

DOCUMENTO DE AVANCE Nº1

Convenio de desempeño 2015: Modelación de alta resolución aplicada a la conectividad y transporte hidrodinámico al interior de macro – zonas en la XII Región de Magallanes.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Octubre 2015



DOCUMENTO DE AVANCE Nº1

Convenio de desempeño 2015: Modelación de alta resolución aplicada a la conectividad y transporte hidrodinámico al interior de macro – zonas en la XII Región de Magallanes.

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Octubre 2015

REQUIRENTE

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO

Subsecretaria de Economía y Empresas de Menor Tamaño Katia Trusich Ortiz

EJECUTOR

INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP

Director Ejecutivo Leonardo Núñez Montaner

Jefe División Investigación en Acuicultura **Leonardo Guzmán Méndez**

JEFE DE PROYECTO

Gabriel Soto Soto

AUTORES

Gabriel Soto Soto Marcela Arriagada Ortega Elías Pinilla Matamala Cristian Ruiz Soto Pablo Reche García



RESUMEN EJECUTIVO

Como parte del convenio de Asesoría integral para la Pesca y Acuicultura (ASIPA), entre Subsecretaría de Pesca y Acuicultura e IFOP, se encuentra en ejecución el proyecto Modelación de Alta Resolución Aplicada a la Conectividad y Transporte Hidrodinámico al interior de Macro - zonas en la XII Región de Magallanes, cuyo principal objetivo es mejorar la cobertura y resolución de la información oceanográfica disponible en la XII Región, con énfasis en la correntometría aplicada a la obtención de modelos de alta resolución con alto nivel de precisión, utilizables en estimaciones de la conexión y transporte entre áreas cercanas.

Se efectuó un levantamiento de información focalizado principalmente en estudios anteriores efectuados por IFOP localizados en la región de Magallanes, específicamente en isla Rennell y alrededores (información de salinidad temperatura y oxígeno disuelto), con el fin de conectar datos y resultados de desarrollos anteriores con el actual desarrollo. Los resultados de esta información permitieron establecer una circulación de tipo estuarina con una capa superficial de variable profundidad, con características menos salinas y mas oxigenada que la subyacente, esta capa estaría influenciada por los aportes de agua dulce provenientes de diferentes fuentes: pluvial, nival, glacial. El segundo estrato, corresponde a aguas de características oceánicas de mayor salinidad.

Las limitaciones actuales en el desarrollo de la modelación hidrodinámica, tiene como una de las principales fuentes de error, la cuantificación de agua dulce que ingresa al sistema marino. Esto puede ser separado en aportes de ríos, aportes por deshielo glaciar y aporte pluvial. Durante el desarrollo de este estudio se logró concretar la primera aproximación en flujos de agua dulce, mediante la implementación de un modelo topográfico-atmosférico, esta metodología fue desarrollada por consultor experto en temas de glaciología asociado al CEC (Valdivia) y Ocean, and Sea Ice Modelling Group of the Department of Computational Physics and Methods (CCS-2) en Los Alamos National Laboratory, New México, USA. La información generada, será ingresada como input de caudales, para generar uno de los forzantes principales del modelo hidrodinámico en forma de campo de masas y mantención del balance de sal.

Con el desarrollo de los modelos hidrodinámicos regionales, generados en estudios anteriores, se podrá implementar y mejorar modelos de una mayor resolución y con mayor grado de exactitud.

Actualmente se están realizando diversas reuniones de trabajo con destacados académicos del ámbito de oceanografía, para presentar desarrollo de los estudios oceanográficos que IFOP se encuentra ejecutando.

En el mes de abril de 2015, investigadores IFOP expertos en modelación realizaron una síntesis en modelación numérica con MIKE3 a representantes de SUBPESCA. En dicha inducción se trataron aspectos de diseño de una modelación numérica hidrodinámica, navegación a través del software,

i



elaboración de un modelo, extracción y visualización de resultados y calibración/validación de un modelo hidrodinámico.

Durante la reunión de coordinación con Subpesca se han podido establecer las posiciones geográficas, cantidad de equipos instalados y fechas de ejecución de los cruceros oceanográficos. De acuerdo a esto, las campañas comenzarían en el mes de noviembre de 2015.



ÍNDICE GENERAL

ÍNDIC	JMEN EJECUTIVO CE GENERAL CE FIGURAS, TABLAS	iii
1.	ANTECEDENTES	1
2.	OBJETIVOS 2.1 Objetivo general 2.2 Objetivos específicos	4
3.	METODOLOGÍA	5
3.1	Objetivo específico 2.2.1 Aumentar la cobertura de datos de corriente, marea, viento descargas fluviales en toda el área en estudio previamente definida, complementando la información ya disponible obtenida por los diversos estudios realizados a la fecha	6
3.2	Objetivo específico 2.2.2. Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de agentes patógenos entre los diferentes centros de cultivo	8
3.3	Objetivo específico 2.2.3 . Diseñar, organizar y llevar a cabo reuniones de científicos o expertos, nacionales o internacionales, en materias relacionadas con el presente proyecto	8
3.4	Objetivo específico 2.2.4. Establecer mecanismos de transferencia tecnológica a fin de permitir el incremento de la experiencia nacional en este tipo de proyectos	9
4.	4.1 Reunión Reuniones expertos agua dulce (marzo-junio 2015)	9 10 11 11



5.	RES	SULTADOS	13		
	5.1	SULTADOSObjetivo específico 2.2.1	13		
	5.2	Objetivo específico 2.2.2	15		
	5.3	Objetivo específico 2.2.3	15		
;	5.4	Objetivo específico 2.2.4	15		
6.	DIS	CUSIÓN	16		
7.	CON	NCLUSIÓN	17		
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS				
FIGUR	AS				
TABL	4				
ANEX	OS:				
Anexo	l:	Mediciones Isla Rennell: Resultados estaciones CDT-O			
Anexo II: Base datos objetivo 1. (Incluida en el CD presentado al comienzo de este docume		Base datos objetivo 1. (Incluida en el CD presentado al comienzo de este documento)			



ÍNDICE FIGURAS, TABLA y ANEXO

FIGURAS

- **Figura 1**. Área de estudio, incluyendo el dominio donde será implementado el modelo de alta resolución.
- **Figura 2**. Ubicación geográfica de transectas de ADCP remolcado, realizadas para área de estudio.
- **Figura 3**. Ubicación geográfica de ADCP instalados, para área de estudio.
- Figura 4. Ubicación geográfica de mareógrafos y estaciones meteorológicas instaladas, para área estudio
- **Figura 5**. Topografía y cobertura superficial del dominio del modelo SnowModel, simulada para el presente estudio, junto al esquema de las cuencas.
- **Figura 6**. Esquema de operación SnowModel, considerando sus diferentes sub-modelos.
- **Figura 7**. Ilustración de la metada ordenada por año, mes día simulada para una escorrentía de m³d-¹.para un total de 3225 cuencas.

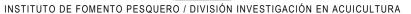
TABLA

Tabla I. Cantidad de mediciones a realizar en área de estudio.

ANEXOS

Anexo I: Mediciones Isla Rennell: Resultados estaciones CDT-O.

Anexo II: Base datos objetivo 1.







1. ANTECEDENTES

La compleja geografía patagónica caracterizada por la complicada línea de costa, revela la presencia de profundos canales y fiordos (Araya, 1996), que comunican numerosos cuerpos de agua generando la existencia de complicados patrones de circulación, que son el resultado de forzantes meteorológicos y oceanográficos, los cuales son a su vez consecuencia de la influencia regional de fenómenos de mayor escala (Sievers y Silva, 2006). Las características propias de esta geográfica conforma áreas protegidas de las condiciones meteorológicas, donde en las últimas décadas se ha desarrollad una intensa actividad económica ligada principalmente a la acuicultura en escala industrial, Silva y Guerra 2008. Debido a que no existía un gran desarrollo de la información sobre estudios ambientales en los canales y fiordos australes entre la X y XII Región, el comité oceanográfico nacional CONA elaboró el año 1994 un programa denomina crucero CIMAR, para efectuar una seria de cruceros oceanográficos para cubrir esta extensa área, siendo los 3 primeros de carácter exploratorio, posteriormente sobre la base de estos cruceros, se realizó un numero significativos de cruceros, con la finalidad de determinar y documentar procesos oceanográficos relevantes, considerando que en muchas de estas áreas existe un fuerte desarrollo acuícola. Silva & Palma 2006. Esto permitió generar una base de datos y un conjunto de publicaciones científicas relevantes sobre los procesos oceanográficos y generar líneas base de investigación para estas zonas. En este marco geográfico se ha registrado el desarrollo de la acuicultura en la zona sur austral, la cual ha visto en las pasadas décadas un aumento progresivo, tornándose esta industria en una de las más pujantes en Chile, llevando a nuestro país a niveles de competitividad pocas veces vistos en otros sectores de la industria.

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 (ZSA), motivada por la necesidad de gestionar en forma sustentable el desarrollo de la industria acuicultora. 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 aéreas de interés, seleccionado en para este estudio, los canales aledaños Isla Rennell y sus alrededores.

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 la 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.

Como parte de los proyectos de Convenio Asesoría Integral para la toma de decisiones en Pesca y Acuicultura (ASIPA), entre SUBPESCA e IFOP, desde 2010 hasta el presente, se han venido desarrollando modelos numéricos hidrodinámicos con la finalidad de disminuir la incertidumbre que existe en la zona sur austral de Chile (X a XII Regiones) respecto a la propagación de patógenos y plagas entre los centros de cultivo de salmónidos. De estos modelos desarrollados por IFOP, a la fecha se han implementados 2 modelos hidrodinámicos regionales de gran escala, uno en las regiones X y XI y otro, en la XII Región.

La información de los modelos ha sido complementada con datos de viento obtenidos de modelos atmosféricos globales GFS y de mesoescala (WRF), estos han sido utilizados para generar campos de vientos para los distintos escenarios simulados, mientras que datos de mareógrafos y modelos globales de nivel del mar se han usado para generar las mareas en los bordes. A su vez, datos de



aportes fluviales de distintas fuentes han sido integrados como fuentes de agua dulce al modelo, reproduciendo flujos de boyantes, característicos de la zona de canales. Este tipo de estudios tiene como ventaja, la capacidad de extender los resultados de la medición y monitoreo puntual a un área geográfica mayor, con la posibilidad de predecir su comportamiento en diferentes escenarios.



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Mejorar la cobertura y resolución de la información oceanográfica disponible en la XII región, con énfasis en la correntometría aplicada a la obtención de modelos de alta resolución, utilizables en estimaciones de la conexión y transporte entre áreas cercanas.

2.2. Objetivos específicos

- **2.2.1** Aumentar la cobertura de datos de corriente, marea, viento descargas fluviales en toda el área en estudio previamente definida, complementando la información ya disponible obtenida por los diversos estudios realizados a la fecha.
- **2.2.2** Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de agentes patógenos entre los diferentes centros de cultivo.
- **2.2.3** Diseñar, organizar y llevar a cabo reuniones de científicos o expertos, nacionales o internacionales, en materias relacionadas con el presente proyecto.
- **2.2.4** Establecer mecanismos de transferencia tecnológica a fin de permitir el incremento de la experiencia nacional en este tipo de proyectos.



3. METODOLOGÍA

3.1 Objetivo específico 2.2.1

Aumentar la cobertura de datos de corriente, marea, viento descargas fluviales en toda el área en estudio previamente definida, complementando la información ya disponible obtenida por los diversos estudios realizados a la fecha.

3.1.1 Recopilación de información

Se realizó una recopilación de información oceanográfica relevante de la zona de estudio (región de Magallanes), de proyectos anteriores efectuados por IFOP, los principales resultados son presentados en el siguiente capítulo. Se incluye esta información a modo de presentar continuidad con el desarrollo de las mediciones que se realizarán en este proyecto.

3.1.2 Campañas oceanográficas

Es importante señalar que se dio especial énfasis a cubrir un área geográfica, que en estudios anteriores de modelación de alta resolución no pudieron ser cubiertas, por ende se considero el área de Isla Rennell y alrededores como isla Piazzi, I. Taraba, I. Hunter, Península Staines, I. Pedro Montt. Las mediciones estarán centradas en los principales accesos como canal Unión, estrecho Collingood, canal Smyth, canal Clutter, entrada seno Taraba, canal Sarmiento (**Figura 1**). En esta área seleccionada se realizará un crucero de otoño/invierno y otro de primavera/verano, para determinar la variabilidad estacional.

La cantidad de equipos y sus respectivas mediciones se resumen en la **Tabla I.** Es de suma importancia señalar que las mediciones comenzarán en el mes de noviembre 2015 y no en el mes de julio como había sido pauteado en la carta Gantt de los Términos Técnicos de Referencia (TTR), y que la posición final de todos los instrumentos a instalar se fijó definitivamente en reunión con la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (SUBPESCA) el pasado viernes 16 de octubre de 2015.

Se efectuarán mediciones de ADCP en la columna de agua mediante la opción bottom tracking. Seleccionando secciones transversales a los principales canales del área de estudio, estas mediciones tendrán duración de un ciclo mareal completo aproximadamente 24,5 horas (**Figura 2**). Serán efectuadas mediciones de correntometría eulerianas en la columna de agua a través de anclajes de ADCP's, en modo de auto-contenido, en los principales canales, durante los periodos estacionales, con una duración mínima 30 días (**Figura 3**). Para complementar la información, se efectuarán mediciones de corrientes lagrangianas, a través de boyas derivadores cuya posición inicial estará ubicada en la misma posición de la transecta de ADCP remolcado, por un periodo máximo de 48 horas, o bien, hasta que complete una medición de forma continua, evitando de esta manera, continuar debido a cortes por varamiento u otra problemática.



Se realizarán mediciones de nivel del mar, por medio de mareógrafos y para caracterizar los procesos atmosféricos se instalarán estaciones meteorológicas, capaz de medir entre otras la dirección y velocidad del viento (**Figura 4**).

Para área seleccionada se realizarán estaciones de CTD-O, (salinidad, temperatura, oxígeno disuelto) con el fin de caracterizar la columna de agua, determinar el comportamiento de los parámetros y la variabilidad temporal y espacial, poniendo especial énfasis en los bordes del modelo y cubrir los canales, dentro del dominio del modelo.

Para la determinación de la entrada de agua dulce al sistema marino, se realizará un estudio dedicado al cálculo de estos parámetros a través de asesoría con expertos en el área de hidrología. Este estudio permitirá tener un cálculo del volumen de entrada para el sector y su variabilidad temporal.

3.2 Objetivo específico 2.2.2

Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de agentes patógenos entre los diferentes centros de cultivo.

Los modelos de alta resolución disminuyen la incertidumbre respecto de los modelos regionales en las mediciones realizadas en zonas interiores gracias a un aumento de la resolución espacial (disminución del tamaño de los elementos de la malla flexible). De esta manera la escala espacial es variable en función del ancho del canal bajo modelación.

Modelo de elevación digital

Para definir la topografía del fondo marino se utilizaron datos batimétricos de GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) que consiste en un grupo internacional que trabaja en el desarrollo de datos batimétricos, atlas digitales y opera bajo el auspicio de la Comisión Intergubernamental Oceanográfica (IOC) de la UNESCO y la Organización Hidrográfica Internacional (IHO), estos datos son de dominio público y tienen un rango de resolución conocidos como GEBCO_08 Grid (30 segundos arco). Esta batimetría es ensamblada e interpolada mediante métodos lineales junto a la batimetría obtenida de sondas de las cartas batimétricas del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. El resultado es el dominio que es usado en la modelación regional.

Una vez compiladas las batimetrías de diversas fuentes en un único formato estándar (XYZ, por longitud, latitud y profundidad, respectivamente) se procede a integrar mediante interpolación de vecino natural los puntos discrecionales que conforman la batimetría XYZ sobre el dominio conformado por la malla flexible de elementos triangulares, de manera que como resultado se obtenga un modelo de elevación digital (DEM en inglés), esto es, un registro continuo en el espacio de la topografía submarina.



Temperatura y Salinidad

Los modelos son forzados por el campo de masa que responde a regímenes baroclínicos desde los bordes del dominio. Esto se denomina condición de borde y son ingresados al modelo como archivos bidimensionales en el espacio que se ajustan a las dimensiones de los bordes del modelo y que a su vez varían en el tiempo.

Los modelos también deben ser definidos por condiciones iniciales de temperatura y salinidad. La condición inicial es denominada "arranque en frío" la cual es un campo de flujo nulo al comenzar la simulación, el cual, se estabilizará luego de ciertos pasos de tiempo hasta alcanzar un equilibrio asociado a los forzantes. En cuanto a temperatura y salinidad es necesario especificar valores en todos los nodos del dominio en el estado inicial. Esos datos se obtendrán de los cruceros realizados por IFOP durante distintas etapas de las campañas y complementados por datos de cruceros anteriores (CIMAR o IFOP).

Modelo global de constituyentes de la marea

Se ha trabajado en la mejora de los forzantes de borde de modelos MIKE 3, y en concreto el forzante que supone la onda mareal. Allí donde no se dispone de mareógrafos cuyas observaciones permitan utilizar datos registrados como input de entrada a nuestro modelo, o bien utilizar esos mismos datos para extraer los constituyentes armónicos de la señal de la marea y realizar pronósticos en el tiempo, el modelo global de constituyentes de la marea es una herramienta de gran utilidad en el ahorro de recursos y tiempo. Si bien tiene limitaciones que aconsejan su uso en determinadas situaciones.

La mayor utilidad de este modelo es para crear las condiciones de borde en modelos de escala regional, cuyos bordes se encuentran bien alejados de la costa y las constituyentes del modelo global son de alta calidad, permitiendo la construcción de series-pronóstico igualmente confiables. La alta calidad de estas constituyentes viene dada a que las principales frecuencias de la onda mareal en océano abierto vienen dadas por constituyentes astronómicas diurnas (K1, O1, P1,Q1) y semi-diurnas (M2, S2, N2, K2); en cambio en el interior del sistema de fiordos se desarrollan otras frecuencias complejas dadas por la interacción de la onda mareal con la batimetría y la línea de costa que este sistema global no reproduce tan certeramente, desaconsejándose su uso en zonas menores a 20 metros de profundidad.

Forzantes atmosféricos

Se utiliza el modelo de mesoescala GFS (Global Forecast System) y WRF (Weather Research and Forecasting Model) con anidamientos múltiples en la zona. Se realizará una estimación de la calidad de los datos de viento de este modelo contrastándolos con las mediciones de estaciones meteorológicas dentro de la zona de estudio con el fin de determinar si es buen estimador de las condiciones de viento que están forzando al sistema marino. Una vez que las matrices de datos del modelo WRF son ingresadas al modelo MIKE 3 este las interpola a cada nodo usando un método de ajuste lineal



Fuentes de agua dulce

Las fuentes de agua dulce son uno de los forzantes que actúan en el modelo a través del influjo de volúmenes de agua que dan lugar a la generación de gradientes de densidad, los cuales van a influir en la boyantes y por tanto, en la circulación termohalina dentro de un sistema baroclínico.

Para la determinación de la entrada de agua dulce al sistema marino, se realizará un estudio dedicado al cálculo de estos parámetros a través de asesoría con expertos en el área de hidrología. Este estudio permitirá tener un cálculo del volumen de entrada para el sector y su variabilidad temporal.

Los dominios de alta resolución se encuentran en etapa de pruebas, cotejando tanto el tamaño final de resolución (elementos más pequeños) como los tiempos de simulación que se requerirán para modelar dichas resoluciones. Se debe encontrar un punto de equilibrio entre los tiempos de simulación y las resoluciones más altas. El detalle de los dominios ya establecidos será presentado en un siguiente informe. Cabe señalar que estos modelos de alta resolución son alimentados en sus bordes por salidas del modelo regional.

3.3 Objetivo específico 2.2.3

Diseñar, organizar y llevar a cabo reuniones de científicos o expertos, nacionales o internacionales, en materias relacionadas con el presente proyecto.

Se realizarán reuniones y mini talleres de expertos en análisis metodológicos en donde se discutirá con especialistas del área las técnicas, tanto en medición como en modelación, con el fin de mejorar los métodos utilizados. Actualmente se están realizando diversas reuniones de trabajo con destacados académicos del ámbito oceanográfico, para presentar el desarrollo de los estudios oceanográficos que IFOP se encuentra ejecutando.

- Universidad de Concepción:
 - Dr. Oscar Pizarro
 - Dr. Iván Perez
- Universidad de Valparaíso
 - Dr. Manuel Castillo

3.4 Objetivo específico 2.2.4 Establecer mecanismos de transferencia tecnológica a fin de permitir el incremento de la experiencia nacional en este tipo de proyectos.

Se Implementará un sistema de transferencia tecnológica que posibilite la participación del personal de la SUBPESCA en el desarrollo del proyecto, y/o desarrollos metodológicos implementados en el mismo.



4. GESTIÓN DEL PROYECTO

4.1 Reuniones con expertos tema determinación flujos de agua dulce

Las limitaciones actuales en el desarrollo de la modelación hidrodinámica, tiene como una de las principales fuentes de error, la cuantificación de agua dulce que ingresa al sistema marino. Esto puede ser separado en aportes de ríos y agua dulce que ingresa por efecto de deshielo glaciar en forma directa al sistema marino. Para poder abordar este tema, se ha requerido la asesoría externa de expertos y/o instituciones r especializadas en el tema de la glaciología, este proceso ha sido en extremo compleja y solo a partir de febrero de 2015 se logró establecer y localizar a un reducido grupo de expertos en tema de glaciares y aporte de agua dulce al sistema marino.

Reunión

Investigadores IFOP y experto en glaciología Centro de Estudios Científicos – CECs.

Fecha: 2 de marzo de 2015.

Ubicación: Centro de Estudios Científicos. Valdivia.

Participantes:

Sebastián Mernild Investigador Sénior CECs.

Gabriel Soto IFOP Pablo Reche IFOP

Objetivo de la Reunión:

Presentar al experto en glaciología, las problemáticas, de los diferentes proyectos de oceanografía ejecutados por IFOP y la relación con los flujos de agua dulce y de cómo abordar los diferentes aportes (glaciares fluviales) al sistema de fiordos y canales de la Patagonia chilena.

Investigador del CECs, plantea que actualmente se encuentra desarrollando un modelo numérico, para cuantificar los diferentes aportes de agua dulce en la costa del Pacífico Sur oriental (desde Quito hasta Cabo de Hornos). La tercera semana de marzo envía una propuesta económica con los aportes de agua dulce desde 1979 -2014, para la región sur austral de Chile. En la propuesta presenta 2 resoluciones para las cuencas a 1 km y 4 km.

Reunión:

Investigadores IFOP y expertos en glaciología de consultora privada Geoestudios

Fecha: 5 de marzo de 2015

Ubicación: oficinas de IFOP Valparaíso



Participantes:

Cedomir Marangunic Investigador y representante legal de Geoestudios

Gino Casassa Investigador Geoestudios

Gabriel Soto IFOP Elías Pinilla IFOP

Objetivo de la Reunión:

Presentar al experto en glaciología, las problemáticas, de los diferentes proyectos de oceanografía ejecutados por IFOP, y la relación con los flujos de agua dulce y de cómo abordar los diferentes aportes (glaciares fluviales) al sistema de fiordos y canales de Patagonia chilena.

Investigadores de geoestudios, plantean como una de las principales limitantes, en el desarrollo de asesorías orientadas a cuantificar los aportes de agua dulce proveniente de glaciares, los costos asociados a realizar mediciones en zonas de interés para desarrollo de proyectos IFOP. Se comprometen a enviar una propuesta económica acotada a la zona comprendida a campos de hielo Norte.

Investigadores IFOP y glaciólogos Dirección de Programas Antárticos y Sub- Antárticos DPA

Mediante una serie de correos electrónicos, investigadores IFOP se contactaron con expertos en glaciares, pertenecientes a la Universidad de Magallanes (UMAG). A través del la Dirección de programas Antárticos y Sub- Antárticos (DPA), se estableció contacto con Pedro Cid-Agüero y Francisco Juárez.

Objetivo de los correos:

Presentar al experto en glaciología, las problemáticas, de los diferentes proyectos de oceanografía ejecutados por IFOP y la relación con los flujos de agua dulce y de cómo abordar los diferentes aportes (glaciares fluviales) al sistema de fiordos y canales de Patagonia chilena.

Investigadores de DPA se comprometieron a evaluar la propuesta enviada por investigadores IFOP y elaborar un documento con una evaluación económica de los alcances y limitaciones de los requerimientos solicitados por IFOP.

4.2. Reunión Investigadores IFOP personal Subpesca: 4/03/2015.

Fecha: 4 de marzo de 2015

Ubicación: Sala de reuniones, edificio SUBPESCA, Valparaíso

Participantes:

Susana Giglio Subpesca Cristian Acevedo Subpesca



Gabriel Soto IFOP Elías Pinilla IFOP

Objetivo de la Reunión:

Plantear avances del proyecto en ejecución, señalar las principales problemáticas, como los relacionados con los flujos de agua dulce y de cómo abordar los diferentes aportes (glaciares fluviales) al sistema de fiordos y canales de Patagonia chilena

4.3. Reunión Investigadores IFOP personal SUBPESCA: 20-21/04/2015

• Fecha: 20-21 de abril de 2015

Ubicación: Sala de reuniones, oficinas de IFOP, Castro.

Participantes:

Susana Giglio, Subpesca
Gabriel Soto, IFOP
Cristian Ruíz, IFOP
Pablo Reche, IFOP
Elías Pinilla, IFOP

Objetivo de la Reunión:

Dar a conocer, por parte de IFOP, a su contraparte técnica de Subpesca, Susana Giglio, los alcances y perspectivas de los proyectos realizados en el área de oceanografía por la División de Investigación en Acuicultura. Comenzar en la transferencia de tecnología la etapa I: inducción Modelo MIKE.

4.4 Licitación embarcación: 13/04/2015

El Instituto de Fomento Pesquero, en el marco del proyecto "Modelación de Alta Resolución Aplicada a la Conectividad y Transporte Hidrodinámico al interior de Macro-zonas en la XII Región de Magallanes", 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 los siguientes diarios

- 1.- Las Últimas Noticias (circulación nacional).
- 2.- El Llanguihue de Puerto Montt (circulación regional).
- 3.- La Prensa Austral de Punta Arenas (circulación local).



En el mes de mayo de 2015 los servicios fueron adjudicados a la embarcación "Don Antonio", perteneciente al armador Sr. Manuel Cárdenas Alonzo.

4.5. Licitación compra de equipos oceanográficos: 28/05/2015

El Instituto de Fomento Pesquero, en el marco del proyecto "Modelación de Alta Resolución Aplicada a la Conectividad y Transporte Hidrodinámico al interior de Macro-zonas en la XII Región de Magallanes", llama a licitación pública, personas naturales y jurídicas, para la compra de equipos oceanográficos (3 perfiladores acústicos).

Debido a que la licitación recién fue adjudicada al proveedor en el mes de octubre, los equipos no estarán disponibles hasta enero 2016, aproximadamente.

4.6. Reunión Investigadores IFOP personal Subpesca: 16/10/2015

Fecha: 6 de octubre de 2015

Ubicación: Sala de Reuniones, edificio SUBPESCA, Valparaíso

Participantes:

Susana Giglio Subpesca
Gabriel Soto IFOP
Elías Pinilla IFOP

Objetivo de la reunión:

Plantear avances del proyecto en ejecución, Se establece una reprogramación de las mediciones y se señala, donde serán instalados 5 equipos ADCP, 4 mareógrafos, 2 estaciones meteorológicas y 6 transectos de ADCP remolcado, estos cambios permitirán cumplir cabalmente con los objetivos trazados en el presente estudio.

SUBPESCA plantea realizar una segunda etapa para la transferencia de tecnología se estima profundizar en modelación hidrodinámica.



5. RESULTADOS PRELIMINARES

5.1 Objetivo 2.2.1

Aumentar la cobertura de datos de corriente, marea, viento descargas fluviales en toda el área en estudio previamente definida, complementando la información ya disponible obtenida por los diversos estudios realizados a la fecha.

Recopilación de información:

Campañas prospecciones batimétricas IFOP región de Magallanes 2012-2013.

A través de los diferentes convenios ASIPA que la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura ha venido desarrollando con IFOP, se han efectuados en años anteriores una serie de estudios y mediciones en la región de Magallanes. Los resultados de estos estudios han entregado información oceanográfica de suma utilidad, la cual ha permitido ampliar el conocimiento de la oceanografía en la zona de estudio. Se presentan los principales alcances sobre estos resultados, dado la extensión de estos resultados se presentan en **ANEXO I**.

Flujos de agua dulce

Dado el complejo escenario, a continuación se describe como fue abordado el tópico de flujos de agua dulce, Primero que nada existió una serie de limitantes y consideraciones, dentro de éstas se encuentran:

- El reducido número de expertos que pudiesen abordar el tema
- Sólo recién en marzo se pudo establecer contacto con un último consultor, de un total de 3.
- Las propuestas técnicas y económicas, en las diferentes modalidades de cómo sería abordado la problemática del agua dulce para las áreas consideradas en este estudio, sólo fueron concretadas en el mes de junio 2015.

Considerando todos los antecedentes anteriormente señalados, se optó por una propuesta de trabajo mediante modelación numérica (consultor Sebastian Mernild). El consultor ha desarrollado un modelo regional que abarca una gran extensión de la Cordillera de los Andes, desde Quito hasta la Patagonia chilena. Dado los alcances de este estudio, el dominio del modelo se ha centrado sólo en la Patagonia chilena, que son los aportes de agua dulce de interés para el desarrollo de este Proyecto (**Figura 5**).

El modelo utilizado para generar las simulaciones, corresponde a "SnowModel" que es una agregación de seis sub-modelos, que acoplan información generada mediante procesos propios (**Figura 6**).



- 1.-Micromet: modelo físico de alta resolución meteorológica.
- 2.-<u>Enbal:</u> modelo de intercambio de energía superficial y modelo de fusión de nieve.
- 3.-SnowTran 3D: modelo de la distribución superficial de la nieve por efecto del viento.
- 4.-SnowPack ML: modelo de multicapas. Para las diferentes capas de nieve simula la congelación del agua de deshielo (fusión), considerando la permeabilidad de bajas temperaturas.
- 5.-<u>HydroFlow</u>: es un modelo de enrutamiento que mediante una malla lineal incorpora los depósitos de escorrentía.
- 6.-<u>SnowAssim</u>: modelo que asimila para dejar disponibles bases de datos con las observaciones de campo.

La distribución espacio-temporal de la escorrentía de agua dulce, que mediante sus diferentes cuencas es ingresada al sistema estuarino del área de estudio será simulada con:

- Condiciones atmosféricas.
- Condición de nieve.
- Condición de glaciar y,
- Precipitación.

SnowModel, requiere como principales forzantes:

- Variación en la temperatura del aire
- Agua equivalente en precipitación (solida y liquida)
- Humedad relativa
- Velocidad/dirección viento: mediciones directas y datos de modelos atmosféricos.

SnowModel en una resolución de baja escala (4km) realizará simulaciones de las condiciones meteorológicas, balance de energía superficial y los intercambios de humedad incluyendo derretimiento de la nieve, redistribución de la nieve por efecto del viento y la sublimación, al calor de múltiples capas y de transferencia de masa de los procesos dentro de la nieve (por ejemplo temperatura de la capa de nieve y evolución de densidad, y la maduración capa de nieve) y la superficie escorrentía de agua dulce, donde la escorrentía se define como el agua que fluye desde la parte inferior de la capa de nieve simulada, como también por aporte de lluvia (precipitación líquida). Todo lo anterior generará una cuantificación de cuánta agua dulce ingresará al sistema de fiordos, en las diferentes cuencas, de acuerdo a la escala delimitada.

Finalmente, los resultados fueron entregados en una metada de archivos con extensión ASCII, con descargas de agua dulce desde el 01 de abril de 1999 hasta 2014. (**Figura 7**).



5.2 Objetivo 2.2.2.

Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de agentes patógenos entre los diferentes centros de cultivo.

Este objetivo será abordado en próximos informes de acuerdo al cronograma de trabajo en los TTR.

5.3 Objetivo 2.2.3.

Diseñar, organizar y llevar a cabo reuniones de científicos o expertos, nacionales o internacionales, en materias relacionadas con el presente proyecto

Este objetivo será abordado en próximos informes de acuerdo al cronograma de trabajo en los TTR.

5.4 Objetivo 2.2.4.

Establecer mecanismos de transferencia tecnológica a fin de permitir el incremento de la experiencia nacional en este tipo de proyectos.

Durante abril de 2015 se realizó Etapa I sobre Modelo Mike3

Se realizó una inducción en modelación numérica con MIKE3. En dicha inducción se trataron aspectos de diseño de una modelación numérica hidrodinámica, navegación a través del software, elaboración de un modelo, extracción y visualización de resultados y calibración/validación de un modelo hidrodinámico. Para la elaboración de un modelo se explicó la metodología utilizada en la construcción de un dominio mediante una malla flexible de elementos triangulares, obtención y estandarización de los distintos forzantes y condiciones iniciales, singularidades de estos forzantes y ventajas y contras de cada uno de ellos.

Además, se expusieron temáticas anexas a la modelación hidrodinámica de MIKE3 como son sus limitantes, entre los que se incluyen la obtención de batimetría y forzantes (viento y agua dulce) de calidad y que den una cobertura espacial y temporal suficiente para ser representativos. Otra limitante es el alto gasto computacional que requiere un estudio de modelación por el alto número de simulaciones que deben realizarse y el tiempo mínimo necesario para cada una de ellas, lo que demanda de equipos informáticos de alto rendimiento (clúster de alto número de núcleos), memoria de almacenamiento, arriendos de largo tiempo y costes de licencia de software adecuados al equipo informático.



6. DISCUSIÓN

La información recopilada de la zona de estudio permitió identificar una estructura vertical de salinidad esquematizada en 2 estratos, está explicada en gran medida por la intrusión de agua oceánica de carácter más salino, proveniente de mayores profundidades (Sievers *et al.*, 2002), mientras que en la capa superficial la presencia de agua dulce que puede provenir de pluviosidad, escorrentía, derretimiento de glaciares y ventisqueros. La interacción de estos dos tipos de agua en un sentido o en otro referente a la mezcla experimentada, que puede ser generado por la acción del viento en la capa superficial y/o la advección del agua profunda con mayor contenido de sal, conforman cada una de estas estructuras de manera particular. (Silva & Calvete, 2002). Excepcionalmente los perfiles homogéneos se relacionan a una capa de mezcla más profunda.

La distribución vertical de la temperatura con una columna de agua estratificada, observada principalmente en las campañas de verano o en épocas más cálidas, ha sido reportada también por Silva et al., 1997; Silva y Calvete 2002, los autores plantean que este tipo de estructura obedece principalmente a dos forzantes, la primera es la fluctuación temporal de la radiación solar y aporte de agua dulce con diferencias térmicas, producto de escorrentía, derretimiento de glaciares y ventisqueros.

Los diferentes esquemas observados en la distribución de vertical de oxígeno, se explican también por la acción de diferentes forzantes que pueden ser de origen físico (intercambio atmosférico, advección, difusión) como biogeoquímico (respiración, fotosíntesis, re-mineralización), de acuerdo a lo observado y propuesto por Silva et al., (1997).

Hay que tener en cuenta que el juicio sobre la calidad de un modelo también depende de su escala, ya que hay limitaciones que son propias de este tipo de esquemas como la resolución, por tanto, no es posible comparar de forma simple la implementación de un modelo con un modelo local, por ejemplo de un fiordo, ya que hay diferencias básicas en el enfoque de lo que busca cada uno de ellos. Un modelo local, evidentemente no es apto para ver la conectividad que puede existir entre zonas lejanas, a su vez, el modelo regional no resuelve de forma correcta las singularidades que ocurren en la microescala. Además, cada uno de estos enfoques debe tomar en cuenta, cual es el gasto computacional al cual está limitado. Es por esta razón que se insiste en el ejemplo del enfoque del experimento Noruego NorKyst-800 (Albretse et al., 2011) y que dentro de sus objetivos no está la solución de procesos a escala local, sino más bien, proveer las condiciones para generar modelos a una escala de menor tamaño, que es un proceso de desarrollo a largo plazo.



7. CONCLUSIONES PRELIMINARES

A través del intercambio técnico entre Subpesca e IFOP, se establecieron las campañas oceanográficas y la logística operativa, para la correcta ejecución del presente estudio.

Se logró establecer una alianza estratégica con otras instituciones, académicos de la Universidad de Concepción y Universidad de Valparaíso, lo que permitirá optimizar las mediciones, particularmente del ADCP anclado.

La información recopilada de proyectos anteriormente ejecutados por IFOP ha suministrado una plataforma de información valiosa, referente a las condiciones oceanográficas de la región de Magallanes y que a su vez ha permitido el desarrollo de la implementación de modelos hidrodinámicos.

Con el desarrollo de los modelos hidrodinámicos regionales, generados en estudios anteriores, se podrán implementar modelos de una mayor resolución y con mayor grado de exactitud.

Se logró establecer mediante la implementación de un modelo topográfico-atmosférico, la primera aproximación en flujos de agua dulce, proveniente de descargas fluvial, glaciar y nival.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albretsen J, Ann Kristin Sperrevik, André Staalstrøm, Anne D. Sandvik, Frode Vikebø and Lars Asplin, 2011. NorKyst-800 Report No. 1. User Manual and technical descriptions
- Araya J.F Geomorfología comparada de los fiordos de Chiloé y Aysén. 1996 resumen ampliado crucero CIMAR fiordo 1.
- 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.
- Cameron, W. & D. Pritchard. 1963. Estuaries. En M.H. Hill (ed). The Sea. Vol 2. New York: 306-324.
- Cáceres, M. 2004. Surface feature of the circulation in fjords of southern Chile observed in ERS and LANDSAT images. Gayana 68(2): 71-76.
- Cáceres, M., A. Valle-Levinson, Sepúlveda& K. Holderied. 2002. Transverse variability of flow and density in a Chilean fjord. Continental Shelf Research 22: 1.683-1.698.
- Cáceres, M., A. Valle-Levinson, J. Fierro, C. Valenzuela & M. Castillo 2010. Variabilidad transversal del flujo y de la densidad en la boca del fiordo Aysén. Cien. Tecnol. Mar, 33(1): 5-15,2010.
- González, M. y M. Cáceres. 2009. Bifurcación de la pluma estuarina del fiordo Aysén en su trayectoria sobre el canal Moraleda. Cienc. Tecnol. Mar, 32(1): 5-25.
- Guzmán D y Silva, N. 2002. Caracterización física y química y masas de agua en los canales australes de Chile entre Boca del Guafo y golfo Elefante (crucero CIMAR fiordo 4). Cienc. Tecnol. Mar. 25 (2) 45-76.
- 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.
- 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



- Kamga, A., S. Fongang, and A Viltard, 2000: Systematic error of ECMWF operational model over tropical Africa. Mon. Wea. Rev., 128, 1949-1959.
- Jolliffe, I. T. and Stephenson, D. B., 2003: Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science. John Wiley and Sons.
- Sievers, H & N. Silva. 2006. Masas de agua y circulación en los canales y fiordos australes. 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. 53-58, 2006. Disponible en: http://www.cona.cl/revista/spanish/4-1%20Masas%20agua-circulaci%C3%B3n.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., 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.
- Silva, N. & C. Calvete. 2002. Características oceanográficas físicas y químicas de canales australes chilenos entre el golfo de Penas y el Estrecho de Magallanes (crucero CIMAR 2 Fiordo). Cienc. Tecnol. Mar, 25(1): 23-88.Silva, N. & D. Guzmán 2004. Condiciones oceanográficas físicas y químicas, entre boca del Guafo y fiordo Aysén. (Crucero Cimar 7 Fiordos). Enviado a Cienc. Tecnol. Mar.
- Silva N y Guerra, D. 2008. Distribución de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y nutrientes en el canal Pulluche-Chacabuco, Chile. (Crucero CIMAR fiordo 9). Cienc. Tenol. Mar. 31 (2): 29-43.
- Silva, N. & D. Guzmán, 2006. Condiciones Oceanográficas físicas y químicas, entre boca del Guafo y fiordo Aysén (Crucero Cimar 7 fiordos). Cienc. Tecnol. Mar, 29(1): 25-44,2006.
- 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
- Valle-Levinson, A., M. Cáceres, H. Sepúlveda& K. Holderied. 2002. Patrones de flujo asociados a la boca del Seno Aysén. *Cienc. Tecnol. Mar*, 25 (2): 5-16.
- Wolff, W.J. 1980. Biotic aspects of the chemistry of estuaries. En: Chemistry and Biochemistry of Estuaries. Ed. E. Olausson and I. Cato. John Wiley & Sons Ltd. New York 252pp.

FIGURAS



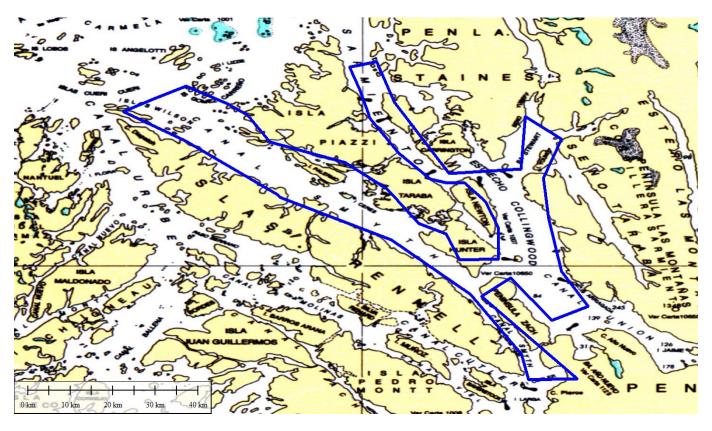


Figura 1. Área de estudio, incluyendo el dominio donde será implementado el modelo de alta resolución.



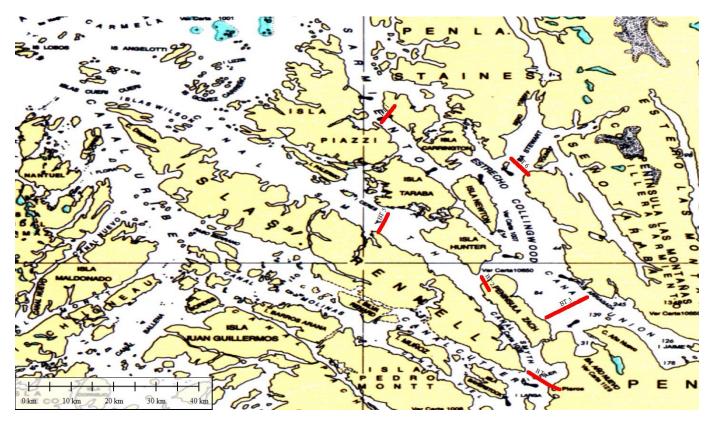


Figura 2. Ubicación geográfica de transectas de ADCP remolcado (——) realizadas para el área de estudio.



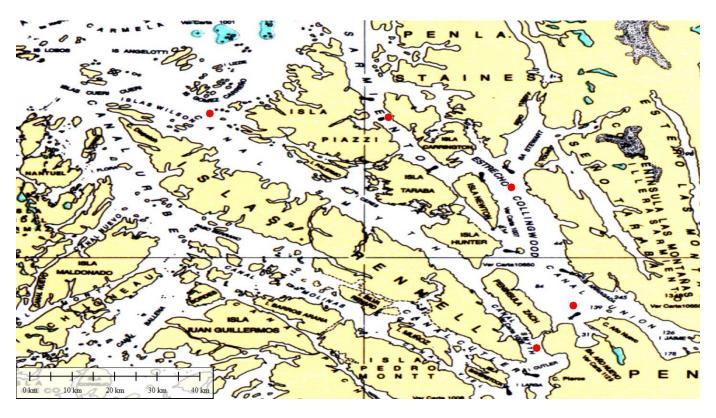


Figura 3. Ubicación geográfica de ADCP instalados (●), para el área de estudio.



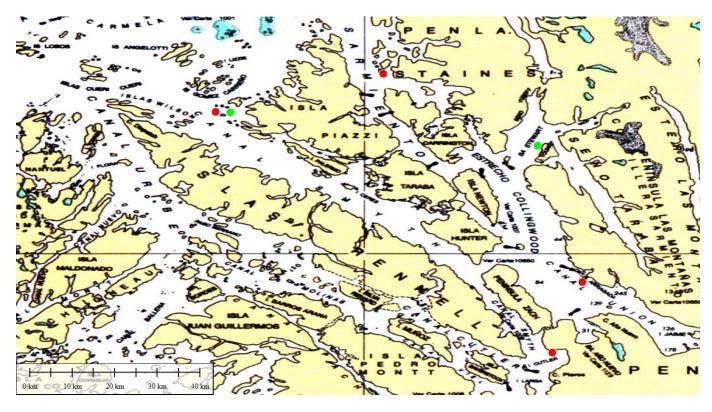


Figura 4. Ubicación geográfica de mareógrafos (•) y estaciones meteorológicas instaladas (•), para cada área.



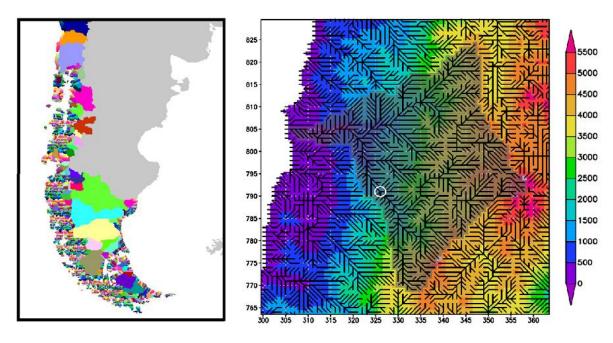


Figura 5. Topografía y cobertura superficial del dominio del modelo SnowModel, simulada para el presente estudio, junto al esquema de las cuencas.

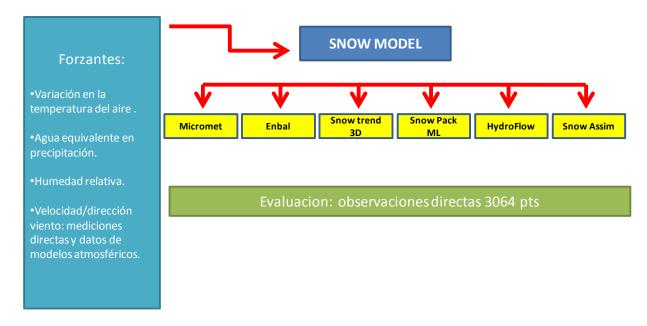


Figura 6. Esquema de operación SnowModel, considerando sus diferentes sub-modelos.



```
🔚 Simulated runoff South America 1999-2014.txt 🔣
  1 Year, Month, Day, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22,
  2 1999,4,1,19996.4,19215.9,19292.1,19457.9,19070.5,19402.5,19330.3,19190.6
  3 1999,4,2,19489.9,18781.4,18874.4,18980.7,18653.4,18930.1,18864.1,18717.1
  4 1999, 4, 3, 18434, 17803, 17902.9, 17930.4, 17683.7, 17890.9, 17837.4, 17701, 17607
  5 1999, 4, 4, 19319.1, 18525.7, 18577.9, 18787.3, 18393.9, 18743.5, 18683, 18531.2, 1
  6 1999, 4, 5, 21334.6, 20333.3, 20338.5, 20729.1, 20172.7, 20681.8, 20614.5, 20435.5
  7 1999, 4, 6, 23136.8, 22013.6, 22006.1, 22429.6, 21826.3, 22384.7, 22316.9, 22138.4
  8 1999, 4, 7, 24379.9, 23178.1, 23170.5, 23612.3, 22973.2, 23563.5, 23490, 23313.8, 2
  9 1999, 4, 8, 24617, 1, 23393, 2, 23381, 9, 23830, 4, 23177, 2, 23782, 23708, 4, 23526, 7, 2
 10 1999, 4, 9, 23781.5, 22577.4, 22556.9, 23022.4, 22360.9, 22974.8, 22902.7, 22716.4
 11 1999, 4, 10, 22935.8, 21700, 21649.3, 22244.8, 21481.1, 22189, 22109.6, 21892.1, 21
 12 1999, 4, 11, 22305.3, 20930.2, 20803.7, 21690.8, 20686.7, 21621.9, 21529.1, 21247.
 13 1999, 4, 12, 22041.5, 20392.8, 20150.8, 21594.1, 20133.9, 21487.7, 21356.3, 20962.
 14 1999,4,13,23080,21354.5,21111.9,22584.2,21047.1,22464.9,22319.5,21906.2,
 15 1999, 4, 14, 24665.9, 22919.5, 22707.5, 24033.8, 22585.7, 23922.7, 23783.6, 23399,
 16 1999, 4, 15, 27450, 7, 25467, 8, 25211, 9, 26660, 3, 25101, 7, 26558, 4, 26423, 4, 26033.
 17 1999, 4, 16, 29301.2, 27111.6, 26822.5, 28567.9, 26762, 28438.6, 28273.5, 27824.6,
 18 1999, 4, 17, 38127, 35575. 4, 35291. 6, 36863. 9, 35073. 5, 36772. 4, 36636. 8, 36139. 2,
 19 1999, 4, 18, 50268. 4, 47478. 1, 47292. 6, 47915. 7, 46776. 3, 47960, 47946. 7, 47590. 7,
 20 1999, 4, 19, 56757.5, 54143.3, 54140.2, 53536.1, 53318.5, 53704.4, 53808.2, 53695.
```

Figura 7. Ilustración de la metada ordenada por año, mes día simulada para una escorrentía de m³d-¹.para un total de 3225 cuencas.

TABLA



Tabla I.Cantidad de mediciones a realizar en áreas 1 de estudio.

Equipo	total
ADCP fondeado	5 equipos
ADCP bottom track	6 mediciones
Mareógrafos	4 equipos
Est. Meteorológicas	2 equipos
Derivadores	6 mediciones

ANEXOS

ANEXOI

Mediciones Isla Rennell: resultados estaciones CDT-O:

 Resultados Convenio ASIPA 2012:
 "Caracterización y modelación de patrones de circulación marina en la XII Región de Magallanes"

Resultados Convenio ASIPA 2013:
 "Determinación de los patrones de circulación en los mares interiores de la región de Magallanes".



Resultados Convenio ASIPA 2012:

Caracterización y modelación de patrones de circulación marina en la XII Región de Magallanes

Medición de parámetros hidrográficos

Se realizó un crucero exploratorio en las cercanías de Rennell (lugar donde serán determinadas las prospecciones de nuevas áreas), específicamente en los canales Smtyth, Cluter y Viel, donde fueron realizadas algunas estaciones de CTD-O midiendo parámetros hidrográficos como salinidad, temperatura y oxígeno disuelto (**Figura 1**). A continuación se detallan los resultados preliminares de estos resultados:

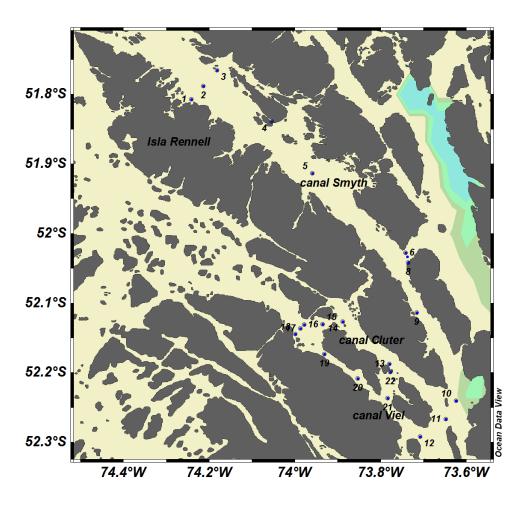


Figura 1. Estaciones de CTD-O, realizadas en las proximidades de Isla Rennell, como estudio exploratorio.



La salinidad estuvo entre rangos de 21,08 psu y máximos de 33,25 psu con una valor medio de 31,74 psu ± 2,63. Los registros salinos tanto en el canal Smyth como en el canal Viel, presentan rangos y patrones similares, así los menores valores salinidad se presentaron en superficie (≈21psu), desde la superficie y hasta los 25m la salinidad experimenta un abrupto aumento para alcanzar valores de 30 psu. A partir de los 50m y hasta los 200m la salinidad sigue aumentando de manera discreta, para formar un segundo estrato con valores de 33 psu. De esta manera tanto en el canal Smyth como Viel, se observó una marcada haloclina (**Figura 2**).

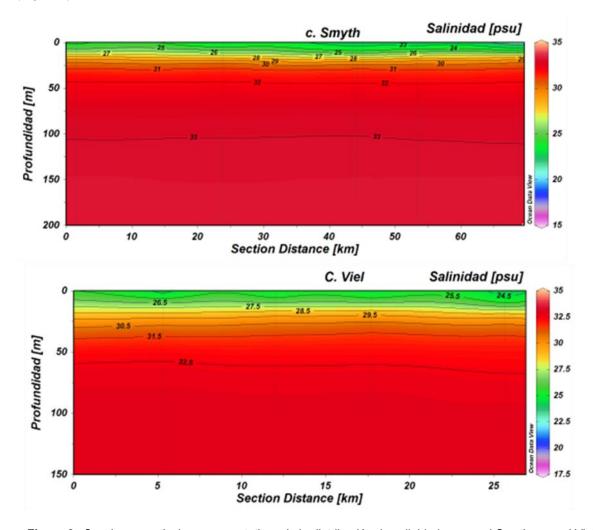


Figura 2. Secciones verticales representativas de la distribución de salinidad, en canal Smyth y canal Viel



La distribución horizontal de la salinidad (**Figura 3**) no reveló diferencias espaciales marcadas entre el canal Smyth y el canal Viel, sino más bien confirma la marcada estratificación Observada en los perfiles verticales.

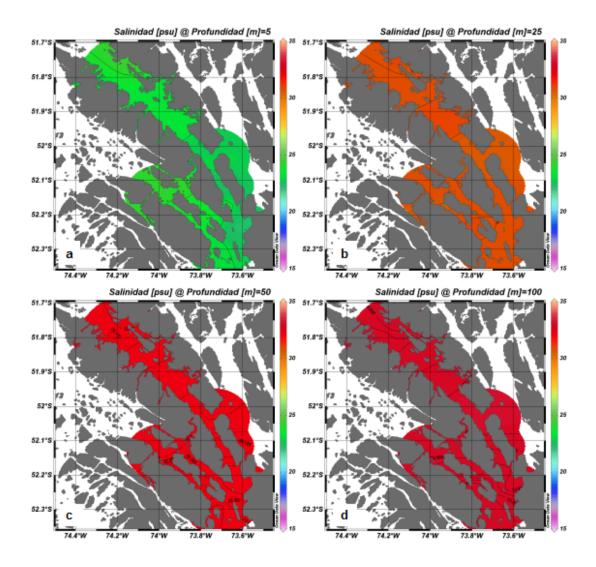


Figura 3. Iso-superficies con valores de salinidad realizados en las proximidades de isla Rennell a) 5 metros b) 25 metros c) 50 metros y d) 100 metros.



La temperatura presentó un mínimo de 8,36°C y máximo 15,5 °C, con una temperatura media de 8,92°C ±0,84. La capa superficial reveló los mayores registros térmicos, después un estrato profundo donde la temperatura es menor y estable (aproximadamente 8°C). Entre medio de estas dos capas se ubicó una termoclina demostrada por el abrupto descenso entre la superficie a 40 metros de profundidad, observada en ambos canales, es importante señalar en el canal Viel la isoterma de 9°C es localizada alrededor de los 50m, mientras que en el canal Smyth se ubica debajo de 25m (**Figura 4**).

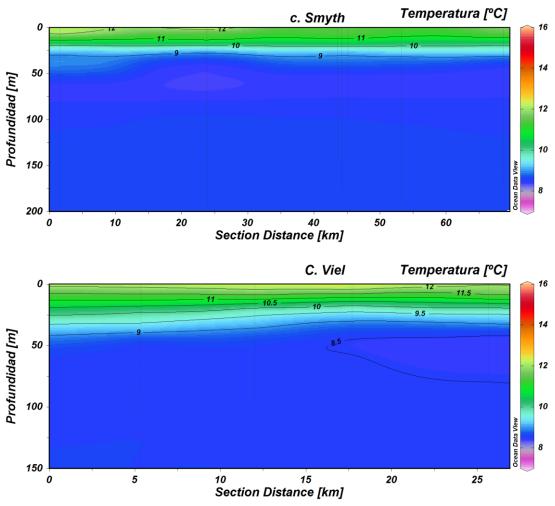


Figura 4. Secciones verticales representativas en la distribución de temperatura, en los canales Smyth y Viel



Sin embargo, al igual que la salinidad la temperatura no expuso diferencias espaciales significativas en la distribución horizontal, esto puede observarse en las isolíneas de diferentes profundidades (**Figura 5**).

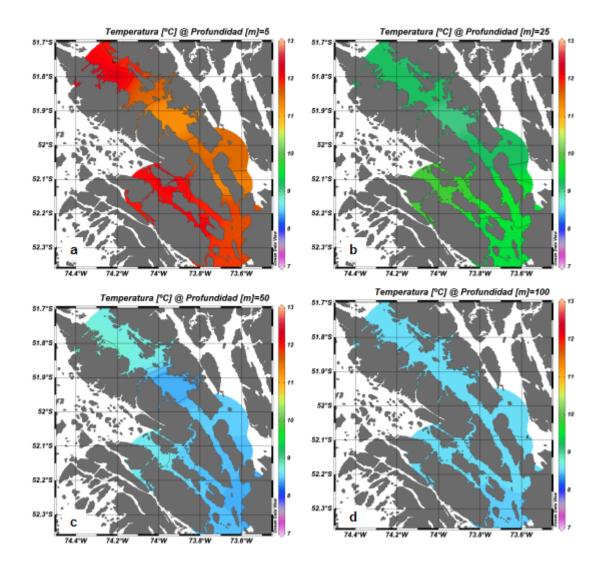


Figura 5. Iso-superficies con valores de temperatura realizados en las proximidades de isla Rennell a) 5metros b) 25 metros c) 50 metros y d) 100metros.



El oxígeno disuelto durante este crucero estuvo entre mínimo de 6,35 mg/L localizado en la estación 4 a 202m, mientras que la máxima fue registrada en superficie (1m), en la estación 11 con 11,67 mg/L. la concertación de oxigeno media fue de 7,26mg/L ±0,89. el oxígeno también presentó una estratificación marcada a través de una oxiclina con concentraciones elevadas en superficie entre 1 y 40 m la concentración desciende abruptamente hasta valores ≈ 7 mg/L. entre 30-40 la concentración de oxigeno sigue disminuyendo aunque de forma monótona, presentando una estructura vertical casi homogénea (**Figura 6**).

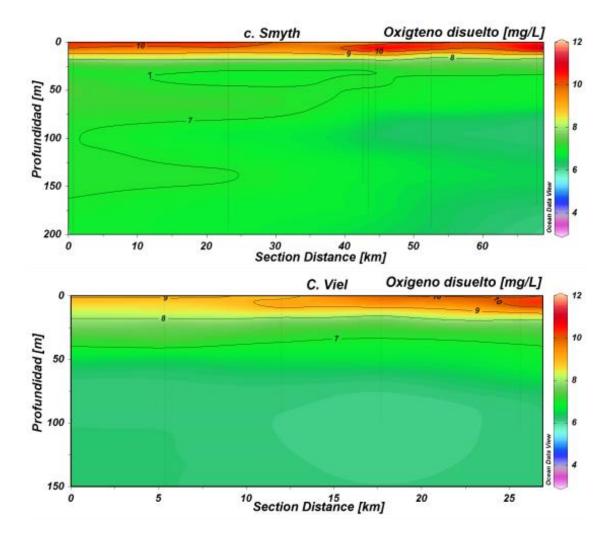


Figura 6. Secciones verticales representativas en la distribución de oxígeno disuelto, en los canales Smyth y Viel.



El oxígeno disuelto presento diferencias espaciales marcadas en el estrato superficial (**Figura 7a**) donde la zona noreste presenta concentraciones mayores a 11mg/L, mientras que la zona suroeste presenta concentraciones menores a 10mg/L. una situación similar se observa en el estrato de 100m, las estaciones localizadas al norte del paralelo 52°S presenta concentraciones de oxigeno entre 7 y 6,5 mg/L, mientras que las estaciones al norte de esta línea presentan concentración inferiores a 6,4 mg/L (**Figura 7d**).

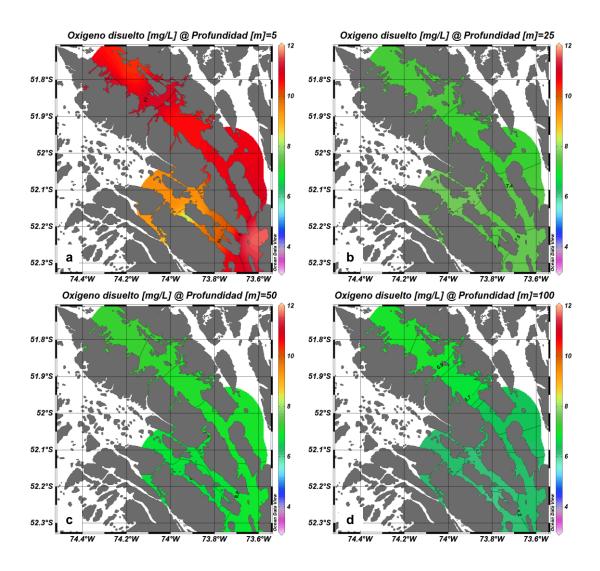


Figura 7. Iso-superficies con valores de oxígeno disuelto realizados en las proximidades de isla Rennell a) 5 metros b) 25 metros c) 50 metros y d) 100 metros.



Resultados Convenio ASIPA 2013:

Determinación de los patrones de circulación en los mares interiores de la región de Magallanes

Caracterización hidrográfica.

A continuación se hará una descripción general básico de la hidrografía de cada sector. Tal información se entregará en formato de tablas y perfiles verticales de salinidad, temperatura y oxígeno.

Con el propósito de dar a conocer con mayor facilidad los resultados entregados, se efectuó un análisis de los sectores subdividido por zonas en cuyo caso se han distinguido 6 zonas denominadas:

ZONA	SECTOR
Zona norte costa este de Rennell	(SECTOR 1-2-3)
Zona central costa este Rennell	(SECTOR 4-5-6)
Zona central costa oeste de Rennell	(SECTOR 7-8- 9-10-11-12-13)
Zona sur costa oeste de Renell, isla Baverstock	(SECTOR 14-15)
Zona sur Rennell	(SECTOR 16-17-18)
Zona sur costa este Rennell	(SECTOR 19-20)



Zona norte costa este de Rennell (SECTOR 1-2-3)

Tabla 1. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 1

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxigeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,80	8,91	7,87
Des. Estándar	2,53	0,24	0,44
valor mínimo	16,58	8,5	7,03
valor máximo	32,25	9,54	9,78

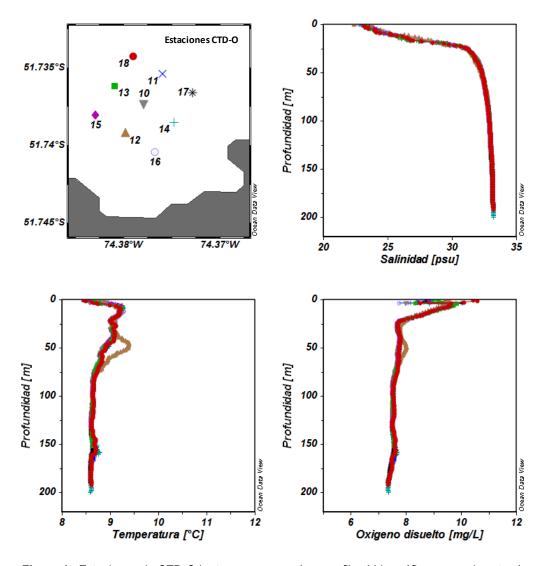


Figura 1. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 1



Tabla 2. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 2

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,58	8,81	7,82
Des. Estándar	2,66	0,21	0,52
valor mínimo	22,44	8,44	7,34
valor máximo	33,22	9,40	10,60

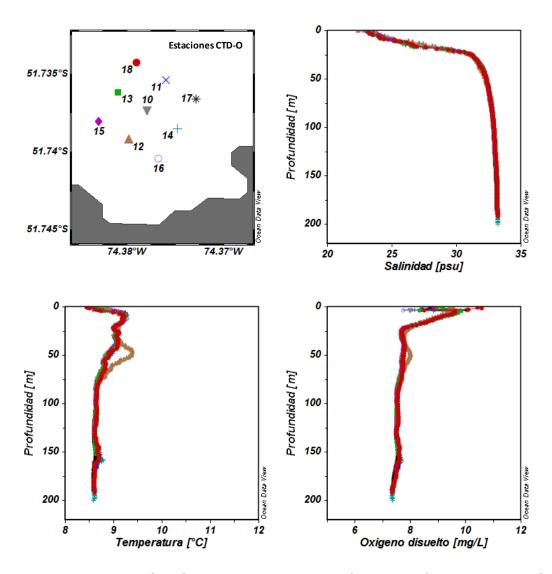


Figura 2. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 2.



Tabla 3. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 3

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,71	8,82	7,76
Des. Estándar	2,59	0,22	0,51
valor mínimo	18,26	8,12	7,22
valor máximo	33,23	9,29	10,45

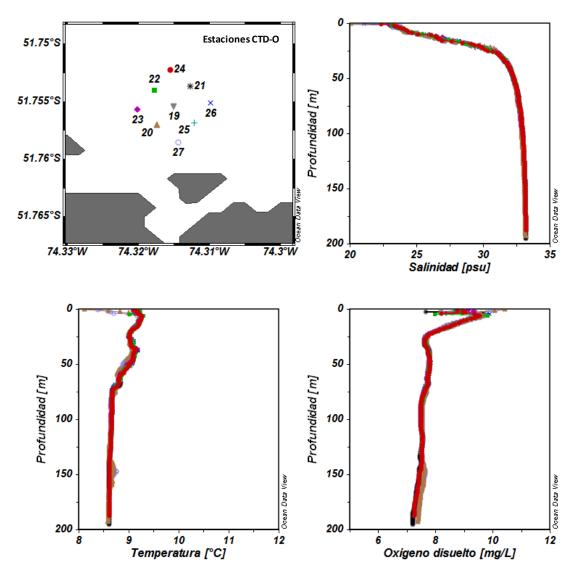


Figura 3. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 3



Zona central costa este Rennell (SECTOR 4-6)

Tabla 4. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 4

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,68	8,80	7,58
Des. Estándar	2,79	0,20	0,70
valor mínimo	15,03	8,53	6,80
valor máximo	33,23	9,65	11,28

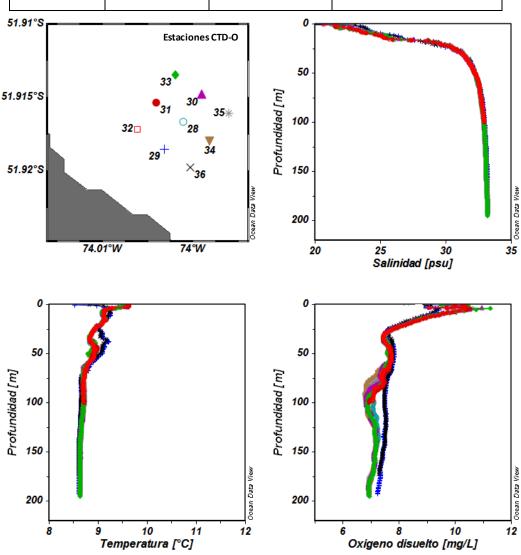


Figura 4. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 4.



Tabla 5. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 5

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,78	8,78	7,45
Des. Estándar	2,85	0,19	0,87
valor mínimo	17,29	8,63	6,83
valor máximo	33,24	9,62	11,89

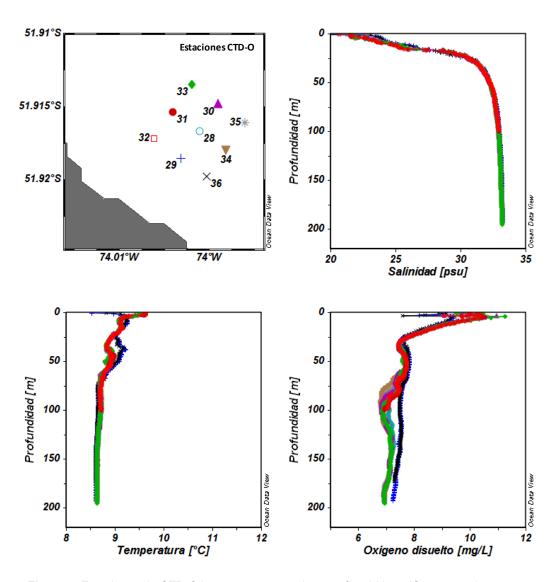


Figura 5. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 5



Tabla 6. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 6

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,64	8,79	7,34
Des. Estándar	2,95	0,19	0,99
valor mínimo	16,75	8,63	6,37
valor máximo	33,24	9,68	11,23

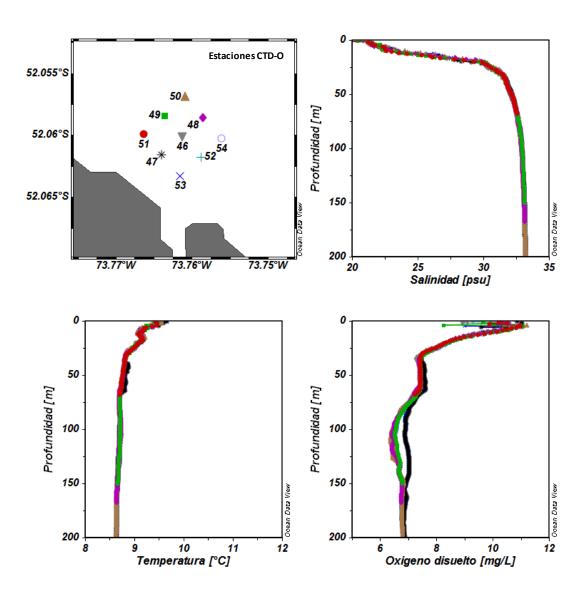


Figura 6. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 6



Zona central costa oeste de Rennell (SECTOR 7-8-9-10-11-12-13)

Tabla 7. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 7

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	29,89	8,87	8,18
Des. Estándar	3,04	0,29	1,01
valor mínimo	22,06	8,53	7,11
valor máximo	33,15	9,36	10,96

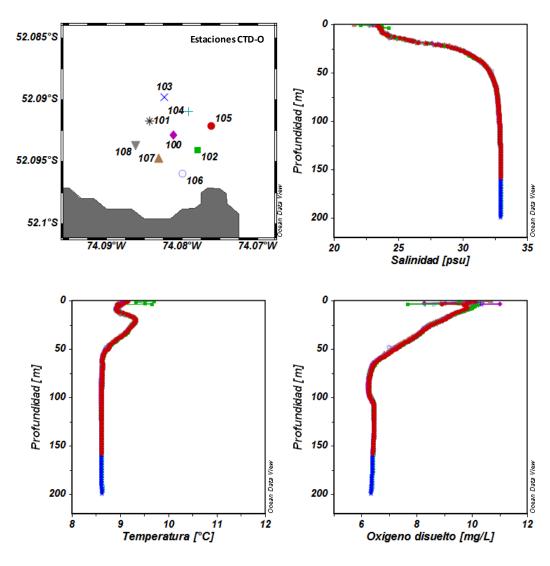


Figura 7. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 7



Tabla 8. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 8

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,59	8,68	7,65
Des. Estándar	2,58	0,21	0,86
valor mínimo	19,22	8,52	6,59
valor máximo	33,23	9,33	10,61

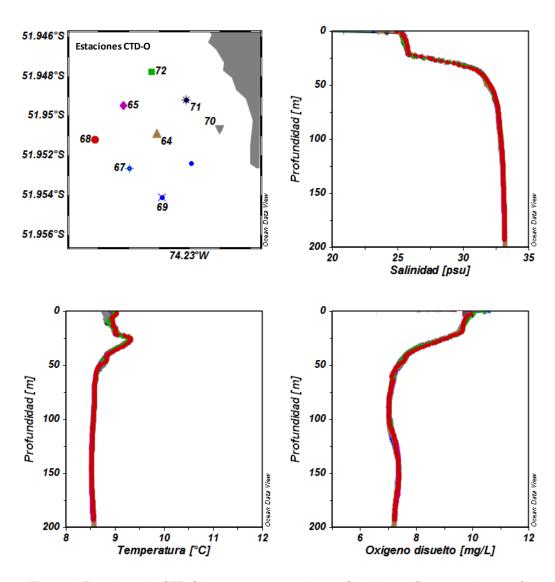


Figura 8. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 8.



Tabla 9. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 9

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,25	8,72	7,66
Des. Estándar	2,90	0,23	0,93
valor mínimo	15,83	8,54	6,91
valor máximo	33,23	9,30	10,40

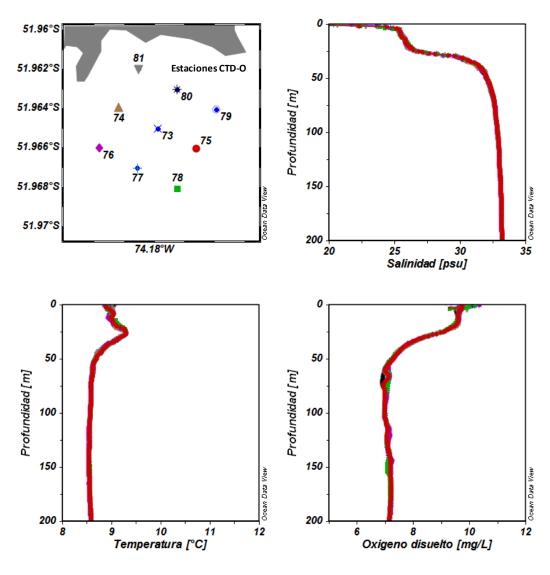


Figura 9. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 9



Tabla 10. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 10

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	30,05	8,88	7,88
Des. Estándar	3,12	0,26	1,06
valor mínimo	21,65	8,58	6,31
valor máximo	32,99	9,74	10,35

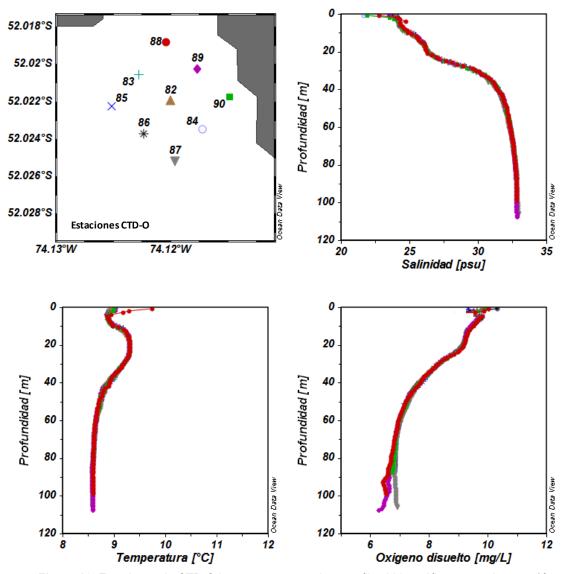


Figura 10. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 10.



Tabla 11. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 11

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,26	8,76	7,21
Des. Estándar	2,83	0,23	1,11
valor mínimo	15,57	8,56	5,78
valor máximo	33,13	9,31	10,64

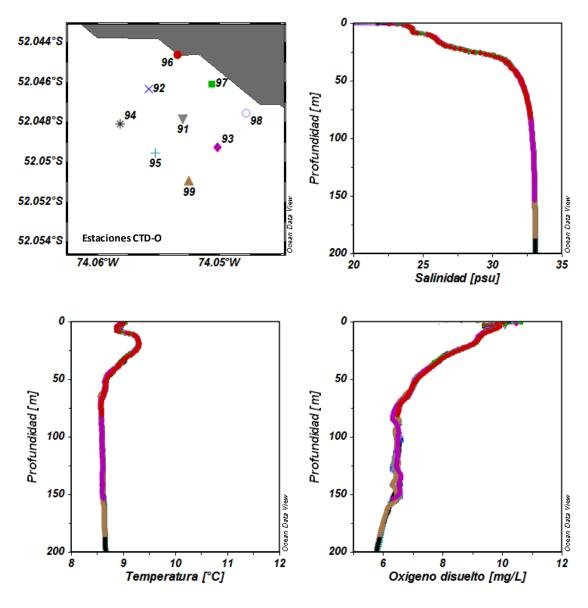


Figura 11. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 11



Tabla 12. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 12

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	30,89	8,81	7,37
Des. Estándar	3,08	0,24	1,23
valor mínimo	21,61	8,61	6,25
valor máximo	32,97	9,70	11,02

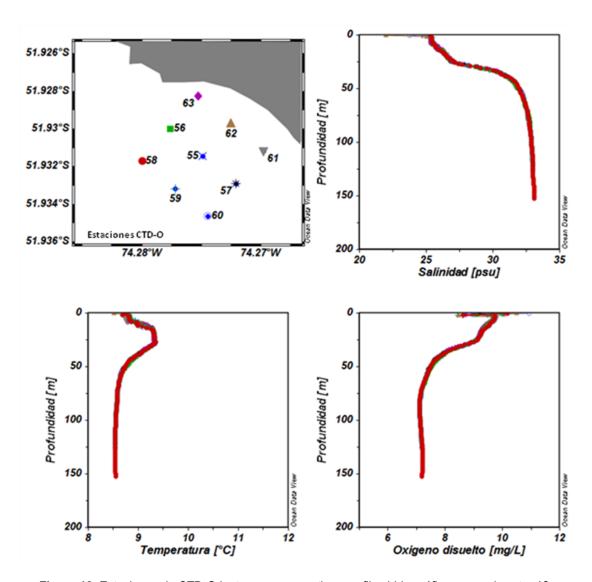


Figura 12. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 12.



Tabla 13. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 13

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,03	8,80	7,26
Des. Estándar	2,93	0,25	1,13
valor mínimo	15,27	8,61	6,24
valor máximo	32,96	9,32	10,48

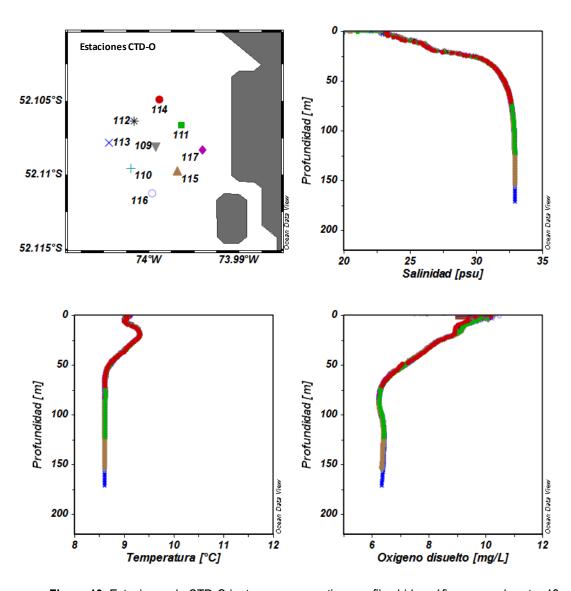


Figura 13. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 13.



Zona sur costa oeste de Renell, isla Baverstock (SECTOR 14-15)

Tabla 14. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 14

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	30,68	8,79	7,10
Des. Estándar	3,41	0,17	1,36
valor mínimo	17,59	8,66	2,61
valor máximo	32,88	9,21	11,21

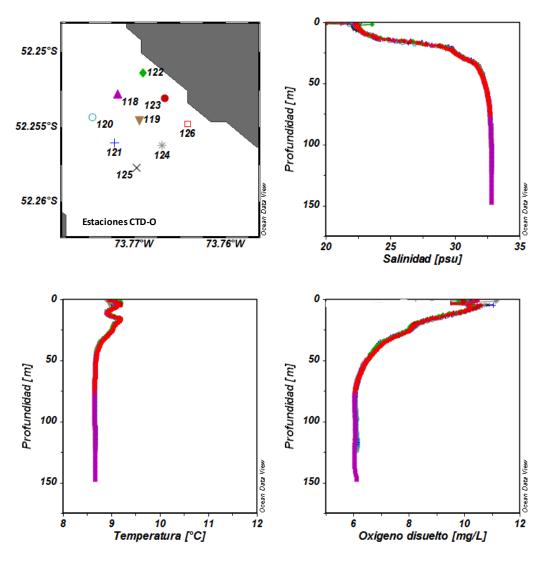


Figura 14. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 14.



Tabla 15. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 15

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	29,86	8,81	7,49
Des. Estándar	3,81	0,17	1,41
valor mínimo	17,31	8,42	6,05
valor máximo	32,87	9,19	10,75

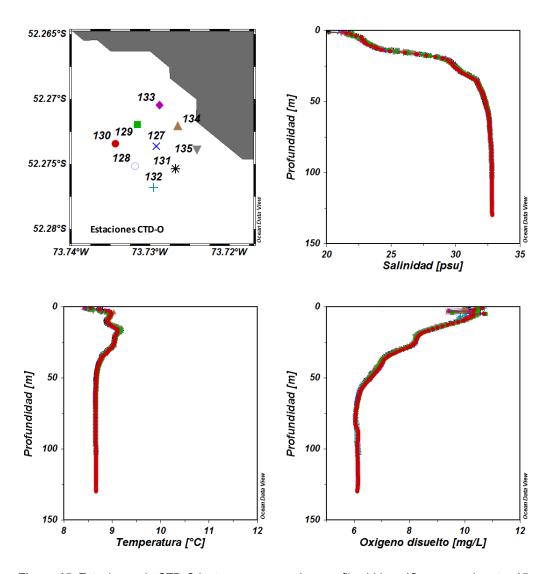


Figura 15. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 15.



Zona sur Rennell (SECTOR 16-17-18)

Tabla 16. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 16

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	28,03	8,89	8,41
Des. Estándar	4,72	0,15	1,57
valor mínimo	13,31	8,67	6,53
valor máximo	32,45	9,23	11,77

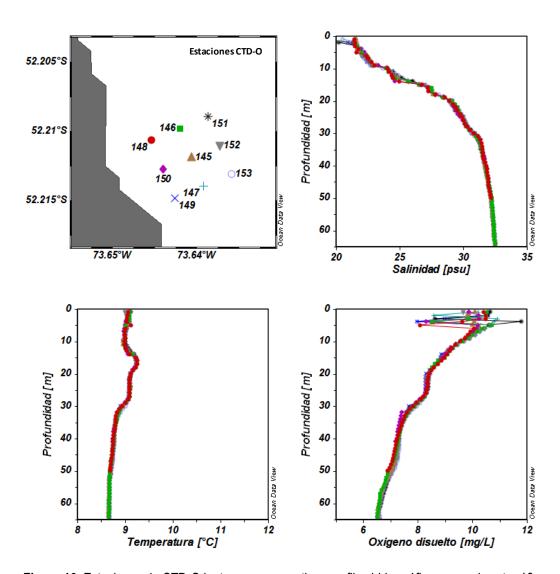


Figura 16. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 16.



Tabla 17. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 17

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,13	8,79	7,29
Des. Estándar	3,31	0,17	1,09
valor mínimo	14,09	8,63	6,42
valor máximo	33,23	9,26	11,81

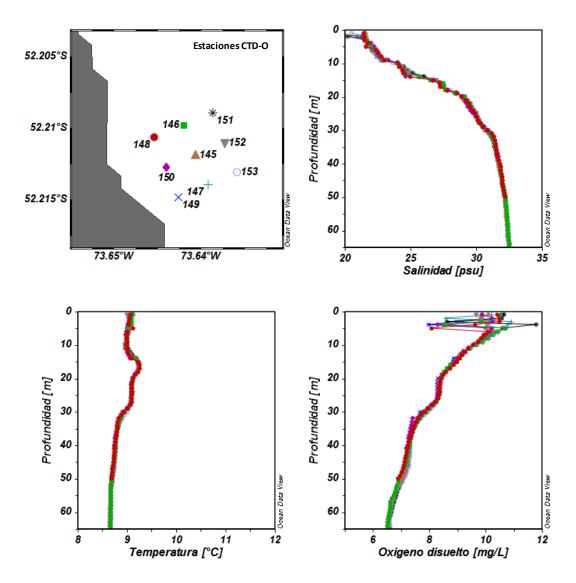


Figura 17. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 17.



Tabla 18. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 18

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,26	8,81	7,32
Des. Estándar	3,28	0,22	1,09
valor mínimo	13,67	8,62	6,40
valor máximo	33,23	11,37	11,28

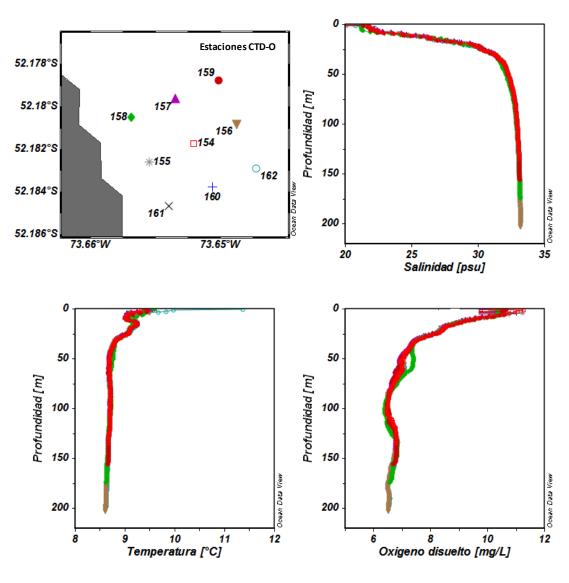


Figura 18. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 18.



Zona sur costa este Rennell (SECTOR 19-20)

Tabla 19. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 19

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	30,10	8,88	7,73
Des. Estándar	4,21	0,24	1,29
valor mínimo	11,39	8,63	6,38
valor máximo	33,23	9,71	11,62

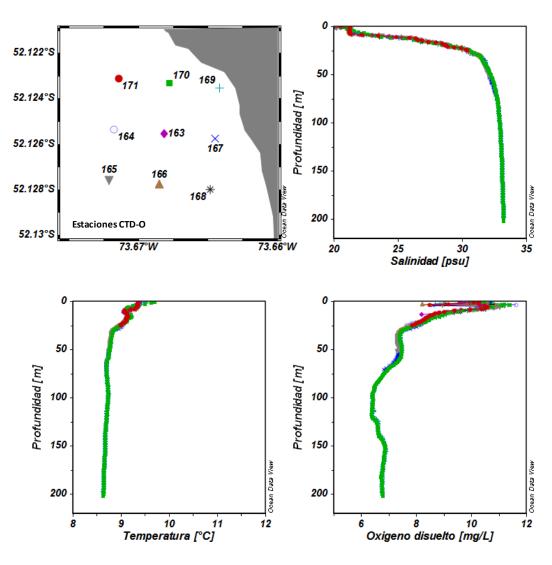


Figura 19. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 19.



Tabla 20. Resumen estadístico de la hidrografía para el sitio 20.

	Salinidad (psu)	Temperatura (°C)	Oxígeno disuelto (mg/L)
Promedio	31,22	8,81	7,39
Des. Estándar	3,35	0,20	1,09
valor mínimo	14,24	8,63	6,40
valor máximo	33,25	9,85	12,06

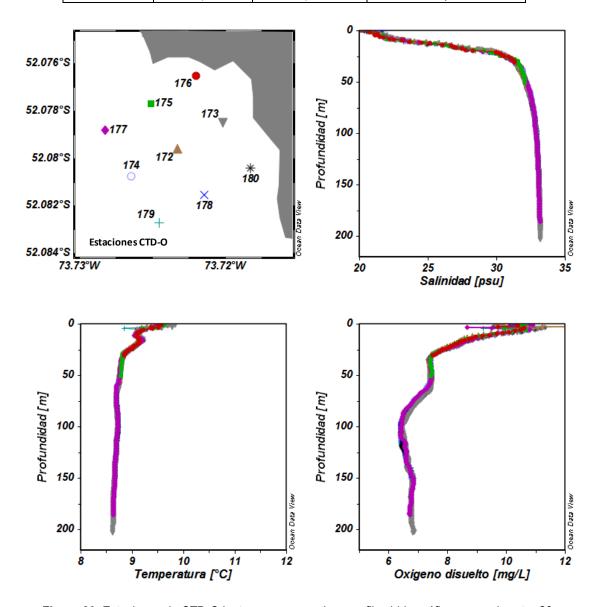


Figura 20. Estaciones de CTD-O junto a sus respectivos perfiles hidrográficos para el sector 20.



Observaciones

Hidrografía.

La hidrografía registró una columna de agua estratificada en la mayoría de los sectores, La primera capa superficial (1-25), presentó características estuarinas: baja salinidad (<25 psu), temperatura > 9°C y elevadas concentraciones de oxígeno disuelto. Debajo de los 25m los parámetros se estabilizan registrando condiciones de características oceánicas y perfiles homogéneos con la profundidad. La salinidad registró valores >32 psu, la temperatura fue menor a 8,5°C y la concentración de oxígeno disuelto decae pero solo hasta mínimos de 6 mg/L.

ANEXOII

Base Datos Objetivo 1.

(Incluida en el CD presentado al comienzo de este documento)



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Sección Ediciones y Producción Almte. Manuel Blanco Encalada 839 Fono 56-32-2151500 Valparaíso, Chile www.ifop.cl

