 2018) entre 0-50 m (Fig.29b) presentó, en general, corrientes medias menos energéticas que en Chiloé, siendo estas más intensas en algunos lugares puntuales. El sector sur de la región, desde el estero Elefantes, y pasando por el canal Costa, es comunicado a través de una corriente hacia el norte de alrededor de 10 cm s^{-1} , que se intensifica en

la constricción de Meninea y se conecta con el límite norte del archipiélago de Chonos (Melinka) a través del sector oeste del canal Moraleda. El canal Moraleda por su parte, presenta por el lado este, un flujo hacia el sur con un remolino ciclónico hacia la mitad del canal con una intensidad sobre 10 cm s^{-1} . Este flujo hacia el sur, se origina en el borde costero del golfo Corcovado, cercano a la desembocadura del río Palena. Tanto el golfo Corcovado como el canal Moraleda, ambas áreas de conexión con las zonas interiores de ambas regiones, presentan un patrón de corrientes con variabilidad a lo ancho de estos canales, con flujos de entrada y salida, lo que supone una dinámica circulación estuarina más compleja que el clásico esquema de circulación de dos capas.

5.1.6 Edad del agua en el mar interior de Chiloé:

Los resultados para la edad del agua promediados verticalmente, muestran que espacialmente los mayores valores se encuentran en el sector norte del cinturón de islas Desertores, (Figura 30), es justamente en este último sector en donde se produce el gradiente más intenso de esta variable, pasando de 200 a 300 días, esto es apreciable tanto en los campos promedio, como en las secciones verticales en todos los años, sin embargo, cada uno de estos años presenta diferencias, especialmente en el sector norte. Tanto el año 2016 como el 2017, presentaron valores mayores de edad (350-400 días) que el año 2018, específicamente en el seno de Reloncaví, golfo de Ancud y fiordo Comau, mientras que para el 2018 los valores no superan los 350 días. Además, es posible visualizar que la isolinia de 300 días, cercano a islas Desertores, se extiende más hacia el norte durante el 2018.

El periodo 2016-2018 presenta variaciones importantes en su característica hidrográficas, por ejemplo, el año 2016 registró una disminución importante en los caudales de ríos, manteniéndose bajo el promedio histórico durante casi todo el 2016, en cambio, los años 2017 y 2018 presentan un aumento paulatino en los caudales de todos los ríos de la región (Figura 31a). Esto se puede ver en mayor detalle en la Figura 32, que muestra que el 2016 estuvo muy debajo del promedio histórico y que a la vez el 2018, estuvo muy por sobre el promedio.

Por otra parte, la componente N-S del viento para el año 2016 en las cercanías del paso Desertores (Figura 31b) estuvo notablemente menos energética que los años posteriores, especialmente para vientos desde el norte asociado al paso de sistemas frontales durante los inviernos. Así mismo, la salinidad también presentó aumento en sus valores, dada la menor disponibilidad de agua dulce (Figura 31c). Si bien, la circulación residual en este lugar es marcadamente estuarina de 2 capas (Figura 31d), durante los inviernos esta tiende a debilitarse, sin embargo, durante el 2016, el debilitamiento fue más intenso, y la capa superficial de salida (hacia el sur) quedó confinada a los primeros 20 m de la columna de agua y entonces el flujo hacia el norte se ralentizó e inhibió la entrada de aguas con edad relativamente más bajas, esto se puede apreciar en los valores de edad, que durante el invierno de 2016 tuvo sus valores más altos en el golfo Corcovado (Figura 31e).

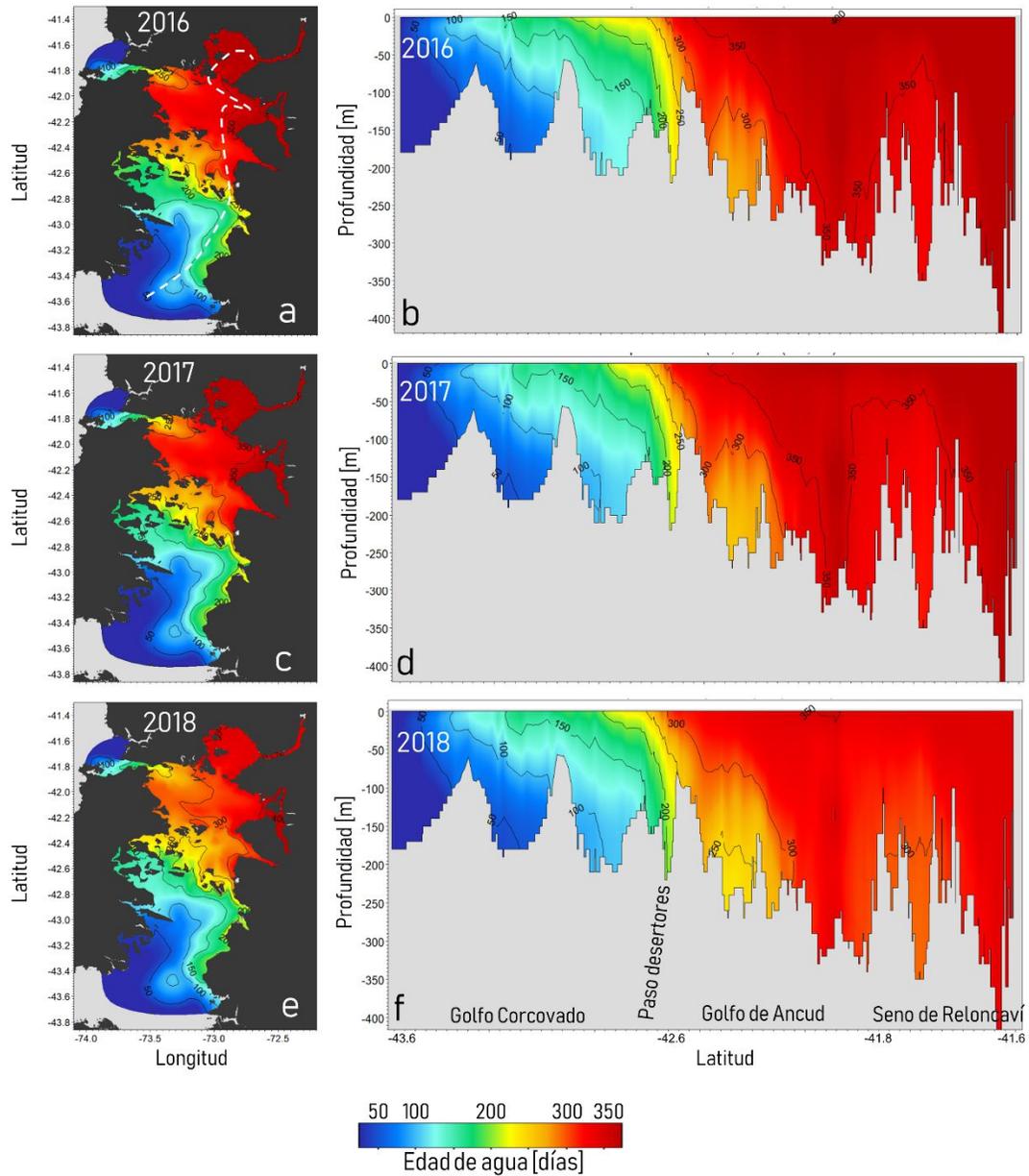


Figura 30: Panel izquierda, promedio vertical de la edad del agua para los años a) 2016, c) 2017 y e) 2018. Panel derecha, secciones verticales desde el golfo Corcovado hasta el seno de Reloncaví (línea blanca) para los años b) 2016, d) 2017 y f) 2018.

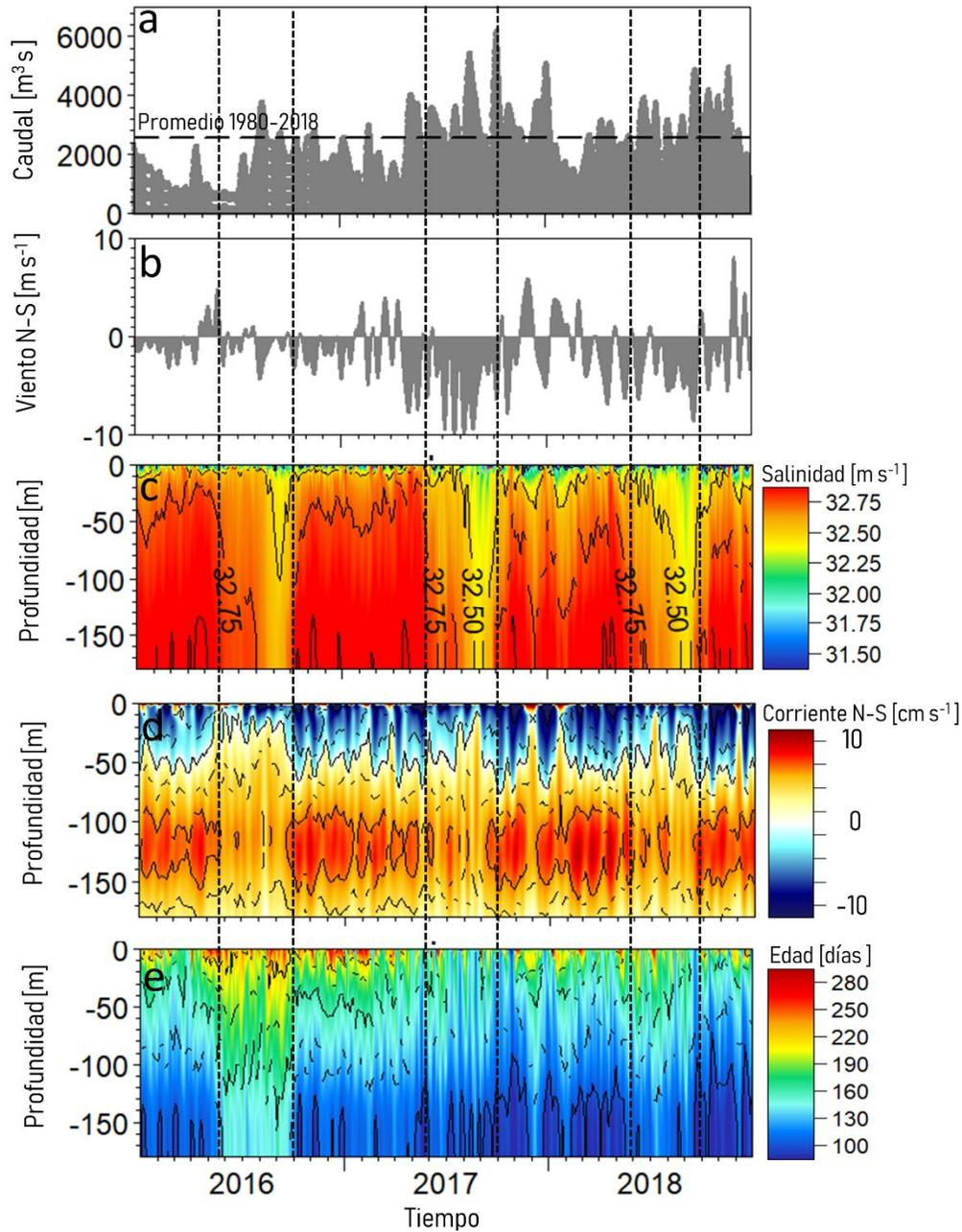


Figura 31. Series temporales de a) caudales totales descargados en el mar interior de Chiloé, b) componente N-S del viento del modelo WRF y perfiles temporales de c) salinidad, d) corriente N-S filtrada (filtro coseno lanczos 15-d) y edad del agua en cercanías de las islas Desertores en el golfo Corcovado para el periodo 2016-2018.

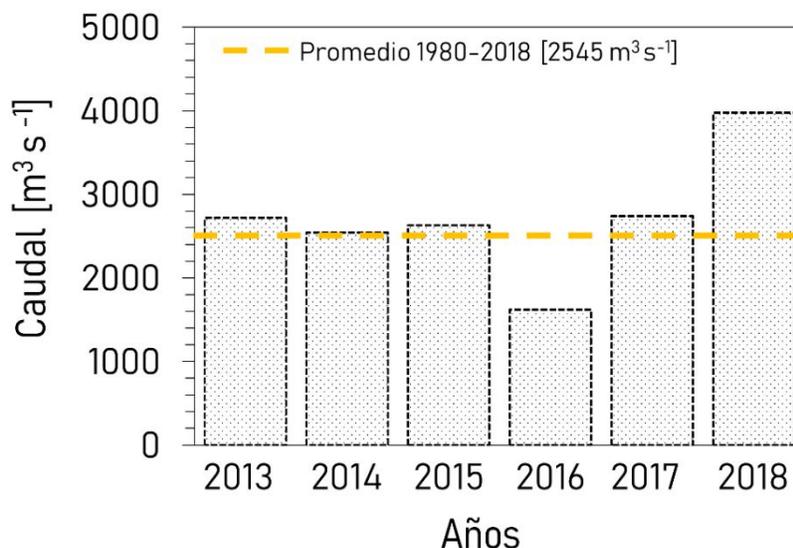


Figura 32. Caudales promedios anuales 2013-2018 como suma de todos los ríos que descargan en el mar de Chiloé, línea amarilla indica el promedio histórico (1980-2018).

5.1.7 Mar interior de Aysén:

La edad promedio del agua, promediada verticalmente, para los años 2017 y 2018 (Figura 33a y 33b) muestra que los mayores valores se encontraron hacia el sur del mar interior de Aysén, principalmente desde la constricción de Meninea, con valores de ~500 días en la Laguna San Rafael, fiordo Cupquelán y cabeza del fiordo Quitralco. Tanto el fiordo Aysén, como el Puyuhuapi, alcanzaron valores similares (350 - 400 días), mientras que canal Jacaf presentó valores menores (200 – 300 días). El canal Moraleda presentó mayores valores en el estrato superficial (~250-300 días) que en el profundo (<200 días) (Figura 32c y 32d). Los mayores valores en los canales del Archipiélago de los Chonos se encontraron en su parte central, alrededor del canal King (~350 días), lo que difiere del sector sur (canal Darwin), que presentó menores valores (~200 días).

Las variaciones temporales de la edad del agua el canal Moraleda (Figura 34), muestran que los mayores valores se encuentran en superficie (Figura 34e), relacionadas a aguas que han permanecido más tiempo al interior del mar de Aysén, mientras que aguas más profundas y de edad relativa menor, asociada al ingreso de aguas de origen oceánico, penetran hacia el sur (Figura 34d), esto es interrumpido durante los inviernos, cuando aumenta la mezcla, posiblemente asociada a la energía del viento (Figura 34b) y aguas superficiales menos salinas son llevadas a estratos más profundos (Figura 34c), lo que también se refleja en una disminución de la circulación más profunda hacia el interior (Figura 34d).

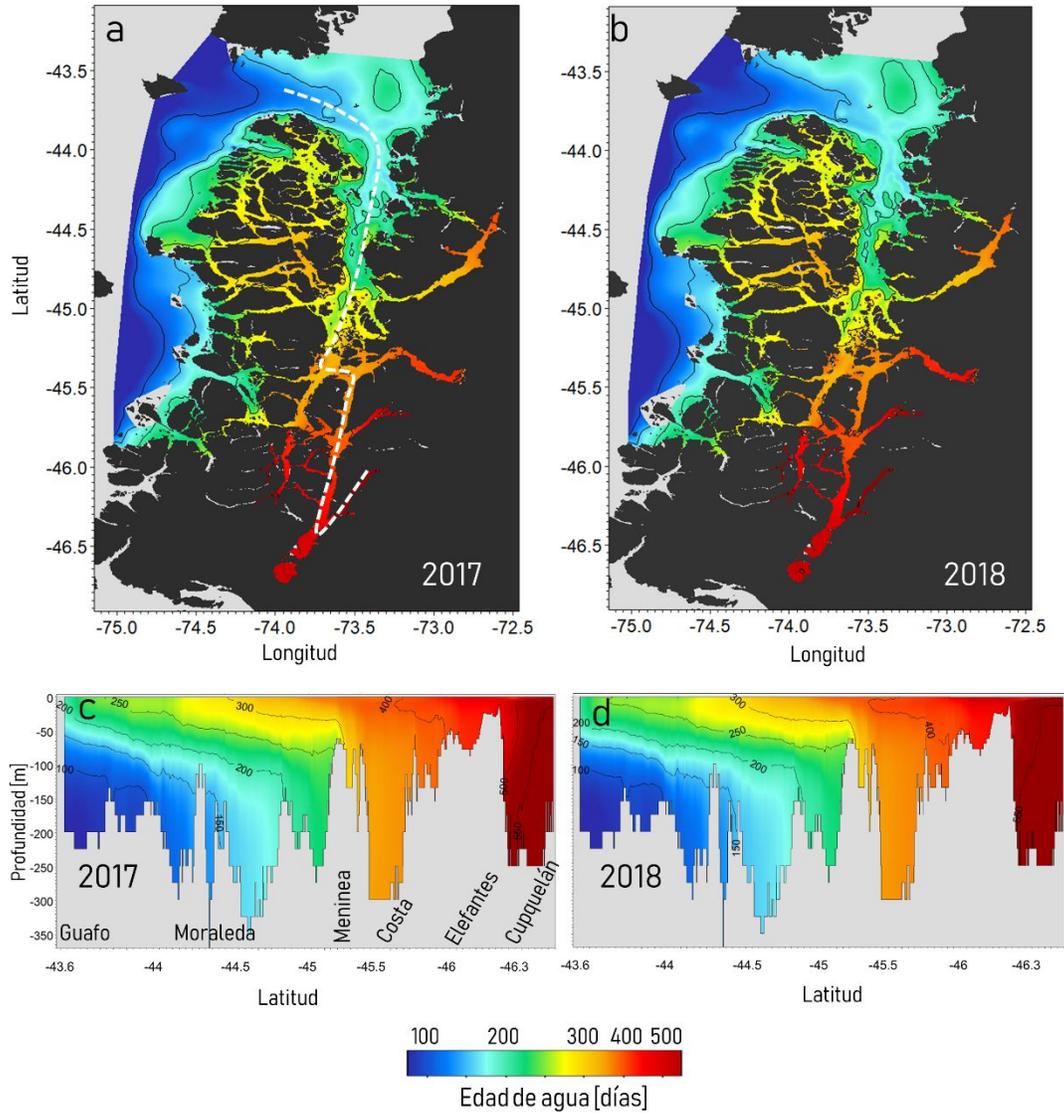


Figura 33. Edad del agua integrada para a) 0-50 m y b) 50-200 m de profundidad. Porcentaje del trazador de agua dulce integrado para a) 0-50 m y d) 50-200 m en el mar interior de Aysén

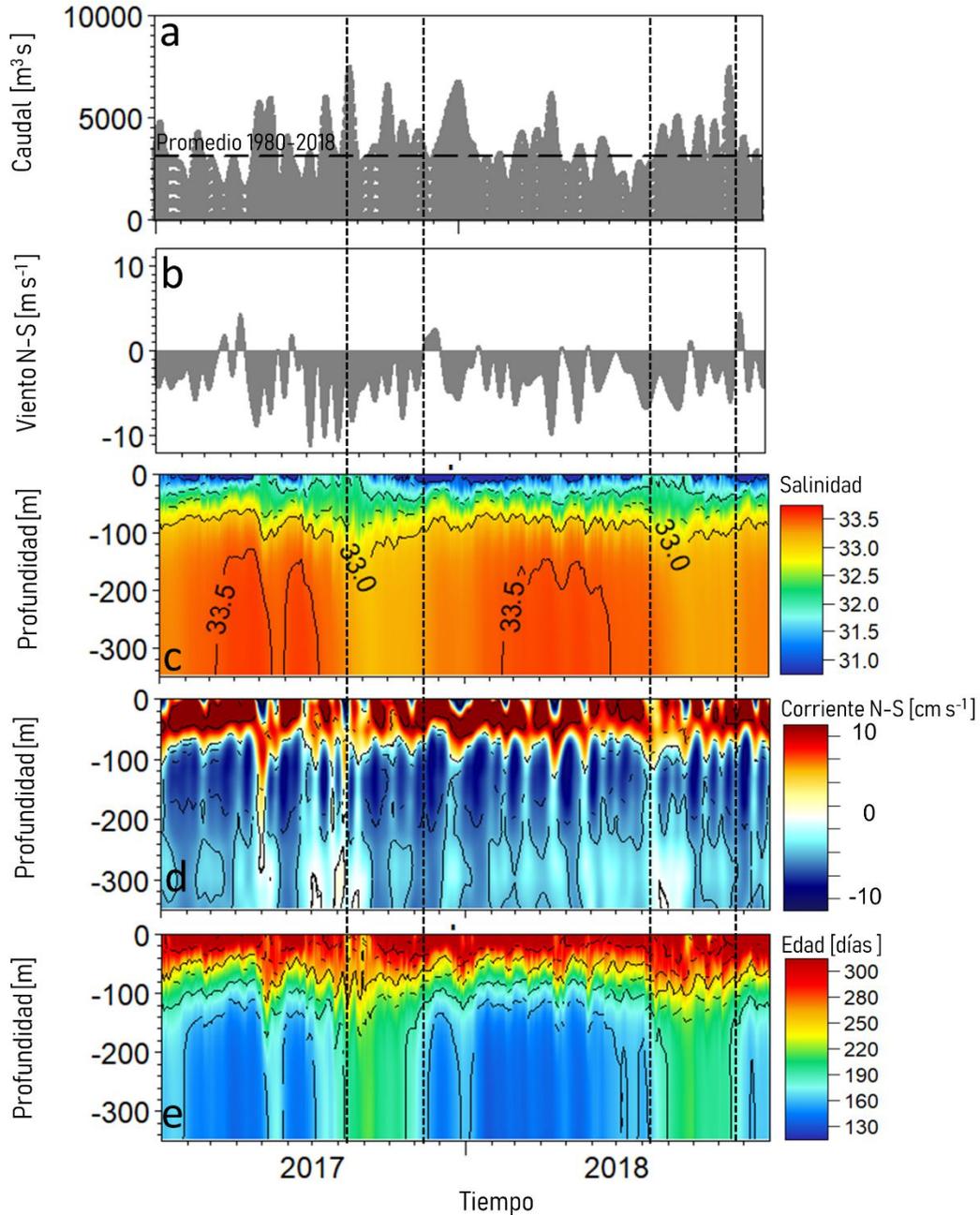


Figura 34. Series temporales de a) caudales totales descargados en el mar interior de Aysén, b) componente N-S del viento del modelo WRF y perfiles temporales de c) salinidad, d) corriente N-S filtrada (filtro coseno lanczos 15-d) y edad del agua en canal Moraleda para el periodo 2017-2018.

5.2 **Objetivo 2.2.2.** *Realizar una caracterización biogeoquímica a través de observaciones de nutrientes (nitrato, fosfato y silicato) de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y biomasa fitoplanctónica.*

Para una mejor comprensión de los resultados, la Distribución espacial de: salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato, dada la extensión de la información, se presentan sistemáticamente descritos en **anexo I**.

5.2.1 **Condiciones oceanográficas (oxígeno disuelto, temperatura, salinidad y nutriente) en la Boca del Guafo.**

Las series de tiempo de oxígeno disuelto, consideró profundidades de 20, 70 y 105 metros, la serie de 140 metros fue descartada, por presentar datos anómalos o no concordantes. Todas las series evidenciaron una señal estacional similar: elevadas concentraciones en periodo agosto octubre 2018, para descender abruptamente, entre diciembre (2018) a marzo (2019), a partir de marzo los niveles de oxígeno aumentan nuevamente. Las series que mostraron mayor fluctuación fueron las de 70 y 105 metros. La serie de 20 m registró rangos entre 1,83 a 6,20 ml/L, con una concentración media de 5,19 ml/L. La serie de 70 m osciló entre un mínimo de 2,16 a 6,20 ml/L, con una concentración promedio de 4,74 ml/L, la serie de oxígeno más profunda (105 m), registró el promedio más bajo de todas las demás series con un valor de 3,35 ml/L, fluctuando entre un mínimo de 2,16 ml/L a un máximo de 5,72 ml/L (figura 35a). Con la serie de 105m, que fue la más profunda se efectuaron promedios mensuales, para caracterizar un ciclo anual promedio, donde efectivamente se observa que el oxígeno es menor en los periodos estivales y aumenta en los periodos invernales (figura 35b).

Las series de tiempo de temperatura examinaron 4 profundidades: 20 m, 70 m, 105 m y 140 m (figura 35c). La serie superficial (20 m), evidenció una alta fluctuación con temperatura mínima de 9,62 °C y máxima de 11,97 °C, con una temperatura promedio de 10,6°C. La serie de 70 m registró rangos desde 9,05 °C hasta 11,42 °C con una temperatura media de 10,0°C. la serie de 105 m osciló entre una temperatura mínima de 8,73 °C y un máximo de 11,54 °C, con una temperatura promedio de 10,0 °C. La serie de 140 m registro la menor temperatura promedio de todos los demás estratos, con 9,46 °C, oscilando entre 8,57 °C a 10,6 °C, respectivamente.

La temperatura en la capa superficial evidenció un ciclo anual, con su máxima temperatura en verano, descendiendo abruptamente hasta la primavera, periodo en el cual comienza nuevamente su ascenso (figura 35e). En contraste en el estrato de 105m el ciclo anual de la temperatura es diferente, la temperatura aumenta desde enero hacia el invierno (julio-agosto), periodo donde alcanza sus máximos valores, a partir del invierno la temperatura desciende nuevamente hasta diciembre (figura 35d).

Otro aspecto importante de señalar es que, las mediciones de CTDO (zona contiguas a la posición de del anclaje con los diversos sensores) realizados tanto en este estudio como en estudios anteriores ejecutados por IFOP en la boca del Guafo (figura 35d), indican que la presencia de las mínimas de oxígeno disuelto, se encuentran asociadas a la masa de agua AESS (Agua Ecuatorial SubSuperficial), denotada por la Isolina de 34 psu, correspondiendo una concentración de oxígeno $\approx 3,5$ ml/L, de esta forma, se evidencia que en todos periodos medidos (2018, 2019, 2020), se exhibe una elevación de

la isahalina de 34 psu, que se hace notorio entre octubre y febrero, llevando hacia estratos menos profundos estas bajas concentraciones de OD.

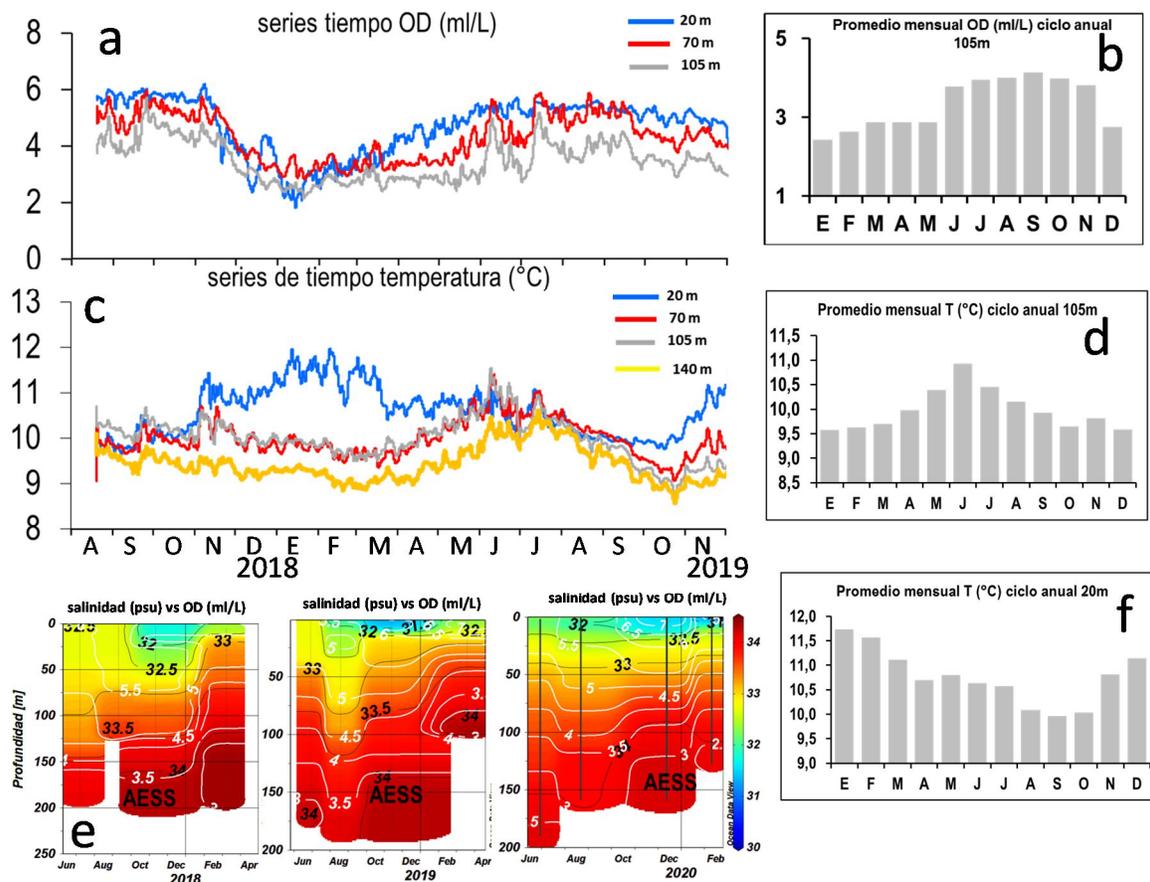


Figura 35. a) serie de oxígeno disuelto (ml/L) filtradas b) promedio mensual del oxígeno disuelto para esquematizar un ciclo anual. c) series de tiempo de la temperatura filtradas. d) promedio mensual de la temperatura serie de 105 m para esquematizar un ciclo anual. Interpolación de la salinidad, diferentes periodos de CTDO en la boca del Guafo integrando en la graficas de salinidad, isóneas de oxígeno disuelto (ml/L).

Por otra parte, también es importante señalar que las bajas de oxígeno que se observan en los datos de CTDO, sobre todo en las zonas con mínimas de oxígeno (2-3,5 ml/L) se encuentre estrechamente relacionadas con altas concentraciones de nutrientes, por lo menos en el periodo de 2019 y 2020, principalmente nitrato ($>18-20 \mu\text{M}$) y fosfato ($1,8-3 \mu\text{M}$), mientras que en la capa superficial se denota elevadas concentración de oxígeno disuelto $>5 \text{ ml/L}$ y bajos valores de nitrato $<10 \mu\text{M}$ y fosfato $<1,5 \mu\text{M}$ (Figura 36).

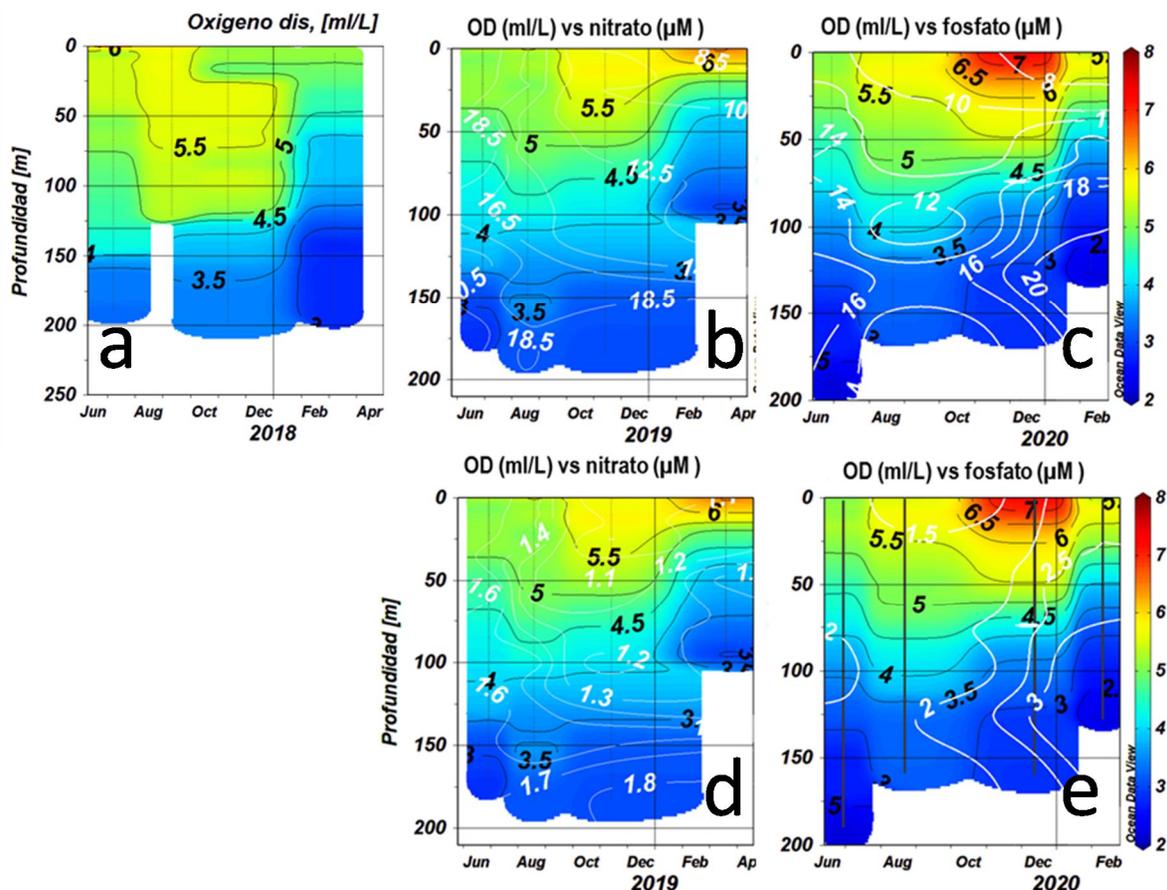


Figura 36. Distribución vertical oxígeno disuelto (interpolado temporal) en estaciones de CTDO en la boca del Guafo, periodos 2018, 2019 y 2020, integrando la distribución vertical de la concentración de nutrientes (isolíneas blancas), para periodos 2019 y 2020 Nitrato (b, d) y fosfato (c, e).

5.2.2 Condiciones oceanográficas (oxígeno disuelto, temperatura y nutrientes) en Fiordo Quitalco (boca).

Las series de tiempo de oxígeno disuelto, consideró profundidades de 20, 90 y 110 metros, la serie de 20 m solo incluyó datos hasta julio de 2019 (figura 37 panel superior izquierdo). La serie de 20 m, registró una alta fluctuación, oscilando entre un mínimo de 3,52 ml/L a máximos absolutos de 6,89 ml/L, con una concentración media de 5,33 ml/L. con los datos promediados de temperatura se esquematizó un ciclo anual promedio, se observó que la concentración de oxígeno desciende desde verano (enero-febrero) hasta el otoño (abril), a partir de abril la concentración aumenta hasta la primavera (septiembre-noviembre), en diciembre comienza a disminuir (figura 37, panel superior derecho). Las series de 90 y 110 m, exhibieron un patrón similar entre junio de 2018 a junio de 2019. La serie de 90 m, fluctuó entre mínimo de 3,53 ml/L a máximos de 5,48 ml/L. esta serie en julio -agosto de 2018, exhibió concentraciones ~5 ml/L, desde este periodo hasta julio agosto 2019, exhibió una señal de descenso continuo hasta valores ~4 ml/L, en agosto de 2019 la concentración experimentó un abrupto aumento, hasta alcanzar valores >5ml/L. La serie de 110 m fluctuó entre un máximo

absoluto de 2,53 ml/L, registrado en julio de 2019 y un valor máximo de 5,29 ml/L en octubre de 2019, la concentración media fue de 4,25 ml/L. se utilizaron los promedios mensuales de esta serie, para hacer una ciclo anual promedio, el cual reveló que los valores de oxígeno disminuyen desde el verano hacia los meses de otoño -invierno, a partir de julio, la concentración aumenta hasta la primavera donde se visualizan los máximos (Octubre) a partir de este periodo los valores disminuyen hasta diciembre. Las observaciones de CTDO (figura 37 panel inferior izquierdo) en puntos cercanos a la instalación de los sensores (Panel inferior derecho), indicaron que la salinidad no se encuentran acoplada la concentración de oxígeno disuelto (como fue el caso de las observaciones del Guafo), si se aprecia que en junio de 2020, la capa entre las isohalinas de 29,5 - 30 psu, estaría ingresando oxígeno hacia el interior del fiordo con concentraciones de ~5ml/L, ya que estas isohalinas, que se profundizan (en los perfiles de agosto y diciembre) podrían estar transportando oxígeno.

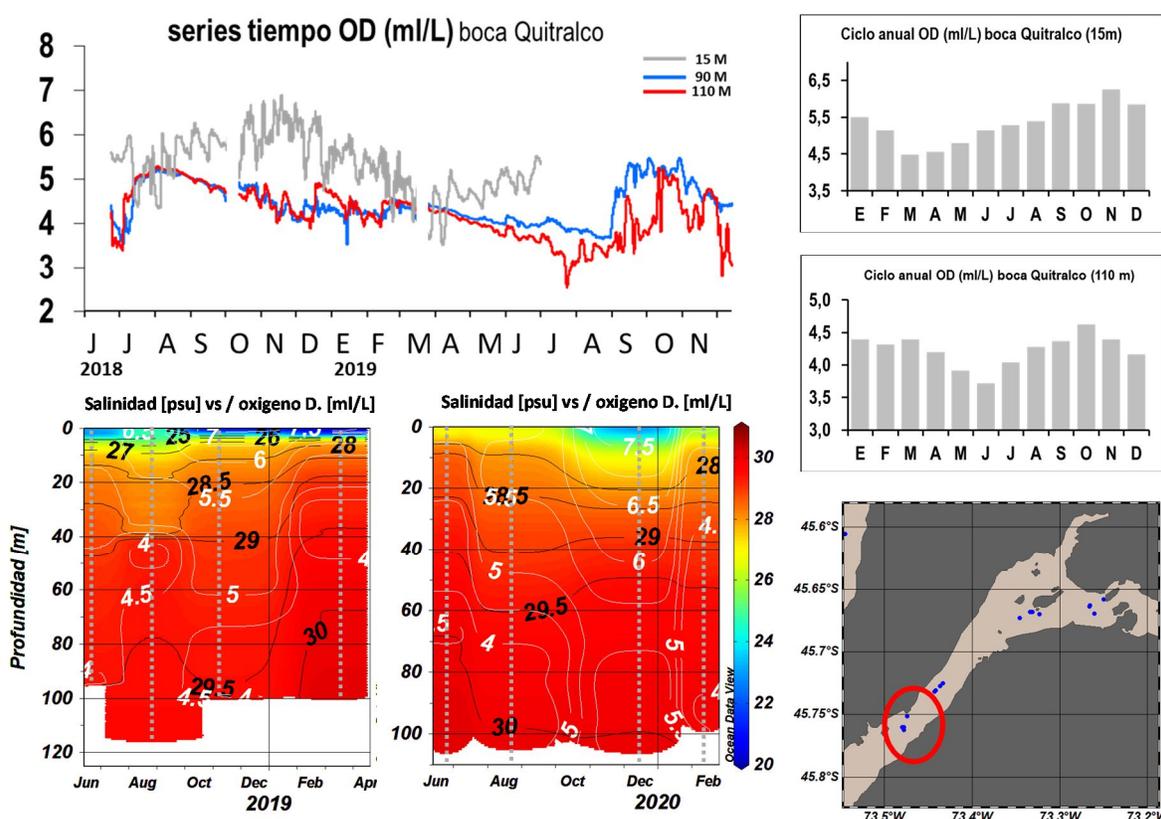


Figura 37. Panel superior izquierdo: serie filtradas de oxígeno disuelto (ml/L). Panel superior derecho: promedio mensual del oxígeno disuelto para esquematizar un ciclo anual, en la serie de 15 m y 110m. Panel inferior: Interpolación de la salinidad, diferentes periodos de CTDO, en la boca del fiordo Quitralko integrando en la graficas de salinidad, isolíneas de oxígeno disuelto (ml/L), líneas blancas (salinidad [psu]) vs oxígeno D. [ml/L]).

La serie de temperatura de 15 m, registró una temperatura media de 10,6°C fluctuando entre mínimos de 8,77 a máximo de 12,62 °C, respectivamente. Con los promedios mensuales se realizó un ciclo anual promedio, donde se observó que la temperatura es máxima en los meses estivales, disminuyendo hacia el invierno, a partir de primavera (septiembre) nuevamente aumenta la temperatura. Las series de 90m y 110m presentaron el mismo patrón temporal, y similares rangos de fluctuación, la serie de 90 m registró una temperatura promedio de 10,46 °C mientras que la serie de 110m registró una temperatura media de 10,50°C. con los promedios mensuales temperatura de la serie de 110 se realizó un ciclo anual promedio, de esta forma, la temperatura aumenta desde el verano hacia los meses de otoño (abril-mayo), a partir de este periodo la temperatura disminuye hasta la primavera, a partir de la primavera la temperatura comienza a aumentar de forma paulatina.

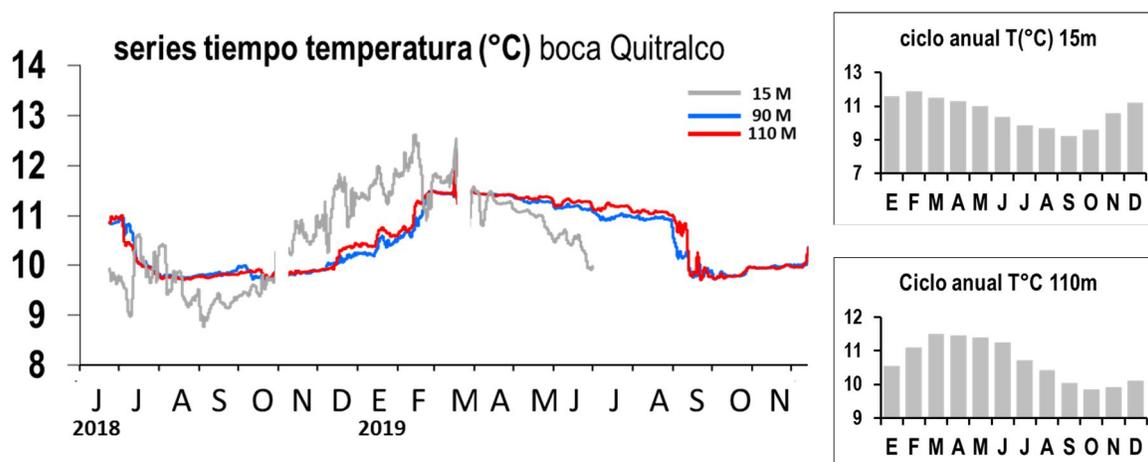


Figura 38. serie de tiempo de temperatura en la boca del fiordo Quitralko (panel izquierdo), panel derecho promedios mensuales de temperatura para la serie de 15m y 110 m .

Es importante señalar que en la boca del Fiordo Quitralko, tanto en este periodo, como en el periodo anterior, se registraron concentración de oxígeno disuelto, menor a lo registrado en las estaciones fuera del fiordo (anexo 1 figura 2, 3 , 4 y 5), aunque los valores mínimos estuvieron entre 4-4,5 ml/L, en este sentido, destacan que los valores bajos de oxígeno, están relacionados con mayores valores de nutrientes, principalmente fosfatos y silicatos, en contraste, altos valores de oxígeno disuelto coinciden con bajos niveles de nutrientes, estos registros corresponde a la posición geográfica donde se realizó el anclaje de los sensores de oxígeno y temperatura, descrito anteriormente (figura 38).

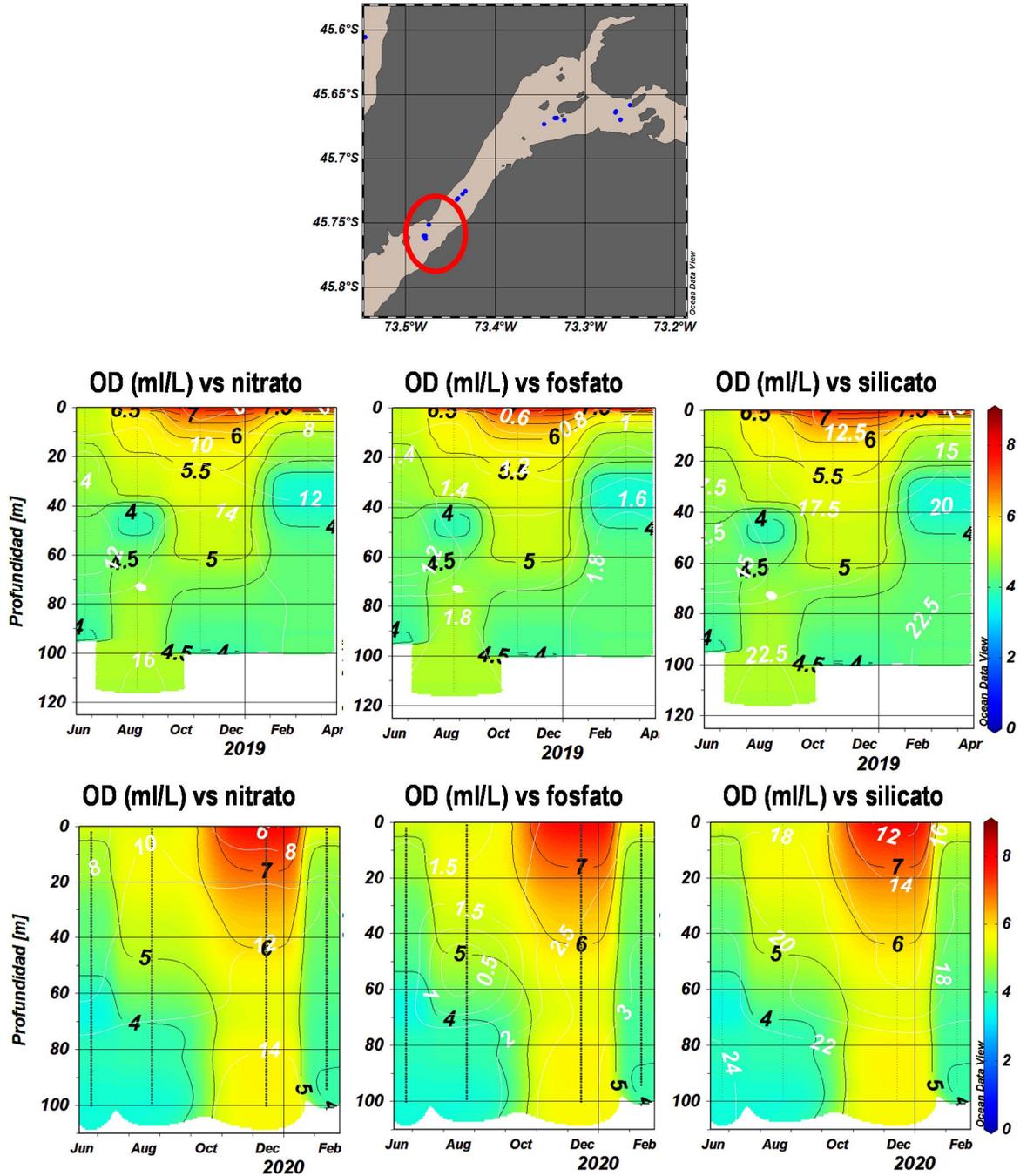


Figura 38. Distribución vertical oxígeno disuelto (interpolado temporal) en estaciones de CTDO en la boca (entrada) fiordo Quintralco, periodos, 2019 y 2020, integrando la distribución vertical de la concentración de nutrientes (isolíneas blancas), nitrato (μM), fosfato (μM) y silicato (μM).

5.2.3 Condiciones oceanográficas (oxígeno disuelto, temperatura y nutrientes) en Fiordo Quitralco (cabeza)

Es importante señalar que esta serie no formaba parte de estudio, pero el retraso generado en los análisis químicos de nutrientes, (detallado en gestión del proyecto), generaron que se pudiera incluir dentro de estos resultados, series de tiempo de oxígeno disuelto y temperatura, solo se describirán a 90 y 110 metros, este anclaje fue instalado en la depresión que el fiordo posee hacia la cabeza con una profundidad máxima de 280m, para tener una idea la batimetría del fiordo oscila entre 100-120m. La fluctuación de las series de oxígeno disuelto exhibió un patrón similar, la serie de 90 m, tuvo una concentración promedio de 3,34 ml/L, oscilando entre rango de 3 a 3.84 ml/L, la serie de 110m registró fluctuaciones entre mínimos de 2,81 a valores máximo 3,62 ml/L, con una concentración media de 3,32 ml/L. ambas series exhibieron elevados valores en diciembre-enero, para disminuir sostenidamente hasta agosto, en septiembre-octubre aumentan significativamente, registrando una alta fluctuación, con los promedios mensuales (serie de 110 m) se estableció una ciclo anual, teniendo la salvedad que no se contó con datos de noviembre. Aun así, se aprecia como la concentración de oxígeno sería máxima en periodo estival (enero-febrero) y primavera (octubre-diciembre), correspondiendo al otoño-invierno (junio-agosto) los menores valores (figura 39 panel superior derecho).

Durante el periodo 2019, se efectuaron observaciones de CTDO en la zona limítrofe de la depresión y se detectaron bajas concentraciones de oxígeno en fondo, figura 39, panel inferior (I), estas concentraciones estuvieron por debajo de los 3 ml/L llegando a 2 ml/L en diciembre de 2018, por lo que significó un primer registro de hipoxia, en esta parte del fiordo, de manera más drástica las observaciones de oxígeno realizadas con CTDO dentro de la depresión durante 2019-2020, arrojaron que debajo de los 150 m la concentración de oxígeno disminuye a niveles drástico en la parte más profunda, donde registradan concentraciones $\approx 0,5$ ml/L, aunque no se visualiza una marcada relación entre la salinidad y el oxígeno disuelto, si llama la atención en esta parte del fiordo, la profundización de la isohalina de 30 psu, en junio se localiza a 75 m aprox. mientras que en diciembre se localiza a 150 m. Es importante señalar que los sensores de oxígeno fueron instalados sobre la profundidad donde se produce las mínimas de oxígeno, por este motivo las series no registraron los niveles de hipoxia.

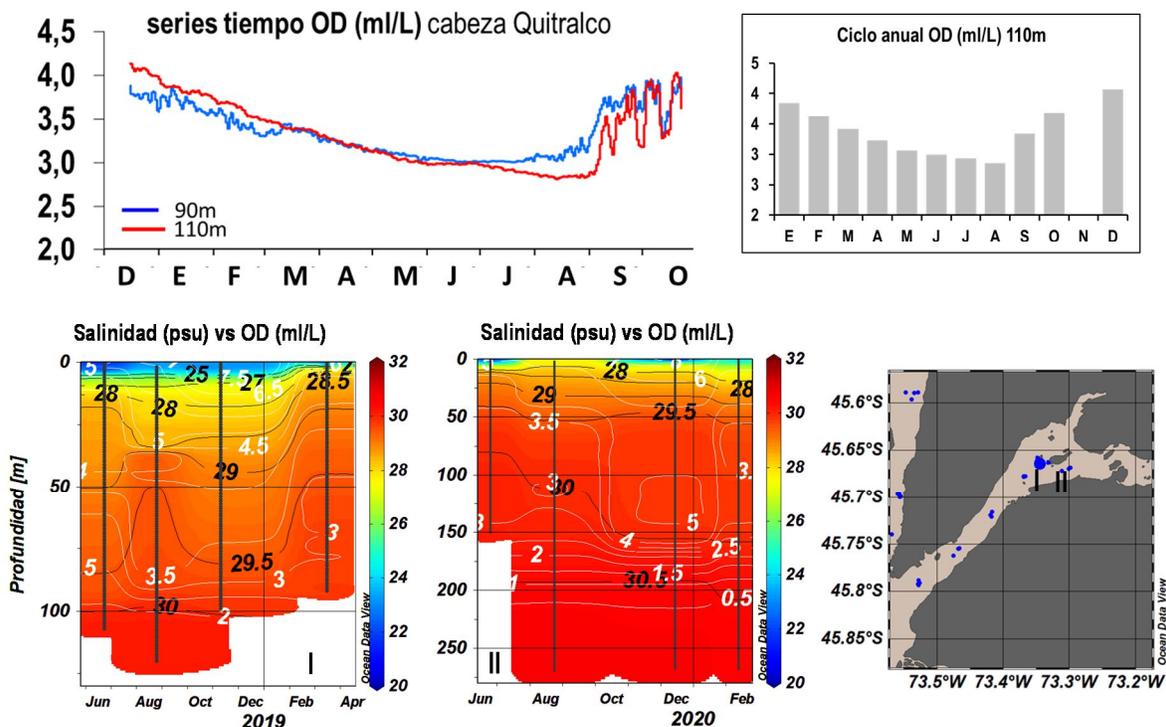


Figura 39. Panel superior izquierdo: serie de oxígeno disuelto (ml/L) filtradas. Panel superior derecho: promedio mensual del oxígeno disuelto para esquematizar un ciclo anual, en la serie de 110m. Panel inferior: Interpolación de la salinidad, diferentes periodos de CTDO, en la zona aledañas a la depresión fiordo Quitralco y dentro de la depresión del fiordo Quitralco, estas interpolaciones integraron en las gráficas de salinidad, isolíneas de oxígeno disuelto (ml/L), líneas blancas.

En estos resultados también se incluyeron las series de temperatura de 90 y 110m (figura 40), ambas series registraron el mismo patrón de tendencia: bajos valores de temperatura en diciembre con un aumento sostenido hacia los meses de invierno (julio-agosto), después de estos periodos la temperatura nuevamente desciende hacia diciembre. La serie de 90 m registró una temperatura media de 10,57°C fluctuando entre mínimos de 10,14 a máximo de 10,90 °C., la serie de 110 m, fluctuó entre un mínimo de 10,13 °C a un máximo de 10,77°C, con una temperatura media de 10,13 °C. Con los promedios mensuales se realizó un ciclo anual promedio (excluyendo el mes de noviembre), no obstante, en la gráfica se aprecia como la temperatura aumenta desde el verano hacia el invierno y disminuye desde el invierno hacia la primavera (panel superior derecho).

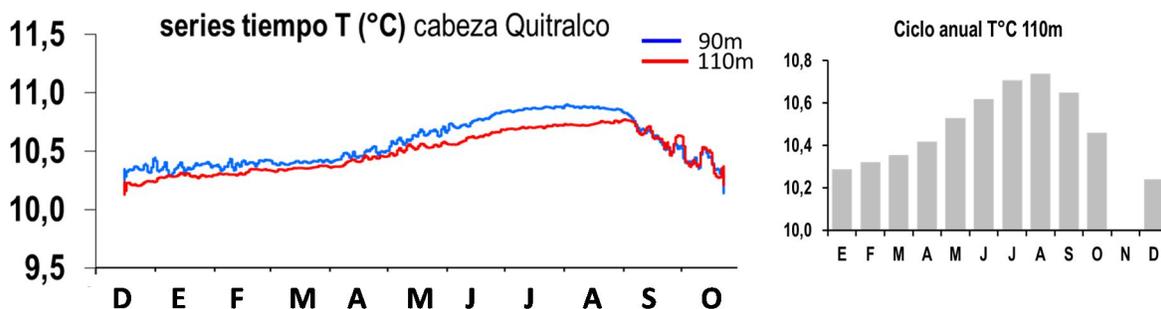


Figura 40. serie de tiempo de temperatura en la depresión del fiordo Quitralko (panel izquierdo), panel derecho promedio mensual de temperatura para la serie de 110 m.

Uno de los aspectos más relevantes en la zona aledaña y dentro de la depresión, corresponde a los bajos valores de oxígeno disuelto (figura 41) y como estos valores se relacionan con altas concentraciones de nutrientes, nitrato, fosfato y silicato, sobre todo en el caso de los fosfatos y silicatos, estos valores de nutrientes son mayores a los registros de las estaciones localizadas en la boca. Otro aspecto que es importante señalar corresponde a las mediciones históricas que se han realizado en la misma zona de la depresión (figura 42), así el registro más antiguo corresponde a la expedición Hudson 1970, cuyo perfil indicó valores de 3,3 ml/L, también llama la atención que mediciones efectuadas por los diferentes cruceros CIMAR, no registraron valores de hipoxia de esta magnitud en la misma zona, con estos antecedentes sugieren que estos eventos de hipoxia serían recientes.

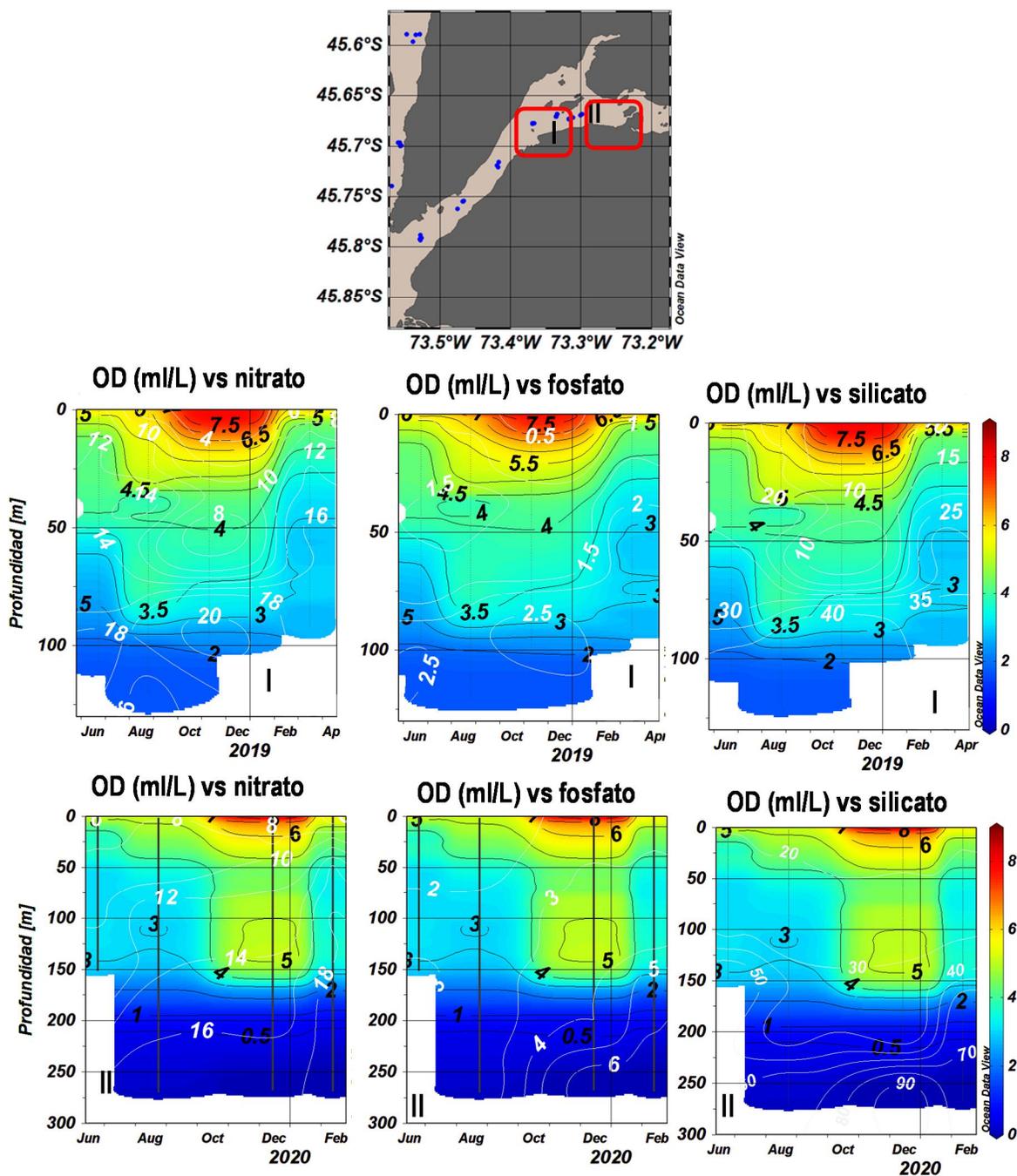


Figura 41. Distribución vertical oxígeno disuelto (interpolado temporal) en estaciones de CTDO en la depresión batimétrica del fiordo Quintralco, periodos, 2019 y 2020, integrando la distribución vertical de la concentración de nutrientes (isolíneas blancas), nitrato (μM), fosfato (μM) y silicato (μM).

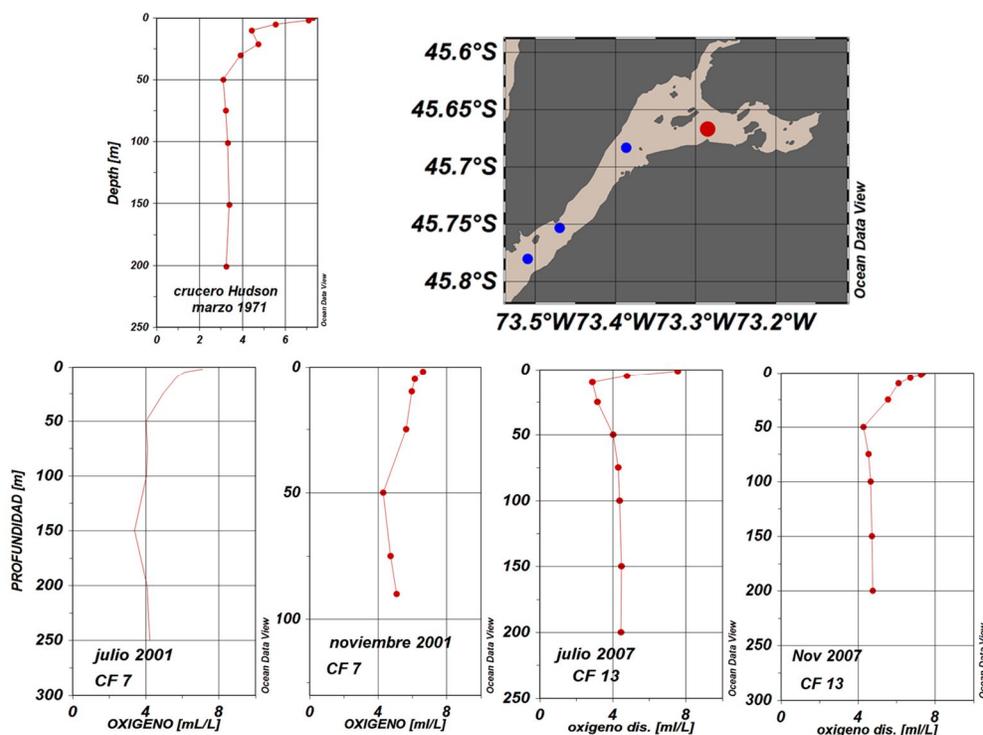


Figura 42. Perfiles de oxígeno disuelto, realizadas en la cabeza del fiordo Quintralco, por diferentes expediciones: Hudson 1971, cruceros CIMAR año 2001 y 2007.

5.2.4 Zonificación de clorofila

Se realizó una zonificación de la clorofila (figura 43) para determinar cuáles serían las zonas más productivas, mediante los promedios integrados de clorofila total, tanto en la capa superficial como en la capa desde los 100m hasta 0 m. El promedio general de la clorofila total de 0-100 m fue de $19,5 \text{ mg m}^{-2}$, mientras en la capa superficial 0-25m la media fue de $13,5 \text{ mg m}^{-2}$, con estos resultados junio y agosto fueron poco significativos, con valores debajo de la media, excepto las estaciones del fiordo Comau, donde los valores de clorofila fueron tan significativos como los registros de diciembre, donde destacan las estaciones del golfo Ancud, el fiordo Aysén y canal Errazuriz. De esta forma durante este periodo se localizaron 3 zonas productivas: cuenca norte de las islas desertores (fiordo Comau, golfo Ancud) y otra en el MIA que correspondió fiordo Aysén y menor medida al canal Jacaf.

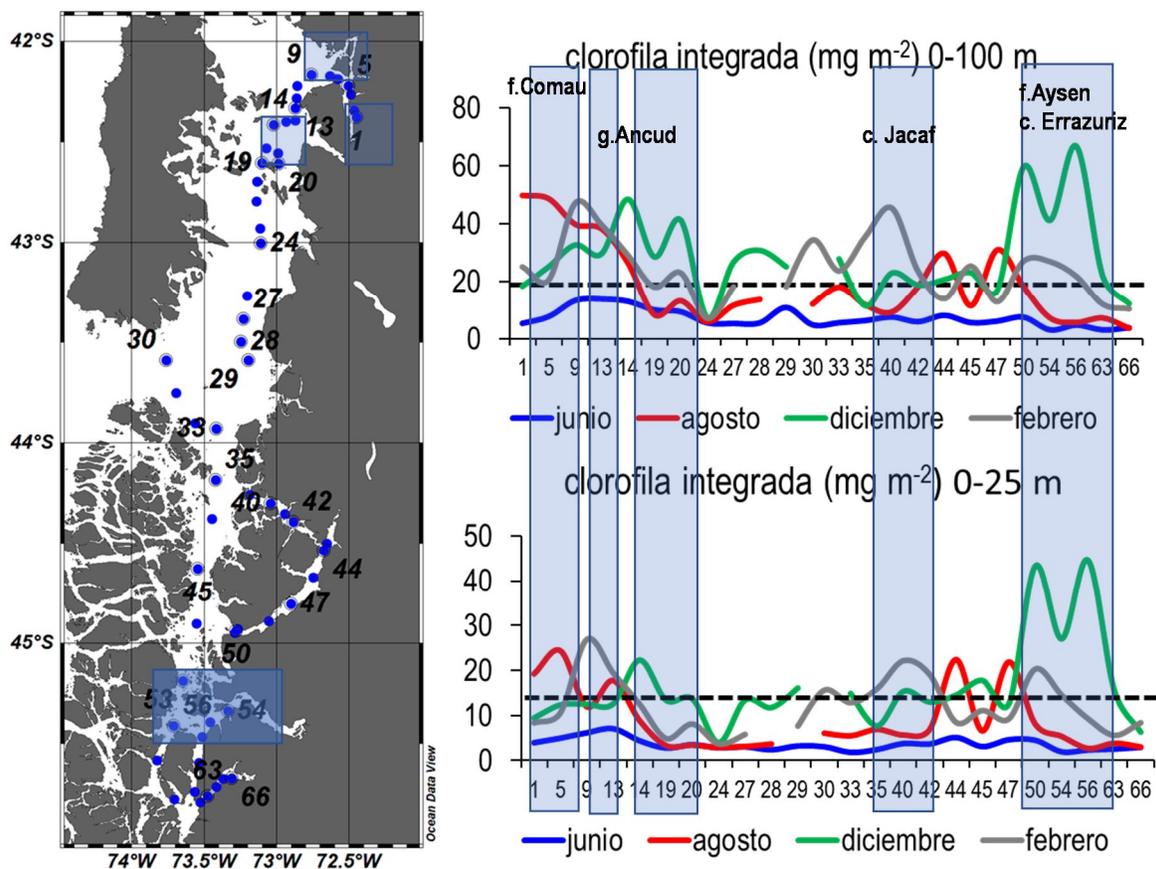


Figura 43. Concentración de clorofila promedio integrado y zonificación con mayores niveles de productividad (línea punteada negra indica los promedios de clorofila).

5.3 Objetivo 2.2.3. *Determinar las principales fuentes naturales de nutrientes que aportan al sistema y realizar el balance de nutrientes.*

5.3.1 Fuentes de información ingresadas para la modelación en estero Compu

a) Flujos de agua dulce en estero Compu

Con la información obtenida del modelo VIC (Variable Infiltration Capacity) se cuantificó la cantidad de agua dulce total, sumando los aportes que cada cuenca y microcuenca realiza por separado al sistema de estero Compu lo que significó un promedio anual total de $3234 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, de esta forma se promedió los caudales, para obtener una configuración estacional promedio de invierno, primavera y verano. Con la información obtenida desde la estación pluviométrica de Quellón ($-43,1086^\circ\text{S}$ y $-73,6119^\circ\text{O}$), se estimó la cantidad de agua dulce que ingresó al estero, considerando la superficie total del estero, con un promedio anual de $891 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Asimismo, se promediaron los flujos de agua, para obtener la configuración estacional de invierno primavera y verano. Con estos resultados, se evalúa que dentro del estero Compu, el mayor aporte de agua dulce estaría ocurriendo por descarga de ríos en una proporción aproximada pluvial:fluvial de 1:3. Los diferentes aportes de agua dulce que fueron ingresados a la modelación se detallan en la tabla 7

Tabla 7: Flujos de agua dulce promedio, utilizados para el balance de agua en la modelación de LOICZ, para el estero Compu.

	caudal precipitación (Vp)	caudal rio (Vq)
	$10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$	$10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
invierno	1018	4194
primavera	783	2208
Verano	692	1360
promedio anual	891	3234

b) Carga de nutrientes pluvial y fluvial en estero Compu

Con la información obtenida en el estudio realizado por Prado -Fiedler y Salcedo-Castro, se realizó una aproximación sobre la carga de nitrógeno (nitrato + amonio), que estaría ingresando por esta vía al estero Compu, con un promedio anual de 0.0972 mg/L , considerando que este estudio cubrió un ciclo anual completo (febrero 2001-enero 2002), también se estimaron promedios para invierno, primavera y verano, para la configuración temporal de la modelación dentro de esta zona. Por otro lado, las mediciones de nutrientes realizadas, permitieron estimar las cargas para los diferentes periodos dentro de la configuración del modelo, indicando que el mayor aporte de nutrientes se produciría en periodo de verano tanto para al nitrógeno con $0,2906$ como para el caso del fosforo $0,2846 \text{ mg/L}$. los detalles para las diferentes cargas de nutrientes que fueron ingresadas al modelo se encuentran detalladas en la tabla 8.

Tabla 8: Aporte promedio en la carga de nutrientes pluvial y fluvial, en los diferentes periodos utilizados para el balance de nutrientes en la modelación de LOICZ, para el estero Compu.

	carga N precipitación	carga N rio	carga P rio
	DIN (nitrato + amonio)	DIN (nitrato + nitrito)	DIP (fosfato)
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
invierno	0,1235	0,1811	0,0322
primavera	0,0809	0,2500	0,0600
Verano	0,1021	0,2906	0,2846
promedio anual	0,0972	0,2406	0,1256

c) Condiciones oceanográficas: salinidad y nutrientes en estero Compu

Para las características hidrográficas de la columna de agua se utilizaron mediciones realizadas en diferentes periodos, con mediciones de CTDO y muestras de agua para nutrientes (figura 44, panel superior derecho). En la distribución vertical de la salinidad, la columna de agua de estero Compu, se observó con una marcada tendencia a la homogénea, bajo estas condiciones, el sistema fue considerado mezclado, no obstante, es importante mencionar que la salinidad del sistema marino (M) estaciones 25, 26, 27, registraron en promedio una salinidad mayor que la salinidad del sistema estuarino (F).

También se logró observar un gradiente horizontal, donde la salinidad aumenta paulatinamente desde la cabeza del estero hacia la boca. En el caso de los nutrientes, particularmente el nitrato se observó una capa superficial de baja concentración, en las estaciones situadas dentro del sistema ($<8 \mu\text{M}$), debajo de esta capa superficial la concentración de nitrato fu mayor a $10 \mu\text{M}$, destacando los periodos de primavera y verano con concentraciones mayores a $12 \mu\text{M}$. Además, es importante señalar que durante estos periodos (primavera y verano) se registró un gradiente horizontal, en donde los menores correspondieron al interior del sistema, mientras que en las estaciones fuera del borde, en todos los niveles. el nitrato fue más elevado, se aprecia un aumento de la concentración desde el invierno hacia el verano.

El fosfato presentó un patrón similar al del nitrato, aunque es dificultoso apreciarlo, dadas las elevadas magnitudes de los valores de marzo y que acentúa la percepción de la paleta de colores de este periodo, en contraste con el invierno y la primavera. En todos los periodos se observó una capa superficial con valores inferior a $1.2 \mu\text{M}$ (invierno y primavera) y la capa más profunda con valores $\sim 1.4-1.6 \mu\text{M}$, mientras que en el verano la capa superficial registró valores $<2.6 \mu\text{M}$, mientras que, en la capa más profunda la concentración fue mayor a $3 \mu\text{M}$. No se observó una gradiente vertical como el registrado en el nitrato. Si es importante señalar que se observó un aumento paulatino de la concentración desde el periodo invierno hacia el periodo de verano, registrando los mayores valores en toda la columna de agua.

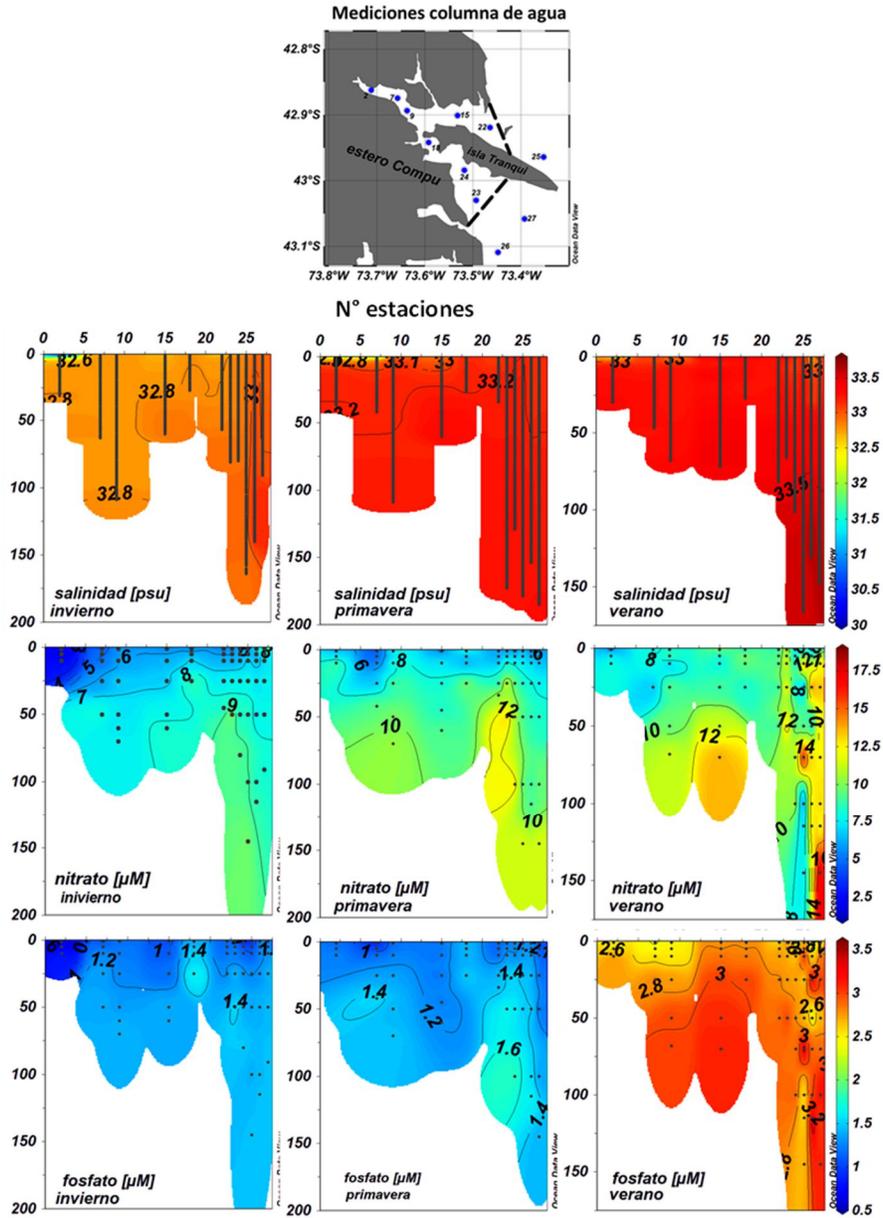


Figura 44. Distribuci3n espacial (vertical) de salinidad y nutrientes (nitrato y fosfato) dentro del estero Compu. Panel superior derecho estaciones con mediciones de CTDO y muestras de agua para nutrientes, considerados en el balance.

5.3.2 Balance de nutrientes en estero Compu

a) Balance de nutrientes para el flujo de Fosforo (Δ DIP), en estero Compu.

Dentro del estero Compu todos los valores para el flujo de fosforo fueron negativo lo que indicó que el sistema se comportó como un reservorio neto, en todos los periodos modelados (invierno, primavera y verano). Acentúan los elevados valores en el flujo de fósforo detectados en primavera (-8.062 kg d^{-1}), que superara en casi el doble los valores modelados en otoño e invierno con -4.883 y 4.407 kg d^{-1} , respectivamente. Para el caso del metabolismo (NEM), se replicó el mismo patrón del Δ DIP, así los menores valores se detectaron en invierno $200.351 \text{ Kg C d}^{-1}$ y verano $180.832 \text{ Kg C d}^{-1}$, en contraste con el mayor valor en primavera $330.796 \text{ kg d}^{-1}$. Es importante señalar que el metabolismo durante todos los periodos, indicó que el sistema estuvo dominado por la heterotrofia, con valores positivos de NEM (figura 45).

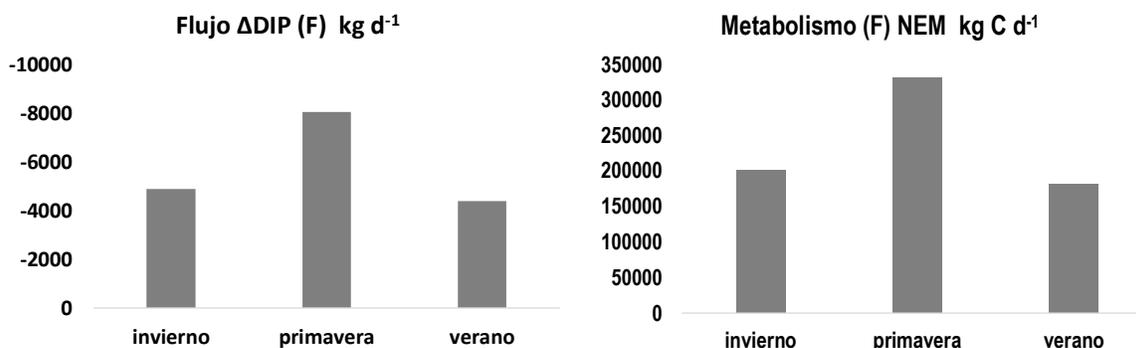


Figura 45. Flujo de fosforo Δ DIP para cada periodo estacional modelado (panel izquierdo). Metabolismo del sistema para cada uno de los periodos estacionales modelados (panel derecho).

b) Balance de nutrientes para el flujo de Nitrógeno (Δ DIN) en estero Compu

El flujo de nitrógeno reveló que se produjo una alternancia, tanto en los valores como en los patrones, el flujo en invierno fue negativo ($-66.962 \text{ kg d}^{-1}$) lo que indicó un comportamiento de sumidero, en contraste en primavera el flujo fue positivo con 67.157 exhibiendo un comportamiento de exportador neto, en verano nuevamente se reveló un flujo de nitrógeno negativo con $-76.099 \text{ kg d}^{-1}$ (comportamiento de sumidero). Este patrón también fue consistente con lo exhibido para los valores de $[\text{Nfix-Denit}]$, ya que en invierno y verano se registraron valores negativos con $-31.680 \text{ kg d}^{-1}$ y $-44.255 \text{ kg d}^{-1}$, respectivamente, lo que indicó que en ambos periodos predominó la desnitrificación, de manera contraria en primavera el $[\text{Nfix-Denit}]$, fue positivo (31.680 kg d^{-1}) lo que indicó una prevalencia de la fijación (figura 46).

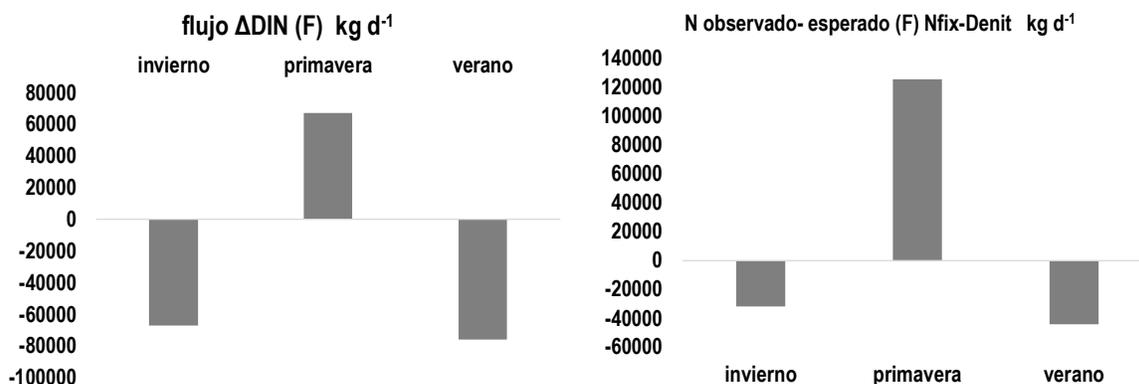


Figura 46. Flujo de nitrógeno Δ DIN para cada periodo modelado. Diferencia entre los flujos observados y esperados (panel derecho).

c) Flujos de nutrientes promedio anual, esquema simplificado para estero Compu

Para un ciclo anual promedio tenemos que los flujos de nutrientes pueden ser resumidos mediante el esquema de la figura 47. Para el caso de los flujos de fósforo (fosfato), el modelo indica un ingreso de fósforo por aportes fluvial (P_q) de 406 kg d⁻¹, mientras que se estaría produciendo un flujo horizontal, desde el mar interior (P_x), el cual realiza un ingreso neto dentro del estero Compu de 7.520 kg d⁻¹, mientras que existiría un flujo residual (P_r) de salida de fósforo de 637 kg d⁻¹. De esta forma el sistema tiende a comportarse como un sumidero de Δ DIP (-7.289 kg d⁻¹), con un metabolismo predominado por los autótrofos, NEM positivo (299.093 kg d⁻¹). Para el caso del nitrógeno las modelaciones indicaron un ingreso por aportes de ríos (N_q) de 778 kg kg d⁻¹, mientras que por aportes de lluvia (N_p) corresponderían solo a 87 kg d⁻¹. Al igual que en el caso del fósforo el flujo horizontal (N_x) genera un ingreso neto de nitrógeno al estero Compu de 81.219 kg d⁻¹. De manera opuesta el modelo reveló que saldría mediante el flujo residual, un promedio de 2.198 kg d⁻¹. Con estos resultados el estero Compu se comporta como sumidero de nitrógeno neto (-79.885 kg d⁻¹) y con predominancia de la desnitrificación. En resumen, dentro del estero Compu, se estaría produciendo un ingreso neto de nutrientes, desde el Mar interior de Chiloé, que sería la principal fuente natural de nutrientes, en una magnitud mayor que los aportes de río y lluvia (figura 47).

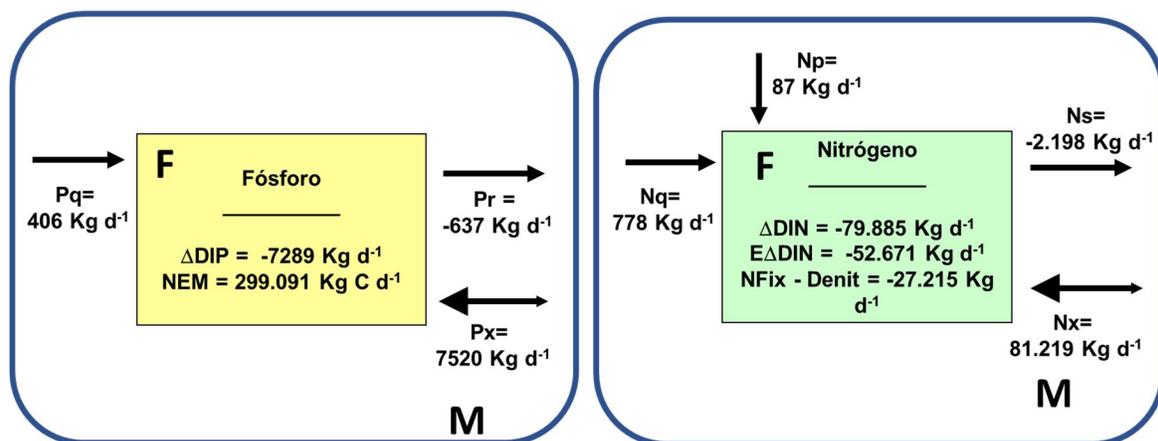


Figura 47. Esquema para exponer el flujo de nutriente dentro del sistema de estero Compu, en un ciclo anual promedio.

5.3.3 Fuentes de información ingresadas para la modelación en fiordo Quitralco.

a) Flujos de agua dulce en fiordo Quitralco.

Con la información obtenida del modelo VIC (Variable Infiltration Capacity) se cuantificó la cantidad de agua dulce total, sumando los aportes que cada cuenca y microcuenca realiza por separado al sistema de fiordo Quitralco, lo que significó un promedio anual total de $9975 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, de esta forma se promedió los caudales, para obtener una configuración estacional, con promedios para los periodos de invierno, primavera y verano. Además, con la información correspondientes a la estación pluviométrica de la DGA en Puerto Chacabuco ($-45,4644^\circ\text{S}$ y $-73,8178^\circ\text{O}$), se evaluó el flujo de agua dulce que ingreso al fiordo por concepto de lluvia, en relación a la superficie total del fiordo, con un promedio anual de $849 \cdot 10^3 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. Estos flujos también fueron promediados, para obtener la configuración estacional de los periodos de otoño, invierno primavera y verano. Con estos resultados, indicaron que el mayor aporte de agua dulce estaría ocurriendo por descarga de ríos en una proporción aproximada pluvial:fluvial de $\sim 1:11$. Los diferentes aportes de agua dulce que fueron ingresados a la modelación se detallan en la tabla 9.

Tabla 9. Flujos de agua dulce promedio, utilizados para el balance de agua en la modelación de LOICZ, para el fiordo Quitralco.

	caudal precipitación (Vp)	caudal río (Vq)
	10 ³ m ³ d ⁻¹	10 ³ m ³ d ⁻¹
otoño	1033	10307
invierno	966	10390
primavera	741	11113
Verano	656	8088
promedio anual	849	9975

b) Carga de nutrientes pluvial y fluvial en fiordo Quitralco.

Con la información obtenida en el estudio realizado por Prado -Fiedler y Salcedo-Castro (2008) en el fiordo Aysén, se realizó una aproximación sobre la carga de nitrógeno (nitrato + amonio), que estaría ingresando por aporte pluvial, dentro del fiordo Quitralco, con un promedio anual de 0,0972 mg/L. debido a que en este estudio se cubrió un ciclo anual completo (febrero 2001-enero 2002), también se estimaron promedios para los periodos de otoño, invierno, primavera y verano, que fueron utilizados en la configuración temporal de la modelación dentro de esta zona. Por otro lado, con la información recopilada en los estudios anteriores IFOP y CIMAR 7 como fuentes de nutrientes en ríos, se estimó un promedio para los diferentes periodos que fueron modelados: otoño, invierno y verano, tanto en la carga de nitrógeno (nitrato + nitrito), como en la de fósforo (fosfato), con un promedio anual en cada uno de 0.0517 y 0.0321 mg/L respectivamente. Los valores para las diferentes cargas de nutrientes que fueron ingresadas al modelo se encuentran detallados en la tabla 10.

Tabla 10: Aporte promedio en la carga de nutrientes pluvial y fluvial, en los diferentes periodos utilizados para el balance de nutrientes en la modelación de LOICZ, para el fiordo Quitralco.

	caarga nitrógeno precipitación	caarga nitrógeno ríos	caarga fósforo ríos
	DIN (nitrato + amonio)	DIN (nitrato + nitrito)	DIP (fosfato)
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
otoño	0,0827	0,0239	0,0477
invierno	0,1235	0,0832	0,0171
primavera	0,0809	0,0464	0,0060
Verano	0,1021	0,0552	0,0578
Prom. anual	0,0972	0,0517	0,0321

c) Condiciones oceanográficas: salinidad y nutrientes en fiordo Quitralco

Condiciones Hidrográficas, mediciones en la columna de agua: La salinidad para los 4 periodos medidos, reveló una columna de agua estratificada, separando un estrato superficial (F1) de un segundo estrato (F2), los límites de estos estratos estuvieron definidos por la isohalina de 28 psu (figura 48) que fue la zona donde se produjo el máximo gradiente. Esta capa registró diferentes profundidades para los 4 periodos considerados. Es importante señalar que debajo de esta capa superficial, la salinidad tiende a aumentar de manera discreta registrándose en la columna de agua dentro del sistema (F2) una salinidad ~30 psu, contrastada, además, con la salinidad localizada fuera del sistema (M) estaciones 60 y 62 con una salinidad de ≥ 31 psu.

Los nutrientes (nitrato, fosfato, exhibieron el mismo comportamiento), la distribución vertical exteriorizó un estrato superficial con mínimos valores, un segundo estrato con un aumento sostenido a través de toda la columna de agua registrando los máximos en las zonas más profunda. Es importante señalar que los máximos valores se encontraron dentro del fiordo Quitralco (66 y 63) y corresponden al periodo de febrero. En la capa superficial (F1) dentro del fiordo Quitralco el nitrato exhibió valores medios de $7.5 \mu\text{M}$ mientras que el fosfato fue de $1.8 \mu\text{M}$, en el estrato más profundo (F2) la concentración de nitrato fue de $12.8 \mu\text{M}$, de esta manera también la concentración de fosfato fue $2.8 \mu\text{M}$. Esta condición significó que, en promedio las concentraciones de nutrientes, fueran ligeramente más elevadas dentro del fiordo Quitralco que la estación (56), utilizada de referencia como valores de nutrientes en sistema marino (M), así la capa superficial (M1) en esta zona registró valores de nitrato de $7.4 \mu\text{M}$ y $1.8 \mu\text{M}$ fosfato respectivamente. En la capa profunda (M2) los valores medios de nitrato fueron $11.5 \mu\text{M}$ y la concentración media de fosfato fue de $2.3 \mu\text{M}$

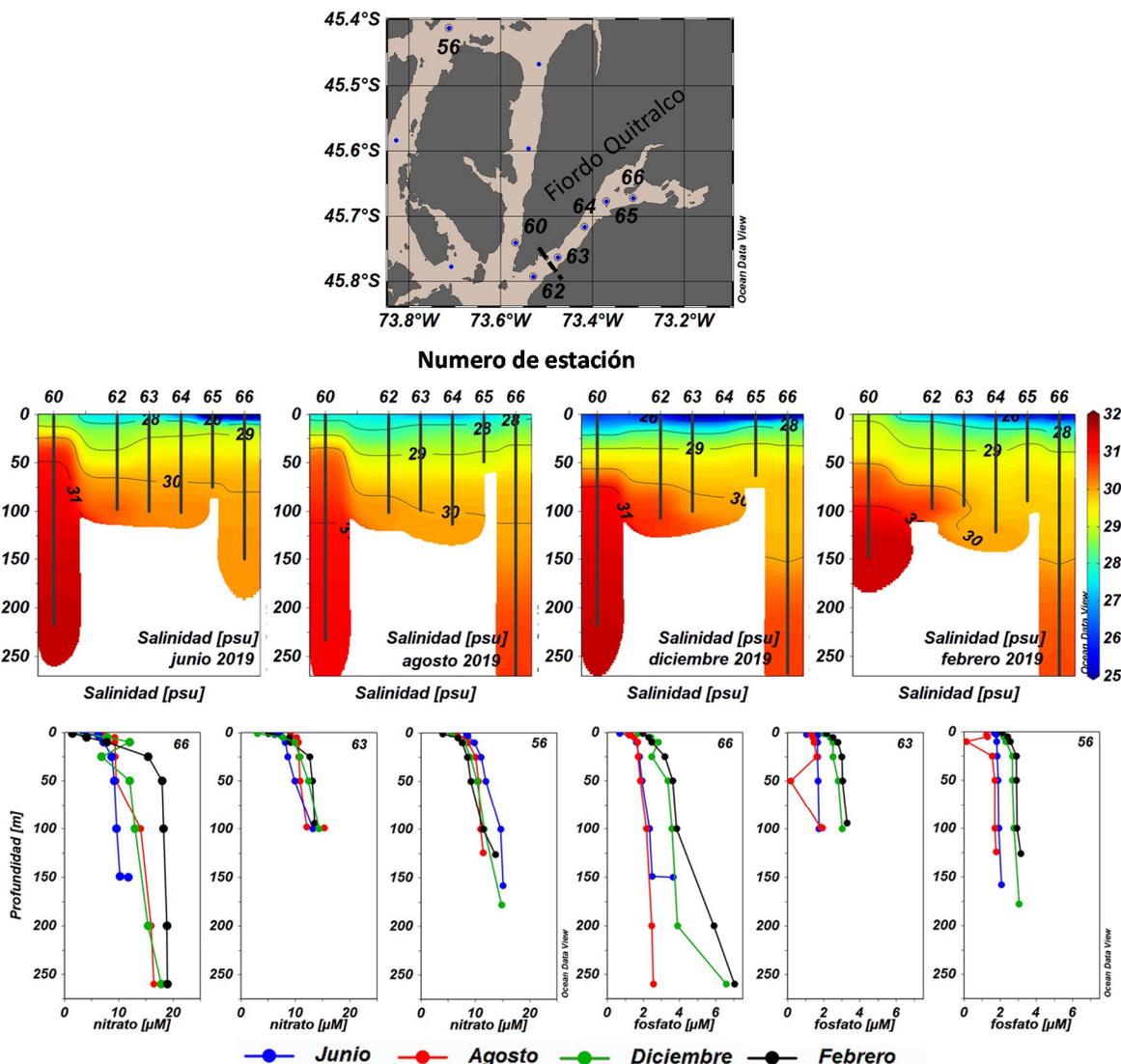


Figura 48. Distribución vertical de la salinidad en el sistema fiordo Quitalco (F). perfiles verticales de nitrato y fosfato en las estaciones consideradas para el sistema fiordo Quitalco (63 y 66). La estación 56 correspondió a los valores de nutrientes fuera del borde del sistema Quitalco (M).

5.3.4 Balance de nutrientes en fiordo Quitalco.

a) Balance de nutrientes para el flujo de Fosforo (ΔDIP) en fiordo Quitalco.

En la capa superficial el menor ΔDIP se registró en invierno (-4582 kg d^{-1}), de manera opuesta el mayor flujo se produjo en verano (-12789 kg d^{-1}), todos los periodos indicaron valores negativos (figura 49 a), lo que significó que en todos los periodos esta capa se comportó como reservorio de fósforo. El NEM presentó el mismo comportamiento del ΔDIP , el menor valor se registró en invierno (188030 kg

C d⁻¹), mientras que, el mayor valor se encontró en verano (524.755 kg d⁻¹). Es importante señalar que todos los valores de NEM para los 4 periodos fueron positivos, lo que indica que la capa superior estuvo determinada por a un metabolismo autotrófico. Con estas condiciones la capa superficial se comporta como un productor de materia orgánica.

La capa profunda reveló un patrón inverso al registrado en la capa superficial, de esta forma todos los valores de DIP fueron positivos y todos los valores de NEM fueron negativos.

Particularmente para el caso del Δ DIP, el menor valor se obtuvo en otoño (2.700 kg d⁻¹) mientras que el mayor registro en el flujo de fosforo correspondió al periodo de verano con 10950 kg d⁻¹ (figura 49 c). El caso del NEM en esta capa, también registró los menores valores en otoño (-110.781 kg C d⁻¹) y los mayores registros hacia el verano con valores de -449.293 kg C d⁻¹) (figura 49 c), con estos rasgos la capa profunda estuvo dominada por la heterotrofia (valores negativos NEM) y para el caso de los flujos de fosforo, se comportó como un exportador neto (Valores positivos del Δ DIP) por lo que el sistema tiende a comportarse como un consumidor neto de materia orgánica.

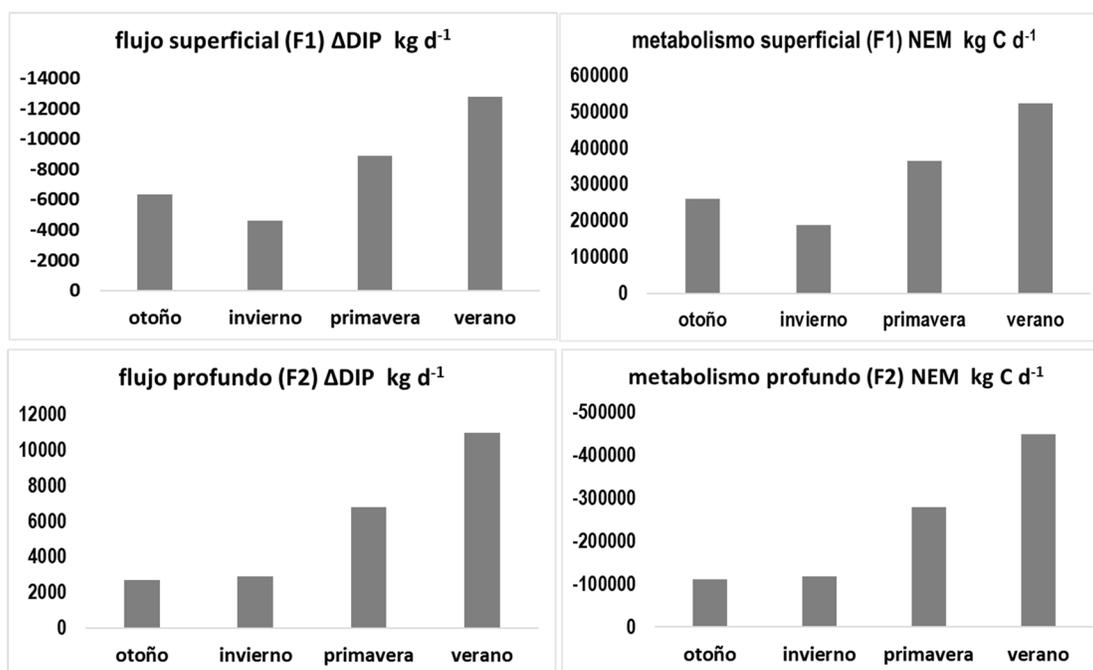


Figura 49. Flujo de fosforo Δ DIP para cada periodo modelado, tanto en el compartimento superior (F1) panel superior izquierdo, como para el estrato profundo (panel inferior izquierdo). Metabolismo del sistema para cada uno de los periodos modelados, en compartimento superior F1 (panel superior derecho), como para el estrato más profundo (F2) panel inferior derecho.

b) Balance de nutrientes para el flujo de Nitrógeno (Δ DIN) en fiordo Quitralco.

En la capa superior, localizada sobre la pycnoclina, la modelación para el flujo de nitrógeno, reveló los menores valores en otoño ($-18.057 \text{ kg d}^{-1}$) y primera ($-25.350 \text{ kg d}^{-1}$), mientras que el mayor valor se registró en verano ($-49.836 \text{ kg d}^{-1}$) (Fig. 50 a). Donde estaría sucediendo una tendencia de aumento del flujo de nitrógeno hacia el verano. De esta forma los resultados determinaron que, esta capa se comportó como un reservorio de nitrógeno en los 4 periodos estacionales analizados. Además, en este estrato (F1), prevalecieron los procesos de desnitrificación en los 4 periodos estacionales, con el mínimo valor en invierno (4.708 kg d^{-1}) y un máximo modelado para el verano de 42.308 kg d^{-1} (Fig. 50 b). Para la capa profunda (Fig. 50 c) los valores modelados indicaron un esquema diferente al modelado en la capa superior: en otoño se observó un flujo de nitrógeno de -862 kg (comportamiento sumidero), de forma opuesta los demás periodos registraron un comportamiento de exportador neto donde destacan los elevados valores de verano con 36.223 kg d^{-1} . en esta capa la diferencia entre los flujos observados- los flujos esperado, indicaron que prevaleció la desnitrificación, siendo este proceso más significativo en primavera y verano con valores $>40.000 \text{ kg d}^{-1}$ (Fig. 50 d).

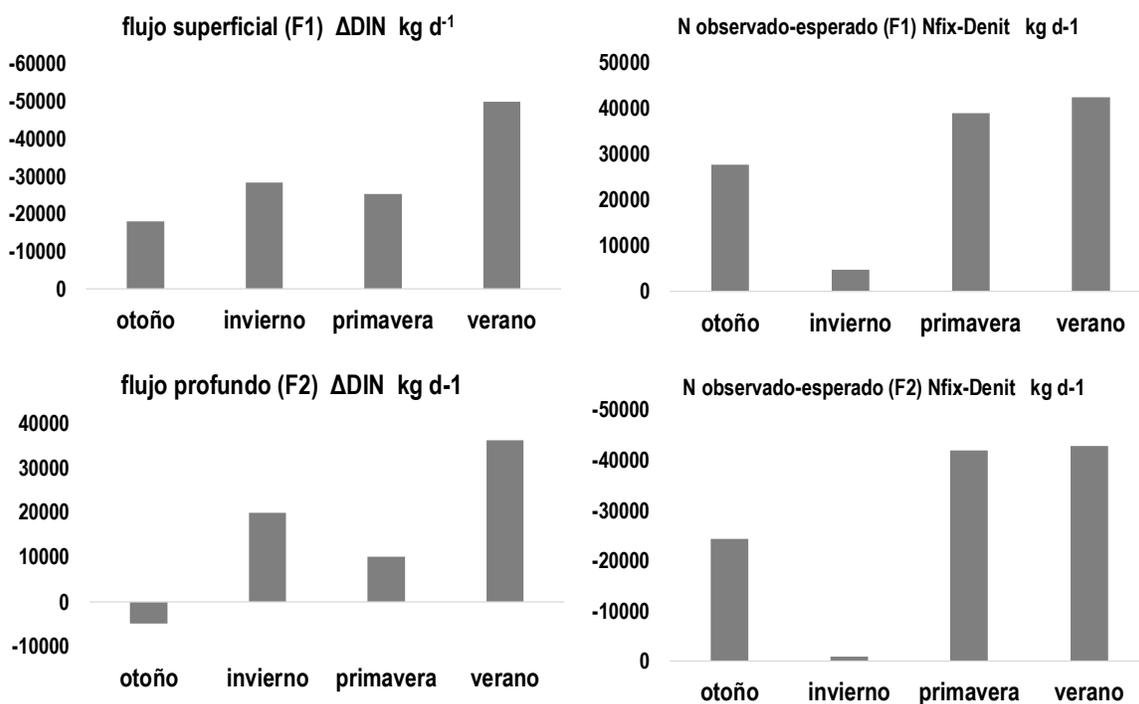


Figura 50. Flujo de nitrógeno Δ DIN para cada periodo modelado, tanto en el compartimento superior (F1) panel superior izquierdo, como para el estrato profundo (panel inferior izquierdo). Diferencia entre los flujos observados y esperados (panel derecho), para cada uno de los periodos modelados, tanto en compartimento F1 (panel superior derecho), como para el estrato más profundo (F2) panel inferior derecho.

c) Flujos de nutrientes promedio anual, esquema simplificado para el fiordo Quitalco

El comportamiento medio anual para el flujo de nutrientes del sistema, se puede resumir mediante el esquema detallado en la figura 51, para el caso de fósforo (panel izquierdo), en un ciclo anual promedio, en la capa superficial ingresaría mediante aporte fluvial (P_q) un promedio de 320 kg d^{-1} , mientras que desde la capa profunda (F2), estarían siendo transportado por flujos vertical (P_d) hacia la capa superficial (F1) un promedio de 21.258 kg d^{-1} , el flujo o mezcla difusiva (P_z) efectuó un transporte neto de fósforo hacia la capa superficial de 3.403 kg d^{-1} . El flujo de fósforo más significativo dentro del fiordo Quitalco estaría ingresando por transporte advectivo (P_b), desde la zona del mar interior (M) en la capa profunda (F2) con un promedio de 17.365 kg d^{-1} , en cambio por el flujo estuarino, estaría siendo transportados, hacia fuera del sistema un promedio de $-15.433 \text{ kg d}^{-1}$. Un comportamiento similar se observó para el balance de nitrógeno (figura 51 panel derecho), en la capa superficial, para un ciclo anual promedio, ingresan por aporte fluvial (N_q) 320 kg d^{-1} , mientras que por aporte de lluvia (N_p) ingresarían 83 Kg d . En la capa superficial (F1) producto de la circulación estuarina (N_s) saldrían del sistema $-40.355 \text{ kg d}^{-1}$.

Desde la capa profunda (F2), mediante flujo vertical (N_d) son transportado hacia la capa superficial (F1) un promedio de 63.074 kg d^{-1} , en cambio la capa de mezcla difusiva (N_z) produce un intercambio neto, hacia la capa superficial una cantidad reducida de nitrógeno (12.204 kg d^{-1}). El ingreso en la capa profunda se produce por advección (N_b), desde la zona del mar interior (M) con un transporte promedio de 56.611 kg d^{-1} .

De esta forma para un ciclo anual promedio, la capa superficial tiene un flujo de fósforo que se comporta como reservorio, con una preponderancia de metabolismo autótrofo, lo que indica una prevalencia hacia la producción de materia orgánica, en contraste para en la capa profunda (F2), localizada debajo de la pycnoclina, existiría un NEM con predominio de los heterótrofo y un flujo de fosforo con características de exportador. En el caso del nitrógeno en la capa superficial también se comportó como un reservorio de nitrógeno (valores positivos) predominando los procesos de fijación (valores negativos). De manera diferente, la capa más profunda (F2), estuvo caracterizada por ser un exportador neto de nitrógeno hacia la capa superior, lo que fue denotado por los valores positivos de en esta capa prevaleció la desnitrificación.

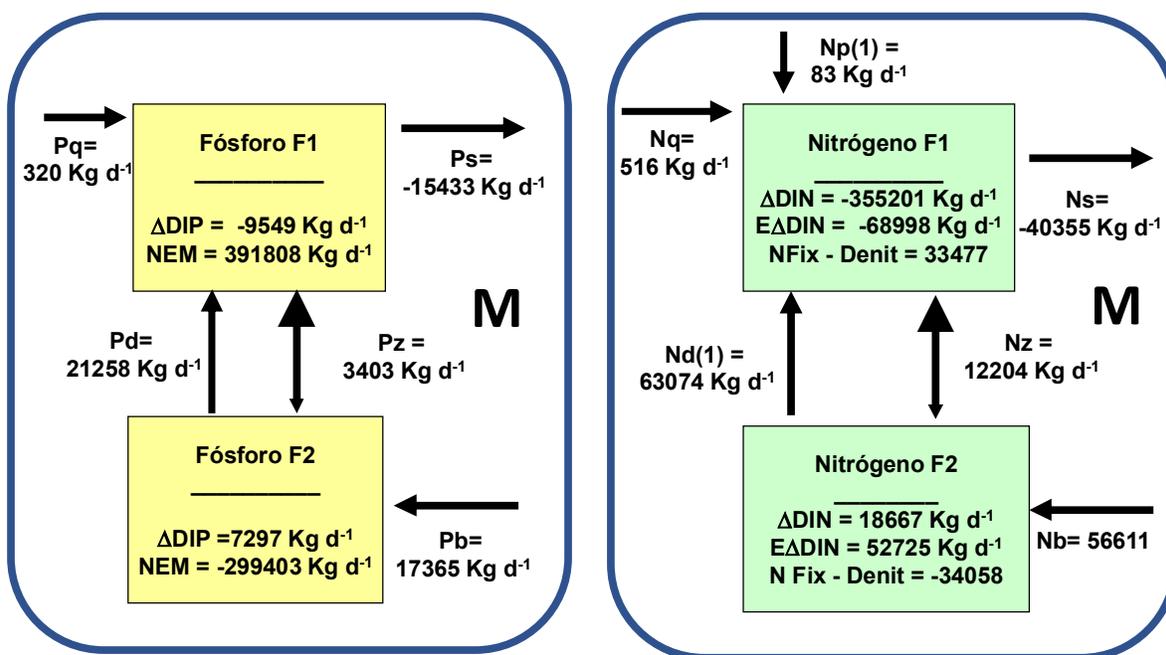


Figura 51. Esquema simplificado para exponer el flujo de nutriente en un sistema estratificado (2 compartimentos) dentro del Fiordo Quitalco, en un ciclo anual promedio.

5.4 Objetivo 2.2.4. *4. Generar mapas temáticos con la información recopilada en el estudio, enfocados en la caracterización de la Agrupación de Concesiones de Salmónidos (ACS), que pertenecen a la región de Los Lagos y Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.*

5.4.1 Visualizador de información oceanográfica basada en modelos hidrodinámicos

Para montar la información generada por este estudio a una plataforma de información geográfica, se utilizó el sistema de información oceanográfica CHONOS (www.ifop.cl/chonos), creada como parte de un sistema de distribución de información derivada de estudios oceanográficos llevados a cabo por el grupo de Oceanografía y Clima de la División de Investigación en Acuicultura de IFOP con asiento en Castro, Chiloé. Este sistema, de acceso libre, integra diferentes productos, especialmente aquellos derivados de modelos numéricos. La plataforma está dividida en distintas herramientas con resultados directos de modelos de pronósticos oceanográficos (MOSA-ROMS), visualizador interactivo de dispersión de partículas (Parti-MOSA) y una herramienta para calcular conectividad hidrodinámica entre diferentes regiones en base escenarios de riesgo (CLIC).

Para el caso de los resultados basados en modelos hidrodinámicos generados a partir de este estudio, se diseñó la herramienta ATLAS específicamente para distribuir la información de este tipo. ATLAS es una librería de modelos de información histórica del ambiente marino de basado en simulaciones del modelo hidrodinámico de malla flexible MIKE3 FM (DHI, 2016), cuya malla flexible de elementos triangulares y discretización vertical en capas sigma (adicionalmente pueden añadirse capas Z) permite un adecuado ajuste de la compleja batimetría y línea de costa. El modelo MIKE 3 FM integra información de descarga de agua dulce mediante el modelo VIC y forzamiento atmosférico mediante el modelo WRF. ATLAS permite la exploración de variables directas de la simulación (corrientes, temperatura, salinidad), y derivadas de estas (edad del agua) en forma de datos horarios y promedios mensuales, lo que permite una interacción comprensiva del ambiente físico marino a través de mapas, series de tiempo o perfiles con valores mínimos, máximos y promedios.

Guía para acceso de información oceanográfica en ATLAS

- a) **Portal Chonos:** El visualizador de Chonos es de libre acceso y se encuentra disponible en la dirección chonos.ifop.cl. La página de inicio del portal (Figura 52), contiene botones para cada herramienta desarrollada, junto con una pequeña leyenda que la describe. Una de estas es ATLAS y se accede haciendo click en este botón.

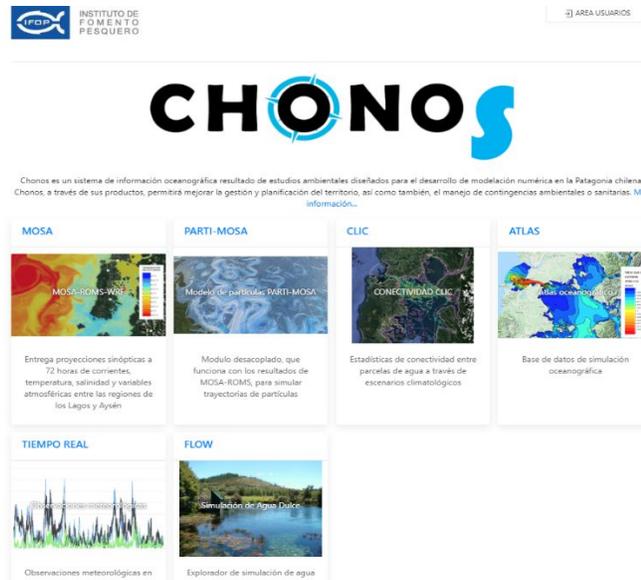


Figura 52: Página de inicio de Chonos

- b) **ATLAS:** La página inicial de ATLAS (Figura 53) contiene un mapa con zonas geográficas achuradas en colores distintivos, estas corresponden a la cobertura de información otorgada por los modelos desarrollados. Al costado izquierdo de la pantalla, una leyenda describe cada una de las zonas con información. Se debe apretar los enlaces dispuestos en esta leyenda, o bien, pinchar algún área específica del mapa para comenzar a explorar los datos de las simulaciones.

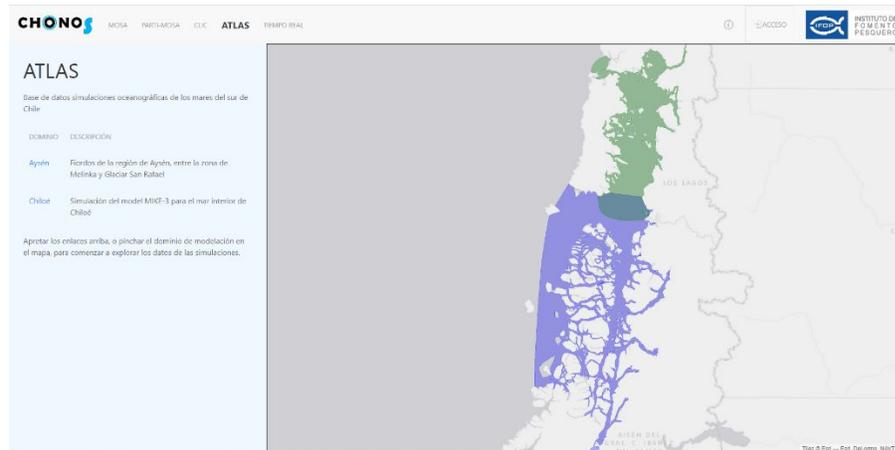


Figura 53: Página inicial de ATLAS

- c) **Intervalo de datos y navegación temporal:** Este botón ubicado en el costado derecho superior (Figura 54), permite la selección de la exploración en escala horaria, o bien, mensual. La primera contiene información instantánea del modelo cada 1 hora. La segunda es construida a partir de promedios mensuales de los datos horarios y además despliega valores máximos y mínimos para cada promedio mensual. La navegación temporal se encuentra al

costado izquierdo del intervalo de datos y permite moverse a través de tiempo al desplazar la barra hacia adelante o atrás, ya sea en escala horaria o mensual, de acuerdo a lo que se haya seleccionado anteriormente.

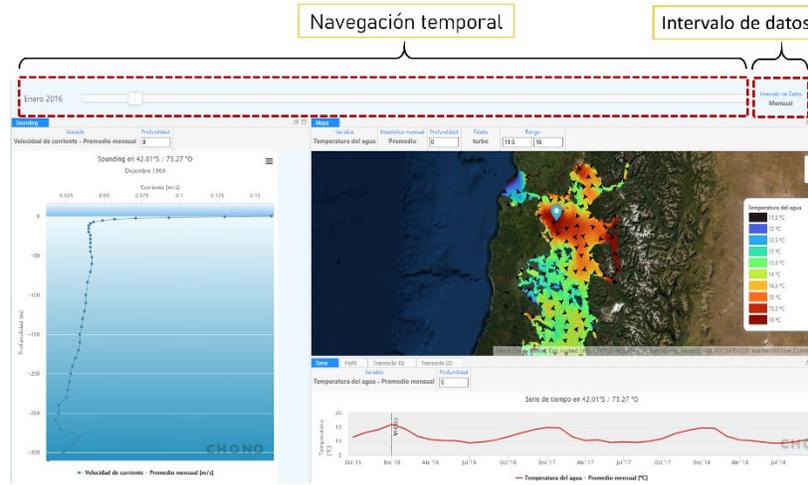


Figura 54: Intervalo de datos y navegación temporal en ATLAS

- d) **Mapa:** Es el visualizador de información en forma de capas horizontales que muestra las distintas **variables** disponibles: Velocidad de la corriente, corriente meridional, corriente zonal, temperatura, salinidad y edad del agua. Se puede seleccionar la profundidad, el tipo de paleta de colores y los rangos de la variable (Figura 55).

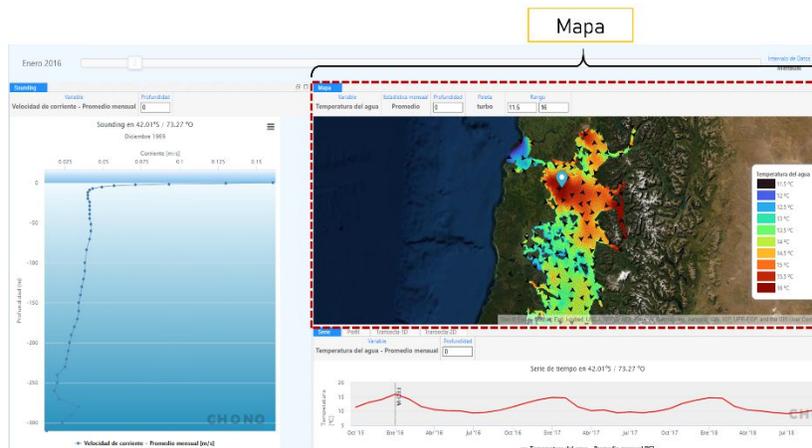


Figura 56: Visualización de Mapa en ATLAS

- e) **Sounding:** Es un perfil vertical realizado en un punto cualquiera, previamente seleccionado en el **Mapa**, haciendo click en el lugar de interés, contiene una pestaña para la selección de la variable requerida. (Figura 57).

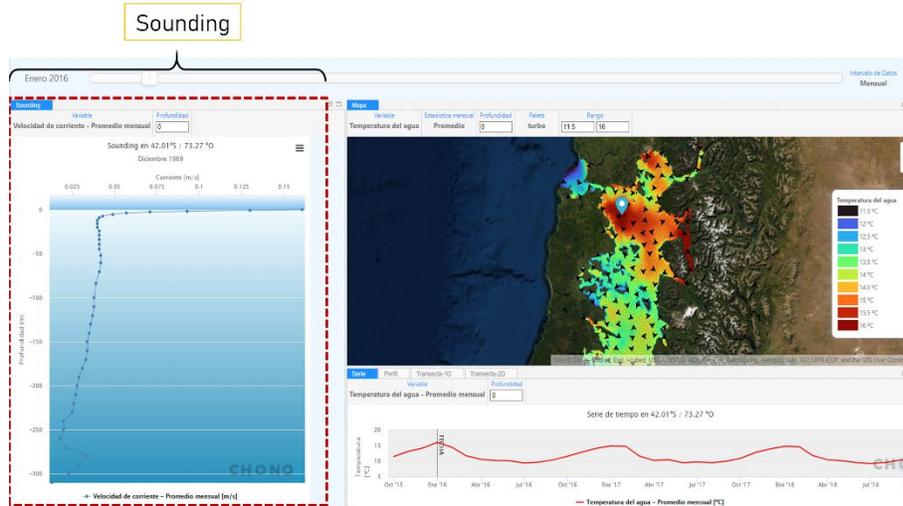


Figura 57: Visualización de **Sounding** (perfil vertical) en ATLAS

- f) **Serie**: Se ubica en la parte inferior derecha del visualizador en conjunto con las herramientas de **perfil**, **Transecto-1D** y **Transecto-2D** y es seleccionable en la pestaña ubicada en la parte superior de esta ventana. Permite graficar una serie de tiempo en un punto cualquiera, previamente seleccionado en el **Mapa**, haciendo click en el lugar de interés, contiene una pestaña para la selección de la variable requerida y de su profundidad (Figura 58).

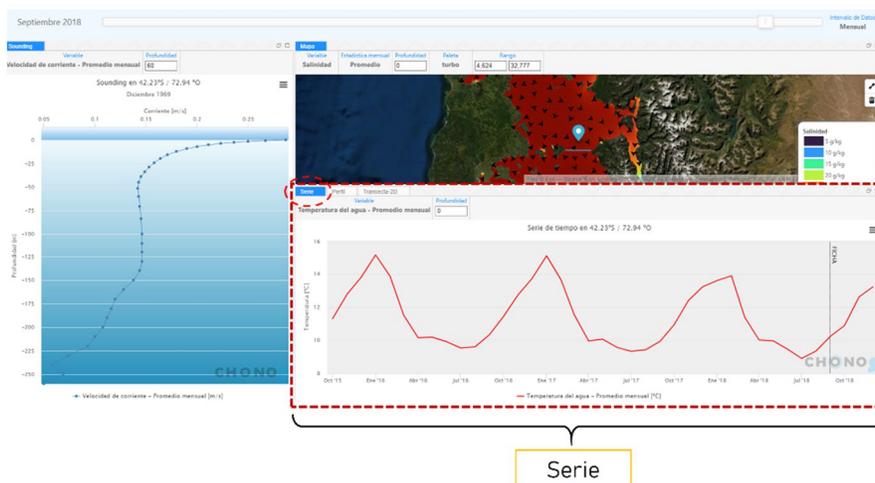


Figura 58: Visualización de **Serie** (serie de tiempo) en ATLAS

- g) **Perfil**: Se ubica en la parte inferior derecha del visualizador en conjunto con las herramientas de **Serie**, **Transecto-1D** y **Transecto-2D** y es seleccionable en la pestaña ubicada en la parte superior de esta ventana. Permite graficar un perfil temporal en un punto cualquiera, previamente seleccionado en el **Mapa**, haciendo click en el lugar de interés, contiene una pestaña para la selección de la variable requerida y de su profundidad (Figura 59)

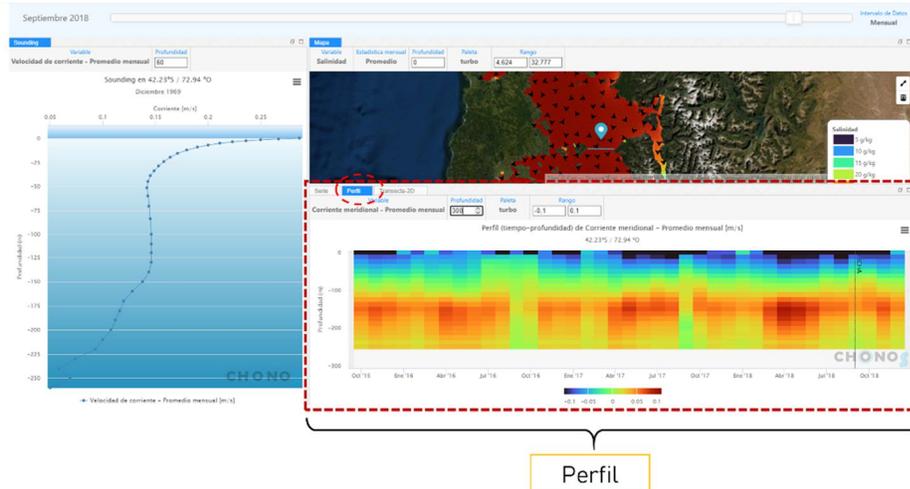


Figura 59: Visualización de Perfil (Perfil temporal) en ATLAS

- h) **Transecto-1D:** Se ubica en la parte inferior derecha del visualizador en conjunto con las herramientas de **Serie, Perfil y Transecto-2D** y es seleccionable en la pestaña ubicada en la parte superior de esta ventana. Permite graficar un transecto espacial entre dos o más puntos, previamente seleccionados en el **Mapa**, haciendo click entre los lugares de interés, contiene una pestaña para la selección de una o más de una variable requerida y de su profundidad (Figura 60)



Figura 60: Visualización de Transecta-1D (espacial) en ATLAS

- i) **Transecta-2D:** Se ubica en la parte inferior derecha del visualizador en conjunto con las herramientas de **Serie, Perfil y Transecto-1D** y es seleccionable en la pestaña ubicada en la parte superior de esta ventana. Permite graficar un transecto vertical espacial entre dos o más puntos, previamente seleccionados en el **Mapa**, haciendo click entre los lugares de

interés, contiene una pestaña para la selección de una variable requerida y de su profundidad (Figura 61)

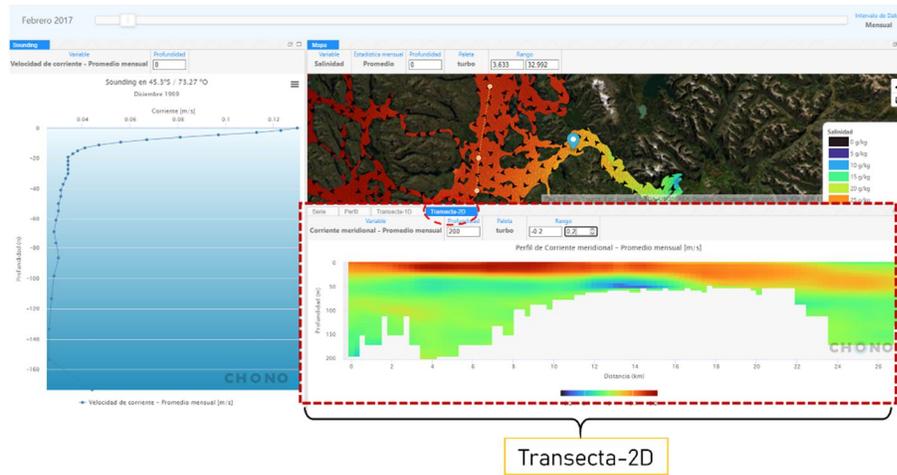


Figura 61: Visualización de **Transecta-2D** (vertical y horizontal) en ATLAS

- j) **Descarga de datos:** En la esquina superior derecha de las ventanas se encuentra un botón que despliega distintos tipos de descargas, esta puede ser en formato de imagen (.jpg, .png), documento (.pdf) o de planilla de datos (.csv, .xls) (Figura 62).

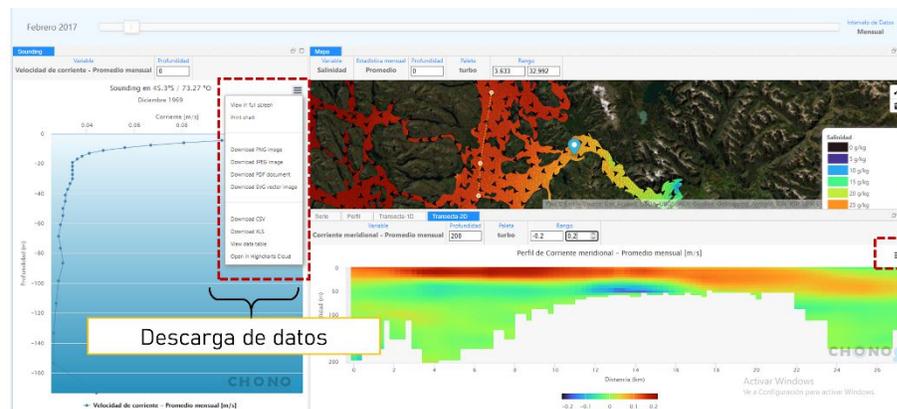


Figura 62: Visualización de **botón de descarga** en ATLAS

5.4.2 Caracterización oceanográfica de la Agrupación de Concesiones de Salmónidos (ACS):

La caracterización de la ACS, considerando datos de salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes: nitrato, fosfato y silicato, serán presentados en formato tablas de acuerdo al diseño indicado en la figura 62. Todos los resúmenes estadísticos serán visualizados en el anexo II.

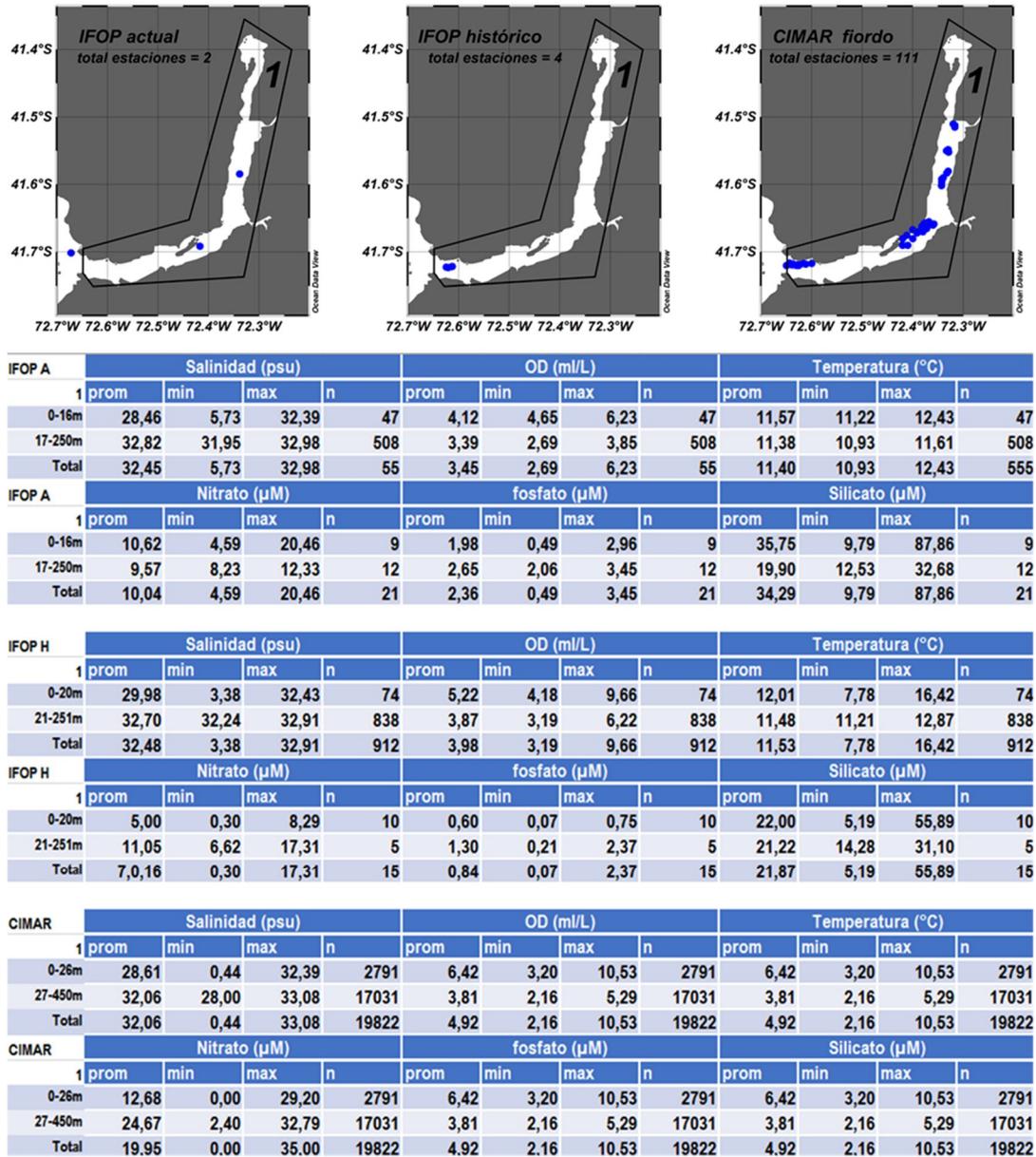


Figura 62.- Resumen estadístico con información oceanográfica: salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes a nivel de ACS.

Los resúmenes estadísticos se encuentran en su panel superior, representados por el mapa delimitando el polígono del barrio correspondiente y enumerado (figura 63 recuadro azul), donde se indica al crucero que corresponde a la fuente de información (figura 63 recuadro rojo) y el número total de estaciones que contenga el polígono, que incluye todas las estaciones de esa fuente. Para la elaboración de los resúmenes estadísticos se utilizaron 3 fuentes:

1. Cruceros IFOP actual (IFOP Actual) correspondientes a los diferentes cruceros ejecutados para este estudio, también se incluyó el crucero de Chiloé-Aysén que el programa seguimiento ambiental de IFOP, realizó en otoño de 2019.
2. Cruceros históricos de IFOP (IFOP histórico), reanalizados por el grupo de oceanografía en los diferentes proyectos ejecutados entre 2010-2018, dentro del mar interior de Chiloé y Aysén:
 - 2016. Modelación de alta resolución aplicada a la conectividad y transporte hidrodinámico al interior de macro-zonas en la XI Región de Aysén.
 - 2017. Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico, al interior del Estero Elefante XI Región de Aysén. (Informe final). Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero
 - 2018. Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico, al interior del Mar Interior de Chiloé, X Región de Los Lagos. Informe técnico Instituto de Fomento Pesquero. Pp 89-100.
 - 2019. Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico, en la región de Aysén.
 - 2019. Reserva marina para el choro zapato *Choromytilus chorus*. Putemún. Chiloé.
3. Todos los cruceros CIMAR desde 1995 (CIMAR 1) hasta el 2007 (CIMAR 13).

Los barrios que no se encuentren mencionados en los resúmenes, se debe a que no cataban con información para ninguna de las fuentes estimadas.

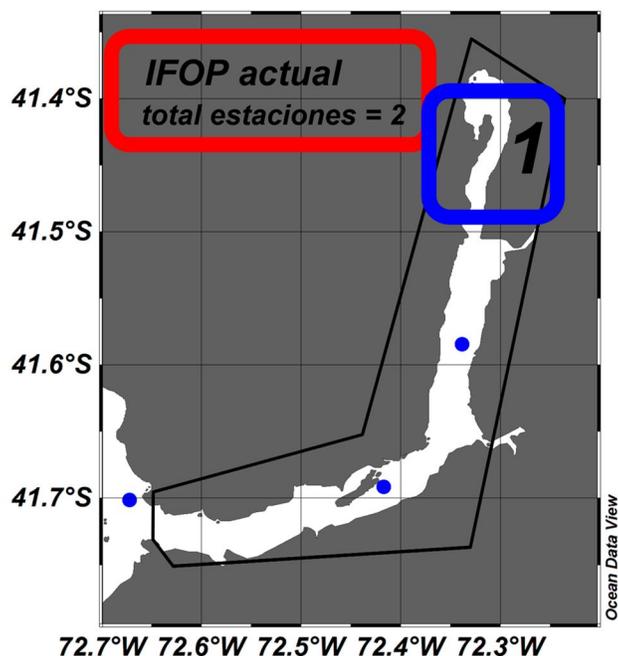


Figura 63. Mapa con el polígono de ACS (barrio salmonero), que se incluyó en los resúmenes estadísticos.

En la primera columna y la primera fila del resumen estadístico, se encuentra la información de la fuente: **IFOP A**, corresponde a los cruceros oceanográficos realizados por IFOP durante 2019-2020, en la zona dentro del Mar interior Chiloé y Mar Interior de Aysén. **IFOP H**, corresponde a los cruceros históricos de IFOP, realizados entre los años 2015-2019. y la denominación CIMAR corresponde a los cruceros CIMAR. La fila 2 de esta columna indicará el número de la ACS, en algunos casos donde la densidad de datos fue escasa se juntaron 2 o más ACS. La fila 3 corresponde al estrato superficial, este estrato fue determinado arbitrariamente en funciones de todos los perfiles de salinidad que contuviera la ACS o grupo de ACS, en dichos perfiles de manera gráfica, mediante ODV se cuantifico el máximo gradiente de cambio salinidad vs profundidad (picnoclina). La fila 3 indica el estrato debajo de la picnoclina hasta la máxima profundidad del perfil más profundo. La fila 5 indica el Total: estadística completa de todos los perfiles de la superficie (0 m hasta el perfil más profundo, tal como se muestra en la figura 64)

IFOP A

1

0-16m
17-250m
Total

Figura 64. Primera columna resúmenes estadístico.

La figura 65, nos indica como esta ordenado el resumen estadístico, con el nombre del parámetro, prom= promedio. Min = rango mínimo del parámetro para el estrato determinado, max= valor máximo del parámetro en el estrato determinado. n= número de datos total de todos los perfiles y en todas las profundidades que contenga ese grupo o set de datos. SD = sin datos.

Salinidad (psu)			
prom	min	max	n
28,46	5,73	32,39	47
32,82	31,95	32,98	508
32,45	5,73	32,98	55

Figura 65. Ordenamiento de los datos por parámetros

6. DISCUSIÓN

6.1 Circulación en la Patagonia norte

El uso de modelos hidrodinámicos de alta resolución en zonas estuarinas a lo largo del mundo y en particular el método de edad del agua, como métrica de escala temporal de transporte, se ha incrementado en los últimos años como una forma de dilucidar los mecanismos presentes en su dinámica (Gustafsson 2007, Shen 2007, Zhang 2010, Liu et al. 2012, De Brye et al. 2012, Bendtsen et al. 2014, Kärnä y Baptista 2016, Viero y Defina 2016). A lo largo de este estudio, en la Patagonia norte de Chile, se han presentado resultados y análisis sobre observaciones oceanográficas in situ (ríos, viento, corrientes), de forma de conocer su variabilidad temporal y espacial. A su vez, el uso de modelación hidrodinámica permitió hacer estimaciones de la circulación general de esta zona y también conocer las escalas de intercambio de agua utilizando una aproximación euleriana basada en la teoría de la edad y tiempo de residencia orientada a los constituyentes, CART (<http://www.climate.be/repomodx/cart/>) (Delhez et al., 1999, Deleersnijder et al., 2001).

El aporte de agua dulce en Chiloé – Aysén es por precipitación, deshielo glaciar y descarga de ríos. Esta zona es considerada como un gran sistema estuarino, sin embargo, localmente existieron zonas más influenciadas por corriente gravitacional que otras, como por ejemplo el lado continental de Chiloé – Aysén están ubicados los ríos más relevantes en término de descarga como el Puelo, Palena y Aysén, mientras que el lado insular la descarga de ríos fue inferior

La interacción océano-atmósfera en Chiloé – Aysén está sometida a distintas categorías de variabilidad; macroescala (escala planetaria y sinóptica), mesoescala y microescala; influenciada en escala planetaria por vientos del oeste y en escala sinóptica por el anticiclón del Pacífico subtropical esto genera una característica regional en el tipo de viento que ejerce fricción superficial; en la componente oeste-este dominan vientos del oeste y en la componente norte-sur dominan vientos del norte y sur con una alta variabilidad en la escala sinóptica por la influencia de un sistema de baja y alta presión (Pérez-Santos et al., 2019). Dentro de este marco regional se encontraron patrones locales de viento influenciados por la disposición geográfica y la exposición que poseen las distintas localidades en Chiloé – Aysén. Sin embargo, el viento del norte en Chiloé – Aysén estuvo presente a lo largo de todo el año con altas magnitudes, pero es en los meses de invierno cuando dominaron eventos extremos.

La onda de marea ingresa por la Boca del Guafo con corrientes intensas y amplios rangos de marea propagándose hacia el norte (Mar interior de Chiloé) y sur (Mar interior de Aysén). Las bandas de alta frecuencia que destacaron en la zona; son la semidiurna y diurna, específicamente las componentes M2 y K1. En la baja frecuencia se registró la señal de marea asociado el ciclo quincenal (sicigia/cuadratura), todas estas señales influyeron en la corriente total de Chiloé – Aysén.

Datos observacionales obtenidos a través de perfiladores acústicos de corrientes indican que, para las corrientes bajo 25 m de profundidad, el área mayormente influenciada por la componente semidiurna de la marea es el golfo Corcovado, siendo menor su influencia al norte de Islas Desertores en la región de los Lagos y en canal Moraleda, región de Aysén. A su vez, la corriente submareal en el mar interior de Chiloé – Aysén presentó una variabilidad en la estructura de la velocidad de la corriente de acuerdo a patrones locales dentro de un contexto regional, donde tres forzantes fueron los más relevantes; la corriente gravitacional (aporte de boyantes), viento y marea quincenal (sicigia). Estos forzantes pueden acoplarse o disminuir su efecto entre ellos de acuerdo a la dirección que presentaron. Además, el porcentaje de variabilidad de la corriente explicada por fluctuaciones de cada

uno de estos forzantes dentro del mar interior de Chiloé – Aysén se observó que dependieron; de la orientación geográfica del lugar, la batimetría, la cercanía a un punto de descarga de un río, la exposición a la marea y el efecto de sicigia.

La corriente residual asociada al lado continental del mar interior se encontró influenciada principalmente por la corriente gravitacional, esto dado que los ríos de mayor caudal se encuentran en el lado continental, esto se apreció en la corriente de Comau, Desertores, Moraleda, Errázuriz, Costa, Quitrusco y Elefantes. El estrés superficial incidió en diferentes grados en la corriente residual, en algunos casos solo traspasó momentum hasta los 10m de profundidad aproximadamente como el caso de Ancud, Chaiguao, Desertores, Corcovado, Costa, Quitrusco y Elefantes. En otros casos el viento tuvo una alta correlación con la corriente hasta los 40m de profundidad, como en Moraleda y Errázuriz, en estos puntos el viento tuvo un importante rol, logrando revertir la dirección de la circulación gravitacional. El efecto de la marea de baja frecuencia (sicigia) generó un aumento de la velocidad de corriente residual, este efecto se observó en Ancud, Chaiguao, Desertores, Corcovado, Costa y Elefantes. Además, existieron estructuras complejas de corriente residual en algunos sectores como el fiordo Quitrusco y Fiordo Comau.

Se han implementado dos modelos hidrodinámicos de alta resolución en los mares interiores de la región de los Lagos (R1-Chiloé) y de Aysén (R2-Aysén), ambos utilizando el software MIKE 3 FM (DHI, 2019), cuyas características distintivas, es el uso de volúmenes finitos de elementos triangulares que permiten una mejor adaptación a una geometría costera más compleja y, por otra parte, es su discretización vertical, dado que mezcla coordenadas sigma y rectangulares, lo que evita cambios abruptos en la configuración de estas capas verticales, mejorando la generación de una estructura estratificada en la columna de agua. Ambos modelos hidrodinámicos utilizan el forzamiento atmosférico basado en el modelo WRF, que mejora la resolución espacial de la información con respecto a modelos globales lo que conlleva una mejor representación de las condiciones meteorológicas locales que caracterizan a estas regiones. La implementación de dos modelos distintos, obedece a razones de desarrollo

La modelación hidrodinámica en regiones estuarinas requiere de información sobre la entrada de agua dulce al sistema marino, por lo cual, proporcionar esta información es crítico en el buen desempeño de un modelo hidrodinámico. Para el desarrollo de este estudio, se contó con información del modelo hidrológico VIC (Liang et al., 1994), implementado para toda la zona austral de Chile, el cual entrega caudales diarios en más 30000 cuencas costeras, para el periodo 1979-2018, los resultados de este modelo son posibles de visualizar a través de la plataforma Chonos (<http://chonos.ifop.cl/>), la cual además, entrega la comparación de los resultados de VIC con los datos de caudales de la Dirección General de Aguas (DGA) en sus estaciones de monitoreo.

El modelo hidrodinámico R1-Chiloé, cubre un periodo 2016-2018 y fue evaluado con respecto a mediciones realizadas en los años 2017 y 2018. El modelo hidrodinámico entregó un buen ajuste respecto de diversos parámetros físicos medidos, capturando la dinámica de este sistema estuarino. Las condiciones hidrográficas en la superficie de R1-Chiloé están controladas por flujos océano-atmósfera, viento, marea, y escorrentía continental de agua dulce proveniente principalmente de los estuarios Reloncaví y Comau (Castillo y Salinas 2012). En tanto, la estructura hidrográfica vertical es bien resuelta generando perfiles salinidad adecuados de acuerdo a su ubicación en Chiloé, siendo consistente en replicar zonas mayormente mezcladas o bien estratificadas.

En las observaciones de corrientes ubicadas en el golfo Corcovado (Tranqui) aparece una señal de 15 días asociada a periodos de sicigias, y que el modelo simula correctamente, este mecanismo parece tener una alta importancia en el transporte en el golfo Corcovado, sector con una alta capacidad de mezcla turbulenta, lo que fue apreciado de buena forma por el modelo a través de los perfiles de

salinidad. En Paso Desertores, por otra parte, presenta un flujo intenso hacia el sur y que cubre hasta los 80 m, con corrientes residuales sobre los 20 cm s⁻¹ siendo más intensas hacia la superficie, flujos hacia el norte se observan débiles y bajo los 80 m.

La circulación media para el periodo 2016-2018, para la capa superficial (0-50 m) muestra una persistente e intensa corriente que recorre el borde continental desde el seno de Reloncaví hasta el golfo Corcovado (Fig. 17a), este flujo de salida fluctúa en su recorrido entre 10 a 20 cm s⁻¹ y tiene una bifurcación en dos ramas que traspasan los pasos de Apiao y Desertores continuando su curso hacia el sur por la costa continental del golfo Corcovado. Esta corriente sería un mecanismo eficiente en el transporte tanto de solutos (oxígeno disuelto, nutrientes), como de agentes biológicos (patógenos, larvas) desde las cuencas del fiordo y seno de Reloncaví hacia el sector del golfo Corcovado. Por otra parte, si bien los modelos esquemáticos de circulación vertical en esta región (Sivert y Silva 2008) comparados con el modelo hidrodinámico son coincidentes en su estructura general, con el típico patrón de circulación estuarina de dos capas, con una capa superficial de salida, esta podría no cumplirse en algunos sectores, tal es el caso de la parte sur de la Isla de Chiloé, entre isla San Pedro e isla Tranqui, en donde se observa una corriente hacia el norte que podría tener implicancias en el transporte, por ejemplo, de floraciones algales nocivas.

Las características hidrodinámicas para R2-Aysén, en específico en canal Moraleda, muestran un importante efecto del viento sobre las corrientes, especialmente durante el invierno. En este lugar, tanto el modelo, como las observaciones realizadas mediante un perfilador acústico de corrientes, mostraron que el esfuerzo del viento sobre la superficie, en episodios transitorios, puede llegar a mover la columna de agua hasta 40 m de profundidad hacia el interior del canal, actuando en oposición al gradiente de presión y cambiando el balance dinámico durante estos eventos, generando una intensa mezcla turbulenta durante estos periodos. En primavera, en cambio, la estratificación se fortaleció, al generarse cambios en la dirección del viento (hacia el norte) y aumentar el caudal de los ríos, generando una capa superficial (~20 m) con flujos residuales ocasionales del orden de 20 cm s⁻¹. La respuesta del viento también fue observada en canal Costa, sin embargo, esta quedó acotada a los primeros 10 m de la columna de agua, no presentando influencia directa bajo esta profundidad, bajo esta capa y hasta los ~60 m, un flujo intenso (~20 cm s⁻¹) hacia el norte fue observado en el perfilador acústico, con fluctuaciones quincenales, lo cual, podría estar asociado a mareas de sicigias y cuadraturas. Bajo los 60 m, tanto en la observación como en el modelo se presentó una tercera capa con dirección hacia el sur. En el fiordo Quitralco una compleja estructura residual de las corrientes fue observado tanto en el perfilador acústico como en el modelo, los mecanismos que originan esta estructura son aún desconocidos, lo que hace necesario ser abordado en futuras investigaciones.

La circulación media superficial (0-50 m) en R2-Aysén derivada del modelo, muestra diferencias en la intensidad del flujo de salida desde los fiordos, siendo en estero Elefantes y fiordo Aysén los que presentan mayor velocidad (~10 cm s⁻¹) y los fiordos Puyuhuapi y Quitralco los menores, esto probablemente asociado a que estos presentan ríos con caudales menores a los antes descritos. En tanto, desde el canal Costa y conectando con el canal Moraleda se presentó una corriente hacia el norte que recorre el lado oeste del Moraleda hasta conectar con borde norte de las islas Guaitecas continuando su recorrido hasta el borde más oceánico de estas islas, Por otra parte, una corriente hacia el sur, originada en la zona costera del golfo Corcovado y cercana a la desembocadura del río Palena, ocupa el borde este del canal Moraleda, y sería capaz de transportar parte de la pluma del río Palena hacia el sur. La aparición de un giro ciclónico en la parte central del canal Moraleda requiere de una especial atención por su eventual importancia en procesos biológicos, ya que esta zona tiene especial recurrencia de eventos FAN.

6.2 Escalas de tiempo de transporte

Las escalas de tiempo de transporte, agrupa una serie de conceptos relativos al tiempo que toma a una masa de agua en moverse de un cierto lugar, respecto de las cuales, existen aún diversas definiciones y métodos para cada una de estas (por ejemplo: tiempo de residencia, edad del agua, tiempo de tránsito, tiempo de renovación, “flushing time”), para evitar malentendidos e incluso conclusiones erróneas, es importante introducir definiciones precisas y utilizarlas con cuidado (Bolin y Rodhe, 1973). La edad del agua es definida como el tiempo requerido para que una parcela viaje desde un límite o borde del sistema a un lugar determinado dentro del cuerpo de agua. (Bolin y Rodhe, 1973; Delhez et al., 1999; Monsen et al., 2002), para el caso de modelos R1-Chiloé y R2-Aysén, estos límites coinciden, por una parte, con los bordes abiertos más cercanos al océano y la entrada de ríos, en ambos casos la edad en esos límites es igual a 0, por lo tanto, el agua oceánica de mayor salinidad, como el agua dulce de menor salinidad, son las fuentes por donde se renueva el sistema interior. Sin embargo, la colocación de los límites para definir una región de interés es una elección arbitraria, e influirá en los valores absolutos de las escalas de tiempo (Sandery y Kämpf, 2007).

Hasta cierto punto, las distribuciones de escala temporal en el sistema son relativas por naturaleza, por consecuencia los patrones similares serán vistos sin importar la localización del límite (Sandery y Kämpf, 2007), lo cual, indica que los valores absolutos de la edad del agua son menos relevantes que la estructura espacial y temporal que esta adopta. En el caso de los dominios empleado en este estudio, con el borde abierto principal cercano a la boca del Guafo o golfo Corcovado, se está asumiendo a todo el mar interior de Chiloé o Aysén, incluyendo los fiordos continentales, como un gran sistema estuarino. Esto genera tiempos de transporte relativamente mayores para las zonas alejadas del borde, respecto de si estos límites fueran ubicados en la boca de cada uno de estos fiordos, sin embargo y a pesar que los valores absolutos puedan cambiar, los patrones de distribución de estos tiempos serán similares.

La noción de lo relativo de las escalas de transporte debe ser tomado en cuenta, dado las distintas aproximaciones, en cuanto al método y la elección del dominio de control que son utilizadas, por tanto, las comparaciones con otras métricas o métodos como aquellos analíticos utilizando datos observaciones en algunos fiordos en Chile (Guzmán y Silva 2013; Calvete y Sobarzo 2011; Valle-Levinson et al., 2007; Salinas et al. 2002) pueden ser inadecuados e inducir a conclusiones erróneas. De acuerdo a la definición de la edad del agua empleada en este trabajo, el mayor volumen de agua que renueva el sistema es el de origen oceánico, por esta razón no es extraño, que la principal vía de renovación sea mediante el ingreso de aguas más salinas o densas y que, por tanto, la entrada de ríos sea menos importante en la renovación, dado su volumen respecto de las aguas de origen oceánico.

La edad del agua en el mar interior de Chiloé, modelada para el periodo 2016-2018, muestra espacialmente a las islas Desertores como el límite más importante entre condiciones de aguas de edad relativamente menores, al sur de Desertores y aguas de edad mayores, al norte de estas. Las aguas más densas que penetran por el paso Desertores permiten renovar los grandes golfos y fiordos a norte de islas Desertores, las entradas de ríos tienen un impacto menor en la renovación de estas regiones.

La influencia de las condiciones hidrográficas y atmosféricas en los tiempos de intercambio de agua parecen relevantes. El año 2016 se presentó en la zona sur de Chile uno de los años más secos originado por un fuerte evento de El Niño y la fase positiva del Modo Anular del Sur que alteró la circulación atmosférica en el sur de América del Sur y el Océano Pacífico adyacente (León-Muñoz *et al.*, 2018). La descarga de ríos se redujo casi a la mitad de su condición promedio anual, la menor disponibilidad de agua dulce inhibió la estratificación y a la vez, el flujo estuarino superficial se debilitó,

esto también redujo el flujo de aguas más densas oceánicas que penetran por el paso Desertores, lo que limitó la renovación de las cuencas al norte de esta.

La edad del agua en la región de Aysén muestra a la constricción de Meninea como un límite similar al descrito en islas Desertores. Las aguas de origen oceánico que penetran por el canal Moraleda registran edades menores al resto de la región, los valores promedio mayores se encontraron en la cuenca sur de la región de Aysén, especialmente en la Laguna San Rafael y el fiordo Cupquelán. En la parte central del archipiélago de los Chonos, en las cercanías de canal King, se observa un aumento en los valores de edad del agua respecto de otros canales ubicados más al sur o más al norte, esto podría indicar que los canales ubicados en la parte central reciben aguas desde el interior, mientras que los canales ubicados hacia el sur, como el canal Darwin, contienen aguas de origen más oceánico, por tanto, aguas de relativa menor edad.

6.3 condiciones oceanográficas.

La distribución vertical de las variables oceanográficas en el mar interior de Aysén (canales y fiordos) en aguas interiores de fiordos y canales australes chilenos entre la zona de la Boca del Guafo y Estero Elefantes, denota la existencia de dos capas hidrográficas, una capa superficial (0-30 m) más variable separada de una capa profunda (>30 m) con características más uniformes (Silva & Guzmán, 2006). Esta área interior frente a los canales del MIA, se caracteriza por la presencia de dos masas de agua: el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y el Agua Superficial Subantártica (ASAA), las cuales se mezclan con el Agua Dulce (AD) proveniente de ríos, lluvias y deshielos continentales, originando dos nuevos cuerpos de agua: el Agua Subantártica Modificada (ASAAM) presente a nivel superficial y subsuperficial desde la Boca del Guafo hasta el Estero Elefante y el Agua Estuarina (AE) ubicada principalmente en la superficie del Fiordo Aysén (Silva & Guzmán, 2006). En base a las condiciones oceanográficas obtenidas durante el periodo y área geográfica de estudio, se observaron las menores temperaturas en el Estero Elefantes y las mayores en la Boca del Guafo. Las estructuras terminas verticales presentaron diferencias entre el periodo de invierno y primavera-verano, con una columna de agua prácticamente homogénea desde la Boca del Guafo hasta la Constricción de Meninea en invierno, pero levemente estratificada y más cálida en el periodo primavera-verano. Esta situación supone el ingreso de la ASAA a nivel subsuperficial, la cual fluye a través de la Boca del Guafo hacia el Canal Moraleda, lo que originó una termoclina inversa no observada durante el periodo de verano, donde la columna de agua presentó sus máximos de temperatura en superficie debido al calentamiento superficial típico de la estación estival (Sievers & Prado, 1994; Silva et al., 1995; Silva & Guzmán, 2002a; Silva & Guzmán, 2006). Esta misma condición se observó en Canal Jacaf, Canal Puyuhuapi, Fiordo Aysén, Fiordo Quitralco y Fiordo Comau, con temperaturas mínimas superficiales y máximas en profundidad durante invierno, mientras que en verano se presentó la condición adversa con máximos superficiales y mínimos profundos.

La salinidad para la zona de Canal Jacaf, Canal Puyuhuapi, Fiordo Aysén, Fiordo Quitralco y Fiordo Comau, presentó una columna de agua estratificada con marcadas haloclinas en todo el periodo en estudio, donde los mínimos salinos se obtuvieron en superficie y un incremento de ellos entre 30 y 300 m. Esta condición fue descrita inicialmente por Castillo & Valenzuela (2006), quienes señalan que para esta zona de fiordos y canales patagónicos, se genera una circulación tipo estuarina de dos capas con abruptas haloclinas. Además, el agua estuarina menos densa proveniente de la mezcla de aguas salinas oceánicas, sumado a la influencia persistente anual del agua dulce que ingresa a través de la alta precipitación, escorrentía y el derretimiento del hielo, originando una delgada capa de agua (0-30

m) que fluye cerca de la superficie, generando características más variables en la columna de agua, ya que ocasiona una disminución de la salinidad asociada a una abrupta estratificación vertical y que a su vez, origina la circulación gravitacional causada por acción conjunta entre la capa superficial y la capa profunda (Valle-Levinson et al., 2006; Silva & Calvete, 2002; Schneider et al., 2014). Sin embargo, en la sección comprendida entre Boca del Guafo y Estero Elefantes se presentaron menores valores de salinidad durante todo el periodo en estudio en la cuenca sur respecto a la cuenca norte, concordando con lo descrito por Silva *et al.*, (2000), quienes indican que la cuenca norte es menos cálida y más salina que la cuenca sur debido a la influencia oceánica temporal a través de la Boca del Guafo.

El oxígeno disuelto, presentó la mayor concentración en superficie en todo el periodo y área de estudio, donde se observó la columna de agua mayormente estratificada durante primavera y verano con mínimos en profundidad. Sin embargo, la zona del Canal Moraleda donde se recibe una gran influencia oceánica presentó una columna de agua levemente mezclada hacia el periodo de invierno, atribuyendo la forzante del viento y su predominancia en la dirección oeste (Castillo et al. 2015) como principal responsable en los procesos de mezcla durante esta estación.

Las menores concentraciones de nitrato y fosfato se presentaron en superficie y en su mayoría, en la Boca del Guafo y en zonas de cabeceras de fiordos donde también se observó fuertes gradientes de las concentraciones entre la capa superficial (mínimos) y la capa profunda (máximos) durante el periodo estival. Estas bajas concentraciones superficiales en nitrato y fosfato, son en parte, el resultado del ingreso de aguas oligotróficas provenientes de los ríos continentales adyacentes, que en su mayoría presentan un régimen nival, junto a la mayor actividad fotosintética registrada durante este periodo que concuerda con los altos valores de oxígeno disuelto observado. Mientras que las mayores concentraciones de estos nutrientes en la capa profunda, se deben al ingreso de la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), que ingresan a través de la Boca del Guafo y que son comparativamente más ricas en estos nutrientes, además del rol propio de la degradación aeróbica del material orgánico decantado (Silva & Guzmán, 2006; Sievers & Silva, 2008).

En general, el silicato alcanzó sus mayores concentraciones en profundidad y hacia zonas de gran influencia de agua dulce con alto contenido de sílice, como lo son la cabecera del Fiordo Comau y el Paso Tres Cruces, quienes reciben de manera persistente agua dulce proveniente de los ríos y glaciares adyacentes. Según Silva (2006), los bajos valores de silicato hallados en superficie en la temporada estival, se deben a la presencia de agua marinas con bajo contenido de silicato y a su vez, por el consumo del fitoplancton con estructuras silícicas, como las diatomeas. Lo que concuerda con los altos valores de oxígeno disuelto registrados en la capa superficial, que se asocian a una mayor actividad fotosintética durante este periodo.

Cabe señalar, que los valores mínimos de oxígeno se presentaron en el estrato profundo hacia la zona de la Boca del Guafo y en la cabecera del Fiordo Comau. Según Silva et al. (2000), esta disminución en la concentración de oxígeno disuelto registrada en las cabeceras de fiordos, se debería a una remineralización de material orgánico autóctono marino y material alóctono continental transportado a través de los ríos, mientras que las concentraciones mínimas registradas en la capa profunda de la Boca del Guafo, evidencian el ingreso de una masa de agua sub-superficial con bajo contenido de oxígeno disuelto que se ha registrado en periodos de invierno y se acentúa hacia el periodo de verano (Silva & Valdenegro, 2008).

Si bien no se han detectados las bajas de oxígeno en la boca del Fiordo Quitralco, como fueron registrados en el Estudio IFOP 2016-2017 (Soto *et al.*, 2017), durante el periodo las mediciones

realizadas dentro de la depresión del Fiordo, arrojaron intenso valores de Hipoxia llegando en la parte más profunda de la depresión a registrar concentración de hasta 0,5 ml/L , detectando en zonas cercanas a la depresión valores de oxígeno de 3-3,5 ml/L, por una parte es probable que en esta zona ocurra una acumulación de materia orgánica y posterior consumo (degradación), también se observaron elevados valores de nutrientes, que en promedio fueron mayor a lo registrado en la subcuenca sur, con valores similares a lo registrado en la cuenca norte, Schanieder et al., 2014 señala que bajas de oxígeno dentro de los fiordos se debería a procesos biogeoquímicos sumado a la baja ventilación por efecto de la batimetría (zonas profundas y presencia de sill) condiciones que son registradas también en fiordo Quitralco sin embargo, estos niveles de hipoxia y casi anoxia, serían recurrentes en el tiempo y acontecidos en periodos recientes, ya que al explorar los datos cruceros como el Hudson 1971 en esta zona, solo detectan niveles de oxígeno de ~3 ml/L , mientras que los cruceros CIMAR Fiordo en sus diferentes expediciones (2001 y 2007) detectaron niveles en torno a los ~4 ml/L. Por otro, los datos arrojados por el modelo VIC, tampoco revelen grades descargas de agua dulce que pudieran trasportar material particulado como es el caso del Fiordo Aysén, y en este sentido se debe considerar también la influencia de la actividad acuícola en los aportes de material orgánico. En este sentido, las condiciones hipóxicas del fiordo Quitralco serian condiciones locales, a diferencia de otras zonas con bajas de oxígeno, como el fiordo Puyuguapi, que tienen, cierto grado de influencia en una conexión remota, relacionadas a las bajas de oxígeno, que se producirán en los ingresos de agua oceánicas (AESS) de bajo contenido de oxígeno (Pérez-Santos et al., 2017).

6.4 flujo de nutrientes

LOICZ es uno de los modelos más sencillos de implementar, esencialmente por los requerimientos de una acotada cantidad de información que, permiten resolver de una manera adecuada y con cierta robustez los cálculos para determinar: cuál es el flujo de nutrientes dentro de un sistema determinado. Por otra parte, debido a que los nutrientes no tienen un comportamiento conservativo dentro del sistema, es decir la dinámica de estos está sujeta a una serie de interacciones biológicas, que hacen fluctuar sus valores en diversas escalas espacio/temporales LOICZ permite realizar aproximaciones tanto del metabolismo neto del ecosistema, como de algunos de los procesos más relevantes que ingresan y/o remueven nutrientes dentro de un sistema, Wolanski y Elliot 2016. Otro de las ventajas que tiene estos modelos, es la posibilidad de incorporar (modelar) diferentes escenarios o condiciones, una vez que se tiene una cierta comprensión del funcionamiento del sistema y de esta forma tener una aproximación realista de cuales podrían ser las consecuencias de diversas condiciones (Gordon *et al.*, 1996). Siguiendo esta línea, los resultados de LOICZ permitieron comparar las diferentes aportes volumétricos de agua dulce dentro de 2 sistemas estuarinos diferentes, para el caso del Estero Compu, la relación lluvia:rio fue de 1:3, en cambio para el caso del fiordo Quitralco esta misma relación fue de 1:11. Sin embargo es importante señalar que si bien el aporte en los flujos de agua fluvial en fiordo Quitralco fueron mayores que en estero Compu (en 3 órdenes de magnitudes), la carga de nutrientes que ingresa al sistema fue significativamente mayor en estero Compu, estos resultados son importante y se les debe prestar mayor atención en el futuro. Otra de las comparaciones importante entre ambos sistemas y los resultados de la modelación, está relacionado a que permitieron comprender como funciona un sistema determinado, referido a los flujos de ingresos provenientes del sistema marino (M), en el caso del estero Compu, corresponde a una zona próxima a la gran conexión que tiene el estero con el sistema oceánico, mediante la conexión del Guafo y remarca la importancia de este (tal como fue discutido anteriormente). Esto debido a que al estero ingresa una cantidad de nitrógeno mayor a lo que ingresa en fiordo Quitralco, ya que es sabido que la cuenca a la cual pertenecen El

fiordo Quitralco, tiene propiedades físico/químicas diferentes por efectos de la constricción que se genera en la isla Meninea y que impide el ingreso de aguas con altos niveles de nutrientes, en contraste a lo observado en estero Compu. Con esto antecedentes podríamos tener una aproximación gruesa sobre las condiciones, y características de cada zona, considerando que estos son aspectos importantes para considerar en el desarrollo de la actividad productiva para zonas de múltiples usos desde la perspectiva de la gestión territorial pero también ambiental. Soto et al., 2020.

Por otra parte, para el caso del fiordo Quitralco, en términos de consistencia del modelo, los resultados obtenidos son concordante a los resultados obtenidos para seno Gallego (Salcedo-Castro et al., 2020), estudio que representa un sistema altamente estratificado, de esta forma durante todos los periodo modelados en Quitralco, otoño, invierno, primavera y verano los resultados LOICZ, indicaron un metabolismo predominado por los organismo autótrofos en la capa superficial (sobre la picnoclina), y debajo de esta, predominarían los procesos de heterotrofia, esto por una parte indicaría un buen acople entre el metabolismo del sistema y los procesos Biogeoquímicos, de esta forma en la capa superficial estaría ocurriendo un consumo de fosforo (por los organismos fotosintetizadores) y debajo de la picnoclina se produciría una rápida regeneración, de acuerdo a lo indicado por Salcedo-Castro 2020. En esta dirección, considerando las particularidades del fiordo Quitralco, es importante indicar que, si bien los resultados de biomasa fitoplanctónica no fueron elevados, en años anteriores se han reportado para el fiordo Quitralco, concentraciones significativamente altas, en comparación a zonas aledañas como fiordo Cupquelan y Estero Elefante Soto et al., 2017. Desde el punto de vista del nitrógeno el modelo también fue consistente en determinar los principales procesos del nitrógeno que caracterizaron el sistema, e.g predominancia de la fijación del nitrógeno en la capa superficial y desnitrificación debajo de la picnoclina, lo cual también ha sido reportado por Silva et al 2000. en el fiordo Aysén (sistema estratificado). Se encontraron diferencias entre los flujos de nutrientes (fósforo y nitrógeno) entre el estrato profundo y el estrato superficial, lo que estaría indicando una posible carga de nutrientes no cuantificada dentro del sistema, en este sentido y considerando que el fiordo Quitralco es una zona importante actividad acuícola (salmonicultura), el siguiente paso es cuantificar el efecto de la acuicultura para determinar los aportes Materia Orgánica (nitrógeno y fósforo) dentro del fiordo Quitralco, ya que tal como ha sido reportado por Fernández et al., 2019, los aportes de amonio al sistema provenientes de la actividad productiva puede ser 300 veces mayor a lo niveles de amonio natural.

Para el caso del Estero Compu se observaron algunas diferencias, no el flujo del fósforo sino más bien, en el metabolismo del sistema, con un flujo de fósforo negativo (sumidero), junto con un flujo negativo de nitrógeno, pero con una predominancia de la desnitrificación, lo cual no pareciera corresponder con el alto ingreso de nitrógeno de la zona del mar interior. Es posible que el modelo no resuelva bien todos los procesos, para este tipo de sistemas (o se requiera utilizar una configuración espacial diferentes, dividir el sistema en más número de cajas).

Los resultados de LOICZ determinaron que la principal fuente natural, que aporta nutrientes dentro de los sistemas denominados estero Compu y Fiordo Quitralco, sería el ingreso de aguas de origen marino, correspondiendo a los niveles (concentraciones) de nutrientes propios de la condición del Mar Interior de Chiloé (MIC), como a las condiciones del Mar Interior de Aysén (MIA), correspondientes a la cuenca sur. Para el caso del fiordo Quitralco, los aportes por esta vía serían aprox. ~98%. el restante correspondería a los aportes fluviales y pluviales (solo para el caso del nitrógeno), condición similar a lo registrado en estero Compu: aporte de nutrientes por el sistema marino ~95% y la diferencia correspondería a los aportes fluviales y pluviales. Se encontraron diferencias entre los flujos de nutrientes (fósforo y nitrógeno) entre el estrato profundo y el estrato superficial, lo que estaría indicando, una posible carga de nutrientes no cuantificada dentro ambos sistemas, en este sentido y

considerando que el fiordo Quitralco es una zona importante actividad acuícola (salmonicultura), el siguiente paso es cuantificar el efecto de la acuicultura para determinar los aportes Materia Orgánica (nitrógeno y fósforo) dentro del fiordo Quitralco y también dentro del estero Compu.

7. CONCLUSIONES

Mediante el uso de modelación hidrodinámica se obtuvo la circulación marina y las características físicas de la columna de agua para los mares interiores de la región de los Lagos y Aysén, el desempeño de los modelos es evaluado adecuadamente respecto de observaciones in situ.

En la región de Los Lagos, el año 2016 presentó caudales de ríos muy por debajo de sus valores históricos, mientras que el año 2018 sus valores fueron muy por sobre el promedio, los vientos por su parte, se presentaron menos intensos en 2016 que los presentes en 2017-2018.

Bajo la definición de edad del agua usada en este estudio: El agua oceánica de mayor salinidad es la principal fuente de renovación de los sistemas interiores, el agua dulce tiene un impacto menor como fuente de renovación y está acotado a zonas muy específicas de la Patagonia norte.

Tanto las islas Desertores en el mar de Chiloé, como la constricción de Meninea, en la región de Aysén, actúan como un importante límite espacial en la edad del agua. Dejando los mayores valores hacia los fiordos interiores de cada región.

Durante años secos (2016), en el mar interior de Chiloé, se reduce la estratificación y, por tanto, la intensidad de la circulación estuarina, esto provoca el incremento en la edad del agua al norte de islas Desertores. En cambio, en años con ríos más caudalosos, la circulación estuarina es más activa permitiendo la entrada de aguas de edad menor a través del paso Desertores.

Las variables medidas en los diferentes periodos estuvo estrechamente relacionada al esquema de circulación estuarina, básicamente la capa superficial, caracterizada por bajos valores de salinidad, bajo niveles de nutrientes (fosfatos y nitratos) alta concentración de oxígeno disuelto. Debajo de la capa estuarina, mayores registros salinos, mayores concentraciones de nutrientes y menores valores de oxígeno disuelto.

La conformación batimétrica tiene un rol dentro del mar interior de Chiloé (MIC), como el Mar interior de Aysén (MIA). En el caso del MIC las diferentes propiedades medidas en la columna de agua permitieron diferencias espaciales, separando esta zona en 2 cuencas una al norte de la isla Desertores y otra al sur de las islas Desertores. Una situación similar ocurrió en el MIA, producto de la barrera que genera la isla Meninea, separando ambas cuencas con propiedades diferentes.

Los niveles de hipoxia detectados durante esta etapa del estudio, indicaron condiciones más drásticas que lo reportado en estudios anteriores dentro del fiordo Quitralco, concentración de oxígeno disuelto próximo a niveles de anoxia en la zona más profunda de la depresión batimétrica.

El modelo LOICZ es consistente con lo esperado para un sistema estratificado tipo fiordo como Fiordo Quitralco. El modelo resuelve el flujo de nutrientes para un estado estacionario y se puede considerar una herramienta adecuada, para comprender el flujo de nutrientes dentro de un sistema altamente complejo.

La principal fuente natural de nutrientes en ambos sistemas, corresponde al ingreso de agua marina, estos aportes son del 98% en Fiordo Quitralco y 95% en fiordo Compu, aportes fluviales y pluviales serían poco significativo 2% en fiordo Quitralco y 5% en fiordo Compu.

El modelo indica que el fiordo Quitralco, se comporta como un reservorio de nutrientes (DIN y DIP) revelando que existe una fuente adicional de nutrientes no contemplada en el balance inicial.

Fiordo Quitralco debe ser considera una zona frágil desde el punto de vista ambiental, ya que presenta bajas concentraciones de oxígeno disuelto a niveles de hipoxia, que son recurrentes en el tiempo, elevada concentración de nutrientes (carga dentro del sistema) aspectos que deben ser considerados para el desarrollo de las actividades productivas (e.g salmonicultura y mitilicultura).

Se generó información oceanográfica relevante sistematizada, a nivel de ACS, información que puede ser visualizada tanto en este informe como de manera interactiva en Portal Chonos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albretsen J , Sperrevik A.K , Staalstrøm A , Sandvik A.D , Vikebø F , Asplin L , 2011. NorKyst-800 Report No. 1: User Manual and Technical Descriptions. Fisker og Havet. Institute of Marine Research, Bergen, pp. 43.
- Araya-Vergara, J. 1996. Geomorfología comparada de los fiordos de Chiloé y Aysén. Resultados del Crucero CIMAR 1 – Fiordos. Comité Oceanográfico Nacional, Valparaíso. Libro de Resúmenes: 15-17. Disponible en:
http://aysen.udec.cl/wp-content/uploads/Araya_Vergara_1996.pdf.
- Araya-Vergara, J. F. 1999. Perfiles longitudinales de fiordos de Patagonia Central. *Cienc. Tecnol. Mar.* 22: 3-29.
- Araya-Vergara, J. (2006). Geomorfología submarina de fiordos y piedmonts patagónicos. Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. N. Silva and S. Palma (Eds.). Valparaíso, Comité Oceanográfico Nacional Pontificia Universidad Católica de Valparaíso: 25-27 pp.
- Bendat, J. and A. Piersol. 1986. *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*. John Wiley: pp. 566.
- Bendtsen J, J. Mortensen & S. Rysgaard, 2014. Seasonal surface layer dynamics and sensitivity to runoff in a high Arctic, *J. Geophys. Res.Oceans*, 119, 6461–6478.
- Bolin, B & Rodhe, H. 1973. A note on the concepts of age distribution and transit time in natural reservoirs. *Tellus* 25, 58–62.
- Buschmann A, Cabello F, Young K, Carvajal J, Varela D.A & Henríquez L. 2009. Salmon aquaculture and coastal ecosystem health in Chile: Analysis of regulations, environmental impacts and bioremediation systems. *Ocean & Coastal Management* 52(5):243-249. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2009.03.002.
- Bustos B. 2012. Brote del virus ISA: crisis ambiental y capacidad de la institucionalidad ambiental para manejar el conflicto. *Eure*. 38 (115) 219-245 pp. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612012000300010&script=sci_arttext
- Cameron, W. & D. Pritchard. 1963. Estuaries. En M.H. Hill (ed). *The Sea*. Vol 2. New York: 306-324.
- Calvete C & M Sobarzo. 2011. Quantification of the surface brackish water layer and frontal zones in southern Chilean fjords between Boca del Guafo (43°30'S) and Estero Elefantes (46°30'S). *Continental Shelf Research* 31: 162-171.
<https://doi.org/10.1016/j.csr.2010.09.013>.

- Carrasco C & N Silva. 2010. Comparación de las características oceanográficas físicas y químicas presentes en la zona de puerto montta la boca del guafo entre el invierno y la primavera de 2004 y entre las primaveras de 1995 y 2004. *Ciencia y Tecnología del Mar* 33(2): 17-44.
- Delhez E.J.M, Campin J.M, Hirst A.C, Deleersnijder E, 1999. Toward a general theory of the age in ocean modelling. *Ocean Model.* 1, 17–27.
- De Brye B, A. de Brauwere, O. Gourgue, E.J.M. Delhez & E. Deleersnijder. 2012. Water renewal timescales in the Scheldt Estuary, *Journal of Marine Systems*, 94, 74-86.
- Emery, W. J. and R. E. Thomson. 1998. *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Pergamon Press: pp. 634.
- Fernández C, Rain-Franco A, Rojas C, Molina V. 2019 Ammonium release via dissolution and biological mineralization of food pellets used in salmon farming. *Aquac Res.* 00:1–15. <https://doi.org/10.1111/are.14428>.
- Fuentes J. 2014. Evolución del régimen ambiental de la acuicultura en Chile. *Revista de Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso* no.42 Valparaíso. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-68512014000100013#footnote-33032-2.
- Godoy M, Aedo A, Kibenge M, Groman D, Yason C, Grothusen H, Lisperguer, A, Calbucura, M, Avendaño, F, Imilán, M, Jarpa, M, Kibenge, F. 2008. “First detection, isolation and molecular characterization of infectious salmon anaemia virus associated with clinical disease in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Chile.” *BMC Veterinary Research*. 4:28-41
- Gordon D jr., P.R. Boudreau, K.H. Mann, J.-E. Ong, W.L. Silvert, S.V. Smith, G. Wattayakorn, F. Wulff & T. Yanagi. 1996. LOICZ biogeochemical modelling guidelines. loicz/r&s/95-5, vi +96 pp. LOICZ, texel, the netherlands.
- Guerra D. & Silva N. 2004. Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes entre la boca del Guafo y el fiordo Aysén. Resultados crucero CIMAR 9 Fiordos. Comité Oceanográfico Nacional, Valparaíso. Libro de Resúmenes, pp. 15-24.
- Gustafsson, K.E & Bendtsen J. 2007. Elucidating the dynamics and mixing agents of a shallow fjord through age tracer modeling. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 74 (4), 641–654.
- Guzmán D & Silva N. 2002. Caracterización física y química y masas de agua en los canales australes de Chile entre boca del Guafo y estero Elefantes (crucero CIMAR 4 Fiordos). *Cienc. Technol. Mar*, 25(2): 45-76.

- Guzmán D & Silva N. 2013. Caracterización físico-química de los canales australes. Modelo geoquímico del Fiordo Aysén. Editorial Académica Española, p. 106.
- Haralambidou, K., G. Sylaios & V.A. Tsihrintzis. 2010. Salt-wedge propagation in a Mediterranean micro-tidal river mouth. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 90(4): 174-184.
- Jolliffe, I. T. and Stephenson, D. B., 2003: *Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. John Wiley and Sons.
- Kalnay, E., S.J. Lord, and R.D. McPherson, 1998: Maturity of operational numerical weather prediction: medium range. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 2753-2759
- Kärnä T & Baptista A. M. 2016. Water age in the Columbia River estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 183, 249-259. DOI: 10.1016/j.ecss.2016.09.001.
- Kamga, A., S. Fongang, and A Viltard, 2000: Systematic error of ECMWF operational model over tropical Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1949-1959.
- León-Muñoz J, Urbina M.A & Garreaud R. 2018. Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Sci Rep* 8, 1330. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19461-4>
- Liu Z, H. Wang, X Guo, Q Wang & H. Gao, 2012. The age of Yellow River water in the Bohai Sea. *J. Geophys. Res.-Oceans*, 117 (C11), C11006, doi:10.1029/2012JC008263.
- Mooers, C. 1973. A technique for cross spectrum analysis of pairs of complex-valued time series, with emphasis on properties of polarized components and rotational invariant. *Deep Sea Res.*, 20: 1129 – 1141.
- Myksovoll M.S , Sandvik A.D , Skarðhamar J Sundby S , 2012. Importance of high resolution wind forcing on eddy activity and particle dispersion in a Norwegian fjord. *Estuar Coast Shelf Sci* 113: 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.08.019>.
- Pérez-Santos I, Mayorga N, Silva N, Castillo M, Montero P, Schneider W, Pizarro O, Ramírez N, Igor G, Daneri G, A Valle-Levinson, Navarro E & Mesa A. 2017. Determinación de la presencia natural de aguas de bajo contenido de oxígeno disuelto, en zonas utilizadas para el cultivo de salmones, zona Norpatagónica chilena. Informe técnico proyecto del fondo de investigación (FIPA N° 2015-07, SubSecretaría de Pesca y Acuicultura).
- Pérez-Santos I, Romanet S, Schneider W, Linford P, Donoso D, Navarro E, Amaya C Carcamo , Pinilla E & Giovanni Daneri. 2019. Synoptic-scale variability of surface winds and ocean response to atmospheric forcing in the eastern austral Pacific Ocean. *Ocean Science* 15(5):1-20. DOI: 10.5194/os-15-1247-2019
- Pinilla E. 2018. Determinación de las escalas de intercambio de agua en fiordos y canales de la Patagonia, Etapa I. (Informe final). Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero. Disponible

en:

http://190.151.20.106/exlibris/aleph/a23_1/apache_media/XA7Y3QAT7GJNIIHKAVLVJ6PXM4NIIU.pdf

- Pinilla E, Soto G, Soto C, Venegas O, Salas P, Reche P. 2019. Determinación de las escalas de intercambio de agua en fiordos y canales de la Patagonia sur, Etapa II. Instituto de Fomento Pesquero - Subsecretaría de Economía 2019, pp. 55.
- Prad-Fiedler R y Salcedo-Castro J. 2008. Aporte fluvial y pluvial de nitrógeno y fósforo al fiordo Aysén y canales Jacaf -Ventisquero – Puyuhuapi. *Cienc. Tecnol. Mar*, 31 (2): 75-95.
- Ramírez B y Pizarro E. 2005. Distribución de clorofila a y feopigmentos en los canales australes chilenos comprendidos entre Puerto Montt y la laguna san Rafael, Chile. *Cienc. Tecnol. Mar*, 28 (1): 45-62.
- Rodrigo C. 2006. Topografía submarina en canales de la Patagonia Norte. Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. N. Silva & S. Palma (eds.) Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 19-23, disponible en: <http://www.cona.cl/revista/spanish/2-1%20Topograf%C3%ADa%20submarina.pdf>.
- Salinas S, Fierro J, Castillo M y Letelier J. 2002. Tiempo de residencia y proceso de mezcla en la cuenca sur de la constricción de Meninea. Libro de Resúmenes pág. 33-43. Taller sobre los resultados del Crucero Cimar 7 Fiordos. Valparaíso.
- Salcedo-Castro J, Montien A y Barria K. 2020 Balance LOICZ de nitrógeno y fósforo para un área marina proglacial: Influencia de la variación pluviométrica en el flujo de nutrientes. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 55, (3): 191-201. DOI:<https://doi.org/10.22370/rbmo.2020.55.3.2582> .
- Salvo J. 2020. Monitoreo de la especie plaga *Didymosphenia geminata* en cuerpos de agua de la zona centro sur austral, Etapa III, 2018-2019. Informe técnico Instituto de Fomento Pesquero. Pp 37-50 (anexo 1).
- Sandery P.A & Kämpf J. 2007. Transport timescales for identifying seasonal variation in Bass Strait, south-eastern Australia. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 74, 684–696.
- Schlitzer R. 2017. Ocean Data View. Version 4.01, 1-80 pp. disponible en: <https://odv.awi.de/software/download/> .
- Shen J & Wang H.V. 2007. Determining the age of water and long-term transport timescale of the Chesapeake Bay. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 74, 585–598.
- Sandery P.A & Kämpf J. 2007. Transport timescales for identifying seasonal variation in Bass Strait, south-eastern Australia. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 74, 684–696.

- Sievers, H. A., C. Calvete y N. Silva. 2002. Distribución de características físicas, masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre el golfo de Penas y el estrecho de Magallanes (Crucero CIMAR Fiordo 2), Chile. *Cienc. Tecnol. Mar*, 25(2): 17-43.
- Sievers H. y Silva N. 2008. Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. En: N. Silva y S. Palma (eds.). *Avances en el conocimiento océano-gráfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos*. Comité Oceanográfico Nacional, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, 53 – 58.
- Silva, N., C. Calvete & H. 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.
- Skamarock W.C, Klemp J.B, Dudhia J, Gill D.O, Barker D.M, Duda M.G, Huang X.-Y, Wang W, Powers J.G. 2008. A description of the advanced research WRF version 3. In: NCAR Technical Note (475). p. 125.
- Soto D, Leon-Muñoz J, Soria-Galvarro y Quiñones R. 2020. Propuesta de Indicadores Ecosistémicos para el desempeño ambiental de la Salmonicultura, enero 2020. Documento tec. Disponible en: <https://www.incar.cl/wp-content/uploads/2020/01/INFORME-COMPILADO-FINAL-Indicadores-ecosistemicos-para-el-desempe%C3%B1o-ambiental-de-la-salmonicultura-11012020-1.pdf>
- Silva, N., C. Calvete M. & H. A. Sievers 1998. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y laguna San Rafael, Chile (Crucero CIMAR Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar*, 21: 17-48.
- Silva N., Guzmán D y Valdenegro A. 2000. Aysén Sound, Chile. M.LAND-OCEAN INTERACTIONS IN THE COASTAL ZONE (LOICZ) Core Project of the International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change (IGBP) and UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP) Supported by the Global Environment Facility (GEF). Pp 58-63 disponible en : <https://s3-eu-west-2.amazonaws.com/futureearthcoasts/wp-content/uploads/2018/05/30150935/LOICZ-RS15.pdf>
- Silva N & Palma. S. 2006. El programa CIMAR en los canales y fiordos australes. Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 11-15, 2006. Disponible en: <http://www.cona.cl/revista/spanish/1-1%20Introduccion.pdf>
- Smith SV, V Dupra, JI Marshall Crossland & CJ Crossland. 2000. Estuarine systems of the South American region: carbon, nitrogen and phosphorus fluxes. *LOICZ Reports & Studies* 15: 1-87.
- Soto G, Pinilla E y Arriagada M. 2017. Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico, al interior del Estero Elefante XI Región de Aysén. Pp 122. (Informe final). Valparaíso: Instituto de Fomento Pesquero. Disponible en: <https://www.ifop.cl/nuestros-servicios/biblioteca-contacto/>

- Soto G, E Pinilla, P Reche, C Soto & M Arriagada. 2018. Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico, al interior del Mar Interior de Chiloé, X Región de Los Lagos. Informe técnico Instituto de Fomento Pesquero. Pp 89-100.
- Soto G, E Pinilla, P Reche, C Soto, J Cortés. 2019. Modelación de Alta Resolución Aplicada al Transporte Hidrodinámico, en la región de Aysén.
- Valle-Levinson A, Sarkar N, Sanay R, Soto D & León J. 2007. Spatial structure of hydrography and flow in a Chilean Fjord, Estuario Reloncaví. *Estuaries and Coasts* 30 (1), 113–126.
- Valdenegro A & N Silva. 2003. Caracterización oceanográfica física y química de la zona de canales y fiordos australes de Chile entre el estrecho de Magallanes y cabo de Hornos (CIMAR 3 fiordo). *Ciencia y Tecnología del Mar* 26(2): 19-60.
- Valdenegro A & Silva N. 2008. Caracterización oceanográfica de canales australes chilenos entre la boca del Guafo y los canales Pulluche – Chacabuco (CIMAR 8 fiordos). *Cienc. Tecnol. Mar*, 31 (1): 05-44.
- Valle-Levinson, A. 2010. *Contemporary Issues in Estuarine Physics*. Cambridge University Press. 315 pp.
- Vidal G, Murillo M, Contreras H, Pinilla E, Ojeda Y, Alarcón A, Gutierrez D, Silva S, Aguirre C, Venegas O y Días L. 2020. Estudio del desempeño ambiental de la acuicultura en Chile y su efecto en los ecosistemas de emplazamiento. documento tecnico disponible en : <https://www.ifop.cl/nuestros-servicios/biblioteca-contacto/>
- Viero, DP & Defina, A. 2016. Water age, exposure time, and local flushing time in semi-enclosed, tidal basins with negligible freshwater inflow. *Journal of Marine Systems*, Volume 156, p. 16-29.
- Wolanski E & Elliott M. 2017. *Estuarine Ecohydrology - An Introduction*. 2° edition 2017. Editorial. Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands Pp 201-203.
- Zhang W.G, Wilkin, J.L & Schofield O.M.E. 2010. Simulation of water age and residence time in New York Bight. *J. Phys. Oceanogr.* 40, 965–982.

Anexo I: Base de datos.

Anexo II: Distribución espacial variables hidrográficas salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes.

1. Distribución espacial salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes, desde Boca del Guafo a Paso Tres Cruces.

Junio (figura 2): La zona comprendida entre la Boca del Guafo y Paso Tres Cruces, denotó una columna de agua estratificada para la salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. La cuenca al sur de la constricción de Meninea, presentó un estrato superficial caracterizado por una baja salinidad (<30 psu), baja temperatura (<10°C) con inversión térmica hacia el estrato intermedio y máximos superficiales de oxígeno disuelto cercanos a 5 ml/L. En la capa superficial desde la Boca del Guafo hasta el Paso Tres Cruces, la salinidad presentó una disminución en sus valores. Mientras que, en la capa profunda, se identificó dos zonas geomorfológicas separadas entre sí, por la Constricción de Meninea, generando una cuenca norte con mayor salinidad ~33 psu y una cuenca sur con menor salinidad que fluctuó entre 30 y 32 psu. Se observó, que la cuenca norte es relativamente más fría ~10°C en comparación a la cuenca Sur ~10,5°C. Así también, en la capa profunda de la cuenca norte (~3 ml/L) se observó una menor oxigenación que la cuenca sur ~4,5 ml/L. Cabe señalar, que solo en la Boca del Guafo se observó la presencia de la masa de agua ecuatorial subsuperficial, con altos valores de salinidad (34 psu) y bajos valores de oxígeno disuelto (2,5 ml/L).

Se presentó una baja concentración de nutrientes en la capa superficial. El nitrato registró sus valores mínimos en superficie entre 12 y 15 μM , conforme aumentó la profundidad el nitrato se mantuvo con valores homogéneos alrededor de ~16 μM . El fosfato se presentó homogéneo en toda la columna de agua con valores del orden de 2 μM sin grandes fluctuaciones. Mientras que el silicato, presentó un gradiente horizontal en la capa superficial (0-30m) donde se registró valores mínimos cercanos a ~12,5 μM hacia la Boca del Guafo y un aumento progresivo a través del Canal Moraleda con valores que alcanzaron 20 μM en superficie. En general, ambas cuencas exhibieron una diferencia en la concentración de nitrato y silicato. Por su parte, la cuenca norte presentó una mayor concentración de nitrato (16 μM) respecto a la cuenca sur (12-14 μM). En el caso del silicato, la cuenca norte presentó valores más bajos que fluctuaron entre 15 y 20 μM en relación a la cuenca sur que registró valores mayores entre 20 y 22,5 μM .

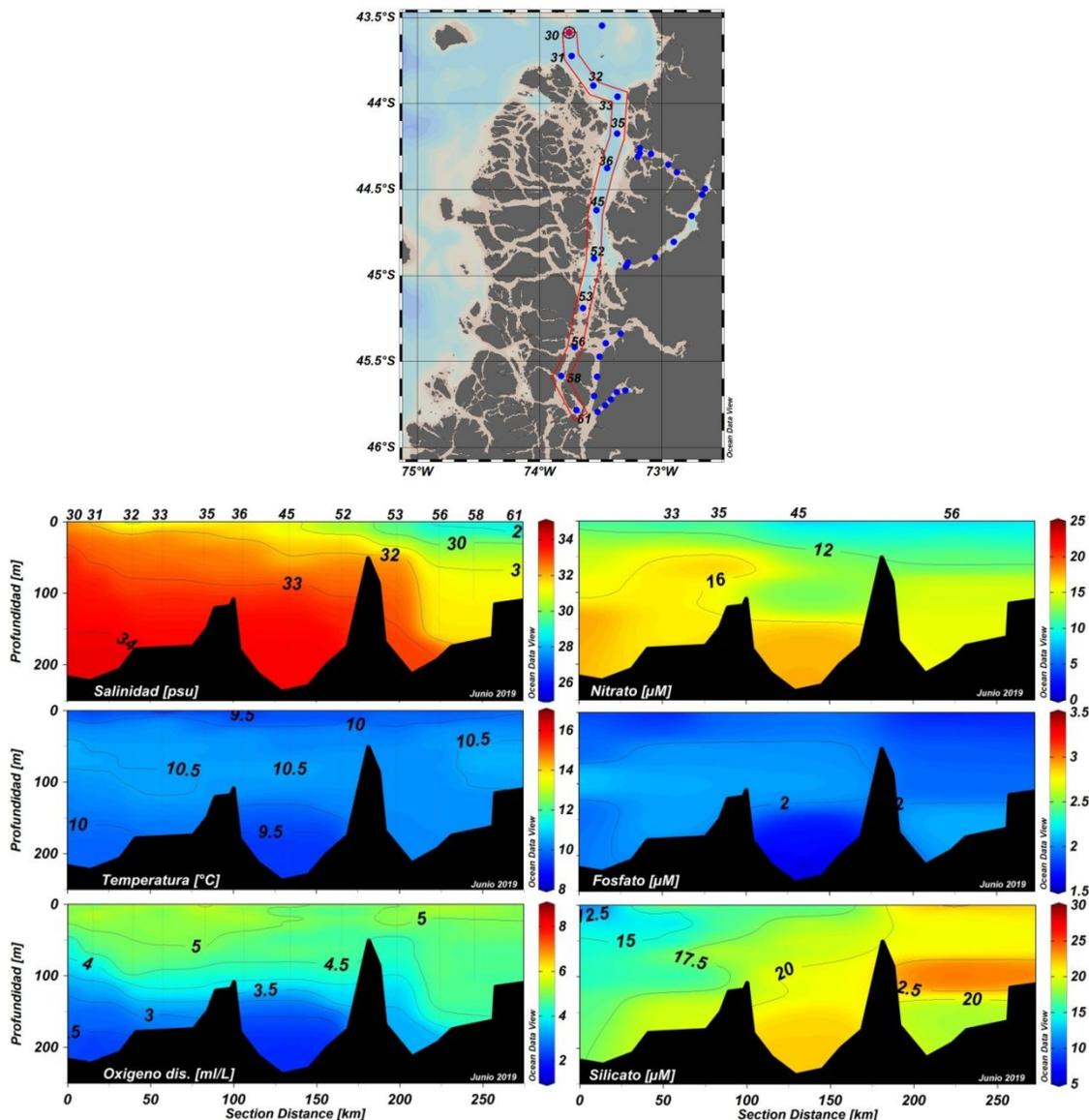


Figura 2. Distribución vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes, desde la Boca del Guafo hasta el Paso Tres Cruces para el periodo junio de 2019.

Agosto (figura 3): Se presentó una columna de agua estratificada para la salinidad, temperatura y oxígeno disuelto desde Boca del Guafo hasta el Paso Tres Cruces. Se observó un gradiente horizontal superficial de norte a sur, donde en la Boca del Guafo (norte) se registró valores cercanos a ~32 psu, mientras que en Paso Tres Cruces (sur) la salinidad registró valores <29 psu. La cuenca norte presentó valores mayores (>33 psu) en la capa profunda respecto a la cuenca al sur de la constricción de Meninea (<32 psu). No se registró presencia de la masa de agua ecuatorial subsuperficial en este periodo. Se presentó una columna de agua relativamente homogénea en valores de temperatura. Sin embargo, se observó una leve diferencia térmica entre la capa superficial y la capa profunda $\approx 0.5^\circ\text{C}$, denotando la permanencia de la inversión térmica observada durante el periodo anterior de junio 2019.

Para el oxígeno disuelto, se presentaron máximos superficiales cercanos a ~5 ml/L. Conforme aumentó la profundidad, se observó una disminución en el contenido de oxígeno disuelto, siendo la cuenca norte (~3,5 ml/L) menos oxigenada que la cuenca sur (~4,5 ml/L).

La capa superficial exhibió valores mínimos en la concentración de nitrato (8 μM). Bajo esta capa superficial y en la cuenca al norte de la constricción de Meninea, se observó una masa de agua con valores homogéneos cercanos a ~12 μM . En contraste a la cuenca sur, donde la concentración de nitrato se mantuvo homogénea entre 8-9 μM en toda la columna de agua. La concentración de fosfato no presentó mayores fluctuaciones durante este periodo, se mantuvieron concentraciones cercanas a ~1,5 μM en toda la columna de agua. El silicato evidencia una capa superficial con valores alrededor de ~15 μM . Conforme aumentó la profundidad se observó una diferencia entre ambas cuencas, la cuenca norte presentó menores concentraciones de silicato (17,5- 20 μM), respecto a la cuenca sur con valores mayores que fluctuaron entre 25 y 27,5 μM hacia los 100 m.

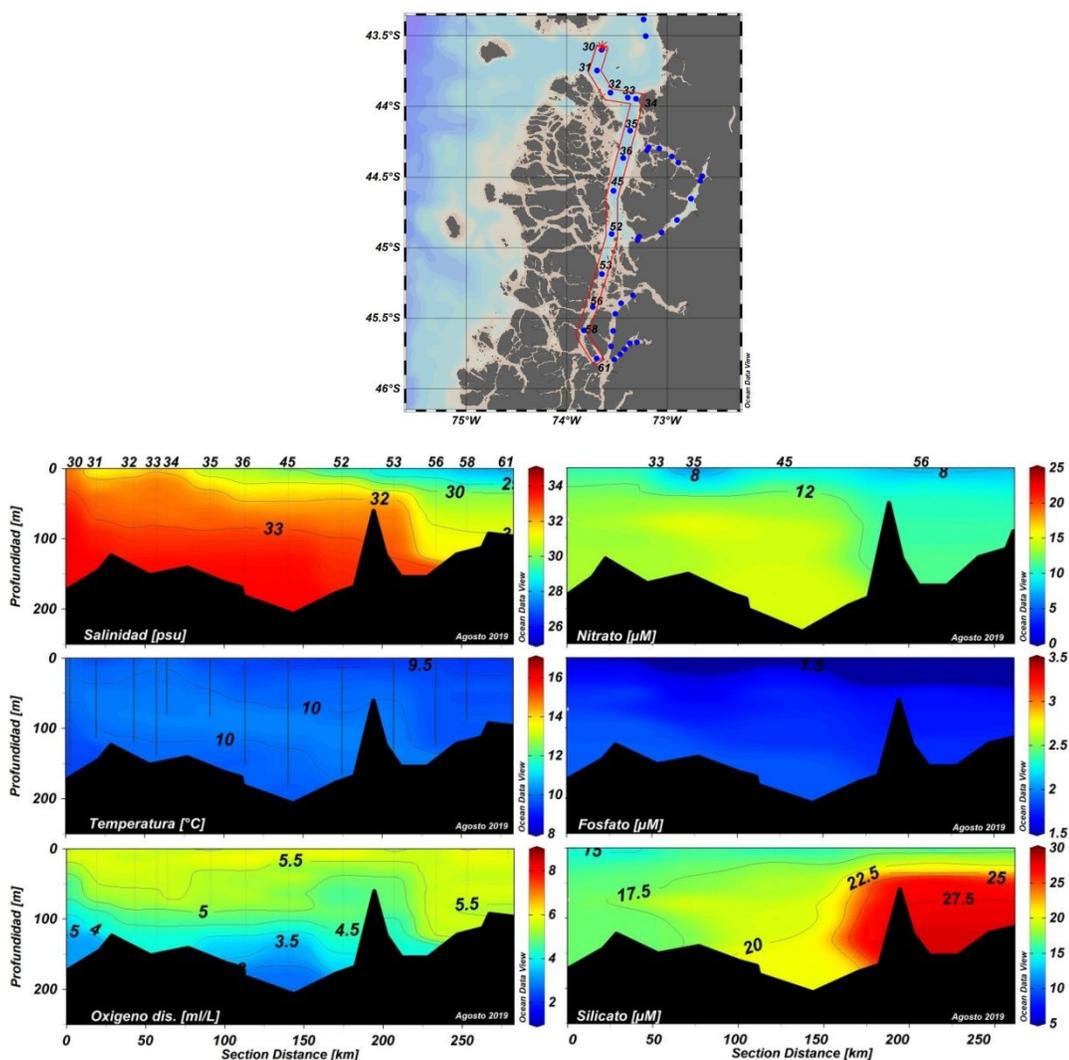


Figura 3. Distribución vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes, desde la Boca del Guafó hasta el Paso Tres Cruces para el periodo agosto de 2019.

Diciembre (figura 4): Se observó una columna de agua estratificada, con bajos valores de salinidad (~31 psu) en los primeros metros de la capa superficial (sobre 50m), conforme aumentó la profundidad se observó un aumento paulatino en la salinidad. En la Boca del Guafo, se registraron valores de 34 psu (distintivos de la AESS), estos valores no se presentaron a través del Canal Moraleda hacia el sur. Bajo la capa superficial, la cuenca norte se presentó más salina (>33 psu) respecto a la cuenca sur menos salina (~32 psu). Para la temperatura, se observó una columna de agua estratificada donde se registraron máximos superficiales >12°C desde la Boca del Guafo hasta la constricción de Meninea. La cuenca norte, registró mínimos profundos cercanos a ~9,5°C, mientras que la cuenca sur registró mínimos profundos alrededor de ~10,5°C, suponiendo que la cuenca sur es más cálida, pero con valores más homogéneos de temperatura en profundidad. Se observó una columna de agua bien oxigenada superficialmente (valores alrededor de ~7,5 ml/L) y estratificada lo largo de toda la transecta. Sin embargo, en la capa profunda ambas cuencas presentaron diferencias en su contenido de oxígeno disuelto, siendo la cuenca norte menos oxigenada (valores ~3,5 ml/L) que la cuenca sur (valores ~5,5 ml/L).

En la capa superficial la concentración de nutrientes exhibió sus valores mínimos, el nitrato registró valores cercanos a ~8 µM, fosfato valores alrededor de ~2,5 µM y el silicato fluctuó entre 12 y 15 µM. Bajo la capa superficial y en la cuenca norte, la distribución de la concentración de nutrientes se presentó mayormente estratificada con valores máximos a 100 m de profundidad (nitrato 20 µM, fosfato 3,5 µM y silicato 22,5 µM). En contraste, la cuenca sur evidenció una mayor mezcla y poca fluctuación de las concentraciones (8-12 µM en nitrato, ~3 µM en fosfato y 12-15 µM en silicato). Cabe señalar, que los diferentes parámetros hidrográficos se presentaron mayormente homogéneos en la cuenca sur respecto a la cuenca norte donde se presentó una mayor estratificación.

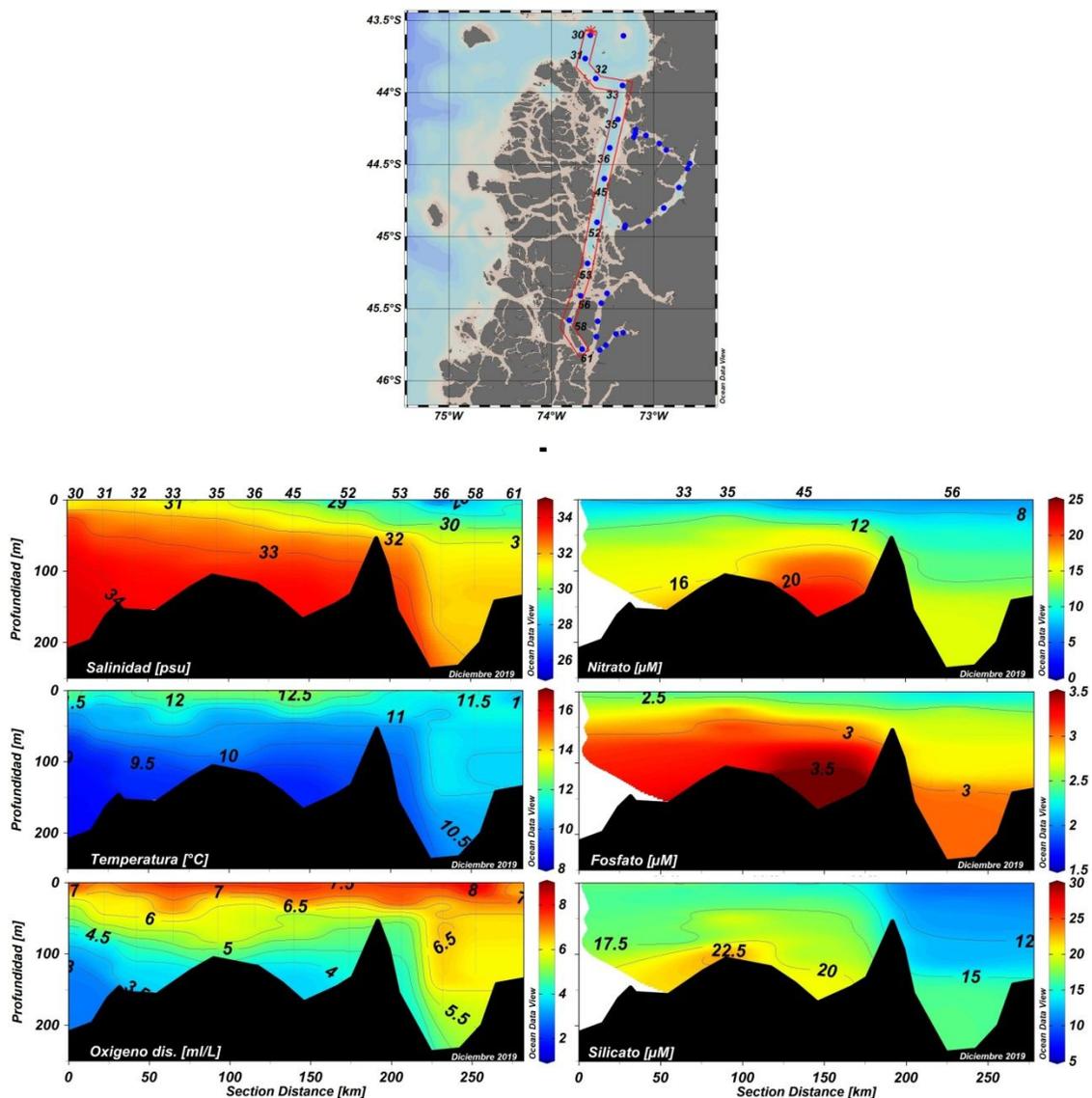


Figura 4. Distribución vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes, desde la Boca del Guafo hasta el Paso Tres Cruces para el periodo diciembre de 2019.

Febrero (figura 5): Se presentó una columna de agua estratificada en salinidad, temperatura y oxígeno disuelto a lo largo de toda la transecta. En la capa superficial desde el Canal Moraleda estación 33, hasta el Paso Tres Cruces estación 61, la salinidad presentó sus valores más bajos <30 psu agua estuarina. En la cuenca norte y bajo la capa superficial, se observó el ingreso de una masa de agua a través de la Boca del Guafo (estación 30) con valores de salinidad cercanos a ~34 psu correspondientes a AESS que fluye hasta el Canal Moraleda (estación 33). Para la cuenca sur, bajo la capa superficial la salinidad se observó relativamente homogénea con valores alrededor de ~32 psu. Se registró un máximo superficial de 14°C en la cuenca norte, mientras que en la cuenca sur se

presentaron temperaturas del orden de $\sim 12^{\circ}\text{C}$, denotando un gradiente horizontal de norte a sur. Bajo la capa superficial, la cuenca norte disminuyó su temperatura conforme aumentó la profundidad hasta alcanzar un mínimo profundo de $9,5^{\circ}\text{C}$ a 120m. Así mismo, en el estrato profundo de la cuenca sur se presentaron temperaturas más homogéneas cercanas a $\sim 11^{\circ}\text{C}$, siendo la cuenca norte más fría respecto a la cuenca sur. Para el oxígeno disuelto, se presentaron valores máximos del orden de ~ 6 ml/L en los primeros 25m de la columna de agua en toda la transecta, destaca un máximo de 6,5 ml/L en la zona norte del Canal Moraleda (estación 33). En la cuenca norte bajo la capa superficial, se observó una abrupta disminución en el contenido de oxígeno disuelto registrando mínimos profundos cercanos a $\sim 2,5$ ml/L, mientras que la cuenca sur presentó valores homogéneos alrededor de $\sim 4,5$ ml/L.

La concentración de nutrientes presentó una distribución y comportamiento similar, valores mínimos de concentración se registraron en superficie más acentuado en la cuenca norte de la constricción de Meninea $<10\ \mu\text{M}$ nitrato, $<2,5\ \mu\text{M}$ fosfato y $\sim 12,5\ \mu\text{M}$ silicato. Bajo la capa superficial y en la cuenca al norte de la constricción de Meninea, la concentración de nutrientes aumenta hasta alcanzar sus máximos valores; $20\ \mu\text{M}$ (nitrato), $3,5\ \mu\text{M}$ (fosfato) y $22,5\ \mu\text{M}$ (silicato), en cambio la cuenca sur reveló una columna más homogénea con mínimos superficiales y menor fluctuación de las concentraciones con valores medios en torno a los $12\ \mu\text{M}$ (nitrato), $3\ \mu\text{M}$ (fosfato) y $16\ \mu\text{M}$ (silicato).

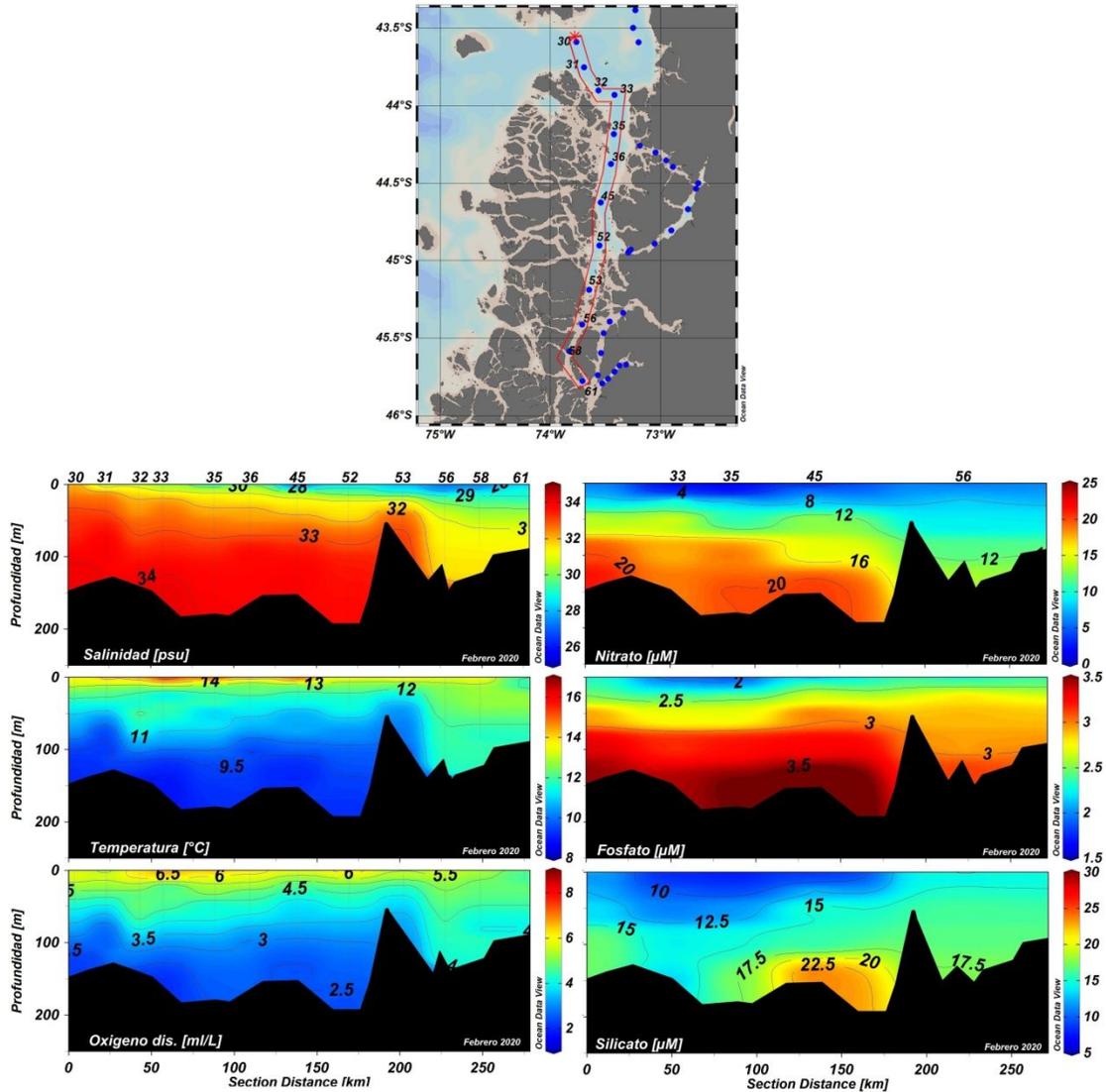


Figura 5. Distribuci3n vertical de salinidad, temperatura, ox3geno disuelto y concentraci3n de nutrientes, desde la Boca del Guafo hasta el Paso Tres Cruces para el periodo febrero de 2020.

1. Distribución espacial salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes, desde Boca del Guafo a Cabecera Fiordo Comau.

Junio (figura 6): Se observó una columna de agua principalmente mezclada en salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. En la capa superficial (0-25m), desde el Archipiélago Desertores (estación 14), hasta la cabecera del fiordo Comau (estación 1) se observó un mínimo salino de 32 psu. Bajo la capa superficial, la salinidad se presentó homogénea con valores cercanos a ~32 psu. Cabe destacar, una leve profundización de la isohalina de 33 psu en el fiordo Comau hasta los 200m. Se presentó una columna de agua mezclada en valores de temperatura a lo largo de toda la transecta. Se registró un mínimo de 9,5°C en el estrato intermedio (100 m) en el sector de Boca del Guafo (estación 30), mientras que en la zona del fiordo Comau (estaciones 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 y 1), se observó una leve diferencia térmica entre la capa superficial y la capa profunda $\approx 0,5^{\circ}\text{C}$ evidenciando una inversión térmica. Se registró una columna de agua mezclada en el contenido de oxígeno disuelto a lo largo de la transecta. Particularmente, en la Boca del Guafo (estación 30) y en la cabeza del fiordo Comau (estación 2) se observó un núcleo con bajo contenido de oxígeno disuelto con valores alrededor de ~3,5 ml/L.

Los nutrientes exhibieron un patrón similar durante este periodo, mayor mezcla entre la Boca del Guafo y Golfo Ancud (estación 9 y 13 respectivamente) con mínimos superficiales; nitrato $< 12 \mu\text{M}$, fosfato $\sim 2 \mu\text{M}$ y silicato $< 20 \mu\text{M}$ y un leve aumento de sus concentraciones en profundidad. Hacia la zona de fiordo Comau (estaciones 9, 5 y 1) el nitrato evidenció su menor concentración en los primeros 100 m de la columna de agua con un mínimo de $8 \mu\text{M}$. Sin embargo, hacia la zona de la cabecera del fiordo se presentó una mayor estratificación y valores más elevados de los nutrientes en la capa profunda (nitrato $16 \mu\text{M}$, fosfato $2,5 \mu\text{M}$ y silicato $35 \mu\text{M}$).

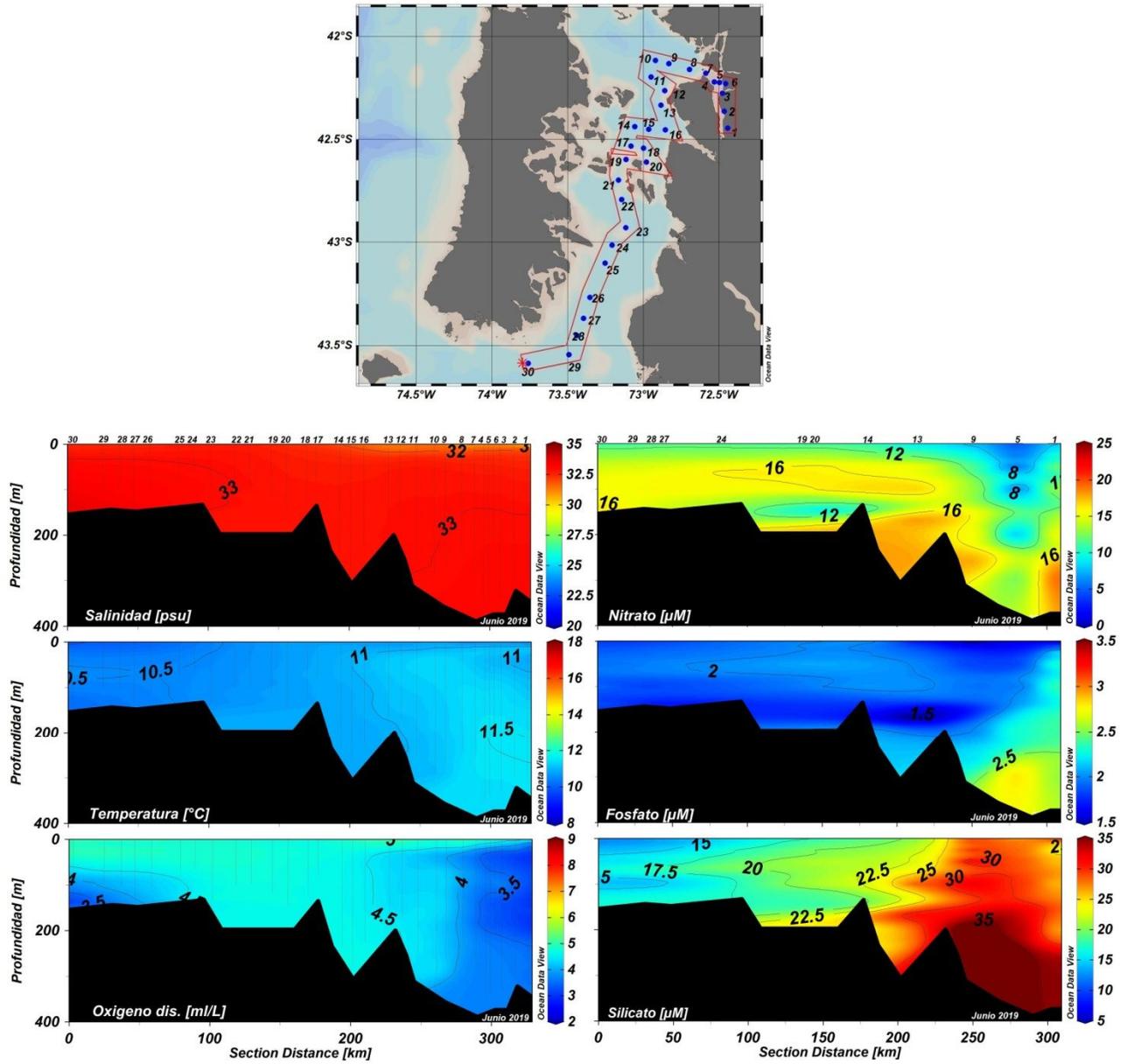


Figura 6. Distribuci3n vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentraci3n de nutrientes, desde la Boca del Guafo hasta el fiordo Comau para el periodo junio de 2019.

Agosto (figura 7): Salinidad y temperatura, revelaron una columna de agua mayormente mezclada, donde se observó un mínimo salino superficial de 30 psu a través del fiordo Comau (estaciones 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1). Bajo la capa superficial, se registró una columna de agua homogénea con valores cercanos a ~33 psu a lo largo de toda la transecta. Cabe destacar, la profundización a 300m en este periodo de la isohalina de 33 psu. Se registró una columna de agua completamente mezclada en valores de temperatura del orden de 10-10,5°C en toda la transecta. Particularmente, al interior del fiordo Comau se observó un máximo profundo de 11°C generando una diferencia térmica $\approx 0,5^\circ\text{C}$ entre la capa superficial (10,5°C) y la capa profunda, evidenciando una inversión térmica al interior del fiordo. Para el oxígeno disuelto, se presentó una columna de agua estratificada con máximos superficiales alrededor de ~5,5 ml/L. Conforme aumentó la profundidad, disminuyó el contenido de oxígeno disuelto alcanzando valores mínimos en el fondo. Se observó el ingreso de una masa de agua con baja concentración de oxígeno disuelto (3,5 ml/L) distintivo de la masa de agua AESS a través de la Boca del Guafo (estación 30).

La concentración de los nutrientes en la capa superficial (0-30 m) a lo largo de la sección, presentó contenidos comparativamente bajos ($< 8 \mu\text{M}$ en nitrato, 0-1,5 μM en fosfato y 10 μM en silicato). Bajo la capa superficial, nitrato y silicato elevaron levemente sus concentraciones (12 μM en nitrato y 17, 5 μM en silicato), mientras que el fosfato se mantuvo relativamente homogéneo en toda la columna de agua, destacando un leve aumento hacia la zona profunda de la cabecera de fiordo donde se registró un máximo de 2 μM , al igual que para el silicato el cual alcanzó un máximo de 30 μM entre los 200 y 400 m de profundidad.

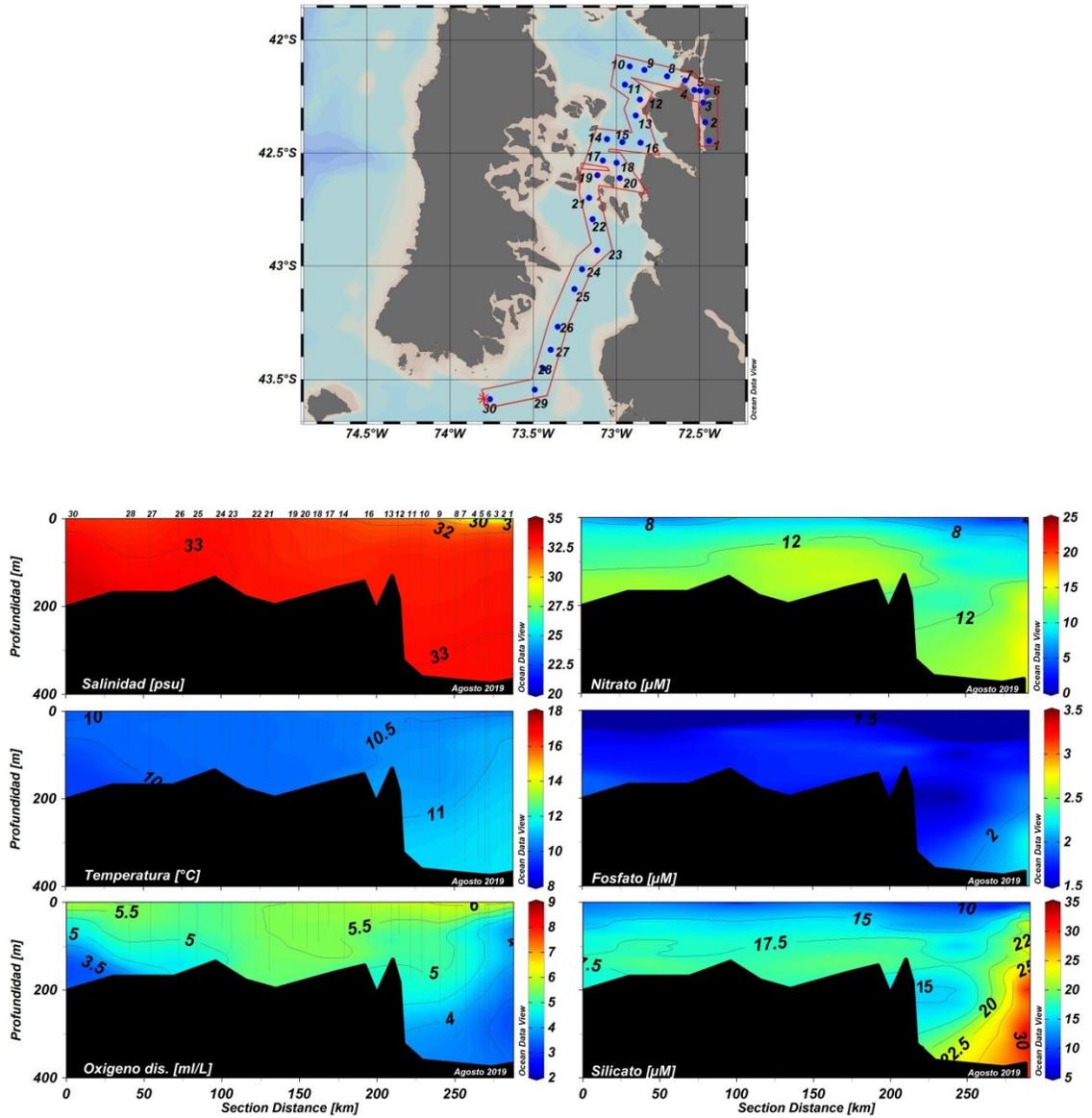


Figura 7. Distribuci3n vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentraci3n de nutrientes, desde la Boca del Guafo hasta el fiordo Comau para el periodo agosto de 2019.

Diciembre (figura 8): Se observó una columna de agua estratificada para salinidad, temperatura y oxígeno disuelto. Mínimos superficiales salinos <30 psu se registraron en el interior del fiordo Comau evidenciando la presencia de agua estuarina en superficie. Bajo la capa superficial, se presentaron valores homogéneos en salinidad cercanos a ~ 33 psu a lo largo de toda la transecta. Un núcleo de agua salina con valores de 34 psu distintivo de la AESS se registró a través de la Boca del Guafo (estación 30). Cabe destacar, la abrupta profundización (400m) en este periodo de la isohalina de 33 psu en el fiordo Comau. Se presentó una columna de agua estratificada en valores de temperatura, donde se exhibió una capa superficial con máximos cercanos a $11,5^{\circ}\text{C}$ en el MIC, mientras que para el fiordo Comau los máximos se presentaron del orden de $\sim 15^{\circ}\text{C}$. Bajo la capa superficial, la temperatura tiende a disminuir registrando sus menores valores en profundidad, mínimos de 9°C se observaron en el sector de la Boca del Guafo (estación 30), mientras que en el fiordo Comau se evidenció una capa profunda mezclada con valores alrededor de $\sim 11^{\circ}\text{C}$. Para el oxígeno disuelto, se registraron máximos superficiales >7 ml/L a lo largo de la transecta, exceptuando el sector de fiordo Comau donde se registró una capa superficial bien oxigenada con máximos del orden de 8,5 ml/L. Bajo la capa superficial, el contenido de oxígeno disuelto disminuyó paulatinamente hasta alcanzar mínimos de 3 ml/L en el sector de la Boca del Guafo (estación 30) evidenciando el ingreso de una masa de agua de menor oxigenación. La zona del MIC y fiordo Comau, presentaron un estrato profundo relativamente homogéneo con valores cercanos a 5 ml/L.

Por su parte, los nutrientes evidenciaron un comportamiento similar a lo largo de la transecta, concentraciones más homogéneas ($12-17 \mu\text{M}$ en nitrato, $3- 3,5 \mu\text{M}$ en fosfato y $15-20 \mu\text{M}$ en silicato) se presentaron en toda la columna de agua del MIC, acentuándose hacia la cabecera del fiordo Comau donde se registró mínimas concentraciones en superficie ($4 \mu\text{M}$ en nitrato, $2 \mu\text{M}$ en fosfato y $10 \mu\text{M}$ en silicato) y un abrupto aumento en ellas en profundidad alcanzando máximos de $20 \mu\text{M}$ en nitrato, $> 3,5 \mu\text{M}$ en fosfato y $22,5 \mu\text{M}$ en silicato, evidenciando una mayor estratificación durante este periodo.

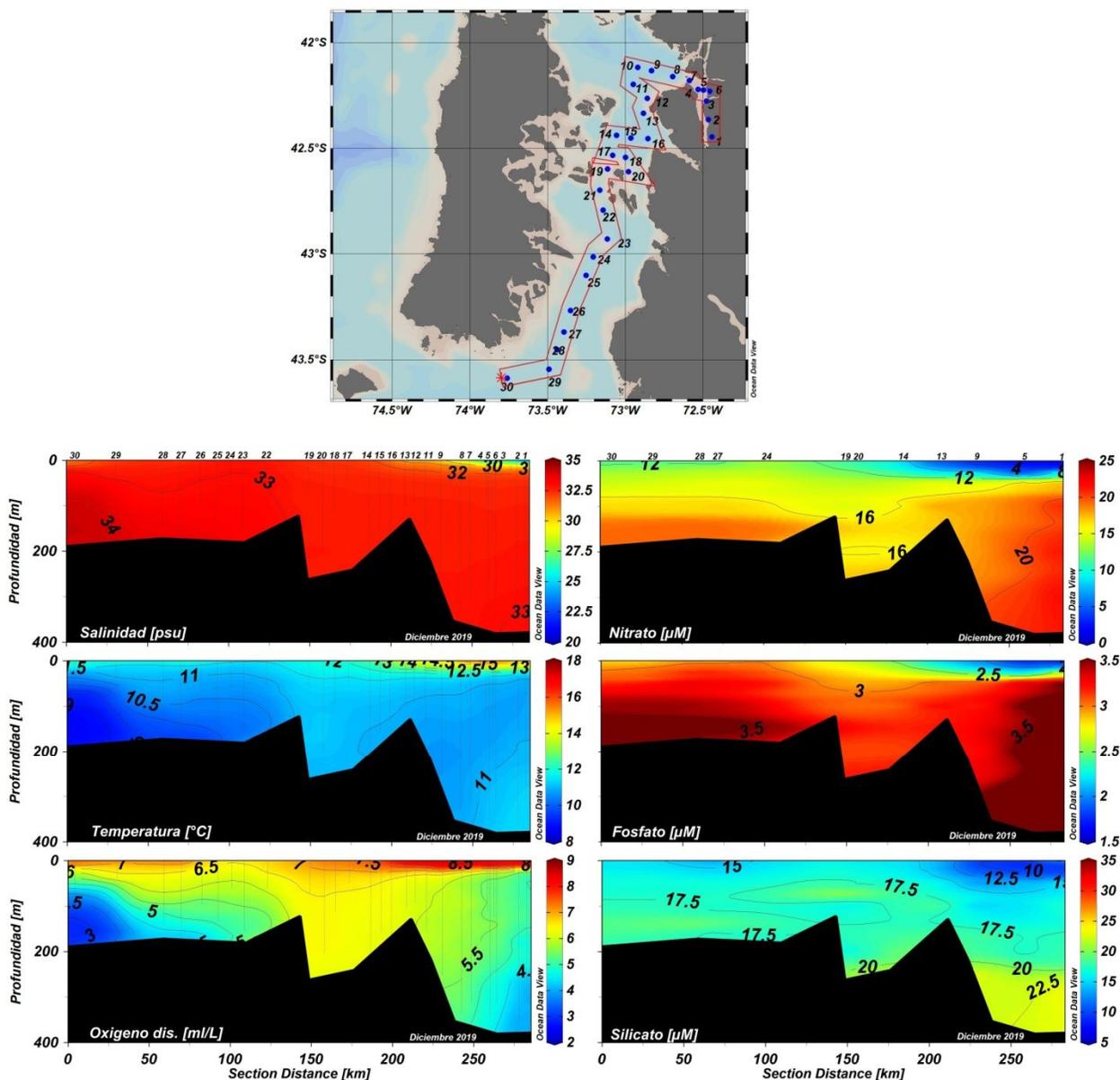


Figura 8. Distribución vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentración de nutrientes, desde la Boca del Guafo hasta el fiordo Comau para el periodo diciembre de 2019.

Febrero (figura 9): Se observó una columna de agua mayormente mezclada en salinidad para éste periodo, donde se presentó mínimos superficiales <28 psu en el sector de fiordo Comau exhibiendo la presencia de agua estuarina. Particularmente, desde la Boca del Guafo (estación 30) hasta el archipiélago Desertores (estación 19) se observó el levantamiento de la isohalina de 33 psu hasta 25m y en el estrato profundo de la estación 30 el ingreso de una masa de agua de 34 psu distintivo de la masa de agua AESS. Cabe destacar, que la isohalina de 33 no fue observada durante este periodo en el interior del fiordo Comau. Se presentó una columna de agua estratificada en temperatura, con

máximos superficiales que fluctuaron entre 12,5- y 15°C, registrando valores máximos en el sector de la cabecera del fiordo Comau en los primeros 50m con temperaturas cercanas a ~15°C. Bajo la capa superficial, se observó un estrato profundo con temperatura homogénea cercana a 11°C. Particularmente, en el sector de la Boca del Guafo (estación 30) se observó el ingreso de una masa de agua más fría con temperaturas de 10°C a 180m. En la capa superficial, el contenido de oxígeno disuelto fluctuó entre 5 y 5,5 ml/L alcanzando valores máximos. Bajo la capa superficial, el oxígeno disuelto permaneció con valores homogéneos del orden de ~3,5 ml/L. Particularmente, en la estación 30 se registró el ingreso de una masa de agua profunda con bajo contenido de oxígeno disuelto (2,5 ml/L) que fluye a través de la Boca del Guafo hacia el Mar Interior de Chiloé.

La concentración de nutrientes presentó concentraciones mínimas en superficie (4-10 μM en nitrato, <2,5 μM en fosfato y 10-15 μM en silicato) acentuadas principalmente la zona de la Boca del Guafo (est. 30 y 29) y en la cabecera del fiordo Comau (estación 1). En ambas zonas se observó un aumento progresivo en la concentración de los nutrientes, alcanzando máximos de 20 μM en nitrato, ~3,5 μM en fosfato y entre 20-27,5 μM en silicato bajo los 100m de profundidad. La zona adyacente al archipiélago Desertores (est. 24, 19, 20 y 14), evidenció una columna de agua completamente homogénea en la concentración de los nutrientes, nitrato registró valores alrededor de ~16 μM , fosfato ~3 μM y silicato ~20 μM .

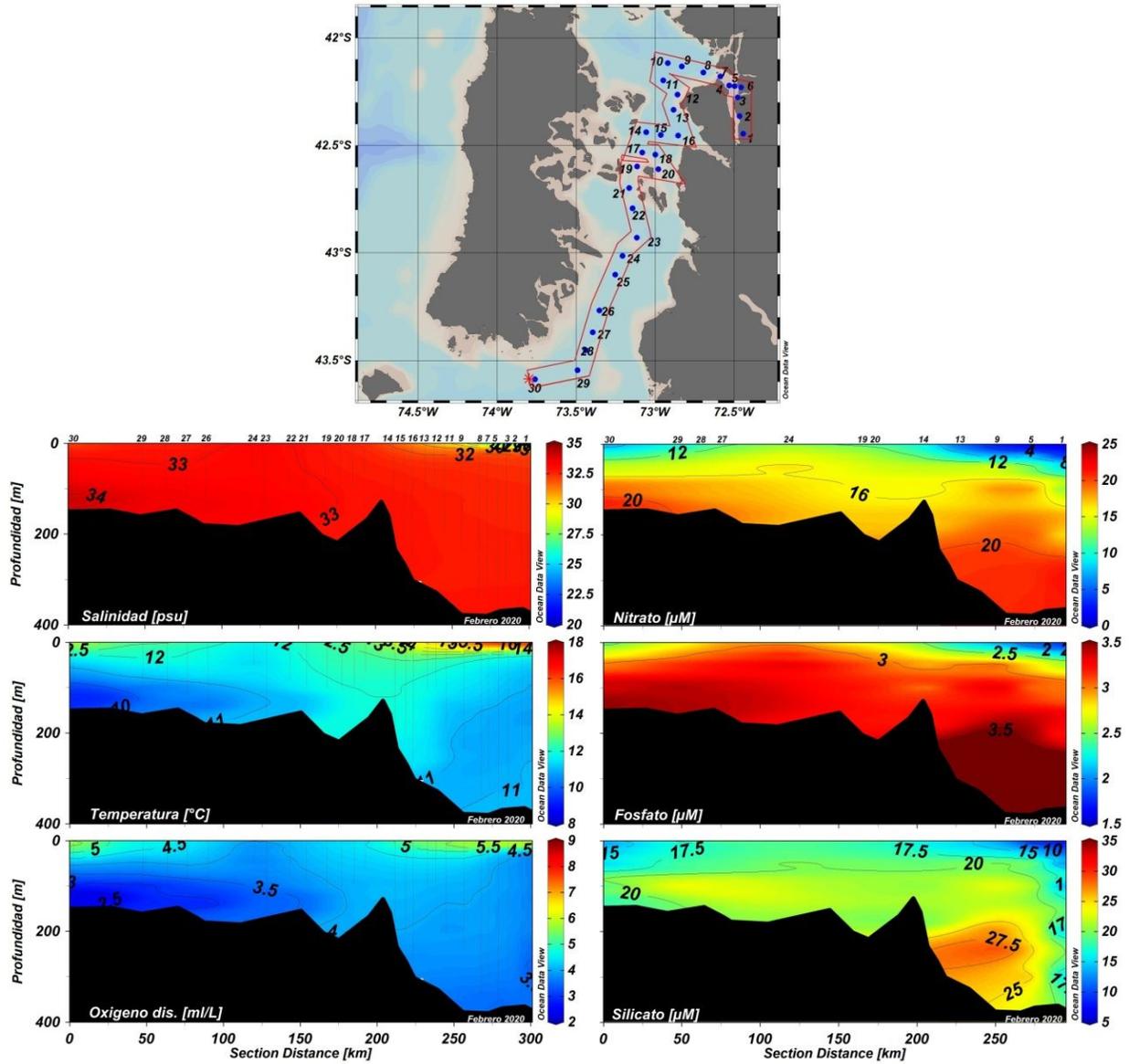


Figura 9. Distribuci3n vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y concentraci3n de nutrientes, desde la Boca del Guafo hasta el fiordo Comau para el periodo febrero de 2020.

Anexo II: Modelo conceptual para las cargas de nutrientes en un sistema estuarino.

Principales fuentes de nutrientes en el sistema de fiordos y canales Australes de la Patagonia chilena.

Los nutrientes dentro de un sistema estuarino pueden ingresar por diferentes vías. Particularmente los ríos, tienen una marcada influencia en la composición e intercambio de diferentes sustancias particuladas y/o disueltas (e.g nutrientes), ya que por este mecanismo ingresan directamente estas sustancias, mediante la descarga de los ríos en la capa superficial. Cantidad que será proporcional al volumen de descarga (flujo), en este sentido destacan el alto aporte de silicatos, por sobre los aportes de nitrato y fosfato.

Dado la heterogeneidad ambiental que caracteriza la zona de fiordos y canales australes, podemos observar diferencias espaciales en los aportes de nutrientes, de esta forma para el DIN (nitrato+nitrato), lo mayores valores corresponden a las descargas próximas al seno de Reloncaví, y en menor grado la zona del norte del Mar interior de Chiloé, un patrón similar, se observó en el fosfato, pero con los máximos aportes en la zona de campos de hielo Norte (estero Elefante, fiordo Quitralco, bahía Exploradores) ~46°S. Un patrón diferente se observó en el caso del silicato, con un aporte mayor en las zonas próximas a las descargas del fiordo Aysén y fiordo Quitralco (45°S- 46°S) y bajos valores en la zona de fiordo de Reloncaví y zona costera de Chiloé.

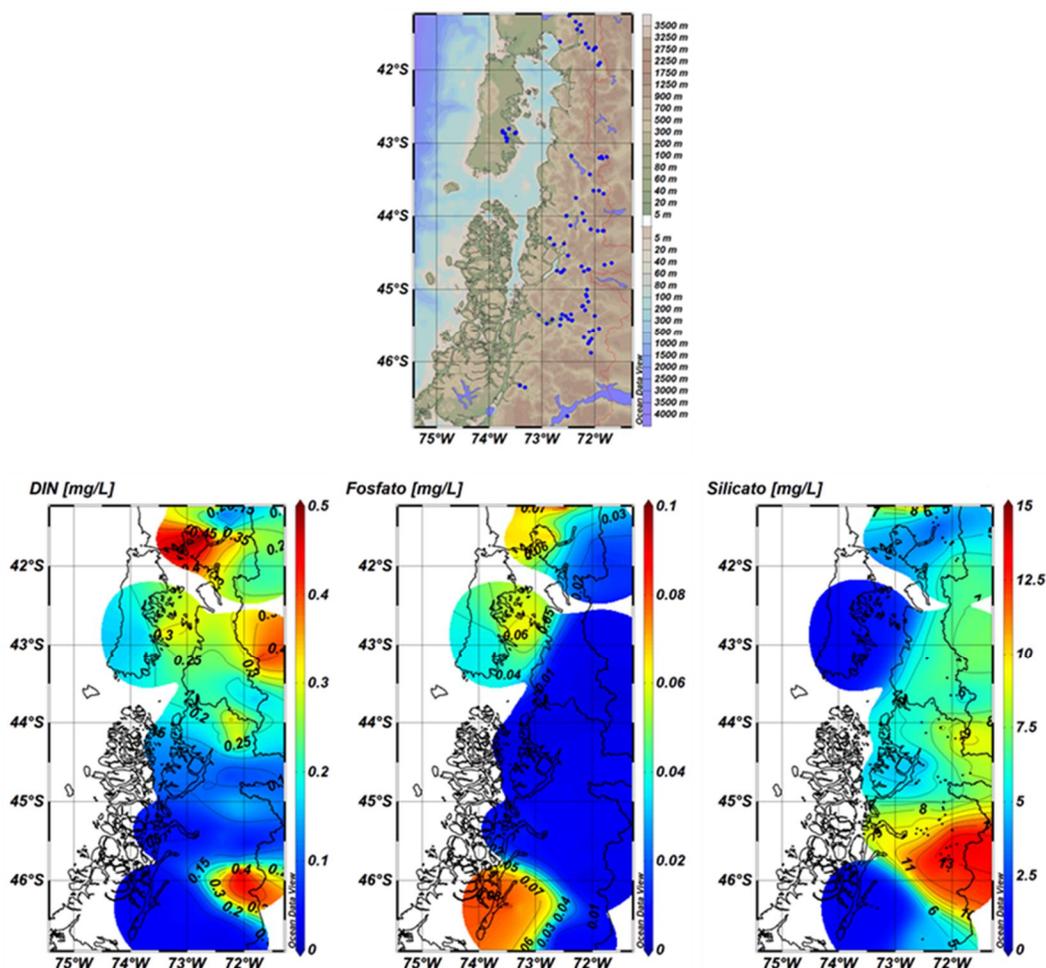


Figura 1. Panel superior puntos de monitoreo con información de nutrientes. Panel inferior distribución espacial, mediante interpolado de la concentración de DIN (nitrato+nitrato), fosfato y silicato de los principales ríos, en la Patagonia Norte.

Transporte advectivo: Esto corresponde al aporte desde las zonas oceánicas adyacentes, al sistema de fiordo y canales Australes (mares interiores), en relación a esto se han detectado diferentes masas y cuerpo de agua, que logran transportar sus propiedades (físico/químicas), desde la zona oceánica hacia el MIA y MIC, donde destacan, las masas de agua subantártica (ASAA) capa subsuperficial (50-150 m) y el agua ecuatorial subsuperficial (AEES) capa profunda (>150 m), no obstante esta masa de agua que posee las mayores concentraciones de nitrato y fosfato, por efecto de la batimetría no logra ingresar a todos los fiordos y canales. Los niveles de nutrientes de cada una estas masas de agua y la posición espacial que ocupan en la columna de agua, están bien documentadas en los diferentes cruces CIMAR (figura 2).

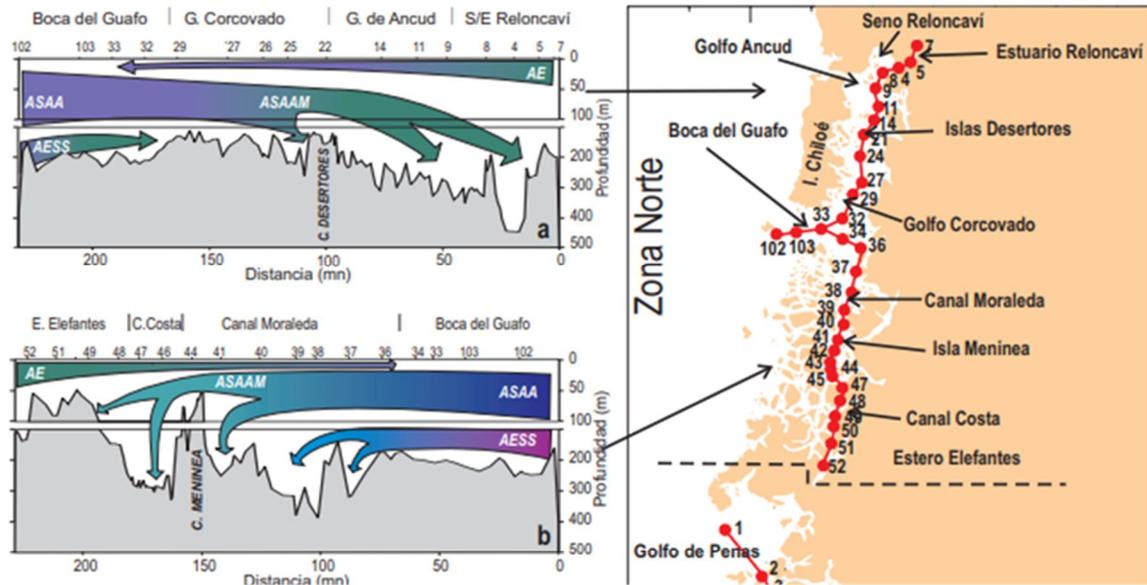


Table 1. Water masses and their characteristic water types (θ = potential temperature): Summer Subantarctic Water (SSAW), Subtropical Water (STW), Subantarctic Water (SAAW), Equatorial Subsurface Water (ESSW), Antarctic Intermediate Water (AAIW), and Pacific Deep Water (PDW).

Tabla 1. Masas de agua y sus valores tipo característicos (θ = temperatura potencial).

Water mass	θ (°C)	Salinity	Oxygen (mL L ⁻¹) ^a	Phosphate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) ^a	Silicate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) ^a	Nitrate ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) ^a	NO ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) ^b	PO ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) ^b	Mass conservation
SSAW	15.0	33.0	5.7	0.66	0.0	2.20	272.63	350.94	–
STW	20.0	35.2	4.88	0.28	0.0	0.07	190.62	270.98	–
SAAW	11.5	33.8	5.83	0.84	0.0	14.88	358.40	417.59	–
ESSW	12.5	34.9	0.1	3.02	24.39	17.12	245.98	452.87	–
AAIW	3.0	34.0	4.7	1.95	9.76	36.70	501.54	507.66	–
PDW	1.75	34.68	1.7	2.92	108.21	39.15	517.42	574.90	–
Weights	24	12	2	2	12	2	6	6	100

^a These water types are obtained from local values as explained in the text.

^b From these preformed values of NO and PO it is possible to estimate preformed values of nitrate and phosphate assuming saturated values of oxygen in the formation region as explained in Pérez *et al.* (1993).

Figura 2. Panel superior distribución vertical de las diferentes masas que logra ingresar al sistema del MIC y MIA. panel inferior valores típicos de nutrientes y otras propiedades físico-químicas que las diferentes masas de agua logran ingresar al sistema del MIC y MIA.

Existen flujos de ingresos de las aguas subterráneas, que en las últimas décadas ha tenido interés, así por ejemplo el nitrógeno puede ingresar por estas vías, como una fuente de nutrientes a los sistemas estuarino, por otro lado, los flujos de agua subterráneas se encuentran asociados al ingreso de nutrientes nuevos, e.g para el caso del fósforo, este ingreso se realiza por lixiviados de los suelos, aunque dependerá de las características físicas de los suelos, tal como lo ha determinado National Ground Water Association (NGWA). Esta fuente solo es considerada en los balances, cuando sus flujos son conocidos, aunque suelen ser menores que los flujos de agua proveniente de la descarga de los ríos. No obstante, debido a la escasa información disponible sobre los flujos de agua

subterránea en la zona sur Austral de Chile, en el presente estudio sólo se menciona esta fuente en el esquema conceptual, pero no será considerada dentro del balance de nutrientes.

Finalmente, otra fuente de nutriente que, puede ingresar a los sistemas, corresponde a los aportes atmosféricos, particularmente de nitrógeno, los cuales ingresan de forma directa a los sistemas mediante la lluvia, en esta dirección Prado-Fiedler y Salcedo (2008), efectuaron una estimación de los aportes de nitrógeno, bajo la forma de nitrato y amonio, dentro de un ciclo anual en el fiordo Aysén. Si bien estos resultados no detectaron un patrón estacional marcado, si evidenciaron que el amonio tiende a ser mayor que el nitrato, con máximo absoluto de 6.5 μM (amonio), mientras que el nitrato registró un máximo absoluto de 2 μM . aunque la concentración media anual de ambos, tiende a ser $\approx 1 \mu\text{M}$. Basados en la gráfica de aportes pluviales de nitrógeno descrita por y Salcedo (2008), se efectuó un aproximación y se reconstruyó una ciclo estacional promedio (otoño, invierno primavera, verano) y se utilizó esta aproximación para efectuar la estimación de nitrógeno pluvial del balance de nutrientes del estero Compu y el fiordo Quintralco, respectivamente.

Considerando estas diferentes fuentes naturales de nutrientes, anteriormente mencionadas se elaboró un modelo conceptual (figura 3), para esquematizar como las diferentes fuentes ingresan nutrientes, como salen y se intercambian nutrientes, dentro de un sistema costero que puede corresponder a un fiordo, a una bahía o a un estuario. Las flechas azules indican los flujos de ingreso, mientras que las flechas rojas indica los flujos de egreso, las flechas negras representan el flujo que se intercambia y dependiendo de los valores proveniente en una dirección u otro, indicará si el sistema se comporta como una fuente o como un exportador neto de nutrientes (lo cual se determina posteriormente mediante el balance). V es equivalente al flujo de agua propiamente, mientras que N representa la concentración de nutrientes contenida en dicho flujo.

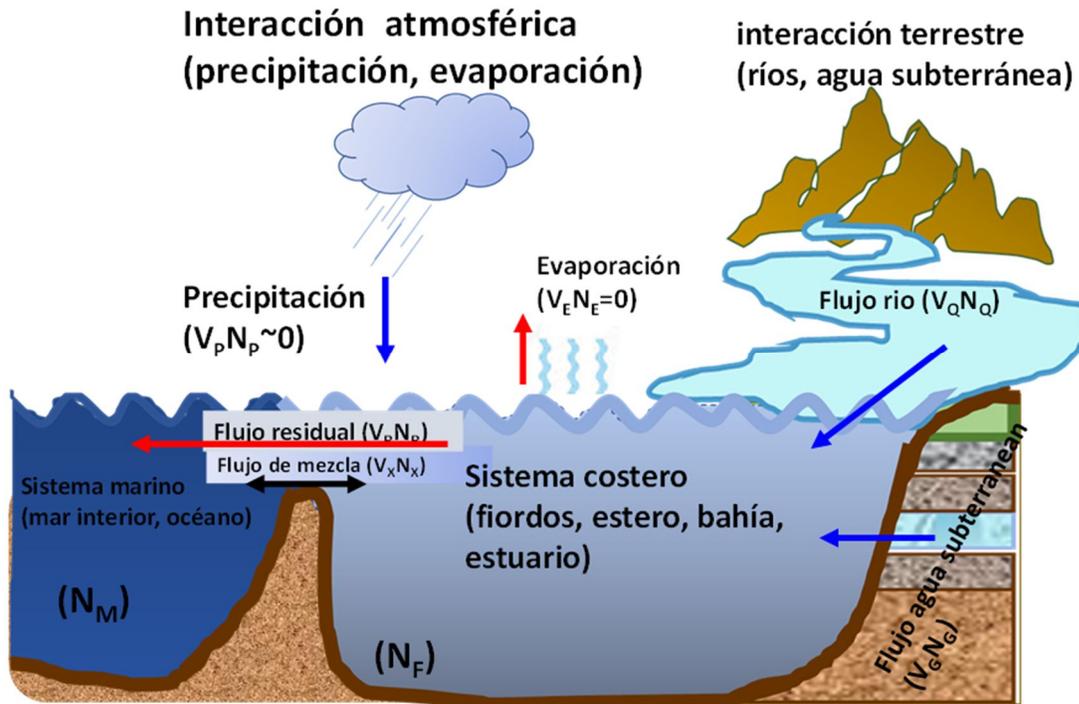
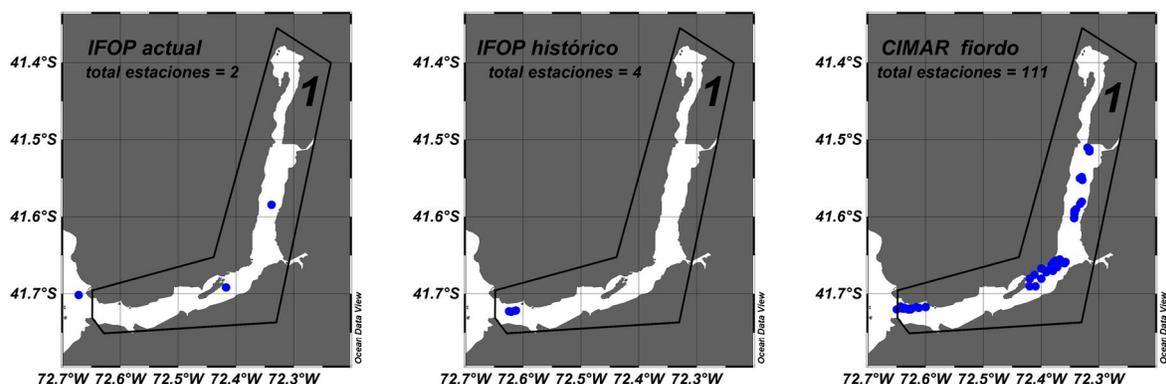


Figura 3. Esquema conceptual sobre los ingresos/salidas de nutrientes de un sistema tipo fiordo, bahía, estuario que se encuentra influenciado por descargas de agua dulce: fluvial (V_Q), pluvial (V_P), ingreso de agua subterránea (V_G) y flujos de egreso por evaporación (V_E). concentración de nutrientes en el sistema marino (N_M), concentración de nutrientes dentro del sistema (N_F).

Anexo IV. Resúmenes estadísticos ACS, para salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y nutrientes.



IFOP A		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
1	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-16m	28,46	5,73	32,39	47	4,12	4,65	6,23	47	11,57	11,22	12,43	47	
17-250m	32,82	31,95	32,98	508	3,39	2,69	3,85	508	11,38	10,93	11,61	508	
Total	32,45	5,73	32,98	55	3,45	2,69	6,23	55	11,40	10,93	12,43	555	

IFOP A		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
1	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-16m	10,62	4,59	20,46	9	1,98	0,49	2,96	9	35,75	9,79	87,86	9	
17-250m	9,57	8,23	12,33	12	2,65	2,06	3,45	12	19,90	12,53	32,68	12	
Total	10,04	4,59	20,46	21	2,36	0,49	3,45	21	34,29	9,79	87,86	21	

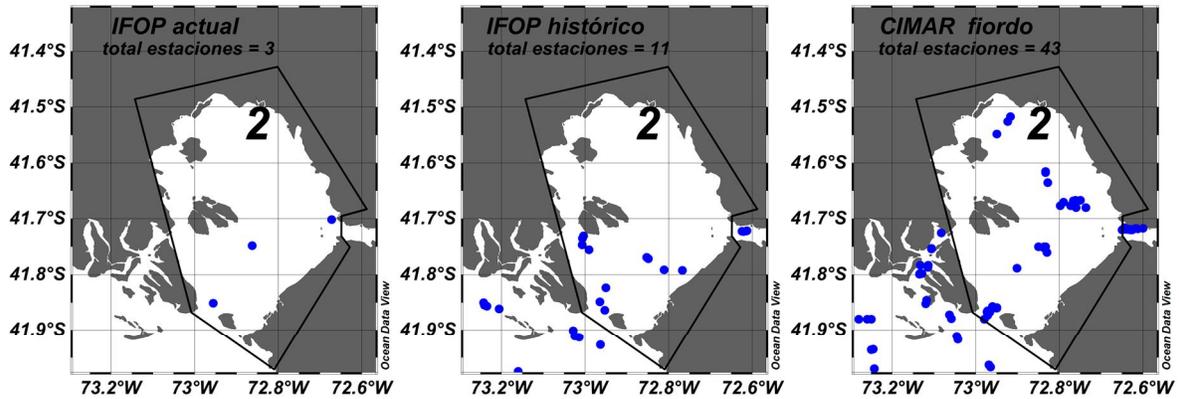
IFOP H		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
1	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-20m	29,98	3,38	32,43	74	5,22	4,18	9,66	74	12,01	7,78	16,42	74	
21-251m	32,70	32,24	32,91	838	3,87	3,19	6,22	838	11,48	11,21	12,87	838	
Total	32,48	3,38	32,91	912	3,98	3,19	9,66	912	11,53	7,78	16,42	912	

IFOP H		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
1	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-20m	5,00	0,30	8,29	10	0,60	0,07	0,75	10	22,00	5,19	55,89	10	
21-251m	11,05	6,62	17,31	5	1,30	0,21	2,37	5	21,22	14,28	31,10	5	
Total	7,0,16	0,30	17,31	15	0,84	0,07	2,37	15	21,87	5,19	55,89	15	

CIMAR		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
1	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-26m	28,61	0,44	32,39	2791	6,42	3,20	10,53	2791	6,42	3,20	10,53	2791	
27-450m	32,06	28,00	33,08	17031	3,81	2,16	5,29	17031	3,81	2,16	5,29	17031	
Total	32,06	0,44	33,08	19822	4,92	2,16	10,53	19822	4,92	2,16	10,53	19822	

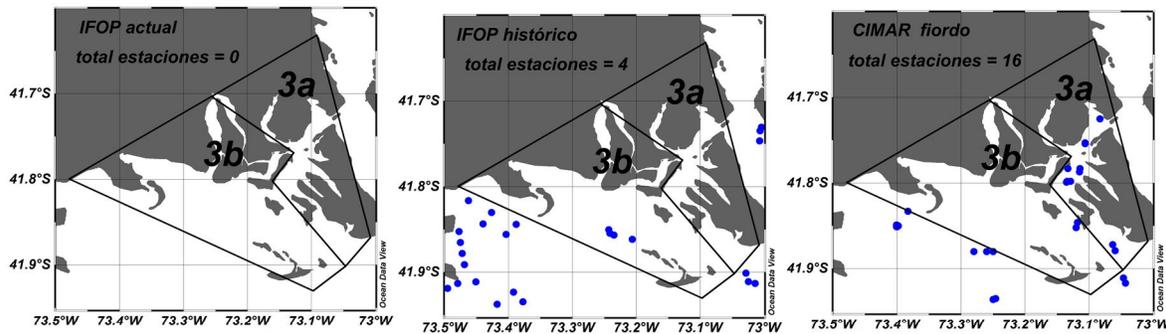
CIMAR		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
1	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-26m	12,68	0,00	29,20	2791	6,42	3,20	10,53	2791	6,42	3,20	10,53	2791	
27-450m	24,67	2,40	32,79	17031	3,81	2,16	5,29	17031	3,81	2,16	5,29	17031	
Total	19,95	0,00	35,00	19822	4,92	2,16	10,53	19822	4,92	2,16	10,53	19822	

Figura 1. Resumen estadístico ACS, barrio N°1, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato y fosfato



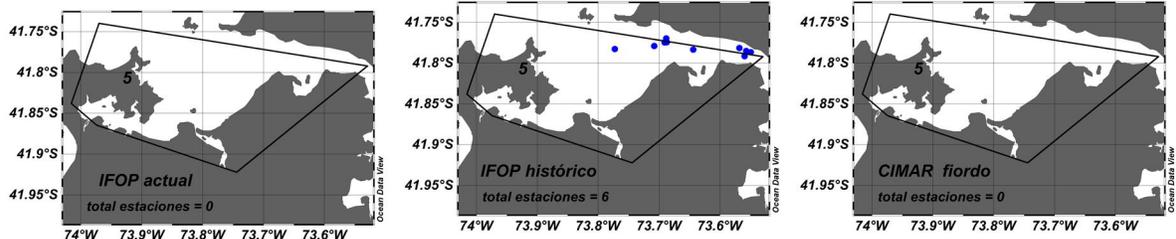
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	2	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m		31,68	24,63	32,54	73	4,15	3,23	5,89	73	11,44	11,00	11,97	73
27-309m		32,93	32,68	33,11	761	3,74	2,93	4,09	761	11,48	10,93	11,54	761
Total		32,82	24,63	33,11	834	3,78	2,93	5,89	834	11,47	10,93	11,97	834
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	2	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m		8,12	4,40	12,22	12	2,08	0,98	3,45	12	29,62	12,14	81,93	12
27-309m		8,82	7,48	10,84	10	2,44	1,39	3,26	10	19,25	12,53	38,04	10
Total		8,44	4,04	12,22	22	2,24	0,98	3,45	22	24,91	22,14	81,93	22
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	2	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-20m		31,26	21,55	32,60	213	5,17	4,32	8,19	213	11,68	9,28	14,35	213
27-450m		32,69	32,01	32,93	1895	4,45	3,34	8,05	1895	11,46	11,08	12,33	1895
Total		32,55	21,55	32,93	2108	4,56	3,34	8,19	2108	11,48	9,28	14,35	2108
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	2	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-20m		7,63	1,83	17,91	11	0,82	0,25	2,25	11	20,95	2,25	40,55	8
27-450m		14,56	6,65	2024,00	8	1,90	0,49	2,94	8	19,67	13,34	40,55	8
Total		10,55	1,83	20,24	19	1,27	0,25	2,94	19	20,31	2,25	40,55	16
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	2	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m		31,02	24,87	32,33	593	6,46	4,02	8,96	80	11,10	9,43	15,09	596
27-450m		32,63	31,94	32,99	3702	4,39	3,27	5,97	98	10,06	10,32	11,67	3702
Total		32,45	24,87	32,99	4295	5,32	3,27	8,96	178	11,06	9,43	15,09	4298
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	2	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m		10,40	0,00	22,10	80	1,22	0,13	2,47	81	18,08	0,00	95,00	80
27-450m		22,97	2,30	25,50	94	2,21	1,98	2,70	93	24,73	17,00	39,42	94
Total		17,19	0,00	25,50	174	1,75	0,13	2,70	174	21,67	0,00	95,00	174

Figura 2. Resumen estadístico ACS, barrio N° 2, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato y fosfato.



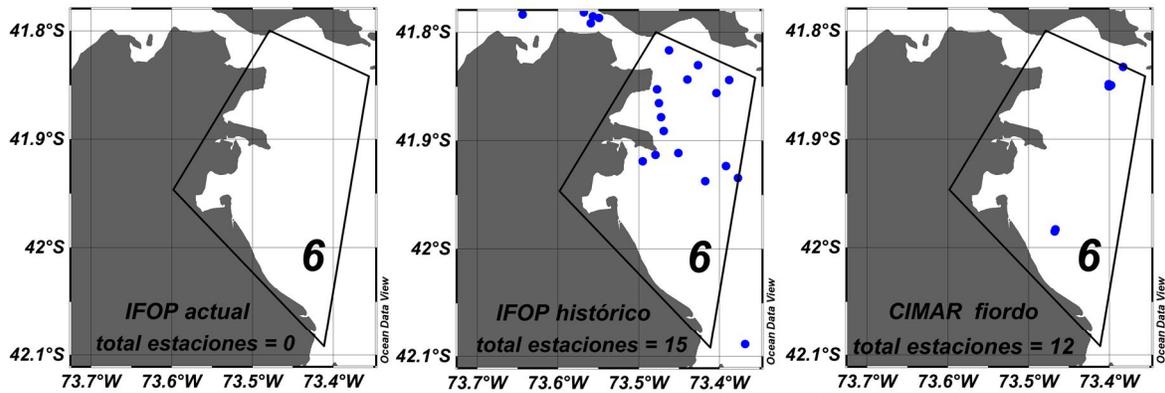
IFOP A	Salinidad (psu)					OD (ml/L)					Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n		prom	min	max	n		prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD		
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD		
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD		
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
3a y 3b															
0-10m	32,40	32,19	32,65	38	5,20	6,31	7,18	38	11,66	10,74	12,96	38			
27-450m	32,58	32,32	32,76	237	4,91	4,38	5,57	237	11,65	10,71	12,59	237			
Total	32,55	32,19	32,76	275	4,95	4,38	7,18	275	11,65	10,07	12,96	275			
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD			
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD			
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD			
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
3a y 3b															
0-26m	32,13	31,15	32,38	325	6,21	5,33	10,07	53	11,06	10,50	14,13	325			
27-153m	32,40	32,28	32,54	394	5,51	5,12	5,79	13	10,78	10,40	11,66	394			
Total	32,28	31,15	32,54	719	6,07	5,12	10,07	66	10,10	10,40	14,13	719			
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
3a y 3b															
0-26m	15,35	0,00	20,90	53	1,72	0,54	2,15	53	13,12	0,11	21,00	52			
27-153m	19,58	14,78	21,40	13	2,02	1,81	2,15	13	15,48	10,00	23,00	13			
Total	16,18	0,00	21,40	66	1,78	0,54	2,15	66	13,59	0,11	23,00	65			

Figura 3. Resumen estadístico ACS, barrios 3a y 3b, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato y fosfato



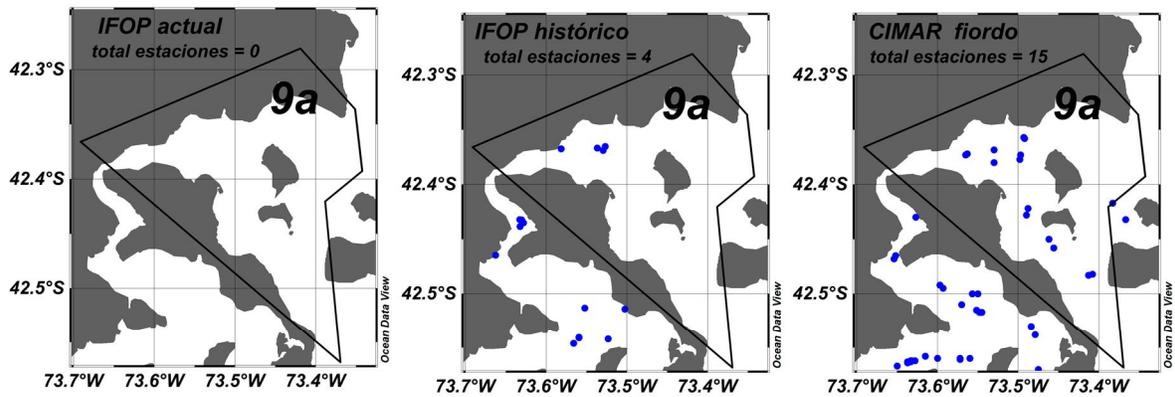
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	5	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-10m	32,66	32,51	32,86	50	4,94	4,13	6,66	50	11,09	10,60	11,49	50
	10-79m	32,67	32,54	32,88	219	5,07	4,57	5,36	219	11,24	10,61	11,60	219
Total	32,67	32,51	32,88	269	5,04	4,13	6,66	269	11,21	10,60	11,60	269	
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	5	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-10m	17,42	14,05	15,50	7	1,78	1,58	1,91	7	11,86	8,00	18,00	7
	10-79m	17,00	14,05	19,60	10	1,73	1,40	1,91	10	14,18	8,00	20,58	10
Total	17,17	14,05	19,60	17	1,40	1,40	1,91	17	13,23	8,00	20,58	17	
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	5	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	5	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	

Figura 4. Resumen estadístico ACS, barrio 5, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato y fosfato



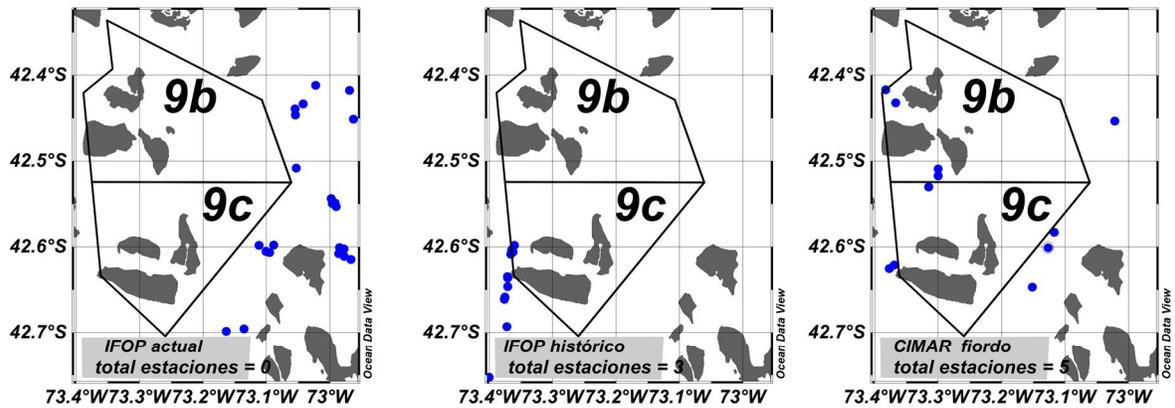
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	6	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-10	32,71	32,39	32,92	152	4,80	4,00	5,83	152	11,48	10,68	12,48	152
	11-212	32,73	32,40	32,99	1271	4,80	5,03	5,53	1271	11,36	10,68	11,86	1271
Total	32,73	32,39	32,99	1423	4,80	4,00	5,83	1423	11,37	10,62	12,48	1423	
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	6	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-10	15,25	4,03	10,03	12	1,70	0,37	1,79	12	14,88	2,68	24,19	12
	11-212	15,91	4,03	19,09	15	1,66	0,37	1,94	15	15,99	2,68	25,31	15
Total	15,62	4,03	19,09	27	1,68	0,37	1,94	27	19,99	2,68	25,31	26	
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	6	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-12m	32,41	31,87	32,52	144	6,47	5,61	8,03	11	11,36	10,77	13,29	144
	13-212m	32,55	32,29	32,70	2011	5,45	5,00	5,93	19	11,09	10,71	12,38	2011
Total	32,54	31,87	32,70	2155	5,83	5,00	8,03	30	11,11	10,71	13,29	2155	
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	6	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-12m	13,38	0,41	17,39	32	1,57	0,56	1,83	35	10,07	1,39	17,52	32
	13-212m	17,91	13,53	23,06	61	1,85	1,46	2,22	65	15,11	7,37	53,32	61
Total	13,35	0,41	23,06	93	1,75	0,56	2,22	100	13,38	1,36	53,32	93	

Figura 5. Resumen estadístico ACS, barrio 6, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato y fosfato



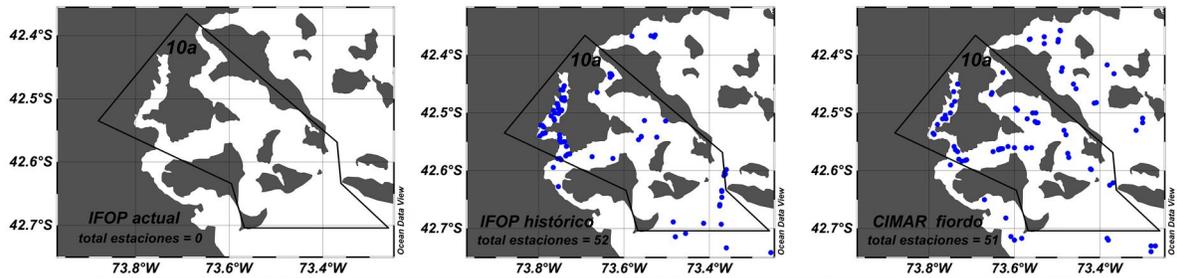
IFOP A	Salinidad (psu)					OD (ml/L)					Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	SD	prom	min	max	n	SD	prom	min	max	n	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	SD		
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
	0-9	32,69	32,44	32,91	32	5,80	4,39	8,18	32	11,84	10,93	12,66	32		
	10-107	32,80	32,56	33,04	287	5,12	4,00	6,14	287	11,12	10,67	12,47	287		
Total	32,79	32,44	33,04	319	5,18	4,00	8,18	319	11,25	10,67	12,66	319			
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
	0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD		
	27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD		
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD			
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
	0-15m	32,52	32,22	32,75	235	6,37	5,76	9,60	45	10,78	10,02	13,15	235		
	16-223m	32,62	32,42	32,91	1511	5,82	5,41	6,42	57	10,57	9,86	12,07	1511		
Total	32,60	32,22	32,91	1746	6,06	5,51	9,60	102	10,59	9,86	13,15	1746			
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
	0-15m	15,88	0,00	23,70	46	1,77	0,50	2,36	46	12,15	0,00	22,47	46		
	16-223m	17,82	9,52	23,20	56	1,88	1,46	2,28	56	12,45	1,93	23,00	56		
Total	16,94	0,00	23,70	102	1,81	0,50	2,36	102	12,32	0,00	23,00	102			

Figura 6. Resumen estadístico ACS, barrio 9a salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato y fosfato



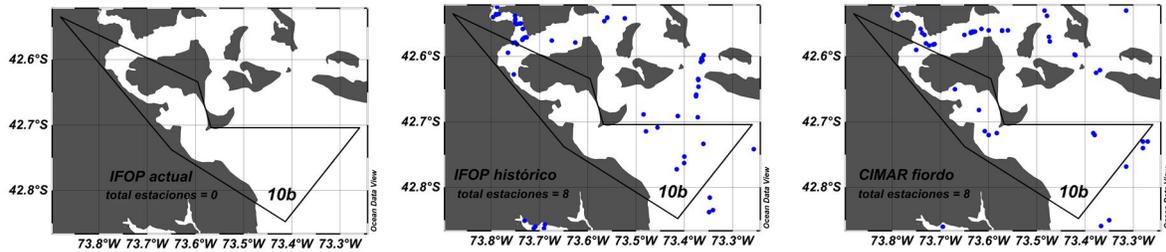
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
9b 9c												
0-10	32,83	32,45	33,23	64	4,81	4,06	5,93	64	10,89	10,26	11,57	64
11-109	32,88	32,51	33,43	594	4,91	3,53	5,69	594		10,24	11,60	594
Total	32,87	32,45	33,43	658	4,90	3,53	5,93	658	10,89	10,17	11,60	658
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
9b 9c												
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
9b 9c												
0-16m	32,57	32,34	32,68	48	6,36	5,89	6,68	10	10,72	10,23	11,69	48
17-153m	32,67	32,47	32,79	351	6,06	5,89	6,42	13	10,51	9,83	11,53	351
Total	32,66	32,34	32,79	399	6,19	5,88	6,68	23	10,53	9,83	11,69	399
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
9b 9c												
0-16m	14,92	8,93	20,82	10	1,40	1,11	1,63	10	10,38	0,64	17,80	10
17-153m	15,45	11,02	20,75	14	1,46	1,23	1,60	14	10,87	3,72	18,24	13
Total	15,23	8,93	20,82	24	1,44	1,11	1,66	24	10,66	0,64	18,24	23

Figura 7. Resumen estadístico ACS, barrio 9b y 9c, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato fosfato y silicato. SD =sin dato.



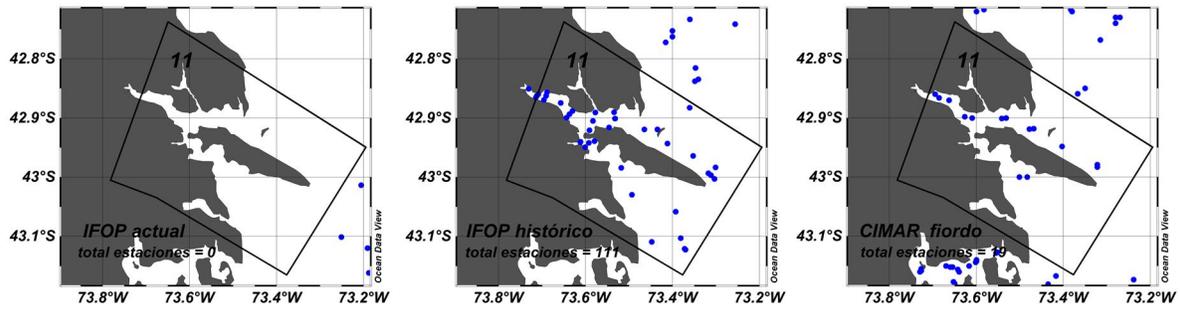
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
10a												
0 -10 m	32,90	32,33	33,26	214	5,03	4,07	7,70	214	11,06	10,14	13,22	214
11-159m	32,99	32,46	34,02	1702	4,84	4,07	6,15	1702	10,89	9,98	12,85	1702
Total	32,98	32,33	34,02	1916	4,86	3,41	7,70	1916	10,92	9,98	13,22	1916
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
10a												
0 -10 m	11,01	6,11	13,80	8	1,27	0,82	1,57	8	6,62	4,00	6,37	8
11-159m	12,92	5,76	14,76	10	1,43	0,54	1,65	10	8,96	4,00	19,98	10
Total	12,07	5,76	14,76	18	1,36	0,54	1,65	18	7,92	4,00	19,98	18
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
10a												
0-17 m	32,62	30,26	33,09	791	6,28	4,80	10,73	121	10,96	8,69	13,18	791
18-117 m	32,77	32,30	31,10	1799	5,86	5,05	6,51	75	0,59	9,90	11,98	1799
Total	32,73	30,26	33,10	2590	6,12	4,80	10,73	196	10,71	8,69	13,18	2590
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
10a												
0-17 m	13,48	0,00	23,10	121	1,62	0,40	2,55	121	13,13	0,00	38,00	121
18-117 m	16,42	0,70	23,20	75	1,79	0,44	2,30	75	12,75	1,00	22,00	73
Total	14,60	0,00	23,20	196	1,68	0,40	2,55	196	12,99	0,00	38,00	194

Figura 8. Resumen estadístico ACS, barrio 10a, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato fosfato y silicato. SD= sin dato.



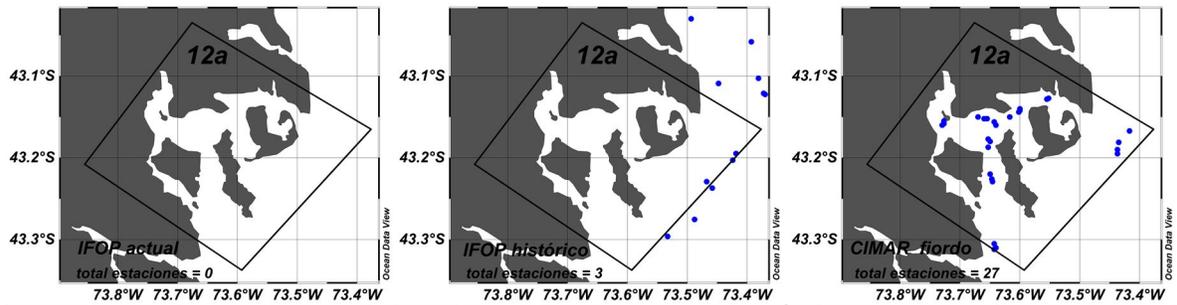
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
10b												
0-10 m	32,95	32,55	33,18	64	5,08	4,35	6,10	64	10,99	10,18	11,92	64
11-140m	33,00	32,58	33,36	611	4,95	3,94	5,98	611	10,65	10,15	11,86	611
Total	32,99	32,55	33,36	675	4,96	3,94	6,10	675	10,68	10,15	11,92	675
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
10b												
0-10 m	4,72	0,43	9,35	3	0,70	0,30	1,12	3	8,60	8,66	9,27	3
11-140m	4,91	4,08	9,35	2	0,72	0,61	1,12	2	11,92	9,88	13,95	2
Total	4,79	0,43	9,35	5	0,70	0,30	1,12	5	9,93	7,88	13,95	5
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
10b												
0-25m	32,83	32,63	33,14	148	6,47	5,83	7,93	23	10,91	9,88	12,70	148
25-152m	32,88	32,67	33,18	532	5,61	5,00	6,03	17	10,57	9,79	11,48	532
Total	32,87	32,63	33,18	680	6,10	5,00	7,93	40	10,65	9,79	12,70	680
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
10b												
0-25m	11,76	0,10	19,18	21	1,34	0,36	2,05	22	8,21	0,34	15,43	22
25-152m	14,38	0,10	19,78	16	1,50	0,40	1,98	1	10,78	5,51	18,52	17
Total	12,90	0,10	19,78	37	1,41	0,36	2,05	39	9,33	0,34	18,52	39

Figura 10. Resumen estadístico ACS, barrio 10b, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD= sin dato.



IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	11	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-7m	32,97	30,11	33,35	779	5,35	3,97	11,94	775	11,18	9,89	18,53	77
	8-185 m	33,14	32,86	33,76	6726	4,77	3,06	7,89	6709	10,48	9,76	12,77	672
Total	33,13	30,16	33,76	7505	4,83	3,06	11,94	7484	10,55	9,76	18,53	750	
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	11	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-7m	6,61	1,38	12,49	106	1,33	0,04	2,96	106	8,89	2,70	21,13	10
	8-185 m	9,11	2,81	18,53	194	1,60	0,55	3,51	190	10,67	4,44	19,92	19
Total	8,23	1,09	18,53	300	1,50	0,04	3,51	296	10,04	2,70	21,13	30	
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	11	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-11m	32,77	31,96	33,18	268	5,86	4,84	7,94	52	10,51	9,94	12,27	26
	12-151m	32,86	32,33	33,27	1009	5,54	4,41	6,26	44	10,39	10,05	11,62	100
Total	32,84	31,96	33,27	1209	5,72	4,41	7,94	96	10,41	9,94	12,27	120	
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	11	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-26m	15,62	0,00	19,90	51	1,72	0,42	2,18	51	10,44	3,00	20,00	5
	27-450m	16,35	0,10	19,60	44	1,77	0,42	2,12	44	10,35	5,00	17,00	4
Total	19,95	0,00	19,90	95	1,75	0,42	2,19	95	10,40	3,00	20,00	9	

Figura 11. Resumen estadístico ACS, barrio 11, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD= sin dato.



IFOP A	Salinidad (psu)					OD (ml/L)					Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	SD	prom	min	max	n	SD	prom	min	max	n	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

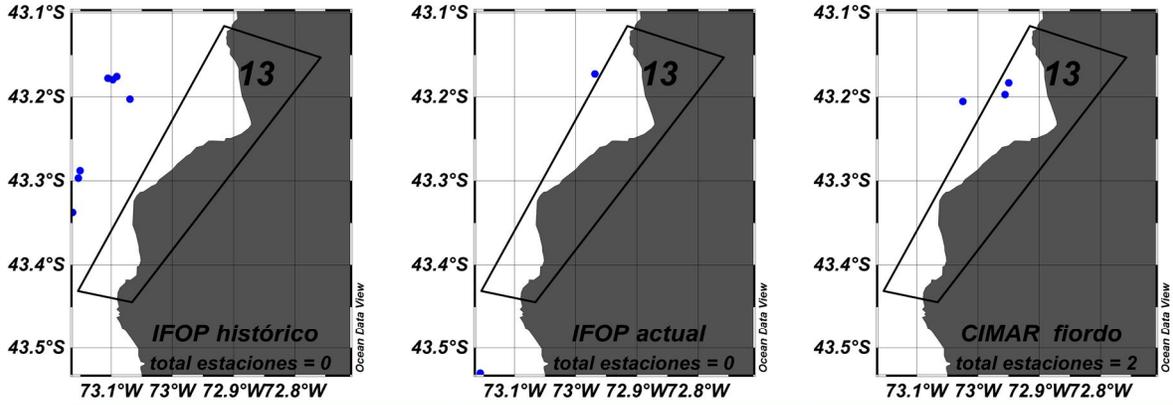
IFOP H	12a	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-13m	33,09	32,79	33,42	35	4,91	4,53	6,00	35	10,77	10,50	11,32	35
	14-73 m	33,12	32,89	33,52	136	4,73	4,24	5,32	136	10,60	10,21	10,83	136
	Total	33,12	32,79	33,52	171	4,68	4,21	6,00	171	10,64	10,21	11,32	171

IFOP H	12a	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-13m	5,33	5,10	5,55	2	0,63	0,61	0,65	2	18,80	17,85	19,75	2
	14-73 m	5,06	5,07	5,04	2	0,55	0,54	0,56	2	14,60	12,56	16,63	2
	Total	5,19	5,04	5,55	4	0,59	0,54	0,65	4	16,70	12,56	19,75	4

CIMAR	12a	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-12m	32,84	31,99	33,40	361	6,23	4,78	9,18	80	10,83	8,84	13,29	361
	13-176m	33,03	32,18	33,61	1152	5,53	3,84	6,38	52	10,47	9,70	11,65	1152
	Total	32,98	31,99	33,61	1513	5,96	3,84	9,18	132	10,56	9,70	13,29	1513

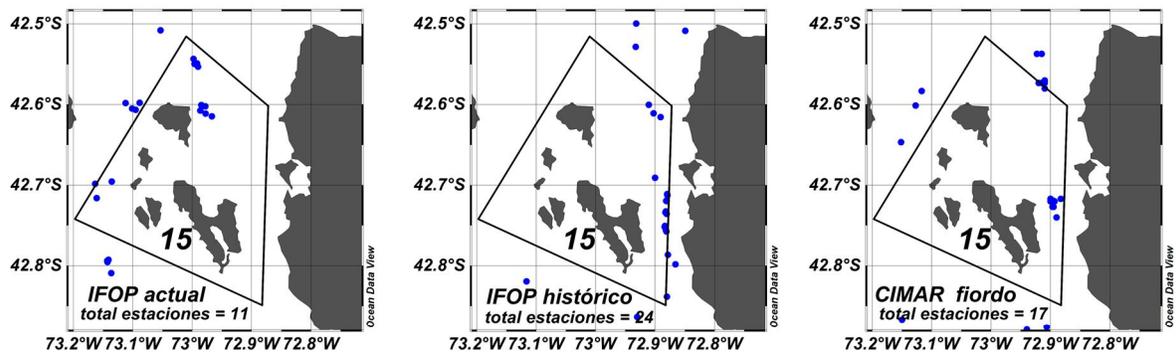
CIMAR	12a	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-13m	11,20	0,10	18,33	80	1,38	0,44	1,81	80	6,19	0,00	15,00	80
	14-73 m	14,23	0,50	19,80	53	1,58	0,50	2,31	53	8,24	2,00	16,00	53
	Total	12,04	0,10	19,80	133	1,46	0,44	2,31	133	7,01	0,00	16,00	133

Figura 12. Resumen estadístico ACS, barrio 12a, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD= sin dato.



IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
1												
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
13												
0-11m	32,17	31,97	32,26	22	6,52	6,32	6,91	6	11,06	10,34	11,91	22
12-152m	32,77	32,29	33,36	275	5,71	4,85	6,35	9	10,57	10,30	11,69	275
Total	32,73	31,97	33,36	297	6,03	4,85	6,91	15	10,61	10,30	11,91	297
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
13												
0-11m	12,97	6,80	17,11	6	1,29	1,17	1,49	6	7,03	0,11	13,29	6
12-152m	15,94	8,68	19,94	9	1,57	1,31	1,86	9	10,86	3,88	15,38	9
Total	14,75	6,80	19,94	15	1,46	1,17	1,86	15	9,33	0,11	15,38	15

Figura 13. Resumen estadístico ACS, barrio 13. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD= sin dato.



IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
15												
0-10m	32,29	31,10	32,55	85	5,48	4,32	7,47	85	11,50	10,30	12,77	85
11-217m	32,67	32,30	33,06	1107	5,26	4,02	7,34	1107	11,21	10,23	12,62	1107
Total	32,64	31,10	33,06	1192	5,28	4,02	7,47	1192	11,28	10,23	12,77	1192

IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
15												
0-10m	9,83	5,89	12,63	15	2,10	1,27	3,19	15	15,52	6,40	18,45	15
11-217m	13,09	7,99	18,57	18	2,49	1,73	3,19	18	16,37	3,97	18,45	18
Total	11,61	5,89	18,57	33	2,34	1,27	3,19	33	15,60	3,97	23,50	33

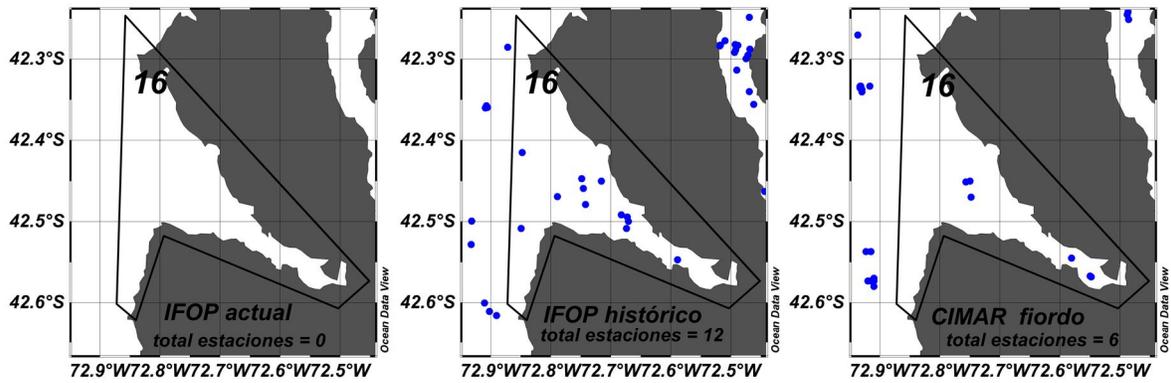
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
15												
0-8m	31,56	30,03	32,37	187	5,48	4,08	9,35	187	11,43	9,64	13,42	187
9-204m	32,40	30,64	33,11	2842	5,22	3,79	6,24	2842	11,03	10,34	13,24	2842
Total	32,34	30,03	33,11	3029	5,23	3,79	9,35	3029	11,06	9,64	13,42	3029

IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
15												
0-8m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
9-204m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
15												
0-7m	31,44	26,46	32,55	93	6,91	6,06	8,96	30	11,01	9,98	13,68	93
8-253m	32,40	31,18	32,86	1910	5,82	3,25	7,40	84	10,56	9,80	11,82	1910
Total	32,36	26,46	32,86	2003	6,10	3,25	8,96	114	10,58	9,80	13,68	2003

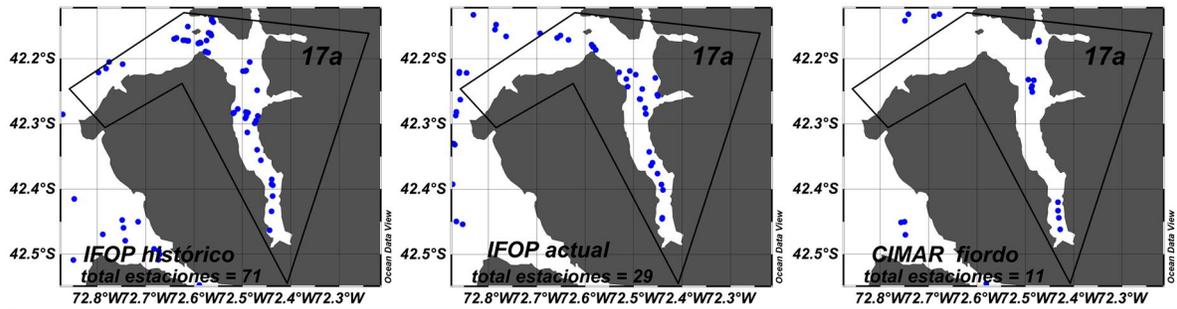
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
15												
0-7m	8,24	0,00	21,60	28	1,21	0,34	2,13	28	12,90	3,43	63,00	28
8-253m	17,23	1,95	23,12	77	1,82	0,89	5,52	77	13,47	2,57	25,51	77
Total	14,83	0,00	23,12	105	1,66	0,34	5,52	105	13,32	2,26	63,30	105

Figura 14. Resumen estadístico ACS 15, barrio salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato y fosfato. SD= sin dato.



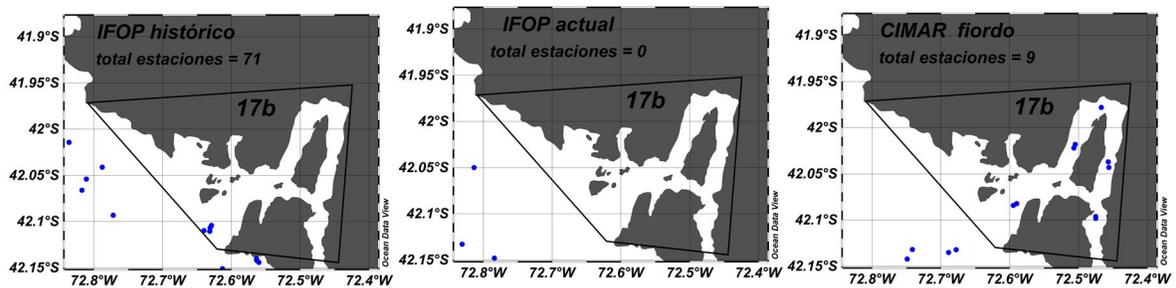
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	16	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-15m	29,98	24,99	30,98	172	5,69	4,52	8,17	172	11,46	8,58	14,07	172
	16-231m	32,28	29,19	32,99	1919	4,93	3,80	6,31	1919	11,20	10,64	13,48	1919
Total	32,09	24,99	32,99	2091	4,99	3,80	8,17	2091	11,22	8,58	14,07	2091	
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	16	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-15m	7,80	0,56	15,54	14	0,85	0,56	1,91	14	11,31	3,03	24,19	14
	16-231m	10,72	2,85	16,48	11	1,32	0,60	1,97	11	10,04	3,11	14,64	11
Total	9,08	0,56	16,48	25	1,06	0,56	1,97	25	10,75	3,03	24,19	25	
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	16	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-11m	30,92	26,46	31,95	54	7,20	5,53	8,96	20	11,35	10,42	13,68	54
	12-253m	32,40	26,46	32,82	1147	5,43	3,25	6,48	39	10,56	9,80	11,70	1147
Total	32,36	26,46	32,82	1201	6,03	3,25	8,96	59	10,59	9,80	13,68	1201	
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	16	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-11m	4,69	0,00	14,06	20	0,98	0,34	1,82	20	13,71	2,26	63,30	20
	12-253m	18,95	12,10	23,12	39	2,08	1,45	5,52	40	16,76	8,23	25,51	39
Total	14,11	0,00	23,12	59	1,71	0,34	5,52	60	15,70	2,26	63,30	59	

Figura 15. Resumen estadístico ACS 16, barrio salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD= sin dato.



IFOP A	Salinidad (psu)					OD (ml/L)					Temperatura (°C)				
17a	prom	min	max	n		prom	min	max	n		prom	min	max	n	
0-18m	29,78	7,45	32,41	513		6,13	3,17	9,29	513		12,74	9,30	17,12	513	
19-363m	32,77	31,31	33,10	8213		4,19	2,84	7,49	8213		11,43	10,51	13,44	8213	
Total	32,59	7,45	33,11	8726		4,31	2,84	9,29	8726		11,24	9,30	17,12	8726	
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
17a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
0-18m	3,20	1,24	8,89	28	1,48	0,39	2,11	28	13,16	2,87	37,25	68			
19-363m	13,44	1,62	21,88	40	2,62	1,12	3,85	40	21,58	9,61	35,16	40			
Total	9,22	1,24	21,88	68	2,15	0,39	3,85	68	18,12	2,87	37,25	68			
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)						
17a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
0-15m	28,79	4,24	32,01	1019	5,98	4,39	9,55	1019	12,29	7,44	16,19	1019			
16-319m	32,55	27,97	33,00	14072	4,38	3,26	7,41	14072	11,45	10,07	15,93	14072			
Total	32,30	4,24	33,00	15091	4,50	3,24	9,55	15091	11,51	7,44	16,19	15091			
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
17a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
0-15m	6,36	0,14	17,84	20	0,72	0,06	2,02	20	11,73	1,56	23,16	20			
16-319m	11,19	0,35	19,48	22	1,27	0,26	2,25	22	12,31	1,99	20,75	22			
Total	8,89	0,14	19,48	42	1,01	0,06	2,25	42	12,52	1,56	23,16	42			
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)						
17a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
0-8m	27,44	11,64	31,50	89	7,81	6,59	10,38	29	11,88	9,77	14,50	91			
9-452m	32,59	28,74	33,09	3167	4,85	3,20	9,14	93	11,14	10,64	13,97	3167			
Total	32,45	11,64	33,09	3256	5,55	3,20	10,38	122	11,16	9,77	14,50	3258			
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
17a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n			
0-8m	1,31	0,00	14,40	28	0,39	0,00	1,83	29	8,09	1,00	31,10	29			
9-452m	20,12	0,00	24,97	96	2,06	0,27	2,71	95	18,39	0,00	32,71	96			
Total	15,88	0,00	25,09	124	1,67	0,00	2,71	124	16,00	0,00	32,71	125			

Figura 16. Resumen estadístico ACS, barrio 17a. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato y fosfato.



IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

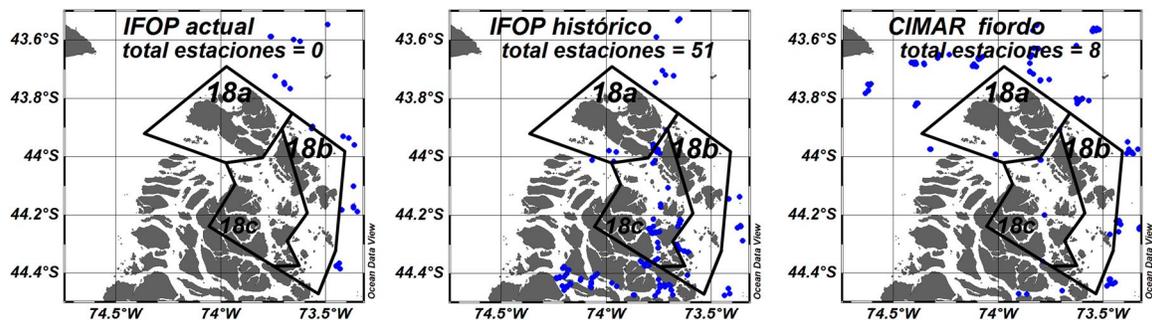
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
17b													
	0-16m	29,61	25,54	31,38	61	5,89	5,16	7,70	61	12,22	10,78	14,55	61
	17-246m	32,54	30,14	32,98	770	4,77	3,70	5,93	770	11,30	10,21	14,44	770
	Total	32,24	25,54	32,98	831	4,86	3,70	7,70	831	11,36	10,21	14,55	831

IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
17b													
	0-9m	28,54	18,40	31,52	90	7,44	5,70	9,52	25	12,34	9,64	14,14	90
	10-249m	32,31	29,22	32,89	1383	5,13	3,41	7,68	54	11,10	10,67	13,64	1383
	Total	32,08	18,40	32,89	1473	5,92	3,41	9,52	79	11,17	9,64	14,14	1473

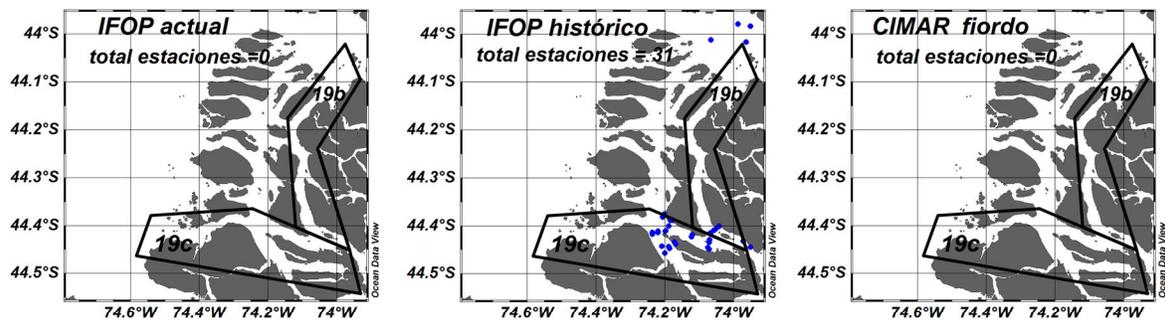
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
17b													
	0-26m	3,49	0,20	20,50	26	0,58	0,00	2,32	26	7,89	0,00	31,00	26
	27-450m	18,78	0,10	25,40	53	2,01	0,23	2,90	53	17,30	0,00	37,00	54
	Total	13,76	0,20	25,40	79	1,54	0,00	2,90	79	14,24	0,00	37,00	80

Figura 17. Resumen estadístico ACS, barrio 17b. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato. SD= sin dato.



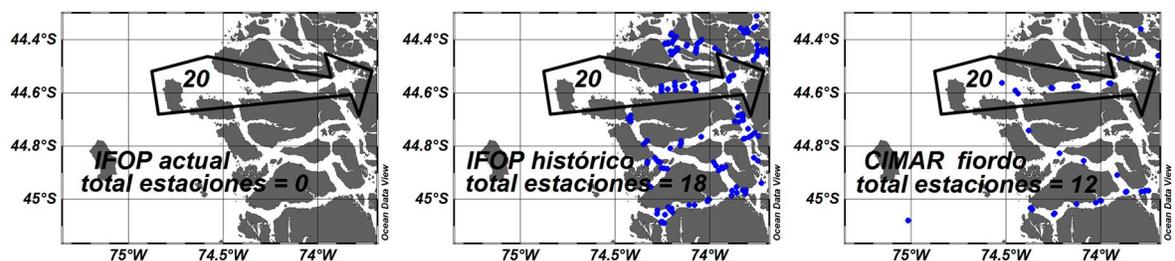
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
18 a b c												
0-26m	31,64	24,31	32,86	363	5,61	2,41	8,26	357	10,37	9,12	11,64	363
8-147m	31,87	24,44	33,68	2967	5,20	2,32	7,36	147	10,25	9,56	11,49	2967
Total	31,85	24,31	33,68	3330	5,25	2,32	8,26	10883	1026,00	9,12	11,64	3330
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
18 a b c												
0-26m	16,13	13,89	20,36	7	1,52	1,34	1,65	7	11,69	9,92	14,88	7
8-147m	16,44	12,58	20,98	17	1,58	1,31	1,95	17	12,52	9,75	15,93	17
Total	16,35	12,58	20,98	24	1,56	1,31	1,95	24	12,28	9,75	15,93	24
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
18 a b c												
0-11m	32,09	28,73	32,54	62	5,39	5,25	6,17	18	10,08	9,60	11,03	62
12-183m	32,72	31,66	33,79	576	5,13	3,84	6,17	24	10,11	10,98	10,98	576
Total	32,65	28,73	33,79	638	5,24	3,84	6,17	42	10,11	9,60	11,03	638
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
18 a b c												
0-26m	16,63	6,90	21,60	18	1,55	1,00	1,82	18	13,50	4,00	20,00	18
27-450m	17,50	8,50	21,80	24	1,62	1,00	1,91	24	15,58	4,00	20,00	24
Total	17,13	6,90	21,80	42	1,59	1,00	1,91	42	13,55	4,00	20,00	42

Figura 18. Resumen estadístico ACS, barrios 18a, 18b, 18c, salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



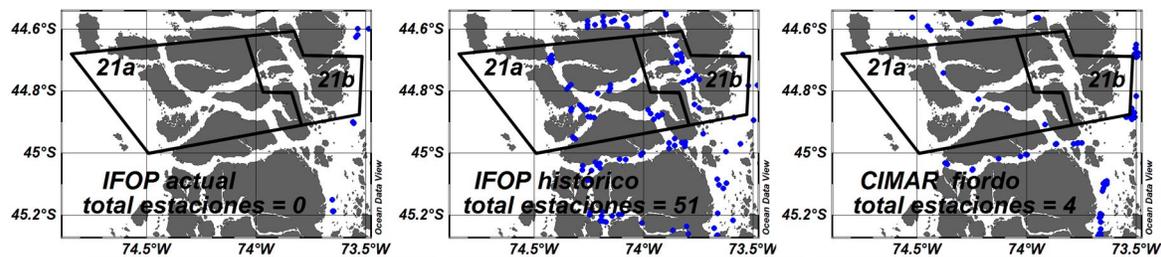
IFOP A		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
19 b c		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
19 b c		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
19 b c		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-7m	32,01	30,68	32,70	210	5,72	5,30	6,58	202	10,42	9,08	11,29	210
	8-178m	32,30	32,71	32,95	2818	5,57	4,89	6,50	2818	10,42	9,69	11,01	2818
	Total	32,28	30,68	32,95	3028	5,58	4,89	6,58	3020	10,42	9,08	11,29	3028
IFOP H		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
19 b c		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
CIMAR		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
19 b c		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
CIMAR		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
19 b c		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

Figura 19. Resumen estadístico ACS, barrio , 19b y c. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato , fosfato y silicato. SD = sin dato



IFOP A		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
20	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP A		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
20	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP H		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
20	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-8m	31,83	30,57	32,19	134	5,55	4,43	6,59	120	10,44	9,31	12,01	135	
9-200m	32,11	31,56	32,67	1981	5,17	3,98	6,73	1947	10,22	9,26	11,32	1981	
Total	32,09	30,57	32,67	2115	5,19	3,98	6,73	2067	10,23	9,26	12,01	2116	
IFOP H		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
20	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-8m	12,03	7,64	18,29	8	1,11	0,73	1,65	8	9,26	6,61	14,10	8	
9-200m	14,35	7,29	21,03	17	1,32	0,77	1,79	17	10,42	6,88	14,10	17	
Total	13,61	7,29	21,03	25	1,26	0,73	1,79	25	1,26	10,05	6,61	25	
CIMAR		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
20	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-7m	31,59	28,79	32,05	71	5,70	4,67	7,68	22	10,11	9,62	11,33	71	
8-231m	31,81	31,09	32,22	1987	5,55	3,38	7,03	80	10,01	9,59	10,94	1896	
Total	31,81	28,79	32,22	1968	5,60	3,38	7,68	102	10,01	9,56	11,33	1967	
CIMAR		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
20	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-7m	13,53	3,70	21,80	21	1,75	0,72	5,58	21	11,08	3,00	18,00	21	
8-231m	14,96	4,60	23,10	73	1,84	0,70	5,58	73	11,91	3,00	20,00	73	
Total	14,64	3,70	23,10	94	1,82	0,72	5,58	94	11,72	3,00	20,00	94	

Figura 20. Resumen estadístico ACS, barrio 20. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato



IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
21a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
21a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

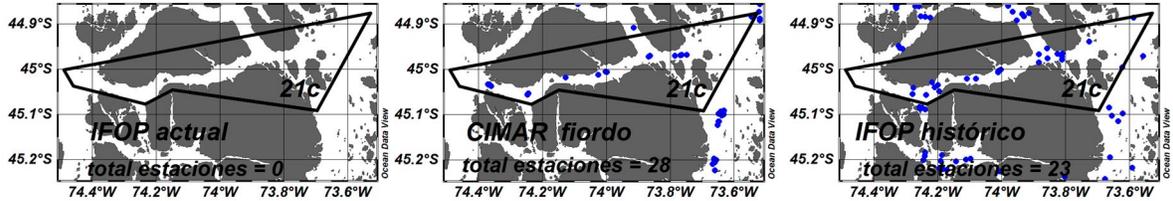
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
21a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-5m	31,48	29,04	31,97	218	5,38	4,24	6,71	172	10,10	8,73	12,30	2018
6-211m	32,01	31,24	32,78	4598	5,07	3,70	6,27	4598	10,16	9,24	13,43	4598
Total	31,99	29,04	32,78	4816	5,08	3,70	6,71	4770	10,16	8,73	13,43	4816

IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
21a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-5m	13,51	7,19	17,79	13	1,30	1,07	1,70	13	13,52	7,57	32,20	13
6-211m	15,23	8,38	21,35	28	1,36	0,40	1,84	28	12,51	5,66	17,23	28
Total	14,68	7,19	21,35	41	1,36	0,40	1,84	41	12,83	5,66	32,20	41

CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
21a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-9m	31,59	30,90	31,79	35	5,29	5,20	5,49	8	9,56	9,43	9,68	35
10-221m	32,19	31,39	32,87	689	4,92	3,96	5,31	27	9,70	9,48	9,86	689
Total	32,16	30,90	32,87	724	5,01	3,96	5,49	35	9,70	9,43	9,86	724

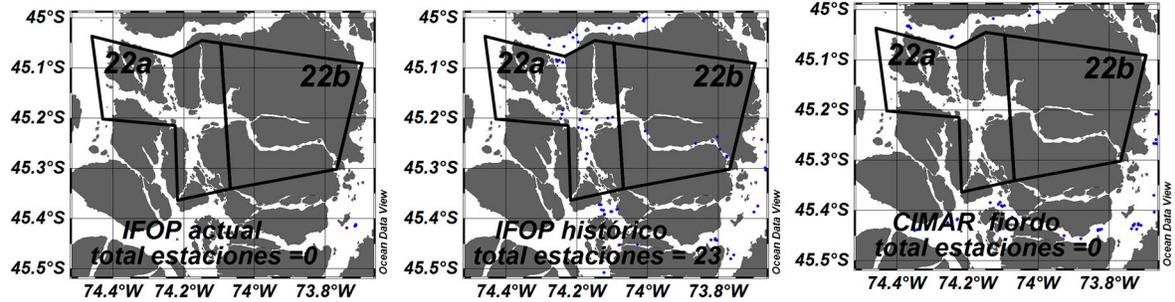
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
21a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-9m	22,51	21,70	23,20	8	1,96	1,83	2,03	8	20,13	18,00	22,00	8
10-221m	23,27	22,30	25,10	27	2,04	1,98	2,23	27	19,89	19,00	21,00	27
Total	23,09	21,70	25,10	35	2,02	1,83	2,23	35	19,94	18,00	22,00	35

Figura 21. Resumen estadístico ACS, barrios 21 a y b. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato , fosfato y silicato. SD = sin dato..



IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
21c	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
21c	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
21c	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-17m	31,63	27,67	33,33	372	5,06	3,86	6,79	361	10,20	9,27	11,49	371
18-200m	32,36	30,35	32,33	2450	4,59	2,81	6,01	2450	9,96	9,73	11,58	2450
Total	32,18	27,67	32,33	2822	4,65	2,81	6,79	2811	10,00	9,27	11,58	2821
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
21c	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-17m	13,31	8,42	19,05	16	1,29	0,79	1,75	16	11,58	7,40	15,23	16
18-200m	16,00	12,27	19,71	13	1,57	0,79	1,17	13	13,36	8,62	18,19	13
Total	14,52	8,42	19,71	29	1,41	0,79	1,98	29	12,38	7,40	18,19	29
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
21c	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-22m	30,47	27,37	32,17	590	5,91	4,81	7,74	74	10,05	9,00	11,52	590
23-291m	32,10	29,33	32,10	3680	5,07	3,84	6,64	133	10,03	9,37	10,72	3680
Total	31,87	27,37	33,33	4270	5,37	3,84	7,74	207	10,03	9,00	11,52	4270
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
21c	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-22m	14,76	0,00	23,20	75	1,41	0,00	2,11	75	15,07	0,00	24,00	75
23-291m	18,85	0,00	25,10	124	1,75	0,52	2,26	124	15,28	3,00	24,00	124
Total	17,31	0,00	25,10	199	1,63	0,00	2,26	199	15,22	0,00	24,00	199

Figura 22. Resumen estadístico ACS, barrio 21c. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato



IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
22a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
22a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

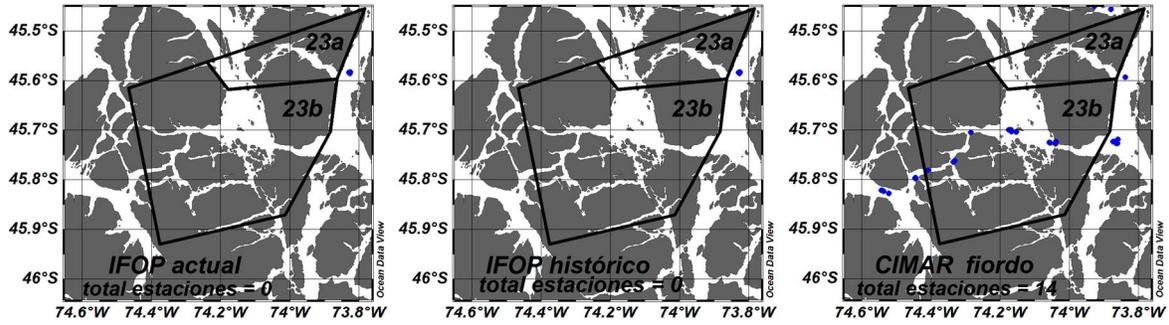
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
22a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-5m	30,55	24,58	32,10	112	5,85	4,71	7,68	91	12,47	9,92	16,19	112
6-186m	31,75	28,53	32,96	1228	5,01	3,34	7,63	1206	11,46	9,95	14,23	1228
Total	31,65	24,58	32,96	1240	5,06	3,34	7,68	1297	11,46	9,92	16,19	1308

IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
22a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
22a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

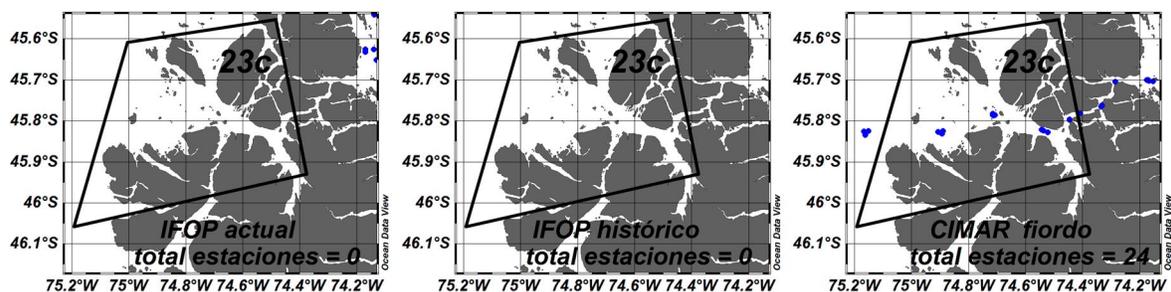
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
22a-b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

Figura 23. Resumen estadístico ACS, barrios 22 a y b. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



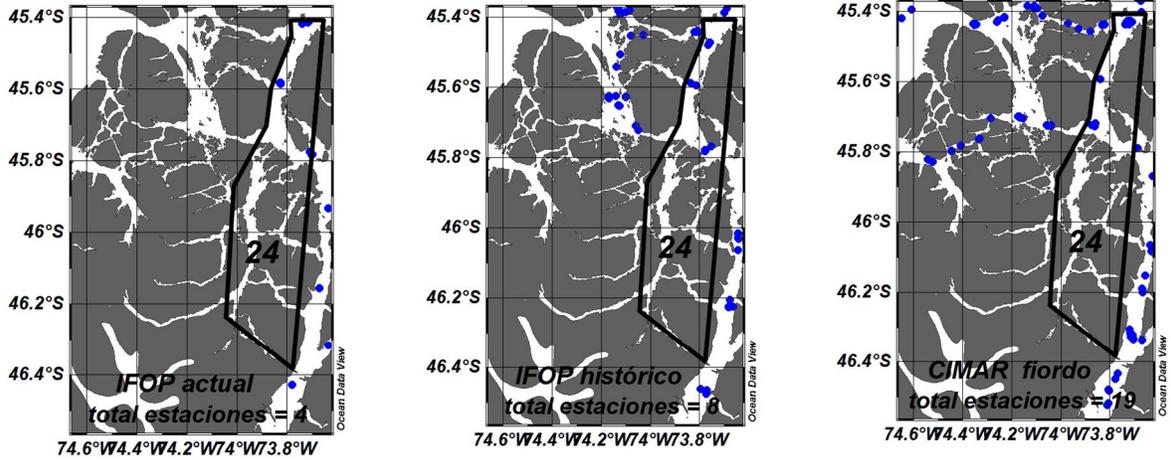
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
23a-b	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
23a-b	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
23a-b	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
23a-b	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
23a-b												
0-9m	29,59	27,01	31,18	109	6,09	5,01	7,76	25	10,12	9,31	12,24	109
10-192m	31,00	28,31	32,42	940	5,85	4,27	7,29	60	10,16	9,44	12,20	940
Total	30,85	27,01	32,42	1049	5,92	4,27	7,76	85	10,15	9,31	12,24	1049
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
23a-b												
0-26m	12,35	1,66	19,30	25	1,29	0,57	1,71	25	13,88	2,22	32,00	25
27-450m	14,25	4,59	20,80	54	1,41	0,75	1,96	54	13,21	7,00	21,00	53
Total	13,65	1,66	20,80	79	1,37	0,57	1,96	79	13,42	2,22	32,00	78

Figura 24. Resumen estadístico ACS, barrios 23 a y b. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato , fosfato y silicato. SD = sin dato.



IFOP A	Salinidad (psu)					OD (ml/L)					Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n		prom	min	max	n		prom	min	max	n	
23c															
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP A	Nitrato (µM)					fosfato (µM)					Silicato (µM)				
	prom	min	max	n		prom	min	max	n		prom	min	max	n	
23c															
0-26m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Salinidad (psu)					OD (ml/L)					Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n		prom	min	max	n		prom	min	max	n	
23c															
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H	Nitrato (µM)					fosfato (µM)					Silicato (µM)				
	prom	min	max	n		prom	min	max	n		prom	min	max	n	
23c															
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
CIMAR	Salinidad (psu)					OD (ml/L)					Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n		prom	min	max	n		prom	min	max	n	
23c															
0-20m	30,09	28,18	31,38	441		6,55	5,68	8,04	62		6,55	8,92	11,36	2620	
20-220m	32,11	29,84	33,17	2179		5,64	3,65	6,49	80		10,16	9,26	11,06	2179	
Total	31,77	28,18	33,17	2620		6,04	3,65	8,04	142		10,17	8,92	11,36	2620	
CIMAR	Nitrato (µM)					fosfato (µM)					Silicato (µM)				
	prom	min	max	n		prom	min	max	n		prom	min	max	n	
23c															
0-26m	12,75	0,02	19,40	59		1,30	0,28	1,73	59		11,71	0,00	18,00	59	
27-450m	16,32	3,68	19,80	76		1,56	0,70	1,92	76		13,09	2,00	27,00	76	
Total	14,76	0,02	19,80	135		1,45	0,28	1,90	135		12,49	0,00	27,00	135	

Figura 25. Resumen estadístico ACS, barrio 23c. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato , fosfato y silicato. SD = sin dato



IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	24 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-11m	28,38	26,96	29,94	128	5,95	4,37	8,52	128	10,90	9,36	13,86	128
12-177m	30,74	28,37	31,91	916	5,44	3,96	8,20	916	10,85	9,42	12,91	916
Total	30,45	26,96	31,91	1044	5,50	3,96	8,52	1044	10,85	9,36	13,86	1044

IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	24 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-11m	7,42	3,97	9,80	12	1,81	0,15	2,56	12	16,08	9,01	26,11	12
12-177m	11,54	8,56	15,12	16	2,34	1,55	3,15	16	19,19	11,69	28,46	16
Total	9,77	3,97	15,12	28	2,12	0,15	3,15	28	17,86	9,01	28,46	28

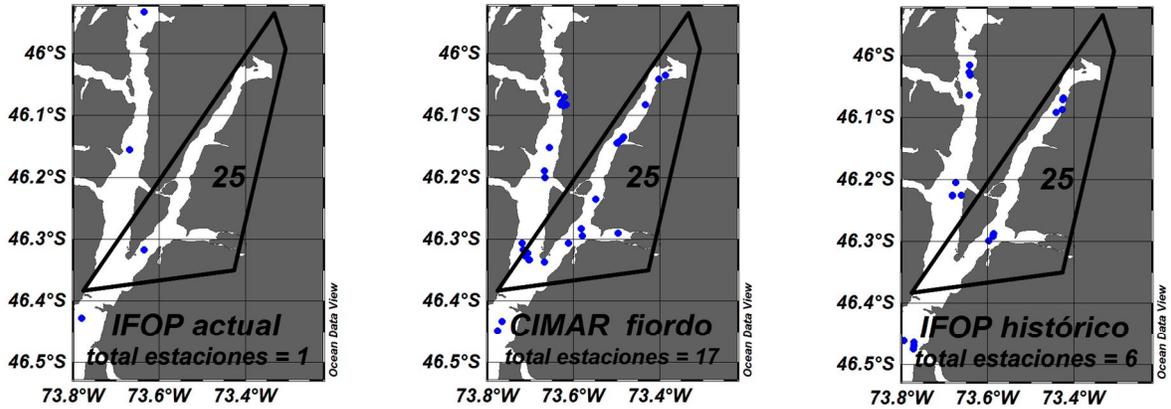
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	24 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-6m	28,56	23,34	30,55	46	5,85	5,10	7,71	42	11,37	9,58	13,20	46
7-140m	30,26	26,77	32,09	387	5,23	3,71	6,34	387	11,46	9,72	12,96	387
Total	30,08	23,34	32,09	433	5,29	3,71	7,71	429	11,45	9,58	13,20	433

IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	24 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-6m	14,05	8,01	18,43	10	1,29	0,94	1,46	10	12,49	9,72	17,90	10
7-140m	13,35	9,74	18,72	10	1,41	1,13	1,71	10	11,18	10,07	12,23	10
Total	13,70	8,01	18,72	20	1,35	0,94	1,71	20	11,84	9,72	17,90	20

CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	24 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-20m	28,81	25,50	30,39	419	6,07	4,58	6,88	62	10,03	8,32	12,27	419
20-235m	30,85	28,03	32,10	3091	5,62	4,30	6,85	110	10,14	9,06	12,19	235
Total	30,60	25,50	32,10	3510	5,78	4,30	6,88	172	10,13	8,32	12,27	3509

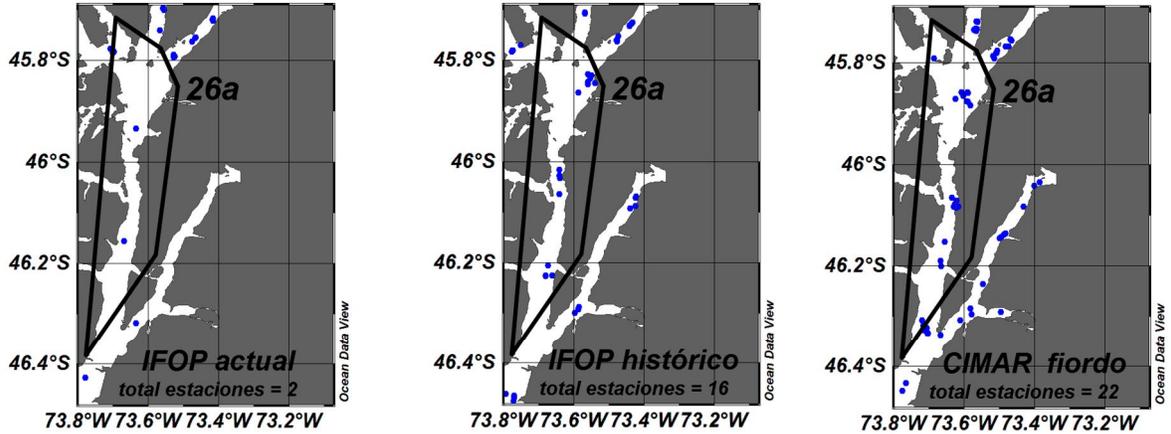
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	24 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	14,67	5,00	25,20	59	1,38	0,75	1,74	59	20,30	7,00	38,00	58
27-450m	16,47	10,30	21,10	98	1,56	1,05	1,92	98	17,22	9,00	30,00	97
Total	15,79	5,00	25,20	157	1,49	0,75	1,92	157	18,37	7,00	38,00	155

Figura 26. Resumen estadístico ACS, barrio 24. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato



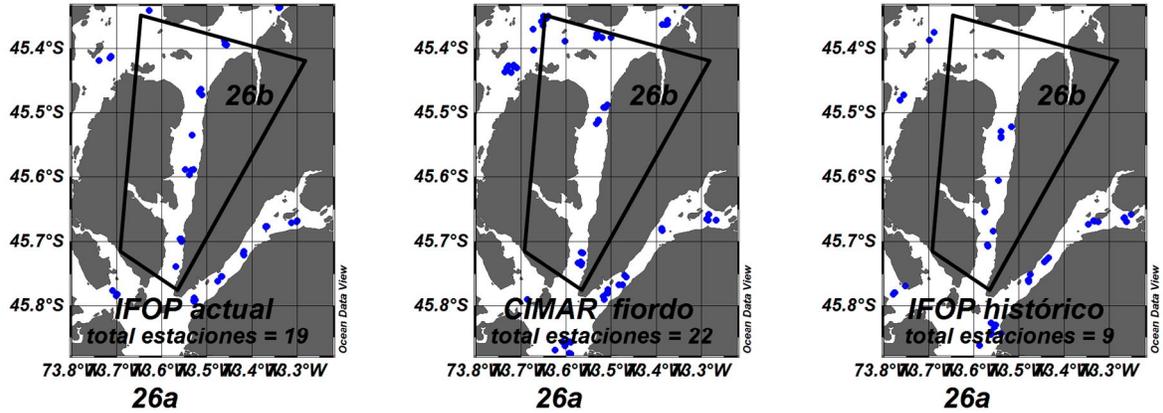
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	25 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-11m	23,62	22,47	24,94	11	5,55	5,43	5,66	11	9,24	8,90	9,63	11
12-198m	27,26	25,11	27,69	184	4,18	3,61	5,38	184	10,73	9,70	10,05	184
Total	27,05	22,47	27,69	195	4,26	3,61	5,66	195	10,64	8,90	11,05	195
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	25 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-11m	8,98	7,36	10,44	3	1,37	1,12	1,51	3	6,69	2,46	10,32	3
12-198m	10,63	7,55	12,66	4	1,70	1,12	2,40	4	4,40	2,46	6,57	3
Total	9,93	7,36	12,66	7	1,55	1,12	2,40	7	5,55	2,46	10,32	6
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	25 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-18m	23,25	14,00	26,62	141	5,68	7,40	9,59	141	10,57	7,15	14,60	141
19-241m	27,82	24,53	28,28	1626	4,59	3,74	5,78	1626	10,48	9,36	11,82	1626
Total	27,46	14,00	28,28	1767	4,68	3,74	9,59	1767	10,48	7,15	14,60	1767
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	25 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-18m	9,00	0,49	17,01	29	1,05	0,25	1,66	29	19,92	2,41	42,80	29
19-241m	15,75	11,85	18,15	14	1,61	1,35	1,82	14	18,64	12,32	43,14	14
Total	11,20	0,49	18,15	43	1,23	0,25	1,82	43	19,50	2,41	43,14	43
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
	25 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-15m	23,49	9,50	25,82	160	6,40	5,07	8,07	33	9,59	7,82	11,58	160
16-223m	27,03	25,00	27,62	1686	4,91	3,08	5,68	59	9,63	9,27	11,50	1686
Total	26,72	9,50	27,62	1846	5,44	3,08	8,07	92	9,62	7,82	11,58	1846
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	25 prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-15m	8,09	0,30	17,10	31	1,18	0,07	6,74	31	16,34	2,00	80,00	26
16-223m	16,58	8,16	18,90	53	1,50	0,70	1,81	53	23,65	13,64	30,00	51
Total	13,44	0,30	18,90	84	1,38	0,07	6,74	84	23,83	2,00	80,00	77

Figura 27. Resumen estadístico ACS, barrio 25. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato , fosfato y silicato. SD = sin dato



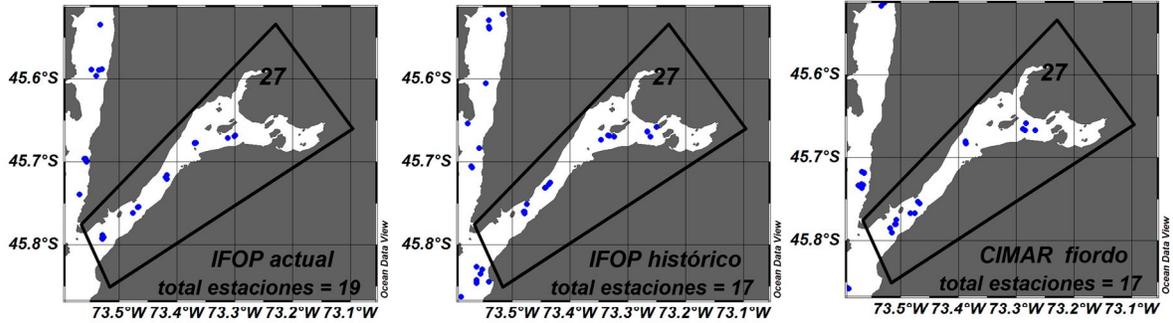
IFOP A		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
26		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-11m		27,51	25,61	28,94	22	5,14	5,05	5,39	22	9,99	9,67	9,84	22
9-107m		29,27	26,95	30,61	178	4,87	4,61	5,38	178	4,87	9,88	10,61	178
Total		29,07	25,61	30,61	200	4,90	4,61	5,05	200	10,34	9,67	10,61	200
IFOP A		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
26		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-11m		10,16	8,37	11,65	6	1,96	1,61	2,35	6	4,46	2,89	5,49	6
9-107m		10,47	8,44	12,48	7	2,13	1,61	2,55	7	3,29	1,49	5,85	7
Total		10,33	8,37	12,48	13	2,05	1,61	2,55	13	3,87	1,49	5,85	12
IFOP H		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
26		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-8m		27,26	23,24	29,36	121	5,79	4,42	8,74	121	10,97	8,42	14,46	121
9-101m		29,29	24,72	31,22	992	5,20	4,09	7,49	992	10,57	9,05	12,51	992
Total		29,06	23,24	31,22	1113	5,26	4,09	8,74	1113	10,61	8,42	14,46	1113
IFOP H		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
26		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-8m		10,57	1,04	18,03	37	1,20	0,44	1,91	37	16,68	2,84	71,67	37
9-101m		14,12	4,53	19,00	50	1,48	0,70	1,90	50	14,19	6,46	20,80	50
Total		12,61	0,85	19,00	87	1,36	0,44	1,91	87	14,88	2,84	71,67	87
CIMAR		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
26		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-15m		27,39	23,63	29,25	290	6,15	4,94	6,90	55	9,68	7,78	11,91	290
16-121m		29,26	26,19	31,20	991	5,63	4,38	6,08	53	9,98	8,50	11,88	990
Total		28,83	23,63	31,20	1281	5,89	4,38	6,90	108	9,91	7,78	11,91	1280
CIMAR		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
26		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-15m		13,42	7,30	17,80	56	1,28	0,85	1,56	56	20,49	13,00	32,00	55
16-121m		15,50	12,30	18,90	50	1,45	1,12	1,84	50	20,09	14,00	35,00	50
Total		14,40	7,30	18,90	106	1,36	0,85	1,84	106	20,30	13,00	35,00	105

Figura 28. Resumen estadístico ACS 26a, barrio salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



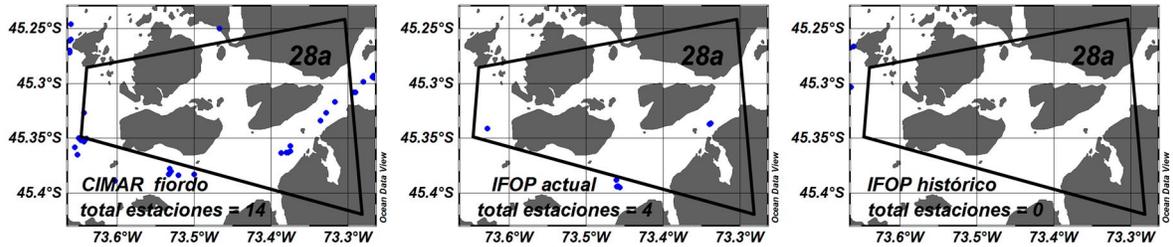
IFOP A		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
26b		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-14m		27,35	21,75	29,39	259	5,71	4,22	9,56	259	10,54	9,33	13,17	259
15-298m		31,08	27,36	31,87	4399	4,73	3,50	7,04	4399	10,56	9,17	12,01	4399
Total		30,87	21,75	31,87	4658	4,78	3,50	9,56	4658	10,56	8,56	13,17	4658
IFOP A		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
26b		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-14m		9,57	7,41	11,73	9	1,51	0,87	1,96	9	6,18	1,13	11,29	8
15-298m		11,77	9,62	13,09	14	1,51	1,51	2,45	14	3,22	0,04	10,51	10
Total		10,92	6,19	13,09	23	1,83	0,87	2,45	23	4,54	0,04	11,29	18
IFOP H		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
26b		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-11m		26,96	23,06	28,89	97	5,63	4,99	7,27	98	10,10	8,68	12,77	98
12-289m		30,79	26,68	32,03	1680	4,72	3,82	6,34	1680	10,31	9,13	12,09	1680
Total		30,58	23,06	32,03	1777	4,78	3,82	7,27	1778	10,30	8,62	12,77	1778
IFOP H		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
26b		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m		10,43	1,97	15,43	25	1,07	0,36	1,48	25	19,17	12,18	30,37	25
27-450m		14,04	9,01	18,00	32	1,47	0,87	2,35	32	16,16	12,10	20,36	32
Total		12,46	1,97	18,00	57	1,30	0,36	2,35	57	17,48	12,10	30,37	57
CIMAR		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
26b		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-12m		27,98	21,26	29,60	251	6,07	4,66	7,41	57	10,03	7,66	12,89	251
13-315m		31,15	26,47	32,38	5142	5,24	3,76	6,38	147	10,05	9,28	11,97	5141
Total		31,01	21,26	32,38	5393	5,47	3,76	7,41	204	10,05	7,66	12,89	5392
CIMAR		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
26b		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-12m		12,52	0,40	20,40	60	1,19	0,22	1,67	60	26,70	7,00	93,00	60
13-315m		17,36	10,70	25,10	142	1,58	0,72	1,96	142	18,02	9,00	45,00	142
Total		15,92	0,40	25,10	202	1,46	0,22	1,96	202	20,60	7,00	93,00	202

Figura 29. Resumen estadístico ACS 25, barrio salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



IFOP A	Salinidad (psu)				OD (mL/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
27												
0-13m	27,05	17,20	28,75	241	5,43	2,70	8,68	241	10,97	8,17	14,89	241
14-268m	29,67	27,08	30,90	2114	3,80	0,03	7,10	2114	10,70	9,41	12,07	2114
Total	29,40	17,20	30,90	2355	3,97	0,03	8,68	2355	10,73	8,17	14,89	2355
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
27												
0-13m	7,16	1,38	12,00	25	1,83	0,17	2,82	25	16,48	9,01	23,15	25
14-268m	12,95	6,87	18,96	33	2,87	0,17	7,04	33	31,47	10,31	98,12	33
Total	10,45	1,38	18,96	58	2,42	0,17	7,04	58	25,01	9,01	98,12	58
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (mL/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
27												
0-14m	26,79	18,33	29,69	222	6,05	4,14	9,85	222	11,01	8,46	15,92	222
15-150m	29,83	27,85	31,10	1496	4,17	1,65	6,27	1496	10,58	2,25	12,41	1496
Total	29,43	18,33	31,10	1718	4,42	1,65	9,85	1718	10,63	8,46	15,92	1718
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
27												
0-14m	6,80	0,12	18,67	50	0,74	0,08	1,58	50	11,28	0,52	42,37	50
15-150m	14,60	5,56	20,45	38	1,62	0,74	2,57	38	19,19	5,22	43,95	38
Total	10,17	0,12	20,45	88	1,21	0,08	2,57	88	14,70	0,52	43,95	88
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (mL/L)				Temperatura (°C)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
27												
0-13m	27,51	11,85	29,28	215	6,06	2,89	7,81	43	10,03	7,57	13,43	215
14-256m	29,80	27,39	31,34	2081	4,79	3,17	5,92	69	10,15	8,67	12,02	2081
Total	29,58	17,85	31,34	2296	5,27	2,89	7,81	112	10,13	7,57	13,43	2296
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
27												
0-13m	11,62	0,00	19,50	41	1,25	0,13	2,25	41	19,57	8,70	36,00	41
14-256m		13,34	21,80	69	1,76	1,26	2,21	56	24,76	16,00	39,00	55
Total	14,44	0,00	21,80	97	1,54	0,13	2,25	97	22,54	8,70	39,00	96

Figura 30. Resumen estadístico ACS 27, barrio salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



FOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
28a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-11m	27,32	21,84	31,86	97	5,68	4,77	9,56	97	10,55	8,62	13,17	97
12-298m	31,05	27,82	31,86	1873	4,63	3,50	7,41	1873	9,33	9,33	12,05	1873
Total	30,86	21,84	31,86	1970	4,68	3,50	9,56	1970	10,56	8,62	13,17	1970

FOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
28a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-11m	7,51	1,80	11,41	16	1,74	0,45	2,71	16	17,02	1,13	35,42	16
12-298m	13,46	8,74	26,40	20	2,24	0,45	3,50	20	17,78	2,34	31,85	18
Total	10,82	1,88	26,40	36	2,07	0,45	3,50	36	17,42	1,13	35,42	34

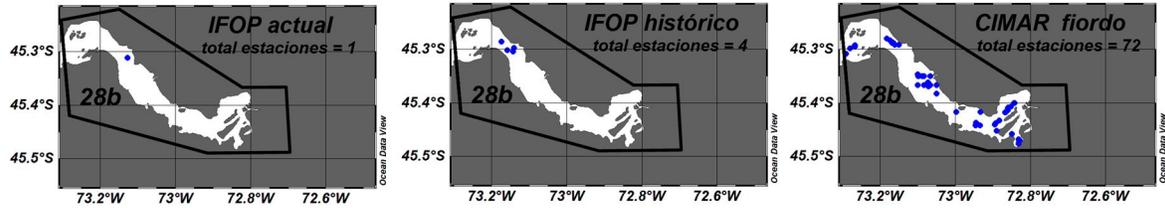
FOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
28a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

FOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
28a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
28a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-13m	27,73	8,88	30,33	153	6,21	5,05	8,06	35	10,17	7,72	14,25	153
14-240m	30,87	27,84	32,30	2529	4,83	2,56	5,80	63	10,31	9,53	11,31	2529
Total	30,66	8,88	32,30	2682	5,30	2,56	8,06	98	10,30	7,72	14,25	2682

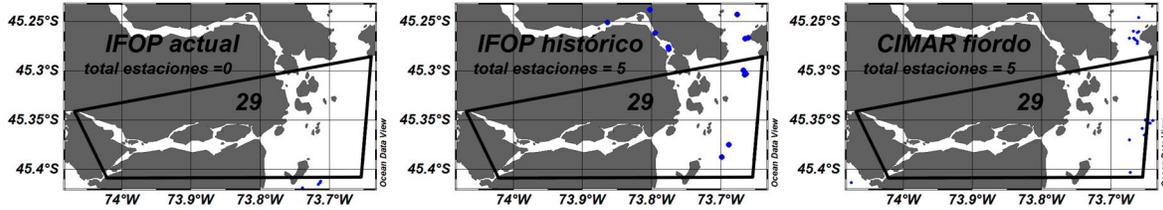
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
28a	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-13m	11,30	0,10	18,60	35	1,08	0,00	1,64	35	34,68	3,00	87,64	35
14-240m	18,07	13,30	24,10	56	1,70	1,31	2,07	56	21,01	15,00	30,00	56
Total	15,47	0,10	24,10	91	1,46	0,00	2,07	91	26,27	3,00	87,64	64

Figura 31. Resumen estadístico ACS 28a, barrio salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



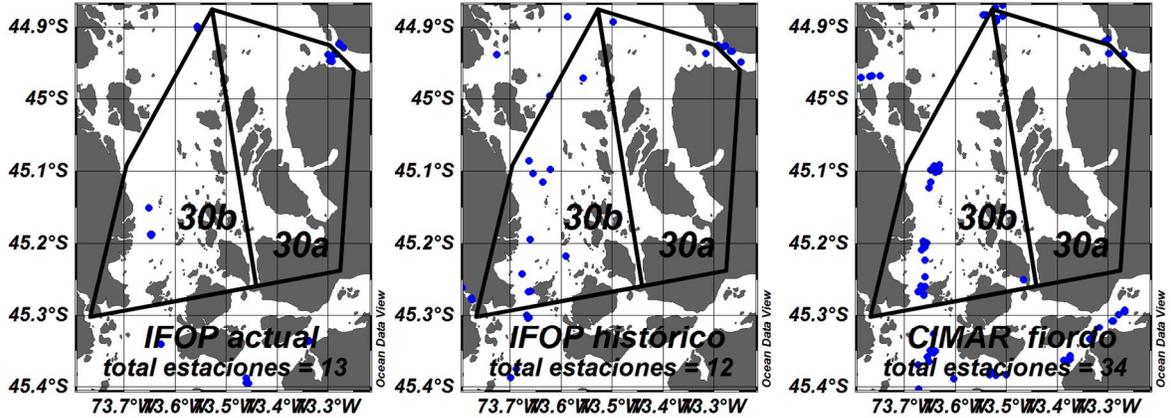
IFOP A		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
28a		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-8m		26,26	22,48	28,79	8	5,20	4,93	5,62	8	9,36	8,45	11,12	8
9-318m		31,32	29,59	31,69	310	3,66	2,96	4,94	310	10,98	10,41	11,12	310
Total		31,19	22,48	31,69	318	3,70	2,96	5,62	318	10,94	8,45	11,12	318
IFOP A		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
28a		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-8m		13,38	11,62	15,50	2	2,38	2,06	2,70	2	6,57	3,91	9,24	2
9-318m		15,49	13,37	17,97	6	2,56	2,35	2,95	6	4,79	2,95	8,15	4
Total		14,96	11,62	17,97	8	2,51	2,06	2,95	8	5,38	2,95	9,24	6
IFOP H		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
28a		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-15m		24,93	11,55	29,76	60	5,52	4,02	7,15	60	10,74	8,08	13,19	60
16-322m		31,10	28,90	31,57	1090	3,69	2,65	5,82	1090	10,60	9,64	10,99	1090
Total		30,77	11,55	31,57	1150	3,78	2,65	7,15	1150	10,58	8,08	13,19	1150
IFOP H		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
28a		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-15m		8,50	1,28	15,87	13	0,91	0,13	1,58	13	19,90	6,35	54,92	13
16-322m		15,40	8,07	21,05	15	1,65	1,14	2,31	15	19,55	4,25	36,20	13
Total		12,20	1,28	21,05	28	1,31	0,13	2,31	28	12,20	4,25	54,92	28
CIMAR		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
28a		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-14m		24,81	0,61	30,03	922	6,48	3,75	10,11	151	9,92	7,08	14,18	922
15-335m		31,09	21,95	31,88	12578	3,83	1,33	5,88	272	10,54	9,05	11,98	12577
Total		30,65	0,61	31,88	14266	4,49	1,33	10,11	422	10,50	7,08	14,18	14265
CIMAR		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
28a		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-14m		9,74	0,00	24,10	208	0,85	0,00	1,81	209	45,43	5,00	167,00	208
15-335m		20,23	9,80	28,40	356	1,82	0,99	2,57	356	23,95	9,00	46,00	356
Total		16,36	0,00	28,40	564	1,46	0,00	2,57	565	31,87	5,00	167,10	564

Figura 32. Resumen estadístico ACS 28b, barrio salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



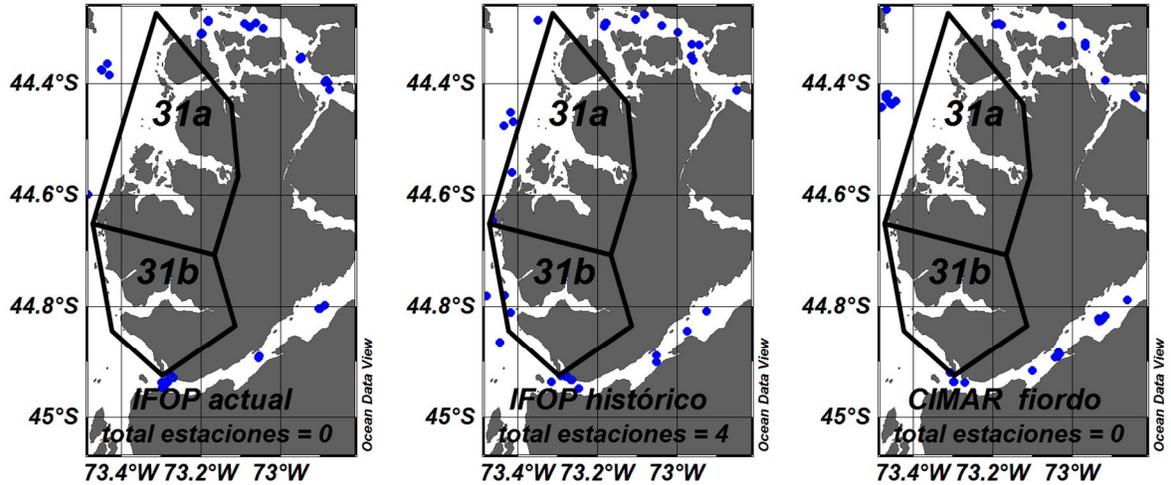
IFOP A		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
29	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP A		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
29	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP H		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
29	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-9 m	28,74	27,21	29,87	43	5,83	4,53	6,82	40	10,77	9,24	14,42	44	
10-163	30,40	26,88	32,22	376	5,05	3,66	6,38	376	10,95	9,26	12,86	376	
total	30,22	27,21	32,22	419	5,12	3,66	6,82	416	10,96	9,08	14,42	420	
IFOP H		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
29	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-9 m	10,82	5,94	14,65	5	1,68	0,50	4,37	5	14,15	11,66	17,71	5	
10-163	11,53	3,78	17,15	11	1,13	0,86	1,62	11	11,95	7,14	18,71	11	
total	11,31	3,78	17,15	16	1,30	0,51	4,37	16	12,64	7,14	18,71	16	
CIMAR		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
29	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-11m	30,55	27,01	32,00	1214	5,87	4,94	7,06	54	9,58	8,81	10,75	1214	
12-165m	28,63	27,01	29,72	95	9,59	5,66	7,06	21	9,59	8,81	10,75	95	
Total	30,71	28,02	32,00	1119	5,64	4,94	6,17	33	9,58	8,84	10,62	1119	
CIMAR		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
29	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
0-11m	15,25	3,20	21,10	53	1,40	0,65	1,85	53	18,66	6,00	34,00	53	
12-165m	13,46	3,20	18,30	21	1,25	0,65	1,28	21	20,05	6,00	30,00	21	
Total	16,43	9,49	21,10	32	1,49	1,04	1,85	32	17,74	8,41	34,00	32	

Figura 33. Resumen estadístico ACS 29, barrio salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



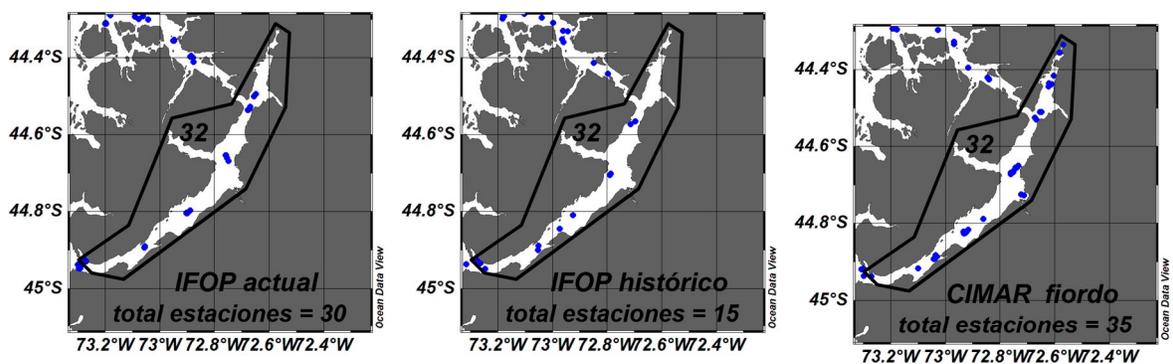
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
30a-30b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-15m	28,64	15,37	30,76	438	5,86	4,48	9,56	438	10,94	8,62	15,22	438
16-327 m	32,40	28,32	34,07	5842	3,94	1,85	7,41	5842	10,11	8,91	12,51	5842
Total	32,14	15,37	34,07	6280	4,08	1,85	9,56	6280	10,16	8,62	15,22	6280
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
30a-30b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	7,01	1,50	12,45	35	1,70	0,46	2,71	35	15,40	1,13	35,42	35
27-450m	15,34	8,74	30,63	49	2,58	1,47	4,30	49	18,48	2,34	32,22	47
Total	11,87	1,50	30,63	84	2,21	0,46	4,30	84	17,16	1,13	35,42	82
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
30a-30b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-16m	28,71	9,79	32,02	206	5,83	4,32	7,43	201	11,06	7,87	14,40	202
17-254m	32,36	28,14	33,72	1097	4,06	1,97	6,30	1097	10,17	9,04	12,47	1097
Total	31,79	9,79	33,72	1303	4,33	1,97	7,43	1298	10,30	7,87	14,40	1299
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
30a-30b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-16m	6,71	1,17	14,01	20	0,81	0,22	1,94	20	9,59	3,57	16,45	20
17-254m	15,67	7,89	20,87	22	1,60	0,86	2,22	22	14,61	7,66	19,76	22
Total	11,40	1,17	20,87	42	1,22	0,22	2,22	42	12,22	3,57	19,76	42
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
30a-30b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-22m	29,81	24,69	32,18	824	6,32	5,36	7,74	108	10,16	6,90	12,51	824
23-302m	32,78	28,46	34,12	4963	4,54	2,00	6,76	173	9,84	7,75	12,33	4961
Total	32,35	24,69	34,12	5787	5,22	2,00	7,74	281	9,88	7,75	12,51	5785
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
30a-30b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m	11,91	0,00	21,10	104	1,19	0,00	1,83	104	15,45	2,00	42,00	101
27-450m	20,63	4,60	28,80	180	1,85	0,79	2,68	179	18,53	5,00	31,00	176
Total	17,44	0,00	28,80	284	1,60	0,00	2,68	283	17,41	0,00	42,00	277

Figura 34. Resumen estadístico ACS, barrios 30a y b. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato.



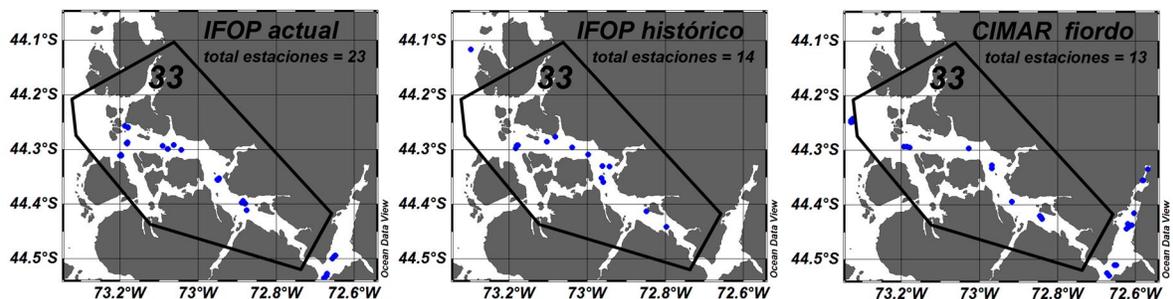
IFOP A	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	31a-31b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-9m	27,07	11,72	30,15	45	5,85	5,66	7,78	44	9,61	8,15	12,47	45
	10-2019m	32,19	28,79	33,95	560	4,37	2,78	5,87	560	10,16	8,65	11,96	560
Total	31,81	11,72	33,95	605	4,47	2,78	7,78	604	10,12	8,15	12,47	605	
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	31a-31b	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
	0-9m	12,94	11,25	15,43	6	1,10	0,94	1,34	6	9,92	8,62	11,57	6
	10-2019m	16,48	11,27	18,79	9	1,46	0,90	1,78	9	12,60	9,75	20,45	9
Total	15,06	11,25	18,79	15	1,31	0,90	1,78	15	11,53	8,62	20,45	15	
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD		
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)				
	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	
SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD		

Figura 36. Resumen estadístico ACS, barrio 31 a-b. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



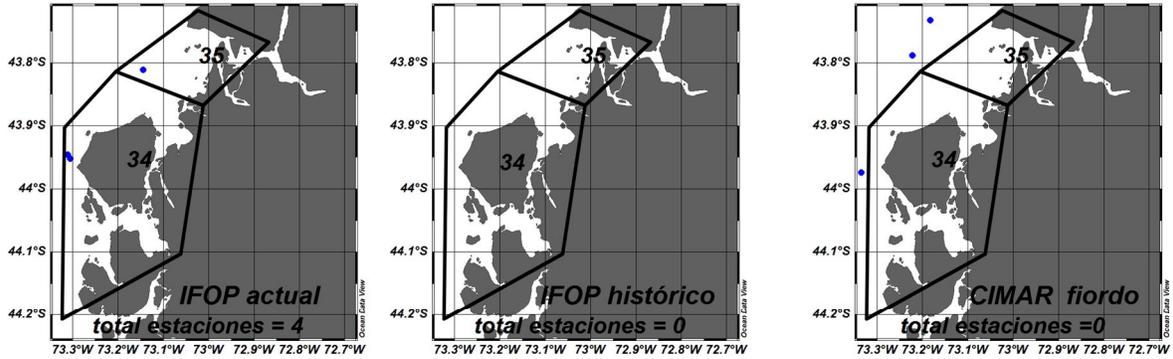
IFOP A	Salinidad (psu)					OD (ml/L)					Temperatura (°C)				
	32	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n		
0-22m		27,86	13,21	31,37	475	5,66	3,60	8,56	475	11,38	8,04	16,82	475		
23-285m		33,34	30,87	39,99	4793	2,57	1,59	6,29	4793	9,66	9,05	11,57	4793		
Total		32,84	13,21	39,99	5268	2,85	1,59	8,56	5268	9,81	8,04	16,82	528		
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
	32	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n		
0-22m		3,59	1,40	8,03	31	1,43	0,61	3,01	31	19,92	4,06	31,84	31		
23-285m		14,80	7,32	23,25	48	2,84	1,14	4,23	48	23,83	4,06	38,45	48		
Total		10,40	1,40	23,25	79	2,29	0,61	4,23	79	19,10	4,06	38,45	79		
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)						
	32	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n		
0-12m		26,63	2,16	31,96	179	5,81	2,89	7,78	176	11,65	7,87	18,60	179		
13-254m		32,81	28,98	34,12	2090	3,90	1,36	6,05	2090	9,97	8,92	12,26	2090		
Total		32,32	11,61	34,12	2269	3,53	1,36	7,78	2266	10,10	7,87	18,60	2269		
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
	32	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n		
0-12m		7,53	2,16	14,91	11	0,79	0,22	1,38	11	11,92	8,79	16,27	11		
13-254m		16,29	8,81	23,55	14	1,62	1,01	2,44	14	15,81	9,92	22,54	14		
Total		12,43	2,16	23,55	25	1,26	0,22	2,44	25	14,10	8,79	22,54	25		
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)						
	32	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n		
0-14m		27,23	11,84	31,44	392	6,77	4,70	8,52	83	10,17	6,41	12,98	392		
15-301m		33,21	27,94	34,06	6393	3,32	0,99	6,44	201	9,61	8,29	11,47	6393		
Total		32,87	11,84	34,06	6785	4,33	0,99	8,52	284	9,64	6,41	12,98	6785		
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)						
	32	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n		
0-26m		6,57	0,20	29,10	82	0,67	0,05	1,78	85	14,47	1,62	38,00	85		
27-450m		23,78	6,30	29,10	188	2,32	0,00	3,62	188	24,31	1,00	77,00	187		
Total		18,55	0,00	29,10	270	1,81	0,00	3,62	273	21,23	1,00	77,00	272		

Figura 37. Resumen estadístico ACS, barrio 32. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



	prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
33												
0-14m	29,28	16,40	31,57	316	6,04	4,28	8,24	316	11,52	9,09	16,24	316
27-450m	32,21	29,51	34,10	4421	3,44	1,61	7,57	4420	9,86	8,86	13,28	4221
Total	32,95	16,40	34,10	4737	3,61	1,61	8,24	4736	9,97	8,86	16,24	4737
IFOP A	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
33												
15-354m	6,13	1,29	11,49	32	1,80	1,03	3,12	32	12,99	3,77	62,35	32
27-450m	14,82	6,22	25,47	45	2,67	1,61	4,20	45	18,32	7,38	31,09	45
Total	11,21	1,29	25,47	77	2,31	1,03	4,20	77	16,11	3,77	62,35	77
IFOP H	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
33												
0-18m	28,98	18,28	32,59	249	5,42	4,42	7,96	237	11,11	7,94	16,98	251
19-289m	3,15	29,76	34,10	2121	3,58	1,92	5,80	2221	9,99	8,78	11,92	2221
Total	32,73	18,28	34,10	2470	3,76	1,92	7,96	2458	10,10	7,94	16,98	2471
IFOP H	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
33												
0-18m	8,80	0,62	19,31	22	0,82	0,05	1,53	22	9,71	1,68	22,37	22
19-289m	16,14	5,92	23,47	27	1,64	0,51	2,45	27	14,74	8,79	3742,00	27
Total	12,85	0,62	23,47	49	1,27	0,05	2,45	49	12,48	1,68	37,42	49
CIMAR	Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
33												
0-31m	30,43	15,98	32,52	390	6,15	3,92	8,12	47	10,23	8,27	11,87	390
31-553m	33,78	31,43	34,23	4822	3,22	1,88	5,77	97	9,27	8,52	10,47	4822
Total	33,53	15,98	34,23	5212	4,17	1,88	8,12	144	9,34	8,27	11,87	5212
CIMAR	Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
33												
0-26m	11,28	0,20	21,80	40	1,14	0,00	1,88	41	10,29	1,00	27,00	39
27-450m	23,60	11,80	32,70	98	2,23	1,46	3,05	98	18,68	8,00	27,00	96
Total	20,03	0,20	32,70	138	1,91	0,00	3,05	139	16,25	1,00	27,00	135

Figura 38. Resumen estadístico ACS, barrio 33. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



IFOP A		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
34-35		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-8m		31,37	29,92	32,46	23	6,21	5,27	8,05	23	11,08	9,88	12,63	23
9-203m		32,99	31,49	33,99	341	4,91	2,49	7,42	341	10,50	9,65	12,25	341
Total		32,88	29,92	33,99	364	5,00	2,49	8,05	364	10,53	9,65	12,63	364
IFOP A		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
34-35		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-8m		6,89	3,45	8,73	5	2,06	1,48	2,49	5	18,79	11,69	25,87	5
9-203m		11,05	8,64	15,22	7	2,56	1,87	3,85	7	16,15	13,41	17,89	7
Total		9,32	3,45	15,22	12	2,35	1,48	3,85	12	17,25	11,69	25,87	12
IFOP H		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
34-35		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IFOP H		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
34-35		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
CIMAR		Salinidad (psu)				OD (ml/L)				Temperatura (°C)			
34-35		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Total		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
CIMAR		Nitrato (µM)				fosfato (µM)				Silicato (µM)			
34-35		prom	min	max	n	prom	min	max	n	prom	min	max	n
0-26m		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
27-450m		SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD

Figura 39. Resumen estadístico ACS, barrio 34 y 35. salinidad temperatura, oxígeno disuelto, nitrato, fosfato y silicato. SD = sin dato.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Almte. Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

www.ifop.cl



www.ifop.cl