



**INFORME FINAL**

Convenio de desempeño 2014:  
Modelación de alta resolución aplicada a la conectividad  
y transporte hidrodinámico al interior de macro-zonas  
en la XI Región de Aysén.

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 2015**





## **INFORME FINAL**

Convenio de desempeño 2014:  
Modelación de alta resolución aplicada a la conectividad  
y transporte hidrodinámico al interior de macro – zonas  
en la XI Región de Aysén.

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Noviembre 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 PROYECTO**

Gabriel Soto Soto

### **AUTORES**

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





## RESUMEN EJECUTIVO

Como parte del convenio de Asesoría integral para la Pesca y Acuicultura (ASIPA) entre Subsecretaría de Economía y EMT 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 XI Región de Aysén*”, cuyo principal objetivo es mejorar la cobertura y resolución de la información oceanográfica disponible en la XI Región, con énfasis en la correntimetría 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.

Durante la reunión de coordinación con Subpesca se establecieron 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 julio de 2014. Para abarcar y ejecutar las áreas propuestas por SUBPESCA, fueron divididas en 2: Zona Archipiélago de las Guaitecas, (denominada Guaitecas); Zona canal Puyuguapi, canal Jacaf más Archipiélago Chonos sur, denominada Puyuguapi-Jacaf y ACHS, respectivamente. Dado que las zonas de estudio fueron extensas, se realizaron campañas otoño o invierno, denominado periodo invernal y periodo primavera-verano, denominado periodo estival.

Los canales estudiados en el sector de Puyuguapi-Jacaf y el archipiélago Chonos Sur fueron Pichirupa, Darwin, Utarupa y Moraleda, donde se realizaron 7 anclajes ADCP ubicados en el canal Puyuguapi, canal Errazuriz, canal Utarupa, canal Darwin, canal Pichirupa y estero Pangal, es de suma importancia señalar que debido al extravío de ADCP en sector de Melinka, solo fueron efectuadas 7 mediciones y no 8 como se tenía comprometidas, debido que en agosto de 2014 se extravío una ADCP. El tiempo de grabación de datos se extendió a 3 meses, con el objetivo de abarcar los periodos de verano y otoño en un mismo registro. El 19 de marzo, el equipo instalado en canal Darwin se desplazó a una zona más profunda, debido a la dinámica de la zona, por lo que a partir de dicha fecha, los primeros 8 metros de la capa superficial no quedaron registrados.

Los estudios de corrientes realizados para las diferentes áreas de estudio evidenciaron como resultado del análisis espectral de las componentes ortogonales de la corriente una mayor energía en las componentes semi-diurnas (frecuencias de 12 horas) y cuarti-diurnas (frecuencias de 6 horas). El análisis armónico reveló una alta influencia mareal sobre la corriente en los distintos puntos de muestreo. Los perfiles verticales de las componentes ortogonales residuales evidenciaron en la mayoría de los casos un cambio en la dirección de la corriente a mayor profundidad. En general las corrientes se expusieron alineadas con el eje del canal tal como se observó en las elipses de máxima varianza. Bajo los resultados obtenidos de los experimentos realizados con ADCP remolcado, se propone un esquema general de circulación estuarina con flujos superficiales de salida de agua al océano asociados al aporte de aguas fluviales que se mezclan con agua salada a través de los canales transversales (orientación relativa este-oeste) como también en el eje longitudinal (norte-sur), mientras que el agua de conformaciones más oceánicas estaría ingresando



en los canales por la capa sub-superficial. De esta forma, el agua menos salina ingresaría por superficie desde el canal Moraleda a los canales orientales y la boca del Guafo, a través de los cuales llegaría al océano; mientras que el agua oceánica ingresaría al sistema por la capa sub-superficial de estos mismos canales. Sin embargo, en el archipiélago de las Guaitecas se observaron cambios en la dinámica del flujo, que podrían ser atribuidos en parte a que el área de estudio está conformada por un conjunto de islas que se encuentran en conexión directa con el canal Moraleda (al este), la boca del Guafo (al norte) y el océano pacífico (al oeste), generando una dinámica compleja de la corriente que modificaría la configuración general descrita.

Los resultados obtenidos a través de los campos de hidrografía, dentro de los canales con conexión oceánica, archipiélago las Guaitecas como archipiélago de Chonos Sur, estarían reforzando el planteamiento de los flujos en capas, indicando flujos superficiales de salida menos salinos. Durante el periodo de estudio mediante los campos de masa se observaron 3 zonas claramente diferenciadas: la primera área comprende a las estaciones del archipiélago las Guaitecas, las cuales consideran al canal Simpson, Pérez Norte y Chaffers. El área 2 correspondió al archipiélago Chonos Sur (ACHS), donde se incluye canal Carrera del Chivato, Darwin y Errazuriz, la tercera área correspondió a las estaciones que conformaron el canal Puyuguapi y Jacaf. Estas diferenciaciones estuvieron determinadas principalmente por la salinidad, siendo los principales forzantes en su distribución, los cuales son corroborados por el grado del parámetro de mezcla de cada área en particular. El oxígeno disuelto evidenció básicamente patrones similares en el área 1 y área 2, con una columna de aguas bien oxigenadas, destacando los elevados valores en la capa superficial, siendo más marcado en primavera, en contraste en periodo invernal se exhibió una columna de agua más homogénea. En Puyuguapi-Jacaf (área 3) la concentración de oxígeno evidenció 2 estratos diferentes, uno superficial con altos valores y un estrato profundo con concentración menor, ambas capas se encontraron separadas por una disminución sostenida y significativa, que en algunas estaciones fue denotada por una oxiclina (periodo estival) diferenciada en magnitud e intensidad para cada caso en particular. Sin embargo, particularmente en canal Puyuguapi-Jacaf se observaron condiciones de hipoxia en la capa intermedia (100-150m), lo que requiere de un constante monitoreo, ya que estos eventos de hipoxia solo fueron detectados en periodo de verano. Existen resultados similares de estudios anteriores, donde también se señala que estas bajas de oxígeno se deben al efecto de procesos biogeoquímicos, sumado baja ventilación por efecto de la batimetría.

Las modelaciones llevadas a cabo en el área insular de la XI región, comprendiendo los archipiélagos de Guaitecas y Chonos, se afrontaron desde la escala regional tanto para el re-análisis y validación de un modelo hidrodinámico regional como para los modelos de alta resolución. Los actuales resultados han significado un avance respecto de anteriores modelaciones en el área. Los resultados de las evaluaciones tras la fase de calibración del nivel del mar en las 5 estaciones utilizadas tienen errores por debajo del 5% y correlaciones superiores al 98%, mientras la correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente principal del flujo hasta los 40 metros de profundidad promedia errores por debajo del 20% y correlaciones mayores al 80% en las



5 estaciones de medición empleadas. El área de estudio es dominada por la marea y el modelo responde correctamente a este tipo de fluctuaciones barotrópicas. Sin embargo aún debe ponerse énfasis en lograr una mejor aproximación de los campos de masas iniciales, en especial de la salinidad, así como en la mejora de la resolución de los forzantes atmosféricos que permitan al modelo definir mejor estructuras espaciales y patrones de circulación residual. Los escenarios ambientales presentaron comportamientos acordes a la variabilidad intra-anual definida para cada uno de los escenarios, esto es marea, viento y descargas de agua dulce de ríos y glaciares, factores que determinan el grado de dispersión de las partículas desde los barrios de cultivo, aunque también es relevante para la conectividad entre distintos barrios la ubicación, orientación y extensión de estos y la proximidad con sus vecinos.

Se implementó un modelo en alta resolución en los canales Puyuhuapi y Jacaf basado en información batimétrica del SHOA además de datos de temperatura, salinidad, corrientes, mareas y viento recopiladas en campaña oceanográfica de IFOP. El modelo replica de buena forma el comportamiento del nivel del mar en el interior de ambos fiordos, alcanzando correlaciones altas para la fase ( $r=0.98$ ) y errores bajos en la amplitud (7.5%). Capturando las frecuencias principales observadas, de 12 y 24 h, pero también las fluctuaciones relacionadas con componentes de aguas someras de 4 y 6 h y una fluctuación de 3 días. Fueron evidenciados resultados apropiados en la definición de la estratificación de ambos fiordos, mostrando que las pendientes de perfiles observados de salinidad están bien representados por el modelo, cuestión fundamental en la modelación de sistemas estuarinos. En términos de la circulación, el modelo es capaz de replicar el flujo de 3 capas observado con anterioridad en la boca del fiordo Puyuhuapi, como en otros fiordos. Además las simulaciones parecen indicar una importancia relativamente grande de la rotación de la tierra en los flujos transversales, mostrando un desplazamiento hacia la izquierda de los flujos de entrada y salida. La estructura de 3 capas parece ser, al menos, en canal Puyuhuapi una estructura que se extiende hacia al interior de fiordo disminuyendo en su intensidad desde la boca a la cabeza. El viento parece tener una importancia relativamente alta en el patrón de corrientes superficiales, al menos es lo que indica la variabilidad en la dirección de la pluma del río Cisnes que se corresponde con el tipo de viento al que se le somete, esto es, un viento del tipo suroeste desplaza la pluma hacia el norte, mientras que un viento del norte desplaza la pluma por el oeste hacia el costado sur del canal. El desarrollo de este estudio numérico no pretende ser definitivo, aún faltan importantes pasos para lograr una calibración más adecuada. Algunas brechas que se deben superar son: la cuantificación correcta de las entradas de agua dulce al sistema marino y correcta variabilidad espacial y temporal del viento mediante modelos atmosféricos de alta resolución. A esto se debe sumar mediciones de corrientes al centro del canal, de manera de capturar el patrón más general de la corriente y no las condiciones locales que se generan en lugares muy cerca de la costa. Además es importante contar con series de tiempo de temperatura y salinidad mediante sensores de largo periodo a fin de evaluar la variabilidad temporal del sistema.

En el mes de abril de 2015, investigadores IFOP expertos en modelación realizaron una síntesis en modelación numérica con MIKE3 a representantes de la SSPA. 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.

Con la finalidad de dar difusión a los proyectos ejecutados en oceanografía por parte de IFOP, en agosto de 2015 se desarrolló el taller-seminario, donde se presentaron los mayores alcances sobre los resultados del proyecto. Finalmente, se dio especial énfasis al desarrollo de la modelación como un trabajo a mediano y largo plazo, que debe ser abordado con el apoyo y/o convenio de instituciones externas, lo cual significará una retro-alimentación y permitirá disminuir esfuerzos en el mejoramiento de los modelos, que podrían representar una buena herramienta de apoyo en la toma de decisiones por parte del Estado hacia un correcto manejo de la gestión territorial en el área de la actividad acuícola.



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO .....	i
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xxv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xxvi
1. ANTECEDENTES .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo general .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3. METODOLOGÍA .....	4
3.1 <b>Objetivo específico 2.2.1</b> 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 .....	4
3.2 <b>Objetivo específico 2.2.2</b> Efectuar re-análisis de todos los resultados establecidos hasta la fecha para el área de estudio, focalizando el trabajo de reanálisis en aquellas zonas o sectores en los cuales se ha establecido un bajo ajuste entre las mediciones de terreno así como también en aquellos de importancia que cuenten con baja cobertura o resolución. ....	9
3.3 <b>Objetivo específico 2.2.3</b> Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de patógenos o elementos de origen antrópico entre los diferentes centros de cultivo. ....	9
3.4 <b>Objetivo específico 2.2.4</b> Implementar tres modelos de alta resolución en la región de Aysén proporcionando información de alta resolución que permita identificar patrones de dispersión de partículas desde un centro de cultivo. ....	9
3.5 <b>Objetivo específico 2.2.5</b> Efectuar transferencia tecnológica a la Subsecretaría de pesca referente al desarrollo del proyecto y a las metodologías y técnicas implementadas. Desarrollar a lo menos 1 seminario de discusión de los resultados generados por el proyecto en el área de estudio. ....	9
4. GESTIÓN DEL PROYECTO .....	12
4.1 Reunión N°1 IFOP/Subpesca:(29/01/2014) .....	12
4.2 Convenio Mercator Ocean: 14/02/2014 .....	12
4.3 Licitación embarcación: 29/03/2014 .....	13



4.4	Campañas oceanográficas.....	14
4.5	Reuniones con expertos tema determinación flujos de agua dulce.....	15
4.6	Reuniones Investigadores IFOP personal Subpesca (4/03/2015).....	17
4.7	Reuniones Investigadores IFOP personal Subpesca (21/04/2015).....	17
4.8	Taller difusión y discusión resultados proyecto (14/08/2015).....	18
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>19</b>
5.1	Objetivo específico 2.2.1 .....	19
5.2	Objetivo específico 2.2.2 .....	41
5.3	Objetivo específico 2.2.3 .....	42
5.4	Objetivo específico 2.2.4 .....	42
5.5	Objetivo específico 2.2.5 .....	42
<b>6.</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>8.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>

## FIGURAS

## TABLAS

## ANEXOS:

Anexo I: Mareas.

Anexo II: Correntometría Lagrangiana.

Anexo III: Desarrollo objetivo 2.2.2: metodología y resultados.

Anexo IV: Desarrollo objetivo 2.2.3: metodología y resultados

Anexo V: Desarrollo objetivo 2.2.4: metodología y resultados. Implementación de un modelo de alta resolución en Archipiélago las Guaitecas y Archipiélago Chonos Sur.

Anexo VI: Desarrollo objetivo 2.2.4: metodología y resultados discusión conclusión. Implementación de un modelo de alta resolución en Fiordos Jacaf y Puyuhuapi.

Anexo VII: Bases de Datos.

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

- Base de datos archipiélago de las Guaitecas
- Base de Datos Isla Magdalena ACHS
- Base de datos XI Región
- Bases Conectividad
- Videos

Anexo VIII: Ecuaciones involucradas en procesamiento de corrientes remolcadas.



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

- Figura 1.** Zona de estudio, incluyendo la división de cada área donde serán efectuadas cada una de las mediciones e instalación de equipos para cada campaña.
- Figura 2.** Track de las distintas secciones para medir las corrientes transversales en las campañas de invierno y primavera en archipiélago de las Guaitecas 2014.
- Figura 3.** Track de las distintas secciones para medir las corrientes transversales en las campañas de verano y otoño en Archipiélago de Chonos Sur, 2015.
- Figura 4.** Ubicación geográfica de ADCP anclado (color amarillo), mareógrafos (color rojo) y estaciones meteorológicas (color blanco). En la XI Región, archipiélago de las Guaitecas. (a) Campaña de, invierno y (b) campaña de primavera.
- Figura 5.** Ubicación geográfica de ADCP anclado (color amarillo), mareógrafos (color rojo) y estaciones meteorológicas (color blanco). En la XI Región. Sector de Archipiélago de Chonos Sur y los canales Puyuguapi/ Jacaf (isla Magdalena). Campañas de verano y otoño.
- Figura 6.** Ubicación geográfica de las boyas derivadoras en la XI Región, archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 7.** Ubicación geográfica de las boyas derivadoras en la XI Región Archipiélago de Chonos Sur y Puyuguapi / Jacaf, sector isla Magdalena.
- Figura 8.** Posición estaciones de CTD realizadas en la campaña considerando periodo estival (primavera-verano) periodo invernal (otoño-invierno).
- Figura 9.** Contrato por uso de datos de Salinidad y temperatura de Mercator Ocean.
- Figura 10.** Lista asistencia taller difusión proyecto.
- Figura 11.** Mediciones ADCP bottom track, realizadas en las diferentes campañas de IFOP en distintos sectores de la región de Aysén, en periodos de invierno (azul) y verano (rojo).
- Figura 12.** Mediciones con anclajes ADCP, realizadas en las diferentes campañas de IFOP en distintos sectores de la región de Aysén, en periodos de invierno (inv) y verano (ver).



- Figura 13.** Ubicación mareógrafos instalados en las diferentes campañas oceanográficas de IFOP en la región de Aysén, en periodos de invierno y verano.
- Figura 14.** Ubicación estaciones meteorológicas instaladas en las diferentes campañas oceanográficas de IFOP, en la región de Aysén, en periodos de invierno y verano.
- Figura 15.** Mediciones con derivadores lagrangianos en las diferentes campañas oceanográficas de IFOP en la región de Aysén, en periodos de invierno y verano.
- Figura 16.** Medición estaciones CTD-O realizadas en las diferentes campañas oceanográficas de IFOP en la región de Aysén, en periodos de invierno • y verano •.
- Figura 17.** **a)** Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Piure e Isla Job a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente U en la transecta T2; **(c)** flujo residual de la componente V en la transecta T1, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 18.** Distribución vertical de salinidad entre Isla García e Isla Job realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 19.** **a)** Transectas T1 y T2 efectuadas en Canal Baeza a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente V en la transecta T1; **(c)** flujo residual de la componente U en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 20.** Distribución vertical de salinidad en Canal Baeza realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 21.** **a)** Transectas T1 y T2 efectuadas entre las Islas Betecoi, Clotilde y Leucayec a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente U en transecto T1; **(c)** flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 22.** Distribución vertical de salinidad entre las Islas Betecoi, Clotilde y Leucayec realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 23.** **a)** Transecta efectuada en canal Pihuel a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente U en la transecta durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.



- Figura 24.** Distribución vertical de salinidad canal Pihuel realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 25.** **a)** Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Pérez Norte a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente U en la transecta T1; **(c)** flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 26.** Distribución vertical de salinidad en canal Pérez Norte realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 27.** **a)** Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Chaffers y Simpson a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente V en la transecta T1; **(c)** flujo residual de la componente U en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 28.** Distribución vertical de salinidad en canal Chaffers y Simpson realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 29.** **a)** Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Simpson y Alanta a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente U en la transecta T1; **(c)** flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 30.** Distribución vertical de salinidad en canal Simpson y Alanta realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 31.** **a)** Transectas T1, T2 y T3 efectuadas entre las islas Valverde, Garrao y Jechica a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente U en la transecta T1; **(c)** flujo residual de la componente V en la transecta T2; **(d)** flujo residual de la componente V en la transecta T3 durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 32.** Distribución vertical de salinidad entre las islas Valverde, Garrao y Jechica realizada durante los transectos de ADCP remolcado, en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 33.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en canal Baeza, durante la campaña de invierno 2014 en Archipiélago de las Guaitecas.



- Figura 34.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en canal Baeza durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 35.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Baeza durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 36.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V, en canal Baeza durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 37.** Superficies color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) componente V (norte) en canal Baeza durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 38.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50-60 m en Pérez Norte, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 39.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50-60 m en canal Pérez Norte durante la campaña de invierno en archipiélago de las Guaitecas, región de Aysén.
- Figura 40.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Pérez Norte durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 41.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V, en canal Pérez Norte durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas, región de Aysén.
- Figura 42.** Superficies color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) componente V (norte) en canal Pérez Norte durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 43.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en Punta Garrao, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 44.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en Punta Garrao durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



- Figura 45.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Punta Garrao durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 46.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V, en Punta Garrao durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 47.** Superficies color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) componente V (norte) en Punta Garrao durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 48.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en Betecoi, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 49.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50-60 m en Betecoi, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 50.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Betecoi, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 51.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V, en Betecoi, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 52.** Superficies color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) componente V (norte) en Betecoi, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 53.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40 m en Isla Verdugo, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 54.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40 m en isla Verdugo durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 55.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Isla Verdugo durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



- Figura 56.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en Isla Verdugo durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 57.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en Isla Verdugo durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 58.** Ubicación y simbología por estación de muestreo. Distribución vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y densidad para crucero Guaitecas invierno 2014.
- Figura 59.** Distribución horizontal de salinidad para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipiélago las Guaitecas (invierno 2014).
- Figura 60.** Distribución horizontal de temperatura para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipiélago las Guaitecas (invierno 2014).
- Figura 61.** Distribución horizontal de oxígeno disuelto para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipiélago las Guaitecas (invierno 2014).
- Figura 62.** **a)** Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Baeza a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente V en la transecta T1; **(c)** flujo residual de la componente U en la transecta T2, durante la campaña de archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.
- Figura 63.** Distribución vertical de salinidad en Canal Baeza realizada durante los transectos de ADCP remolcado en la campaña de archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.
- Figura 64.** **(a)** Transectas T1 y T2 efectuadas entre las Isla Betecoi, Clotilde y Leucayec a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente U en la transecta T1; **(c)** flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.
- Figura 65.** Distribución vertical de salinidad entre las Islas Betecoi, Clotilde y Leucayec realizada durante las transectas de ADCP remolcado en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.
- Figura 66.** **(a)** Transecta efectuada en canal Pihuel a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente U en la transecta durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.
- Figura 67.** Distribución vertical de salinidad canal Pihuel realizada durante las transectas de ADCP remolcado durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.



- Figura 68.** (a) Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Pérez Norte a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.
- Figura 69.** Distribución vertical de salinidad en canal Pérez Norte realizada durante las transectas de ADCP remolcado en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas, primavera 2014.
- Figura 70.** (a) Transectas T1 y T2 efectuado en canal Chaffers y Simpson a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente U en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.
- Figura 71.** Distribución vertical de salinidad en canal Chaffers y Simpson realizada durante las transectas de ADCP remolcado en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas, primavera 2014.
- Figura 72.** (a) Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Simpson y Alanta a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente U en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.
- Figura 73.** Distribución vertical de salinidad en canal Simpson y Alanta realizada durante las transectas de ADCP remolcado en la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.
- Figura 74.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50-60 m en canal Pérez Norte, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 75.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50-60 m en canal Pérez Norte durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 76.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Pérez Norte, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 77.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V, en canal Pérez Norte durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



- Figura 78.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Pérez Norte, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 79.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en Garrao, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 80.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en punta Garrao durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 81.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Garrao, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 82.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** Espectro de la componente V en Garrao durante la campaña de primavera 2014, en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 83.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** Componente V (norte) en Garrao, durante la campaña de primavera en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 84.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en Betecoi, durante la campaña de primavera en archipiélago de las Guaitecas, región de Aysén.
- Figura 85.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en Betecoi durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 86.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Betecoi, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 87.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V en Betecoi, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 88.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en Betecoi, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



- Figura 89.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40 m en isla Verdugo, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 90.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40 m en isla Verdugo, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 91.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en isla Verdugo, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 92.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V en isla Verdugo durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 93.** Superficies color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) componente V (norte) en isla Verdugo durante la campaña de primavera 2104 en archipiélago de las Guaitecas.
- Figura 94.** Ubicación y simbología por estación de muestreo. Distribución vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y densidad. Campaña Guaitecas, primavera 2014.
- Figura 95.** Distribución horizontal de salinidad para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipiélago las Guaitecas, primavera 2014.
- Figura 96.** Distribución horizontal de temperatura para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipiélago las Guaitecas, primavera 2014.
- Figura 97.** Distribución horizontal de oxígeno disuelto para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipiélago las Guaitecas, primavera 2014.
- Figura 98.** (a) Transecta efectuada en Moraleda a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta, durante la campaña Isla Magdalena y ACHS, en verano 2015.
- Figura 99.** Distribución vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Moraleda. Durante la campaña Puyuguapi-Jacaf-ACHS verano 2015.
- Figura 100.** (a) Transecta efectuada en canal Darwin a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaña de Isla Magdalena y ACHS, en verano 2015.



- Figura 101.** Distribución vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Darwin. Durante la campaña Puyuguapi-Jacaf-ACHS verano 2015.
- Figura 102.** (a) Transecta efectuada en canal Utarupa a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta, durante la campaña Isla Magdalena y ACHS, en verano 2015.
- Figura 103.** Distribución vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Utarupa. Durante la campaña Puyuguapi-Jacaf-ACHS verano 2015.
- Figura 104.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40 m en canal Errazuriz, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 105.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40 m en canal Errazuriz, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 106.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Errazuriz, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 107.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V, en canal Errazuriz durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 108.** Superficies color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) Componente V (norte) en canal Errazuriz durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 109.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en estero Pangal, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 110.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en estero Pangal, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 111.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en estero Pangal, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



- Figura 112.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** Espectro de la componente V, en estero Pangal durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 113.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** Componente V (norte) en estero Pangal durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 114.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 8-16-28-36-48-56 m en canal Darwin, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 115.** Elipses de máxima varianza en las capas de 4-16-28-36-48-56 m en canal Darwin, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 116.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Darwin, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 117.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Darwin durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 118.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Darwin durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 119.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 4-12-20-32-40-52 m en canal Utarupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 120.** Elipses de máxima varianza en las capas de 4-12-20-32-40-52 m en canal Utarupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 121.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Utarupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 122.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Utarupa durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



- Figura 123.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Utarupa durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 124.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50-60 m en canal Pichirupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 125.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-60 m en canal Pichirupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 126.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Pichirupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 127.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Pichirupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 128.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Pichirupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 129.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 130.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 131.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 132.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



- Figura 133.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 134.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-45 m en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 135.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-45 m en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 136.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 137.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 138.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 139.** Ubicación y simbología estaciones de CDT-O. Distribución vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y densidad. Campaña Puyuguapi-Jacaf – ACHS verano 2015.
- Figura 140.** Distribución horizontal de salinidad para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf (verano 2015).
- Figura 141.** Distribución horizontal de temperatura (°C) para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf (verano 2015).
- Figura 142.** Distribución horizontal de oxígeno disuelto (mL/L) para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf (verano 2015).
- Figura 143.** **(a)** Transectas efectuadas en canal Darwin a través de ADCP remolcado; **(b)** flujo residual de la componente V en la transecta T1; **(c)** flujo residual de la componente V en la transecta T2. Durante la campaña Isla Magdalena y ACHS, en otoño 2015.



- Figura 144.** Distribución vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Darwin. Durante la campaña Puyuguapi-Jacaf-ACHS otoño 2015.
- Figura 145.** (a) Transecta efectuada en canal Utarupa a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta. Durante la campaña Isla Magdalena y ACHS, en otoño 2015.
- Figura 146.** Distribución vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Utarupa. Durante la campaña Puyuguapi-Jacaf-ACHS otoño 2015.
- Figura 147.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40 m en canal Errazuriz, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 148.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40 m en canal Errazuriz, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 149.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Errazuriz, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 150.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V, en canal Errazuriz durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 151.** Superficies color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) componente V (norte) en canal Errazuriz durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 152.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en estero Pangal, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 153.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en estero Pangal, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 154.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en estero Pangal, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



- Figura 155.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en estero Pangal durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 156.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** Componente V (norte) en estero Pangal durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 157.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 12-24-40-56-68-80 m en canal Darwin, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 158.** Elipses de máxima varianza en las capas de 12-24-40-56-68-80 m en canal Darwin, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 159.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Darwin, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 160.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Darwin durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 161.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Darwin durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 162.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 4-12-20-32-40-52 m en canal Utarupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 163.** Elipses de máxima varianza en las capas de 4-12-20-32-40-52 m en canal Utarupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 164.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Utarupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 165.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Utarupa durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



- Figura 166.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Utarupa durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 167.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50-60 m en canal Pichirupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 168.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-60 m en canal Pichirupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 169.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Pichirupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 170.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V en canal Pichirupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 171.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Pichirupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 172.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 173.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 174.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 175.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



- Figura 176.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 177.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-45 m en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 178.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-45 m en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 179.** **(a)** Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; **(b)** perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 180.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** Espectro de la componente V, en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 181.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Figura 182.** Ubicación y simbología estaciones de CDT-O. Distribución vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y densidad. Campaña Puyuguapi-Jacaf – ACHS otoño 2015.
- Figura 183.** Distribución horizontal de salinidad para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf- ACHS (otoño 2015).
- Figura 184.** Distribución horizontal de temperatura (°C) para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf- ACHS (otoño 2015).
- Figura 185.** Distribución horizontal de oxígeno disuelto (mL/L) para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf- ACHS (otoño 2015).
- Figura 186.** Topografía y cobertura superficial del dominio del modelo SnowModel-HydroFlow para Sudamérica.
- Figura 187.** Esquema de operación SnowModel, considerando sus diferentes sub-modelos.



- Figura 188.** Temperatura media anual del aire y precipitación en Sudamérica y gráficas para cada una de las zonas de evaluación (recuadros).
- Figura 189.** Precipitación sólida (nieve) y número de días anuales con precipitación sólida en Sudamérica y gráficas para cada una de las zonas de evaluación (recuadros).
- Figura 190.** Número de días con cobertura de nieve y espesor de la capa de nieve en Sudamérica y gráficas para cada una de las zonas de evaluación (recuadros).
- Figura 191.** Esquema de las 3 áreas diferenciadas en cuanto las condiciones oceanográficas.
- Figura 192.** Perfiles de salinidad para las estaciones de cada área, las graficas de la izquierda representan el periodo invernal, las graficas de la derecha representan el periodo estival.
- Figura 193.** Representación del parámetro de mezcla para las diferentes aéreas, incluyendo el canal Moraleda, considerando periodo invernal y estival.
- Figura 194.** Distribución vertical de salinidad en columna de agua sistema Puyuguapi-Jacaf a) periodo estival, b) periodo invernal.
- Figura 195.** Scater plot con Perfiles de oxígeno disuelto, a) perfiles estaciones, las Guaitecas (area1) y ACHS (area2), periodo invernal, b) perfiles estaciones, las Guaitecas (area1) y ACHS (area2), periodo estival, c) perfiles estaciones Puyuguapi-Jacaf, periodo invernal, c) perfiles estaciones Puyuguapi-Jacaf (área 3) periodo estival.



## ÍNDICE DE TABLAS

---

- Tabla I.** Cantidad de mediciones a realizar en áreas 1 y 2 en región de Aysén
- Tabla II.** Sector donde se realizaron los transectos con ADCP remolcado en Melinka, Archipiélago de las Guaitecas, XI Región, periodo invierno (a) y primavera (b).
- Tabla III.** Sector donde se realizaron las transectas con ADCP remolcado en el área Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén, periodo verano (a) y otoño (b).
- Tabla IV.** Fase lunar durante periodo de muestreo de ADCP remolcado. (a) Archipiélago de las Guaitecas 2014 y (b) área Isla Magdalena y ACHS 2015.
- Tabla V.** Posición geográfica de equipos instalados en campaña de invierno (a) y primavera (b) en el Archipiélago de las Guaitecas.
- Tabla VI.** Posición geográfica de equipos instalados en campaña de verano y otoño en el área Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.
- Tabla VII.** Rangos de parámetros hidrográficos y estadística básica para el crucero Archipiélago las Guaitecas (invierno 2014)
- Tabla VIII.** Rangos de parámetros hidrográficos y estadística básica para el crucero Archipiélago las Guaitecas (primavera 2014)
- Tabla IX.** Rangos de parámetros hidrográficos y estadística básica para el crucero Puyuguapi ACHS (verano 2015).
- Tabla X.** Rangos de parámetros hidrográficos y estadística básica para el crucero Puyuguapi ACHS (otoño 2015).



## ÍNDICE DE ANEXOS

---

### ANEXOS:

Anexo I: Mareas.

Anexo II: Correntometría Lagrangiana.

Anexo III: Desarrollo objetivo 2.2.2: metodología y resultados.

Anexo IV: Desarrollo objetivo 2.2.3: metodología y resultados

Anexo V: Desarrollo objetivo 2.2.4: metodología y resultados. Implementación de un modelo de alta resolución en Archipiélago las Guaitecas y Archipiélago Chonos Sur.

Anexo VI: Desarrollo objetivo 2.2.4: metodología y resultados discusión conclusión. Implementación de un modelo de alta resolución en Fiordos Jacaf y Puyuhuapi.

Anexo VII: Bases de Datos.

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

- Base de datos archipiélago de las Guaitecas
- Base de Datos Isla Magdalena ACHS
- Base de datos XI Región
- Bases Conectividad
- Videos

Anexo VIII: Ecuaciones involucradas en procesamiento de corrientes remolcadas.



## 1. ANTECEDENTES

---

El área de estudio está inserta en la zona de fiordos y canales, en la región de Aysén, considerada como una de las más extensas del planeta y conformando una de las mayores zonas estuarinas del mundo (Cameron & Pritchard, 1963). En general estas zonas estuarinas son altamente productivas (Wolff, 1980).

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 conforman áreas protegidas de las condiciones meteorológicas, donde en las últimas décadas se ha desarrollado 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 denominada cruceo CIMAR, para efectuar una serie de cruceos oceanográficos para cubrir esta extensa área, siendo los 3 primeros de carácter exploratorio, posteriormente sobre la base de estos cruceos, se realizó un número significativos de cruceos, 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.

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 ciertas 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 XI 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.

### **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** Efectuar re-análisis de todos los resultados establecidos hasta la fecha para el área de estudio, focalizando el trabajo de reanálisis en aquellas zonas o sectores en los cuales se ha establecido un bajo ajuste entre las mediciones de terreno así como también en aquellos de importancia que cuenten con baja cobertura o resolución.
- 2.2.3** Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de patógenos o elementos de origen antrópico entre los diferentes centros de cultivo.
- 2.2.4** Implementar tres modelos de alta resolución en la región de Aysén proporcionando información de alta resolución que permita identificar patrones de dispersión de partículas desde un centro de cultivo.
- 2.2.5** Efectuar transferencia tecnológica a la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, referente al desarrollo del proyecto y a las metodologías y técnicas implementadas. Desarrollar a lo menos 1 seminario de discusión de los resultados generados por el proyecto en el área de estudio.



### 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 Aysén), de proyectos anteriores efectuados por IFOP, los principales resultados son presentados en el siguiente capítulo. Los resultados de estos proyectos serán entregados en base de datos. 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

Para la realización de este objetivo la zona de Aysén fue dividida en 2 áreas, cada área representa una campaña (trabajo de campo), de medición diferente (**Figura 1**). La primera área comprende el sector del Archipiélago de Chonos norte, entre Melinka y canal King (denominada área Archipiélago las Guaitecas). La segunda área abarca el entorno de la isla Magdalena entre los canales Jacaf, Puyuhuapi (Puyuguapi-Jacaf) y Archipiélago de Chonos Sur (ACHS), entre canales Ninualac, Chacabuco. En cada campaña se efectuarán un crucero de otoño/invierno y otro de primavera/verano, para determinar la variabilidad estacional. La cantidad de equipos por área y sus respectivas mediciones se resumen en **Tabla I**. Es de suma importancia señalar que las mediciones comenzaron en el mes de julio y no en el mes de junio como había sido pautado en cronograma de TTR, esto se debió a que los equipos de medición (ADCP) se estaban utilizando para otros estudios de IFOP, por lo que se pudo contar con ellos a partir del mes de julio. También se debe destacar que en las mediciones de agosto se extravió el equipo ADCP con modalidad Bottom tracking, lo que significó realizar una reprogramación de las mediciones (mayores detalles se presentan en capítulo 4 gestión de proyecto).

A continuación se describe la metodología de medición para el sector del archipiélago de las Guaitecas 2014 e isla Magdalena ACHS 2015.



### a) ADCP Remolcado

Para la realización de este estudio, se efectuaron mediciones con un ADCP en tiempo real, a través de un sistema de acoplado y remolcado del ADCP, utilizando para ello un perfilador acústico Doppler (ADCP) RDI Workhorse Sentinel de 150 kHz en la campaña de invierno de archipiélago de las Guaitecas y ADCP modelo FlowQuest de 300 kHz en la campaña de primavera. Para el resto de las campañas del proyecto, isla Magdalena ACHS verano y otoño, se empleó un ADCP FlowQuest de 150 kHz. Todos los equipos fueron configurados con la opción Bottom Tracking, que permitió medir las corrientes durante un track de navegación a tiempo real por 24 hrs. El ADCP es fijado en un costado de la embarcación, remolcado y orientado hacia el fondo marino, a una velocidad inferior a 5 nudos. Los tracks de navegación son posicionados mediante GPS Garmin 60cx. En el caso del ADCP RDI el intervalo de muestreo es generalmente de 5 segundos, mientras que los ensambles son promediados cada 30 segundos. En el caso de los datos tomados con ADCP FlowQuest el intervalo de muestreo es de 30 segundos, debido a indicaciones del proveedor. Información más detallada del muestreo viene adjunta en la base de datos (**ANEXO VII**) junto con un archivo PDF explicativo de cada modelo de ADCP y las variables que se obtienen. En tanto la fecha, duración, tamaños de celda, otras informaciones, junto con la fase lunar (Sicigia y Cuadratura) de cada experimento se detallan en las **Tablas II y III y IV**. En este último caso se definió la fase de sicigia / cuadratura como 2 días antes y 2 días después del evento, en tanto los días exentos son llamados fase intermedia.

Las mediciones de ADCP remolcado fueron utilizadas para extraer la corriente residual, definida como aquella parte de la corriente que queda después de eliminar las señales de frecuencia semidiurna y diurna durante uno o más ciclos de marea (Tee, 1977). Para esto los datos de compás del ADCP fueron corregidos siguiendo el método de Joyce (1989) y los datos erróneos de velocidades fueron eliminados siguiendo el procedimiento explicado por Valle-Levinson&Atkinson (1999). La señal semidiurna de la marea, representada por la constituyente M2 con un período de 12,42 horas, y la señal diurna, representada por la constituyente K1 con un período de 23,93 horas, fueron separadas de la señal submareal de los componentes del flujo observado usando un análisis de regresión sinusoidal de mínimos cuadrados (Lwiza *et al.*, 1991). La señal submareal representó el flujo residual o promedio de estas dos componentes armónicas para el período de mediciones. Finalmente, en caso de ser necesario, los datos de velocidad fueron rotados en la dirección de más alta variabilidad. Una información más detallada de las ecuaciones empleadas en el cálculo de las corrientes residuales viene dada en el **ANEXO VIII**.

Las mediciones de corrientes obtenidas con ADCP remolcado fueron complementadas con perfiles de temperatura, salinidad y oxígeno obtenidos a través de un CTDO. La primera medición se efectuó al comenzar el transecto correspondiendo a la hora 0 (0h), el segundo transecto con estaciones de CTDO se efectuó aproximadamente 12 después de la primera medición (12h), durante el último transecto de ADCP remolcado se efectuó una medición final de CTDO, pasadas 24 horas desde el inicio (24h). La información de CTDO permitió acoplar campos de hidrografía.



Los canales estudiados en la zona del archipiélago de las Guaitecas fueron Pérez Norte, Baeza, Chaffers, Alanta, Simpson, Piure, Pihuel y el paso ubicado entre las islas Betecoi y Leucayec (**Figura 2**). Sin embargo en primavera no se conto con mediciones confiables en el sector de canal Piure y del transecto ubicado entre las islas Valverde Garrao y Jechica, producto del mal tiempo.

Los canales estudiados en el sector de isla Magdalena y el archipiélago Chonos Sur fueron Pichirupa, Darwin, Utarupa y Moraleda (**Figura 3**). No obstante, las mediciones realizadas en el canal Pichirupa, durante las campañas de verano y otoño del 2015, en el área ACHS, así como la medición de otoño del canal Moraleda no se presentaron en este estudio, debido a que los resultados obtenidos no se consideran confiables.

### **b) ADCP Anclado**

Se realizaron mediciones de correntometría eulerianas en la columna de agua, durante los periodos estacionales en las dos áreas de estudio del proyecto.

En los principales canales del archipiélago de las Guaitecas se efectuaron 5 anclajes de ADCP en modo auto contenido y un intervalo de grabación de 10 minutos. El tiempo de grabación de datos fue de un mes y medio en el periodo de invierno y 2 meses en el de primavera. En invierno se emplearon 3 ADCP RDI 300kHz, 1 ADP Sontek 500kHz y un ADCP RDI de 150kHz. Este último, ubicado en el área de isla Betecoi, fue extraviado, por lo que no se pudieron recuperar los datos registrados. Para cubrir la carencia de registro de corrientes en isla Betecoi, se extrajeron parte de los datos que aun comprendían la época de invierno a través del ADCP destinado a cubrir el periodo de primavera en el mismo sitio. Igualmente, no se cuenta con el análisis de datos del periodo de primavera del canal Baeza, debido al mal funcionamiento del equipo instalado, un ADCP FlowQuest de 600 kHz.

En el sector de isla Magdalena y ACHS, se realizaron 7 anclajes ubicados en el canal Puyuguapi, canal Errázuriz, canal Utarupa, canal Darwin, canal Pichirupa y estero Pangal, es de suma importancia señalar que debido al extravío de ADCP en sector de Melinka, solo fueron efectuadas 7 mediciones y no 8 como se tenía comprometidas. El tiempo de grabación de datos se extendió a 3 meses, con el objetivo de abarcar los periodos de verano y otoño en un mismo registro. El detalle de estas mediciones y los equipos empleados se muestran en las **Tablas V y VI**. El 19 de marzo, el equipo instalado en canal Darwin se desplazó a una zona más profunda, debido a la dinámica de la zona, por lo que a partir de dicha fecha, los primeros 8 metros de la capa superficial no quedaron registrados.

Una información más detallada de cada anclaje, como el tamaño de la celda y el blank, ente otros, se encuentra en la base de datos (**ANEXO VII**) en un archivo denominado 'metadata'.



Como primera parte del procesamiento de los datos se procede a eliminar las capas superiores, que se encuentran afectadas por las variaciones del nivel del mar. Para efecto de análisis y dado que estos instrumentos se refieren en forma original a la dirección del norte magnético, los registros son corregidos por la desviación magnética terrestre, indicada para la zona de estudio, quedando los datos referidos al norte geográfico. Después de corregir la dirección de la corriente se calcularon sus componentes ortogonales U (este) y V (norte), que son rotadas siguiendo los ejes de máxima y mínima variabilidad.

Para determinar la dirección a lo largo de la cual la corriente oscila se calcularon los ejes de máxima varianza (EMV) por medio de un análisis de las componentes principales, que describen la información de un conjunto de variables observadas mediante un conjunto de variables más pequeñas y que se obtiene de la descomposición en valores propios (autovalores) y vectores propios (autovectores) de la matriz de covarianzas.

Con el fin de obtener una visión más clara de la corriente dentro de la columna de agua se graficaron los perfiles promedio y máximo de la magnitud, así como los perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte).

En el análisis en el dominio de la frecuencia se utilizó la técnica propuesta por de Bendat y Piersol (1986). Las series se dividieron en trozos o segmentos de igual tamaño, con cada segmento se calculó un espectro, el cual se promedia para cada frecuencia (Emery & Thomson, 1998). Puesto que cada estimación espectral posee una distribución  $\chi^2$  con dos grados de libertad, los grados de libertad del espectro promedio son dos veces el número de trozos (Bendat & Piersol, 1986). En los espectros calculados con registros cercanos a un mes se utilizaron 10 grados de libertad, mientras que en los registros obtenidos con un periodo mayor a 2 meses se emplearon 12 grados de libertad.

Finalmente, se calcularon los flujos residuales, con el objetivo de separar las oscilaciones de marea de aquellas fluctuaciones asociadas a un forzamiento distinto a la marea. Para ello cada componente de la corriente horaria (U y V) fue filtrada con un filtro de paso bajo Lanczos de 121 pesos y un periodo de corte de 40 horas, utilizando programas de Matlab ya preparados. Por otra parte y de manera análoga a las mediciones de ADCP remolcado, a los registros de corrientes se les realizó un análisis armónico, utilizando como entrada el algoritmo de Pawlowicz (2002a) el vector complejo de la forma  $\mathbf{w} = (\mathbf{u} + \mathbf{vi})$ . El algoritmo utilizado para estimar la amplitud y fase se basa en el algoritmo descrito por Godin (1972), Foreman (1977) y Foreman (1978). Por lo tanto se definió la corriente total (VT) asociada a la corriente directa medida por el ADCP, es decir, la corriente por marea más la componente residual (vr) asociada a otros mecanismos (viento, topografía, inercial, etc.).

Simultáneamente a estas mediciones se realizaron mediciones de nivel del mar, por medio de mareógrafos HOBBO, instalados a 10 metros de profundidad, que registraron un dato cada 10 minutos. Para caracterizar los procesos atmosféricos se instalaron estaciones meteorológicas automáticas modelo HOBBO, capaces de medir dirección y velocidad del viento, temperatura del



aire, humedad relativa, radiación solar y presión atmosférica. El detalle de las instalaciones efectuadas en el Archipiélago de las Guaitecas y en Isla Magdalena ACHS se presenta en las **Tablas V y VI** y **Figuras 4 y 5**.

Para complementar la información se realizaron mediciones de corrientes lagrangianas con boyas derivadoras, y por un periodo de tiempo máximo de 48 horas (**Figura 6 y 7**). Sin embargo, el experimento, en algunos casos, finalizó antes del tiempo estimado, debido a condiciones climáticas adversas o la llegada del derivador a la costa.

### **c) Mediciones de CTD-O**

Se obtuvieron registros en la columna de agua de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto se realizaron mediciones mediante CTD-O, con la finalidad de realizar perfiles de distribución de estos parámetros observar, medir y relacionar su comportamiento en la columna de agua, así como para lograr caracterizar la estructura termo-halina, identificar estratificación, tipos de aguas y patrones de distribución. Las mediciones se efectuaron desde la superficie de la columna de agua (1 m), hasta la máxima profundidad de fondo dependiendo de la batimetría, la profundidad máxima de medición fue de 225 m. Las mediciones se realizaron mediante un CTD seabird 19 plus V2 o en su remplazo un Sea&Sun. Es importante señalar que el segundo ctd solo fue utilizado en casos de emergencia (**Figura 8**).

Fue utilizado un protocolo estándar para la toma de muestra de acuerdo a las recomendaciones del SHOA disponible en: <http://www.shoa.cl/cendhoc/manual/index.htm>, Para un óptimo resultado de los datos, se realizó un post-procesamiento, siguiendo los procedimientos recomendados por el fabricante, software SBE Data Processing de SeaBird. En el caso de los datos de ctd Sea&Sun, fueron procesados mediante rutina MatLab 7.1.

Una vez que los datos fueron procesados, se construyó una matriz numérica integrando salinidad (psu), temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mL/L), en función de la profundidad. Posteriormente se realizó una construcción graficas sinópticas, de secciones verticales con lugares geográficos estratégicos, mediante interpolaciones verticales y horizontales a través del software Ocean Data View 4.5. Finalmente una revisión sinóptica de los perfiles verticales permite descartar o corregir algún error final de tendencia o conjunto de datos de tendencias erráticas. Las bases de datos de CTDO, fueron construidas utilizando un formato estándar adecuado al software Ocean Data View (ODV), éste es un software para la exploración interactiva y la visualización de datos oceanográficos y otras características georreferenciadas, como ARGO, WOCE (World Ocean Circulation Experiment), World Ocean Database Project, SeaDataNet, World Ocean Atlas, and Medar/Medatlas projects.

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.

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. Para poder abordar este tema, se ha requerido la asesoría externa de expertos y/o instituciones especializadas en el tema de la glaciología, y flujos de agua dulce en sistemas de fiordos y canales de la Patagonia Austral Chilena. Este proceso ha sido en extremo complejo y sólo a partir de febrero de 2015 se logró establecer contacto y localizar a un reducido grupo de expertos:

- *Consultora privada Geoestudios Ltda.*
- *Universidad de Magallanes (UMAG) a través de Dirección de programas Antárticos y Sub-Antárticos DPA.*
- *Consultor Sebastián Mernild, investigador principal asociado al CECs (Chile) y Los Alamos National Laboratory (U.S.A).*

Entre febrero y mayo de 2015, se realizaron reuniones presenciales, intercambio de correos electrónicos y conversaciones telefónicas con los diferentes expertos. En junio se entregó la última propuesta económica (Geoestudios Ltda.)

De todo el proceso de interacción con los consultores, investigadores IFOP responsables del proyecto, concluyen que la determinación y cuantificación de fuentes de agua dulce por parte de ríos y glaciares es una incógnita, que dada la enorme extensión de la línea costera de la zona austral de Chile sería un proceso muy prolongado en el tiempo y extremadamente costoso de resolver mediante mediciones de campo. Debido a esto, surge la necesidad de generar información (datos) mediante modelos numéricos en una primera etapa. Esto considerando las variables de tiempo y factor económico

Dado este escenario, *Sebastian H. Mernild* es el consultor que entrega una propuesta económica en extremo ventajosa, dado que su metodología generará información histórica desde 1979-2014 y entregara caudales con aportes de agua dulce, no solo de la zona de estudios, sino que de toda la Patagonia chilena (X-XII región).



**3.2 Objetivo específico 2.2.2** *Efectuar re-análisis de todos los resultados establecidos hasta la fecha para el área de estudio, focalizando el trabajo de reanálisis en aquellas zonas o sectores en los cuales se ha establecido un bajo ajuste entre las mediciones de terreno así como también en aquellos de importancia que cuenten con baja cobertura o resolución.*

La extensión y desarrollo de este objetivo, fue desarrollado completamente (metodología, resultados, discusión) en el **Anexo III**.

**3.3 Objetivo específico 2.2.3** *Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de patógenos o elementos de origen antrópico entre los diferentes centros de cultivo.*

La extensión y desarrollo de este objetivo, fue desarrollado completamente (metodología, resultados, discusión) en el **Anexo IV**.

**3.4 Objetivo específico 2.2.4** *Implementar tres modelos de alta resolución en la región de Aysén proporcionando información de alta resolución que permita identificar patrones de dispersión de partículas desde un centro de cultivo.*

La extensión y desarrollo de este objetivo, fue desarrollado completamente (metodología, resultados, discusión) en dos **Anexos V** Dominio regional Chiloé-Aysén y **Anexo VI** (modelo de alta resolución sistema Puyuguapi-Yakaf)

**3.5 Objetivo específico 2.2.5** *Efectuar transferencia tecnológica a la Subsecretaría de pesca referente al desarrollo del proyecto y a las metodologías y técnicas implementadas. Desarrollar a lo menos 1 seminario de discusión de los resultados generados por el proyecto en el área de estudio.*

En abril de 2015, se implementó, mediante la participación de un representante de SSPA. Con la finalidad de realizar una inducción con el desarrollo de la modelación hidrodinámica.

EL 14 de agosto de 2015, se realizó un Taller de Difusión/ Discusión con los resultados del estudio. Este Taller contó con la participación de un representante del SHOA y de la Universidad de Concepción, junto a las jefaturas de la División de Acuicultura de IFOP.



EL Taller estuvo dividido en:

- a) Presentación de los resultados del proyecto, a cargo de investigadores de IFOP.
- b) Exposición invitados en tópicos relacionados con los resultados obtenidos en la misma zona de estudio (Aysén), con la finalidad de discutir y contrastar con los resultados presentados por IFOP.
  - Sr. Manuel Castillo Universidad de Concepción /Universidad de Valparaíso: "Hidrodinámica de Fiordos Australes Chilenos y su implicancia en la Acuicultura.
  - Sra. Carolina Calvete SHOA-CENDHOC Cuantificación de la capa de agua dulce superficial y zonas frontales en los fiordos chilenos, entre la boca del Guafo (43°30's) y el estero elefantes (46°30's).
- c) Mesa redonda de discusión, con la finalidad de establecer acuerdos cooperación y aportes en cómo mejorar los resultados de este estudio y las perspectivas para el futuro.



## 4. GESTIÓN DEL PROYECTO

### 4.1 Reunión IFOP/Subpesca:(29/01/2014)

- Fecha:
  - Jueves 29 enero de 2014 - 09:30 – 12:00 horas.
- Ubicación:
  - Centro Tecnológico para la Acuicultura IFOP, Castro, Chiloé.
  - (Videoconferencia a través de Skype)
- Participantes:

1.	Juan Pablo Belmar	SSPA
2.	Gabriel Soto	IFOP
3.	Elías Pinilla	IFOP

Objetivo de la reunión: Presentar al jefe de Proyecto, acordar procedimientos y especificaciones de proyecto, de acuerdo a lo planteado por SSPA en la Propuesta Técnica.

- IFOP señala que el jefe de proyecto de ASIPA 2014 “Modelación de Alta Resolución Aplicada a la Conectividad y Transporte Hidrodinámico al interior de Macro - zonas en la XI Región de Aysén”, es el investigador Sr. Gabriel Soto y la Sra. Marcela Arriagada es la Jefa subrogante.
- IFOP plantea que de acuerdo a Propuesta Técnica de Subpesca, la zona de Aysén será dividida en 2 áreas para realizar el presente estudio, denominadas Campañas. En cada Campaña se efectuará una medición en la época estival y otra, en la época invernal.
- También se fijan las ubicaciones geográficas teóricas, donde se efectuaran las mediciones y en donde quedarán instalados equipos midiendo por periodos de 30 días. Se acuerda enviar a Subpesca un archivo KMZ con la posición geográfica (latitud/longitud), de todas las mediciones y equipos instalados. SSPA solicita además posición, de todas las mediciones de correntometría efectuadas por IFOP en proyectos anteriores.

### 4.2 Convenio Mercator Ocean: 14/02/2014

En febrero de 2014 se firma un convenio con Mercator Ocean (**Figura 9**), esta es una institución de origen Francés perteneciente a un conjunto de prestigiosas instituciones relacionadas con el ambiente marino. Entre estas están CNRS (Centro Nacional de Investigación Científica); IFREMER (Instituto Francés para la Explotación del Mar); IRD (Instituto de Investigación para el Desarrollo), METEOFRENCE y SHOM (Servicio Hidrográfico Nacional).



Mercator Ocean tiene desarrollado un modelo global operacional del océano, y cuyos resultados pueden estar disponibles para distintos tipos de instituciones sin fines de lucro. En ese ámbito se firma un convenio con la posibilidad de contar con datos modelados por Mercator Ocean de los últimos 3 años (2011-2014) para la zona oceánica sur-austral de Chile. Las variables que están disponibles son temperatura y salinidad. Este tipo de información es vital para la construcción tanto de condiciones de borde como iniciales de los modelo regionales.

#### **4.3 Licitación embarcación: 29/03/2014**

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 XI Región de Aysén”, 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 Llanquihue de Puerto Montt (circulación regional)
- 3.- La Estrella de Castro (circulación local)

El calendario de la licitación pública y resultados quedó establecido de la siguiente manera:

a) Invitación a participar: 29 de marzo de 2014;
b) Venta de bases: 1, 2 y 3 de abril de 2014;
c) Consultas: 11 de abril de 2014;
d) Respuestas a las consultas: 14 de abril de 2014;
e) Presentación de oferta y apertura de las mismas: 17 abril de 2014;
f) Evaluación de las propuestas 28 de abril de 2014; y
g) Notificación de la adjudicación 30 de abril de 2014.
h) Notificación adjudicación licitación pública a través de comunicado formal IFOP/DIA/ N° 031/2014 al Armador Sr. Manuel Cárdenas Alonzo. 07 de mayo de 2014.
i) Solicitud subcontrato de arriendo de embarcación. 19 mayo de 2014.



#### **4.4 Campañas oceanográficas**

- **Crucero invierno archipiélago de las Guaitecas junio- julio del 2014**

##### **Resumen actividades**

Las actividades fueron realizadas desde el 26 de junio hasta el 14 de julio del 2014. El área de estudio abarcó la latitud 43°50'S - 44°38'S y longitud 74°20'W-73°27'W en los canales Pérez norte, Baeza, Simpson, Chaffers. Contempló la instalación de 4 mareógrafos, 2 estaciones meteorológicas, lance de CTDO, boyas derivadoras y medición de corrientes mediante ADCP anclado y remolcado.

En la campaña realizada, ocurre el robo de 2 equipos de monitoreo, éstos son un mareógrafo Hobbo, número de serie 10129717, con instalación en punto geográfico -44,00785° -73,72623° y un ADCP RDI Teledyne Instruments, modelo WHS 150-I-UG9, número de serie 14261, fondeado en punto geográfico -43,97475° -73,75019°. Como consecuencia de este contratiempo, se genera un retraso importante en el inicio de campaña de Puyuhuapi, debido a que fue necesario arrendar (mediante licitación privada) otro equipo ADCP con modalidad bottom tracking. Por lo que se procede a la re-instalación de equipos en la zona del archipiélago de las Guaitecas.

- **Crucero primavera Archipiélago de las Guaitecas noviembre del 2014**

##### **Resumen actividades**

El crucero de investigación ubicado en el archipiélago de Chonos zona norte, contempló la desinstalación de 4 mareógrafos, 2 estaciones meteorológicas y 5 ADCP anclado, estos equipos fueron reinstalados durante la campaña de invierno, pero se prolongó su medición con el fin de cubrir la época de primavera. Cabe mencionar que un mareógrafo instalado en islote Pochas (S43.99895° W73.85781°) fue extraviado. Junto con la desinstalación de equipos también se efectuaron estudios con ADCP remolcado, derivadores y lances de CTDO en los principales canales.

- **Crucero verano isla Magdalena archipiélago Chonos Sur febrero-marzo 2015**

##### **Resumen actividades**

Las actividades fueron realizadas desde el 22 de febrero hasta el 09 de marzo de 2015. El crucero de investigación fue realizado en el área que abarca el entorno de la isla Magdalena entre los canales Jacaf, Puyuhuapi y Archipiélago de Chonos Sur, entre canales Ninualac y Chacabuco. Contempló la instalación de 6 mareógrafos, 4 estaciones meteorológicas, lance de CTDO, boyas derivadoras y medición de corrientes mediante ADCP anclado y remolcado.

- **Crucero otoño Puyuguapi-Jacaf Archipiélago Chonos Sur mayo-junio 2015**

##### **Resumen de actividades**

El crucero de investigación, realizado entre el 21 de mayo y el 12 de junio de 2015, contempló las actividades de desinstalación de 6 mareógrafos, 4 estaciones meteorológicas y 7 ADCP anclados



que fueron instalados en la campaña de verano, y cuya medición se prolongó con el fin de obtener datos del periodo otoñal. Paralelamente a la desinstalación de equipos, se realizaron mediciones de ADCP remolcado, lances de CTDO y boyas derivadores en los canales de estudio.

#### **4.5 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 ingresan por efecto del deshielo glaciar en forma directa al sistema marino. Para poder abordar este tema, se ha requerido la asesoría externa de expertos y/o instituciones especializadas en el tema de la glaciología, este proceso ha sido en extremo complejo y sólo 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: 02 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 Patagonia chilena.

Investigador del CECs, plantea que actualmente se encuentra a 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 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 aserías 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 de 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.



#### **4.6. Reunión Investigadores IFOP personal Subpesca: 4/03/2015**

- Fecha: • 4 de marzo de 2015
- Ubicación: • Sala de reuniones, edificio SSPA, Valparaíso
- Participantes:

Susana Giglio	SSPA
Cristian Acevedo	SSPA
Gabriel Soto	IFOP
Elías Pinilla	IFOP

##### Objetivo de la reunión:

Plantear avances del proyecto en ejecución, señalar las principales problemáticas relacionadas con 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.

#### **4.7. 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,	SSPA
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. Se discute acerca de los resultados y datos



#### **4.8. Taller de difusión resultados proyectos ASIPA** (Convenio Asesoría Integral para la Pesca y la Acuicultura 2014-2015).

**Fecha:** 14 de agosto de 2015.

**Lugar:** Salón Austral, Hotel Gran Pacífico (Urmeneta # 719), Puerto Montt. (**Figura 10**)

09:00 - 09:15	Palabras de Bienvenida (División Acuicultura)
09:15 – 09:25	Introducción proyecto: “ <i>Modelación de alta resolución aplicada a la conectividad y transporte hidrodinámico al interior de macrozonas en la XI Región de Aysén</i> ”. Sr. <b>Gabriel Soto</b> (IFOP).
09:30 – 10:00	Condiciones oceanográficas en fiordos y canales de la región de Aysén. Sr. <b>Gabriel Soto</b> (IFOP).
10:00 – 10:30	Desarrollo de modelación hidrodinámica y Evaluación modelos, como herramienta de apoyo en la gestión de la acuicultura. Sres. <b>Cristian Ruiz</b> y <b>Elías Pinilla</b> (IFOP).
11:00 – 11:55	Hidrodinámica de fiordos Australes (región de Aysén), implicancia en la acuicultura Sr. <b>Manuel Castillo</b> (Universidad de Concepción / Universidad de Valparaíso)
11:55 – 12:25	Cuantificación de la capa de agua superficial y zonas frontales en los fiordos chilenos, entre la boca del Guafo (43°30's) y el estero elefantes (46°30's). Sra. <b>Carolina Calvete</b> , representante de SHOA/CENDHOC.
12:30-13:30	Mesa redonda discusión, alcance del proyecto, perspectivas y convenio para futuro.



## 5. RESULTADOS

**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 oceanográficas IFOP región de Aysén 2011-2014.

Se recopiló información, oceanográfica de campañas efectuadas, en la región de Aysén durante los años 2011 hasta el 2014.

La información recopilada incluye mediciones de ADCP bottom track (**Figura 11**), mediciones con anclajes de ADCP y correntómetros (**Figura 12**). Mediciones nivel medio del mar (**Figura 13**). Mediciones condiciones meteorológicas (**Figura 14**), mediciones lagrangianas mediante boyas derivadoras (**Figura 15**), mediciones en la columna de agua de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto mediante CTDO (**Figura 16**). También se agregó información recopilada sobre los diferentes caudales (aporte de agua dulce) material proporcionado por la DGA.

Los resultados de estas mediciones corresponden a los proyectos de IFOP:

- Diseño y estudio técnico de macrozonas de agrupaciones de concesiones en la zona sur austral X a XII Regiones. **2012**
- Determinación de los patrones de circulación en los mares interiores de la región de Magallanes. **2014**

Toda la información oceanográfica generada y recopilada, se entrega en base de datos recopilación de información oceanográfica.

### Campañas oceanográficas

#### Mediciones Archipiélago de las Guaitecas campaña de invierno 2014

##### a) ADCP Remolcado

Antes de realizar la descripción de los flujos residuales es importante definir los periodos (Cuadratura-Sicigia-intermedia) en el que se efectuaron los transectos. En periodo de cuadratura los canales estudiados fueron Baeza-Pérez Norte; Chaffers-Simpson; Alanta-Simpson y entre las islas



Valverde-Garrao-Jechica. En periodo de sicigia se hizo estudios en los transectos ubicados entre las islas Clotild-Betecoi-Leucayec; canal Pihuel y canal Pérez Norte-Valverde. Por último la fase intermedia coincidió con el transecto de canal Piure. (Ver Tabla IV).

Canal Piure / isla Job (Figura 17a) El flujo residual de la componente U en el transecto T2 (Figura 17b), evidenció una cizalles lateral con flujos hacia el este entre la parte norte y la parte media de la transecta (vértice C y 1000 m) y con flujos al oeste en la transecta restante (1000 m y vértice A) en ambos casos los máximos observados fueron cercanos a 10 cm/s. Tal configuración del flujo en la transecta T2 podría estar asociada a la batimetría del sector.

El flujo residual V en la transecta T1 (Figura 17c) identificó una circulación en capas, con una primera capa que se extendió hasta los ~30 m de profundidad en sentido norte y en su capa inferior flujos en dirección sur. Las intensidades en esta transecta no superaron los 5 cm/s.

Los campos hidrográficos (salinidad), estarían indicando que en la transecta 1, estaría ingresando agua de mayor salinidad, asociado a la cizalles norte, mientras que hacia el lado sur de la transecta el flujo de salida estaría asociado a aguas de menor salinidad. Un patrón similar se observa en T2, donde el flujo superficial (sobre 20 m) estuvo caracterizado por aguas de menor salinidad (dirección norte), mientras que el debajo de esta capa estaría ingresando agua de mayor salinidad con características más oceánicas, proveniente posiblemente de la entrada del Guafo, que disminuye la salinidad a medida que ingresa al canal Moraleda y se mezcla con agua proveniente del canal Jakaf. (Figura 18).

Canal Baeza y Pérez Norte (Figura 19a) El flujo residual de la componente V en canal Pérez Norte (Figura 19b) podría evidenciar una leve cizalles lateral, donde los flujos en dirección norte se extienden en gran parte del transecto (entre los 1000 y 3000 m) mientras que los flujos hacia el sur se ven cercanos al vértice A y los 1000 m. En general los valores no superan los 5 cm/s; el flujo residual U en el canal Baeza (T2) (Figura 19c) varió en forma lateral dentro de la transecta, mostrando una dirección hacia el este de baja intensidad (<5 cm/s), entre el vértice B y la parte media, y en dirección oeste en el resto del transecto, destacando intensidades cercanas a los 20 cm/s en este último tramo.

Los flujos de T1 estuvieron asociados a aguas de menor salinidad (<31.8 psu), junto con temperatura inferior a 9.5 °C y una concentración de oxígeno mayor a 8 mL/L. en cambio el flujo con dirección sur estuvieron relacionados con una salinidad 32 psu, una temperatura próxima a 10°C y una concentración de oxígeno inferior a 5.5 mL/L, (agua de característica más oceánica). En contraste para la trassecta T2 no pudo identificarse un patrón asociado a los campos hidrográficos. (Figura 20).

Islas Clotilde, Betecoi y Leucayec (Figura 21a) El flujo residual U de la transecta T1 (Figura 21b) identificó leves flujos hacia el oeste en la capa superior y flujos en sentido este en la capa inferior con intensidades cercanas a 10 cm/s. El flujo residual V en el transecto T2 (Figura 21c) presentó



flujos en dirección norte en la capa superior y flujos hacia el sur en la capa asociada al fondo, la capa superior evidenció intensidades mayores dentro de la columna (~10 cm/s).

El flujo de T1 con dirección oeste, estuvo asociado con salinidad más baja ( $\approx 32.3$ ), asociado también a menor concentración de oxígeno pero mayor temperatura. En T2 el flujo superficial (norte) estuvo asociado a menor salinidad, menor temperatura ( $< 8.5^{\circ}\text{C}$ ) pero elevada concentración de oxígeno ( $> 5.5$  mL/L). Esta configuración hace suponer una conexión entre ambas transectas, donde parte del agua que ingresa a través de la transecta T2 por la capa superior traspasaría la transecta T1, en tanto la capa inferior que entra a través del T1 bajaría hacia el sur por T2. Las elevadas concentraciones de oxígeno en la capa superior hacen suponer una influencia por aporte de agua dulce, proveniente de ríos, transporte estuarino) (**Figura 22**).

Canal Pihuel (**Figura 23a**) El flujo residual U (**Figura 23b**) presento en la capa superior corrientes en sentido oeste, con intensidades mayores de 20 cm/s, mientras que la capa inferior fue en sentido este, con intensidades de hasta 30 cm/s, asociadas al fondo.

La capa superior estuvo asociada a salinidades menores a 32 psu, mientras que la capa profunda estuvo asociada a salinidades mayores a 32 psu. Esto sugiere una circulación de tipo estuarina donde ingresaría desde el fondo agua de mayor salinidad de características más oceánicas, mientras que en la capa superior el agua de menor salinidad (mayor mezcla con agua dulce) circularía hacia el oeste. (**Figura 24**).

Canal Pérez Norte e isla Valverde (**Figura 25a**) El flujo residual U en la transecta T1 (**Figura 25b**) identifico 2 capas de flujos, una capa superficial en sentido oeste con una profundidad de hasta 40 m y una capa inferior en sentido este. En canal Pérez Norte (**Figura 25c**) se identificó un flujo en dirección norte hasta los 40 m y un flujo en dirección sur, en la capa inferior las magnitudes máximas se observaron cercanas a la superficie (~10 cm/s).

Los flujos de T y T2 estuvieron asociados a salinidades  $< 32$  psu, temperaturas menores a  $9.5^{\circ}\text{C}$  y oxígeno mayor a 8 mL/L, mientras que los flujos de la capa profunda presentaron flujos con salinidad mayor a 32 psu, oxígeno bajo los 4.9 mL/L y temperaturas  $\approx 10^{\circ}\text{C}$ .

Esto indicaría una circulación de tipo estuarina, donde agua menos salina viajaría hacia el norte a través del canal Pérez Norte y e ingresaría por el canal adyacente, en tanto los flujos de la capa inferior en T1 y T2 en dirección este y sur respectivamente, también podrían estar asociados. (**Figura 26**).

Canal Chaffers y canal Simpson (**Figura 27a**) El flujo residual V en canal Chaffers (**Figura 27b**) evidenció una configuración del flujo en 3 capas. Una capa superficial en sentido norte, con una mayor profundización en el lado B del transecto (este) y notando flujos más intensos cercanos a la superficie. La capa intermedia se dirigió hacia el sur con intensidades un tanto mayores en el lado oeste del transecto. La última capa, asociada al fondo, fue hacia el norte, con magnitudes leves. El flujo residual U del transecto T2, en canal Simpson (**Figura 27c**) evidencio un flujo en 2 capas con flujos en dirección oeste en la capa superior y hasta los 70m de profundidad. La segunda capa mostro flujos hacia el este las intensidades observadas llegaron a 15cm/s.



Básicamente los flujos superficiales (sobre 60m), estuvieron constituidos por salinidades menores a 32,3 psu, con temperaturas bajas ( $<9.5^{\circ}\text{C}$ ) elevadas concentraciones de oxígeno disuelto ( $>6\text{ mL/L}$ ), de manera opuesta el flujo focalizado bajo 100m, presentó una salinidad mayor de 33.3 psu, temperatura  $\approx 10^{\circ}\text{C}$  y concentración de oxígeno inferior a 5.5 mL/L. Esto revelaría una circulación de tipo estuarina con ingreso de agua, en los estratos profundos, de preponderancia oceánica (más salinas). En la capa superficial se registraría agua preponderantemente estuarina. (**Figura 28**).

Canal Alanta y canal Simpson (Figura 29a) El flujo residual U en el transecto T1 de canal Simpson (**Figura 29b**) evidencio un sentido principalmente oeste entre el vértice A y los 2000 m y flujos leves de entrada y salida cerca del vértice B. el flujo residual V en el transecto T2 de canal Alanta (**Figura 29c**) identifico un sentido norte en la mayor parte del transecto con intensidades de hasta 10cm/s y leves flujos al sur en la parte más profunda.

Los flujos residuales de T1 y T2, mostraron relación con la salinidad ya que ambos presentaron una salinidad menor a 32 psu. Sin embargo, es importante señalar que la topografía tiene un rol primordial, ya que en la transecta T2 bajo los 100m se observó una marcada salinidad mayor a 32.5 psu, lo que podría indicar un ingreso de agua más oceánica, aunque con intensidad leve. (**Figura 30**).

Islas Valverde, Garrao y Jechica (Figura 31a) El transecto T1 (**Figura 31b**) presentó un residual U que se dirigió principalmente hacia el este pero con flujos al oeste asociados a la parte más profunda del transecto. El transecto T2 (**Figura 31c**) presento flujos que en su mayoría van en dirección norte. El transecto T3 (**Figura 31d**) identifico flujos al sur en la capa superior y hacia el norte en la capa inferior. Las intensidades en estos 3 transectos no superaron los 5cm/s.

Los flujos superficiales, de T1 T2 y T3, estuvieron asociados a salinidades menores a 32 psu, temperatura menor a  $9.5^{\circ}\text{C}$  y oxígeno mayor a 8 mL/L. mientras que los flujos de las diferentes transectas localizados debajo de los 80m presentaron una salinidad mayor de 32.1 psu, temperatura  $\approx 10^{\circ}\text{C}$  y oxígeno disuelto menor de 5 mL/L. (**Figura 32**).

Los campos hidrográficos y el patrón de circulación estarían mostrando que existe una circulación tipo estuarina con una capa superficial de menor salinidad, desplazándose en dirección este, que al llegar a isla Garrao se bifurca por canal Pérez Norte hacia el sur y la otra rama hacia el norte. De manera opuesta la circulación más profunda, ingresa por canal Pérez Norte y al llegar a isla Jechica se bifurca hacia el canal formado por isla Valverde e isla Rojas, mientras que la segunda bifurcación se desplaza hacia el sur por el canal Pérez Norte.

## b) ADCP Anclado

Canal Baeza Las series de corrientes horarias descompuesta en las componentes ortogonales U (este) y V (norte) para las capas entre 5 y 50 m en canal Baeza (**Figura 33**) mostraron una mayor amplitud y variabilidad en la componente U dentro de todas las capas, con intensidades que superaron los 100 cm/s. También se observó una importante influencia mareal. Las elipses de máxima varianza (**Figura 34**) mostraron una oscilación de la corriente en sentido noreste-suroeste,



atribuible a la configuración de la costa. Los perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente (**Figura 35a**) presentaron un promedio que fluctuó entre 40 y 60 cm/s, mientras que los máximos detectados fueron cercanos a los 160 cm/s entre los 10 y 40 metros de profundidad. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales (**Figura 35b**) mostraron una preferencia de la componente V en ir hacia el norte y de la componente U en ir hacia el oeste hasta aproximadamente los 45 metros para luego variar su dirección hacia el sur y hacia el este respectivamente. Las intensidades observadas en este caso fueron menores a 10 cm/s. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 36**) evidenció una mayor densidad espectral en la componente U (**Figura 36a**), lo cual concuerda con la configuración del canal. Las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) fueron las más dominantes en todas las profundidades, seguidas de las cuarti-diurna (M4) y la diurna (K1); en general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron una energía similar en todas las capas del registro, sin embargo se distingue una pequeña disminución de la energía a medida que aumenta la profundidad. En el flujo residual de la corriente (**Figura 37**) se observó una mayor variabilidad en la componente U (**Figura 37a**) mientras que V mostro un predominio hacia el norte (**Figura 37b**). El análisis armónico de la corriente reveló una influencia mareal que vario entre 87% a 5 metros, y 94% a los 30 metros para luego bajar a 92% en las capas de 40 y 50 m.

Canal Pérez Norte Las series de corrientes horarias descompuesta en las componentes ortogonales U (este) y V (norte) para las capas entre 5 y 60 m en canal Pérez norte (**Figura 38**) presentaron magnitudes que no superaron los 50 cm/s en todas las capas. Se identificaron máximos de magnitud cercanos al 15 de julio y 14 de agosto, correspondientes a mareas de sicigia. La capa superficial de 5 m identificó mayores perturbaciones, atribuidas probablemente a la acción del viento. Las elipses de máxima varianza (**Figura 39**) identificaron una oscilación en sentido noroeste-sureste dentro de todas las capas, con una disminución de la intensidad a medida que aumentó la profundidad. Los perfiles de magnitud promedio y máximo (**Figura 40a**) mostraron promedios en un rango entre 10 y 20 cm/s, mientras que los máximos fluctuaron entre 40 y 60 cm/s, mostrando mayores intensidades en las capas ubicadas sobre los 30 m. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales (**Figura 40b**) evidenciaron una circulación que se dirige hacia el norte y este hasta los 40 m para luego variar al sur y este hasta los 60 m, a mayor profundidad se observó una corriente en dirección sur y oeste. Las intensidades en ambas componentes no superaron los 5 cm/s. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 41**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de la cuarti-diurna (M4) fueron las más dominantes en todas las profundidades; en general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron energías similares, sin embargo las capas más profundas muestran un ligero aumento de energía en las frecuencias de mayor densidad (M2 y M4). La superficie de color de las componentes residuales U y V (**Figura 42**) identificó un predominio en ir hacia el este (**Figura 42a**) y hacia el norte (**Figura 42b**) a lo largo del registro de datos. El análisis armónico reveló una influencia mareal que estuvo entre 49% en la capa superficial, hasta 78% a los 40 m, para luego bajar a 73% a los 60m.



Punta Garrao Las corrientes horarias descompuestas en U y V (**Figura 43**) mostraron corrientes más intensas en las capas superiores (5 -10 m), sin embargo dentro del total de la columna de agua las intensidades no superaron los 50 cm/s. Las elipses de máxima varianza (**Figura 44**) mostraron una corriente con un sentido preferente noroeste-sureste, coincidente con el eje del canal Pérez Norte, y una disminución de la intensidad a medida que aumenta la profundidad. Los perfiles verticales del promedio y del máximo de la magnitud (**Figura 45a**) mostraron máximos (línea roja) en las capas superiores con valores cercanos a 50 cm/s, por debajo de estas capas las intensidades disminuyen hasta ~30 cm/s. El perfil promedio de la magnitud (línea negra) evidencio el mismo comportamiento con valores por sobre los 10 cm/s en las capas superiores pero disminuyendo (<10 cm/s) a partir de los 15 m de profundidad. Los perfiles verticales promedio de las componentes ortogonales (**Figura 45b**) mostraron una corriente en dirección principalmente hacia el norte y el oeste hasta los 45 m de profundidad para luego cambiar a sur y este. En ambos casos las intensidades fueron inferiores a 5 cm/s. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 46**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de la cuarti-diurna (M4) fueron las más dominantes en todas las profundidades; en general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron energías similares que aumentaron ligeramente con la profundidad, sin embargo la capa de 10 m no sigue el patrón establecido, presentando una energía más cercana a las capa de mayor profundidad. El flujo residual de las componentes ortogonales (**Figura 47**) evidenció un predominio de la corriente en ir hacia el norte, mostrando solo algunos cambios en el sentido entre los días 15-18 julio y 12-15 de agosto aproximadamente. Las intensidades observadas no superaron los 10 cm/s y donde las mayores intensidades se asociaron a la superficie. El análisis armónico de la corriente reveló una influencia de la marea que vario desde 48% en las capas superiores hasta 61% en los 50 metros.

Islas Betecoi y Leucayec Como se describió con anterioridad este registro solo cuenta con 20 días aproximados de medición, entre agosto y septiembre.

Las corrientes horarias descompuestas en U y V (**Figura 48**) identificaron una alta intensidad con valores, en ciertos periodos, cercanos a los 150 cm/s, destacando una importante influencia de la marea dentro de todas las capas. Las elipses de máxima varianza (**Figura 49**) presentaron una corriente con un sentido casi oeste-este, en las primeras capas (5-20 m) y que después vario a noroeste-sureste. Los perfiles verticales del promedio y del máximo de la magnitud (**Figura 50a**) mostraron máximos (línea roja) en las capas superiores con valores cercanos a ~170 cm/s, por debajo de estas capas las intensidades disminuyeron hasta ~150 cm/s. El perfil promedio de la magnitud (línea negra) evidenció el mismo comportamiento con valores por sobre los 60 cm/s en la capa superior, pero disminuyendo (50 cm/s) a partir de los 10 m de profundidad. Los perfiles verticales promedio de las componentes ortogonales (**Figura 50b**) mostraron una corriente en dirección principalmente noroeste, variando al noreste a partir de los 40 m. La componente U sobrepasó los 10 cm/s en las capas superiores. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 51**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de la cuarti-diurna (M4) fueron las más dominantes en todas las profundidades, con una mayor densidad espectral en la componente U; en general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron mayor energía a profundidades menores. El flujo residual de las componentes ortogonales (**Figura**



52) evidenció una mayor variabilidad en la componente U, destacando un flujo de 2 capas, una capa superior en dirección oeste y una inferior hacia el este. La componente norte evidenció una corriente más estable hacia el norte.

Isla Verdugo La **Figura 53** muestra las series de corrientes horarias U (este) y V (norte) en isla Verdugo entre las capas de 5 a 40 metros. En ella se observó una mayor variabilidad en la componente V con máximos que en ocasiones sobrepasaron los 50 cm/s a mayor profundidad. Las elipses de máxima varianza (**Figura 54**) evidenciaron una corriente que oscila principalmente en sentido norte-sur. Los perfiles verticales de la magnitud (**Figura 55**) evidenciaron máximos que estuvieron entre 60 y 110 cm/s, donde la capa de 40 m presentó la mayor magnitud dentro de la columna de agua. El perfil promedio bordeó los 20 cm/s. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 56**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de la cuarti-diurna (M4) fueron las más dominantes en todas las profundidades, con una mayor densidad espectral en la componente V; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron mayor energía a profundidades mayores. El flujo residual de las componentes ortogonales (**Figura 57**) evidenció una mayor intensidad en la componente V (norte) la cual se dirigió principalmente hacia el norte. El análisis armónico reveló una influencia mareal que varío desde 32% a los 5 metros hasta 70% a los 40 metros de profundidad.

### c) Hidrografía

Los rangos de los diferentes parámetros hidrográficos, salinidad temperatura, oxígeno disuelto se encuentran detallados en la **Tabla VII**.

La distribución vertical de la hidrografía (**Figura 58**) evidenció una columna de agua con una tendencia a la homogeneidad. La salinidad presenta los menores valores en superficie aumentando con la profundidad, aunque sin registrar haloclina (gradiente medio de 0.003 psu/m). La temperatura se caracterizó por presentar menores valores en superficie, aumentando paulatinamente con la profundidad para alcanzar sus máximos en los estratos más profundos. Tampoco se registró una marcada termoclina, gradiente térmico medio 0.003°C/m (inversión térmica). El oxígeno disuelto se mantuvo bastante homogéneo a través de toda la columna de agua con valores centrados entre 7 y 8 mL/L, lo que indica una columna de agua bien oxigenada. La densidad expresada como unidades de sigma t, presenta una patrón concordante con la salinidad (menores valores en superficie aumentando la densidad con la profundidad, tampoco se registró picnoclina).

La distribución horizontal de la hidrografía tienden a replicar una patrón similar, exhibiendo la formación de 2 ejes norte-sur y este oeste, el primero evidencia un ingreso de agua de mayor salinidad a través del canal Pérez Norte, este ingreso se hace más marcado a partir del estrato de 50 m. El ingreso de agua con mayores valores de salinidad (**Figura 59**) estuvo relacionado con temperaturas más elevadas (**Figura 60**) y mayores concentraciones de oxígeno disuelto (**Figura 61**). De la misma forma el eje este-oeste, exhibió un ingreso de salinidad da características oceánicas



desde el canal Simpson y Alanta con mayores temperaturas y mayores valores de oxígeno disuelto marcados en los estratos debajo de los 50 m. En contraste los canales con una ubicación interior mostraron valores de salinidad menores, menor temperatura y menor concentración de oxígeno, haciéndose más marcados en los estratos superficiales (sobre 30 m).

## Mediciones Archipiélago de las Guaitecas campaña de primavera 2014

### a) ADCP Remolcado

Antes de realizar la descripción de los flujos residuales es importante definir los periodos (Cuadratura-Sicigia-intermedia) en el que se efectuaron los transectos. En periodo de cuadratura los canales estudiados fueron canal Pihuel y canal Pérez norte-isla Valverde. En periodo de sicigia los canales estudiados fueron: canales Baeza-Pérez Norte; canales Chaffers-Simpson y canales Alanta-Simpson. Por ultimo en fase intermedia coincidió con el transecto efectuado entre las islas Clotilde-Betecoi-Leucayec.

Canal Baeza y Pérez norte (Figura 62a) El flujo residual V de la transecta T1 correspondiente a canal Pérez Norte (Figura 62b) presentó flujos hacia el sur en la mayoría de la transecta, pero con algunos flujos hacia el norte asociados al fondo. Se observaron algunos máximos de 10 cm/s. El flujo residual U del canal Baeza (T2) (Figura 62c) evidenció una dominancia hacia el este de baja intensidad.

Los flujos de las transectas T1 y T2, estuvieron asociados a menores salinidades (<32 psu) mayor temperatura (>10.5°C) y concentración de oxígeno disuelto (>6 mL/L). La batimetría tiene una marcada importancia ya que tanto en la transecta T1 como T2, bajo los 100 m se observó una mayor salinidad, asociada posiblemente a un flujo de agua de características más oceánicas (>32 psu), en dirección opuesta. (Figura 63).

Islas Clotilde, Betecoi y Leucayec (Figura 64a) En el flujo residual U de la transecta T1 (Figura 64b) se observó una configuración en capas. La primera capa presentó una profundidad variada y una dirección oeste. Mientras que la segunda capa, asociada al fondo, se dirigió principalmente hacia el este, observándose valores típicos de 10 cm/s. El flujo residual V de la transecta T2 (Figura 64c) presentó una circulación dominante en sentido sur con intensidades máximas de ~15 cm/s. También se observó una delgada capa, asociada al fondo, en sentido norte.

El flujo superficial de T1, estuvo asociado a una salinidad inferior a 32.3 psu con temperaturas entre 11 y 10.5°C y con una concentración de oxígeno entre 8 y 5 mL/L (capa superficial bien oxigenada). En cambio el flujo más profundo, bajo los 40 m, exteriorizó una salinidad mayor a 32.4 psu, con menor temperatura (<10.5°C) y una concentración de oxígeno disuelto < 5 mL/L.

La transecta T2 presentó condiciones más homogéneas salinidad ≈32.3 psu temperatura 10.5 y oxígeno 5.5 mL/L. (Figura 65).



Canal Pihuel (Figura 66a) En general el flujo residual del canal Pihuel (Figura 66b) presentó una capa de profundidad variable en dirección este, por debajo de esta capa aparecen flujos hacia el oeste; y asociada al fondo aparece una capa en sentido este. Las intensidades observadas fueron mayores en la primera capa (~15 cm/s).

Los campos hidrográficos mostraron que la capa superficial estuvo constituida por salinidad menor a 32.3 psu, oxígeno mayor a 5.5 mL/L y temperatura elevada >10.5°C. Estos patrones indicarían una circulación estuarina, con flujos superficiales con mayor influencia de agua dulce (Figura 67).

Canal Pérez Norte e isla Valverde (Figura 68a) El flujo residual U en el transecto T1 (Figura 68b) distinguió una configuración en capas. Una primera capa superficial en dirección este, una capa intermedia en sentido oeste y una tercera capa hacia el este. Las intensidades fueron cercanas a 5 cm/s. El canal Pérez Norte (Figura 68c) evidenció una circulación de 2 capas, una capa superficial que se extendió hasta los 40m con una dirección sur e intensidades menores a 10 cm/s, y una segunda capa en sentido norte e intensidades menores a 5 cm/s.

La capa superficial en las transectas T1 y T2, estuvo caracterizada por una salinidad inferior a 31.8 psu, oxígeno mayor a 5.5 mL/L y temperatura mayor a 10.6 °C. Es importante destacar, que la salinidad evidencia que, en la transecta T2, esta capa fue más profunda y más estratificada, exhibiendo una salinidad menor en superficie. La capa más profunda sobre todo de T2 exhibió una salinidad mayor a 32 psu, oxígeno menor a 5 mL/L y temperatura menor a 10.5°C, asociado al flujo norte (Figura 69).

Canal Chaffers y canal Simpson (Figura 70a) El canal Chaffers presentó un flujo residual (Figura 70b) de 2 capas; la primera capa, se extendió hasta los ~20 m de profundidad con un sentido sur; la segunda capa, que domino toda la columna de agua, se dirigió hacia el norte. En esta última se identificaron algunas intensidades de 20 cm/s.

El canal Simpson (Figura 70c) presento un residual U que en su mayoría se dirigió hacia el este, las mayores intensidades se observaron en la parte más somera, cerca del vértice B. También se observó un flujo a mayor profundidad hacia el oeste.

La capa superficial del canal Chaffers, estuvo asociada a una salinidad menor a 32 psu, temperatura cercana a 11°C y oxígeno ≈6 mL/L. La segunda capa presentó una salinidad mayor a 32.2 psu, oxígeno menor a 5.5 mL/L y temperatura menor a 10.5°C, en cambio el canal Simpson mostró una columna con tendencia homogénea, donde destacan, en su parte más profunda, salinidades de 32.4 psu (Figura 71).

Canal Alanta y canal Simpson (Figura 72a) El flujo residual de canal Simpson (Figura 72b) evidenció en su mayoría una dirección este con intensidades de hasta 15 cm/s, también se identificaron algunos flujos al oeste ligados al fondo. El canal Alanta (Figura 72c) alcanzó a percibir una delgada capa superficial en sentido norte; por debajo de esta capa y hasta ~60 m se observaron flujos en dirección sur; una tercera capa, bajo los 60 m expuso un flujo en dirección norte. Las intensidades observadas son cercanas a 10 cm/s.



Los campos hidrográficos no lograron identificar una patrón asociado al flujo de una capa predominante, con dirección norte, solo la transecta de 24 horas mostró una columna de agua más homogénea, que pudiese ser asociada a un flujo unidireccional. En contraste el canal Alanta la columna de agua estratificada, permitió identificar y/o asociar los flujos con cierto rango de salinidad, T° y oxígeno disuelto. El flujo con direcciones sur se caracterizó por una salinidad mayor a 32.2 psu, T  $\approx$  10.7°C y oxígeno disuelto menor a 5.5 mL/L, en contraste el flujo más profundo, con dirección norte exhibió una salinidad en torno a 32.4 psu temperatura menos a 10.5°C y oxígeno disuelto menor a 5 mL/L (**Figura 73**).

### b) ADCP Anclado

Canal Pérez Norte Las series de corrientes horarias descompuestas en las componentes ortogonales U (este) y V (norte) para las capas entre 5 y 60 m en canal Pérez Norte (**Figura 74**), presentaron magnitudes que no superaron los 50 cm/s en todas las capas. Las elipses de máxima varianza (**Figura 75**) identificaron una oscilación en sentido noroeste-sureste dentro de todas las capas, con una disminución de la intensidad a medida que aumentó la profundidad. Los perfiles de magnitud promedio y máximo (**Figura 76a**) mostraron promedios en un rango entre 10 y 20 cm/s, mientras que el máximo se observó en superficie (~50 cm/s) para después disminuir a valores cercanos a 40 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales (**Figura 76b**) evidenciaron una circulación que se dirige hacia el norte y este hasta los 25 m para luego variar al sur y este hasta los 60 m, a mayor profundidad se observó una corriente en dirección al sur y oeste. Las intensidades en ambas componentes no superaron los 5 cm/s. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 77**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de la cuarti-diurna (M4) fueron las más dominantes en todas las profundidades, mostrando un ligero aumento de la energía en la componente U; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron energías similares. La superficie de color de las componentes residuales U y V (**Figura 78**) mostraron una dirección de la corriente hacia el norte, dentro de las capas superiores y hasta los 20 m, con intensidades de ~15 cm/s, mientras que a mayor profundidad aparecieron flujos en sentido sur de menor intensidad. El análisis armónico reveló una influencia mareal entre 69% y 78%, en las capas entre 5 y 40 metros, para luego disminuir a 62% en la capa de 60 m.

Punta Garrao Las series de corrientes horarias descompuestas en las componentes ortogonales U (este) y V (norte) para las capas entre 5 y 50 m (**Figura 79**) presentaron intensidades menores a 30 cm/s, con una disminución a mayor profundidad. Las elipses de máxima varianza (**Figura 80**) mostraron una corriente que oscila en sentido noroeste-sureste en todas las capas. Los perfiles verticales del promedio y el máximo de la magnitud de la corriente (**Figura 81a**) presentaron un promedio que bordeó los 10 cm/s, con máximos que en superficie se acercaron a 50 cm/s y disminuyeron en profundidad hasta 30 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales (**Figura 81b**) mostraron un sentido norte y oeste por sobre los 30 m, mientras que por debajo se observó un sentido sur y este. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 82**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de la cuarti-diurna (M4) y la



diurna (K1), fueron las más dominantes en todas las profundidades. En general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron energías similares que disminuyeron ligeramente con la profundidad, hallándose las mayores energías a los 10 m de profundidad y las menores entre los 40 y 50 m. En la superficie de color de las componentes ortogonales (**Figura 83**) se identificó con una capa superficial en sentido sur. Bajo esta capa se identifican flujos en sentido norte, hasta los 30 m, con una disminución en la intensidad a medida que aumenta la profundidad. Por debajo de los 30 metros se observó un cambio en la dirección mostrando un sentido sur. El análisis armónico reveló una influencia mareal de 63% a los 5 m, 65% a 10 m, 61% a 20 m, 44% a 30 m, 63% a 40 m y 54% a 50 m.

Islas Betecoi y Leucayec Las componentes ortogonales U y V (**Figura 84**) mostraron una corriente superficial con valores por sobre los 100 cm/s y una mayor variabilidad en la componente U, hasta los 20 m. Por debajo de esta profundidad la intensidad disminuye y la componente V se asemeja a la U. Las elipses de máxima varianza (**Figura 85**) pasan de un sentido casi oeste-este a noroeste-sureste. Los perfiles verticales de la magnitud del promedio y el máximo, (**Figura 86a**) mostraron un promedio que bordeó los 60 cm/s y máximos cercanos a 160 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales (**Figura 86b**) mostraron una componente U en sentido oeste hasta los 35 m, para luego variar a una dirección este; en tanto la componente V evidenció un sentido principalmente norte. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 87**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de la cuarti-diurna (M4) y la diurna (K1), fueron las más dominantes en todas las profundidades. En general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron niveles energías similares, mostrando un aumento de ésta con la profundidad para la componente V y en las capas superficiales para la componente U. El flujo residual de las componentes ortogonales (**Figura 88**) evidenció una circulación que preferentemente fue en sentido norte y oeste. El análisis armónico reveló una influencia de la marea que varió entre 95 y 97%.

Isla Verdugo En las componentes ortogonales U y V de isla Verdugo (**Figura 89**) se identificó una mayor perturbación en la capa superficial de 5 m, también se observaron intensidades que no superaron los 30 cm/s en toda la columna de agua. Las elipses de máxima varianza (**Figura 90**) mostraron una oscilación de la corriente principalmente noroeste-sureste. Los perfiles verticales de la magnitud promedio y el máximo (**Figura 91a**) presentaron un promedio cercano a 10 cm/s dentro de toda la columna, mientras que los máximos observados estuvieron entre los 40 y 50 cm/s, con máximos en las capas superiores. Los perfiles promedio de las componentes verticales (**Figura 91b**) presentaron la componente V en sentido norte y la componente U hacia el oeste, ambas mantuvieron esa dirección dentro de todas las capas y una intensidad que no superó los 5 cm/s. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 92**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) fueron las más dominantes en todas las profundidades, con una mayor densidad espectral en la componente U, para la cual las frecuencias de las corrientes presentaron mayor energía en las profundidades de 10 y 40 m. Las componentes residuales (**Figura 93**)



evidencian una mayor cantidad de flujos en sentido norte. El análisis armónico reveló una influencia mareal que estuvo entre 14 y 27%.

### c) Hidrografía

Los rangos de los diferentes parámetros hidrográficos, salinidad temperatura, oxígeno disuelto se encuentra en la **Tabla VIII**.

La distribución vertical en la hidrografía (**Figura 94**) durante la campaña de primavera, reveló una columna de agua con cierto grado de estratificación, una capa superior localizada entre superficie y 30 m, donde se concentró la variabilidad del sistema, debajo de los 50 m la columna de agua tiende a conformar una estructura más homogénea. La salinidad exhibió sus máximos valores en superficie, entre 0 y 30 metros, experimentando un aumento aunque con un gradiente medio de 0.01 psu/m, debajo de los 50 m la salinidad continua aumentando con la profundidad, aunque de manera paulatina. La temperatura exhibió un patrón característico del periodo estival, mayores registros térmicos en superficie, con una disminución abrupta hasta los 30 m, denotada por una marcada termoclina (gradiente medio  $-0.01$  °C/m). Debajo de los 50 m, la temperatura comienza a estabilizarse, presentando una columna de agua homogénea. La concentración de oxígeno disuelto presentó sus máximos valores en la capa superficial, disminuyendo de manera considerablemente hasta los 30 m, exhibiendo un marcado gradiente vertical de  $-0.02$  mL/Lm, debajo de los 50 m la concentración de oxígeno se estabiliza  $\approx 5$  mL/L. La densidad expresada como unidades de sigma-t, exhibió un comportamiento similar a la salinidad, máximos valores en superficie, con un aumento en la profundidad.

La distribución horizontal exhibió marcados gradientes en la hidrografía, conformando un eje norte-sur a través del canal Pérez Norte y un gradiente aún más marcado en el eje oeste-este, conformado por los canales Simpson y Alanta. De esta manera se observan elevados valores de salinidad (**Figura 95**) en la entrada del canal Pérez Norte y del canal Simpson. A medida que los ejes se desplazan hacia el interior, la salinidad denota una marcada disminución, que se hace evidente en los estratos menores de 50 m. Este patrón tuvo una estrecha relación con la temperatura (**Figura 96**) y con el oxígeno disuelto (**Figura 97**). De esta manera los mayores valores de salinidad coincidieron con menores valores de temperatura y oxígeno disuelto, los cuales también denotan gradientes en sentido norte-sur este-oeste.

## Mediciones Puyuguapi-Jacaf ACHS campaña de verano 2015

### a) ADCP Remolcado

Antes de realizar la descripción de los flujos residuales es importante definir los periodos (Cuadratura-Sicigia-intermedia) en el que se efectuaron los transectos. En época de sicigia coincidió con los transectos de canal Utarupa. En época intermedia los transectos estudiados fueron en los canales Moraleda y Darwin.



Canal Moraleda (Figura 98a) El flujo residual de la componente V en Moraleda (Figura 98b) sugiere un sistema de tres capas, una capa superficial de salida hacia el norte una capa intermedia en dirección sur y una capa profunda en dirección norte principalmente. La capa superficial no se alcanza a percibir en forma clara debido al alcance del equipo, donde se pierden al menos los 10 primeros metros superficiales y es atribuida al efecto del agua dulce. Algunos valores positivos hacia el norte se alcanzan a visualizar en los primeros metros superficiales. La capa intermedia es atribuida al efecto de la marea y presentó intensidades de hasta 30 cm/s y la tercera es atribuida al efecto resonante de la cuenca interactuando con el viento y la marea en el canal Moraleda.

Los campos de masa tendieron a evidenciar en las mediciones de CTD de la primera transecta (track 0H), el flujo norte donde se aprecia efectivamente que es agua menos salina y de menor densidad, denotada por la isopícnica de 24.5  $\sigma_t$  con temperaturas  $>11.5^\circ\text{C}$ , mientras que el flujo dirección sur se encuentra relacionada a aguas de mayor salinidad y densidad, propias de condiciones oceánicas  $>33$  psu y con temperaturas  $<11^\circ\text{C}$  (Figura 99).

Canal Darwin (Figura 100a) El flujo residual de la componente V en las transectas T1 y T2 del canal Darwin (Figura 100b y 100c) evidenció un sistema de 2 capas. Se observó una capa superficial en dirección al océano, atribuida al efecto de la descarga de agua dulce; mientras que la segunda capa fue de entrada al canal, atribuible al efecto de las corrientes de marea. Las intensidades máximas observadas fueron del orden de los 20 cm/s.

Los campos de masa promedio (transecta de ctd 0h, 12h y 24), indican que el flujo superficial efectivamente estuvo asociado a agua de menor salinidad y densidad, mientras que el flujo de ingreso asociado a agua oceánica con salinidades mayor a 32 psu y densidad mayor de 24.5  $\delta_t$  (Figura 101).

Canal Utarupa (Figura 102a) El flujo residual V del canal Utarupa (Figura 102b) evidenció desde el vértice A y hasta los ~3000 m una capa superficial (por sobre los 20 m) con sentido norte, por debajo de esta capa predominaron los flujos hacia el sur, mientras que en el resto de la transecta predominaron los flujos débiles ( $<5$  cm/s) de entrada y salida.

Los campos de salinidad y densidad promedio solo (transecta de ctd 0h, 12h), indican que el flujo superficial con dirección sur estuvieron asociados a aguas menos salinas ( $<32$  psu) y menos densas (aunque solo en la capa superficial), el flujo con dirección norte, estuvo principalmente asociado a aguas de mayor salinidad y densidad (Figura 103).

## b) ADCP Anclado

Canal Errazuriz Las componentes ortogonales U y V (Figura 104) identificaron una preferencia de la corriente en la dirección noreste y suroeste dentro de todas las capas. La capa superficial presentó una mayor variabilidad, atribuida probablemente al efecto del viento. Las elipses de máxima varianza (Figura 105) mostraron una oscilación de la corriente principalmente norte-sur dentro de todas las



capas, con una disminución de la intensidad en profundidad. Los perfiles verticales de la magnitud promedio y máximo (**Figura 106a**) mostraron máximos en superficie cercanos a ~70 cm/s, con una disminución en profundidad que llega a los 20 cm/s. El perfil promedio de la magnitud bordeó los 5 cm/s, mientras que el perfil vertical promedio de las componentes ortogonales U y V (**Figura 106b**) presentó una corriente en sentido suroeste hasta los 20 m para luego variar al noreste. La densidad espectral de la corriente (**Figura 107**) mostró una mayor energía en la componente norte (V), con máximos significativos en la frecuencia semi-diurna (M2) y cuarti-diurna (M4) y una mayor energía en la capa de 20 m. Las componentes residuales U (este) y V (norte) (**Figura 108**) muestran un predominio de los flujos hacia el norte con flujos al sur, asociados mayormente a las capas superiores.

Estero Pangal Las series horarias de las componentes ortogonales U y V (**Figura 109**) mostraron una influencia mareal sobre la corriente, e intensidades que no superaron los 30 cm/s. Las elipses de máxima varianza (**Figura 110**) manifestaron una dirección principalmente norte-sur. Los perfiles verticales de la magnitud promedio y máximo (**Figura 111a**) muestran máximos cercanos a 30 cm/s en la mayor parte de la columna, mientras que el promedio es cercano a 10 cm/s. Los perfiles verticales de las componentes ortogonales (**Figura 111b**) mostraron una componente V hacia el sur a lo largo de la vertical y una componente U más variable. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 112**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) fueron las más dominantes en todas las profundidades, evidenciando una mayor energía en la componente V; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron mayor energía a la profundidad de 30 m y menor en la de 50 m. Las componentes residuales de U y V (**Figura 113**) evidencian una circulación en sentido norte y este, destacando un flujo en dirección sur y este para el día 16 de marzo.

Canal Darwin Las series horarias de las componentes ortogonales U y V presentaron magnitudes que alcanzan los 150 cm/s hasta los 48 m, profundidad a partir de la cual la magnitud disminuye (**Figura 114**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 115**) mostraron una mayor oscilación en el eje noroeste-sureste para todas las capas, coincidiendo con el eje del canal en el sitio donde se instaló el equipo, por otro lado se observa la disminución de la magnitud a medida que aumenta la profundidad. Los perfiles de magnitud promedio (**Figura 116a**) muestran valores entre 20 y 50 cm/s; sin embargo el valor de magnitud máxima es de unos 180 cm/s y se encuentra a 15 m de profundidad. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 116b**) muestran dirección predominantemente norte para la componente V y oeste para la componente U. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 117**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) fueron las más dominantes en todas las profundidades, evidenciando un ligero aumento de energía en la componente U; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron una disminución de la energía con la profundidad. Las superficies de color de las componentes residuales U y V (**Figura 118**) muestran un patrón de corrientes de una sola capa, con dirección predominantemente norte para la componente V y oeste para la componente U.



Canal Utarupa Las series horarias de las componentes ortogonales U y V muestran la existencia de influencia mareal sobre la corriente, con magnitudes máximas de ~50 cm/s (**Figura 119**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 120**) mostraron una mayor oscilación en el eje noroeste-sureste, y una leve disminución de la intensidad a partir de los 20 m. El perfil de magnitud promedio (**Figura 121a**) muestra valores entre 17 y 21 cm/s a lo largo de la columna de agua; la magnitud máxima se da en superficie con valores de ~75 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 121b**) muestran dirección predominantemente norte para la componente V, que vira levemente a sur a partir de los 20 m; la componente U presenta dirección oeste. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 122**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de las quarti-diurnas (M4), las diurnas (K1) y las oscilaciones de 8 horas, fueron las más dominantes en todas las profundidades, evidenciando un ligero aumento de energía en la componente V; en general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron una mayor energía para las profundidades de 20 y 30 m. Las superficies de color de las componentes residuales U y V (**Figura 123**) presenta una corriente de dirección oeste para la componente U; la componente V muestra un patrón de dos capas, una superficial de dirección norte y otra más profunda de dirección sur.

Canal Pichirupa Las series horarias de las componentes ortogonales U y V muestran magnitudes máximas de ~40 cm/s en superficie, cuya intensidad disminuye con la profundidad (**Figura 124**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 125**) mostraron una mayor oscilación en el eje noroeste-sureste, a partir de los 40 m de profundidad se direccionan hacia el eje norte-sur. El perfil de magnitud promedio (**Figura 126a**) muestra valores entre ~8 y 12 cm/s permaneciendo prácticamente constante a lo largo de la columna de agua; la magnitud máxima se da a 7 m de profundidad, con valores en torno a 45 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 126b**) muestran dirección predominantemente este en las capas superficiales de la componente U, a partir de ~20 m de profundidad la dirección es oeste; la componente V presenta dirección sur en los 15 primeros metros, a partir de los cuales la dirección vira hacia el norte. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 127**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de las quarti-diurnas (M4) fueron las más dominantes en todas las profundidades; en general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron una mayor energía para las profundidades de 10 y 20 m, que disminuye a medida que la profundidad aumenta. La superficie de color de la componente residual U (**Figura 128a**) muestra un patrón de corrientes de dos capas con una capa superficial de dirección este y una más profunda de dirección oeste, que se interrumpe puntualmente por periodos cortos (7, 14, 17 de febrero) de una sola capa de dirección oeste. La componente residual de V presenta una distribución que alterna periodos de dos capas en los cuales la capa superficial es de dirección sur y la capa profunda norte, con periodos más cortos en los que la columna de agua se presenta como una única capa de dirección sur (**Figura 128b**).

Canal Puyuguapi – Valle del Marta Las series horarias de las componentes ortogonales U y V muestran magnitudes máximas de ~30 cm/s que disminuyen a medida que la profundidad aumenta (**Figura 129**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 130**) mostraron una mayor oscilación en el



eje noreste-suroeste, cercano al eje norte-sur y cuya intensidad disminuye con la profundidad. El perfil de magnitud promedio (**Figura 131a**) muestra valores entre ~5 y 10 cm/s; la magnitud máxima hallada en superficie es de unos 30 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 131b**) muestran dirección oeste para U y sur para V a lo largo de toda la columna de agua. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 132**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) fueron las más dominantes en todas las profundidades, observándose un ligero aumento de energía en la componente V; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron mayor y menor energía a los 20 y 10 metros respectivamente. Las superficies de color de las componentes residuales muestran un patrón de corrientes de dirección predominantemente oeste para U y sur para V (**Figura 133**).

Canal Puyuguapi – Punta Pearson Las series horarias de las componentes ortogonales U y V muestran magnitudes máximas de ~30 cm/s en superficie, cuya intensidad disminuye notablemente con la profundidad (**Figura 134**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 135**) mostraron una mayor oscilación en el eje noroeste-sureste. El perfil de magnitud promedio (**Figura 136a**) muestra valores entre ~4 y 8 cm/s permaneciendo prácticamente constante a lo largo de la columna de agua; la magnitud máxima se da en superficie, con valores en torno a 25 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 136b**) muestran dirección este para la componente U y sur para V. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 137**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) fueron las más dominantes en todas las profundidades; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron mayor energía a los 45 y 40 m, mientras que la menor energía se observó a 20 m de profundidad. Las componentes residuales (**Figura 138**) evidencian un predominio de la dirección este para la componente U, interrumpido eventualmente por periodos de dirección oeste (del 24 al 27 de febrero) y periodos de dos capas (del 27 de febrero al 7 de marzo) con una capa superficial de dirección este y una profunda de dirección oeste; la componente V presenta principalmente dirección sur.

### c) Hidrografía

Los rangos de los diferentes parámetros oceanográficos, junto a la estadística descriptiva se encuentran resumidos en la **Tabla IX**.

La distribución vertical de los parámetros hidrográficos (**Figura 139**), expuso una columna de agua estratificada, en las estaciones localizadas dentro del canal Puyuguapi y Jacaf. La primera capa superficial localizada entre superficie y 20m, registró la mayor variación, debajo de las 30m una segunda capa hasta los 200m experimentaron estrechos rangos de variación con la profundidad, con menores rangos de variación. En contraste las estaciones localizadas en ACHS, mostraron una columna de agua con tendencias uniformes.

En Puyuguapi y canal Jacaf, la salinidad registró las mínimas en superficie, próximos a la desembocadura del río Cisnes, aumentando de manera marcada con la profundidad (20m) alcanzando en esta capa su máximo gradiente (0.5 psu/m), marcada por la haloclina de 32 psu, debajo de los 30m la salinidad continua aumentando evidenciando una segunda capa de



conformación uniforme, alcanzando sus máximos valores (~34 psu) en las estaciones de mayor profundidad. En ACHS la salinidad se mantuvo con estrechos rangos de variación en valores entre 30-33.5 psu, destacando las mínimas superficial en la entrada de canal chivato y conexión con canal moraleda, con valores en torno a los 28psu.

La temperatura, en canal Puyuguapi como en ACHS, registraron su mayores valores en superficie, disminuyendo abruptamente con la profundidad, hasta los 20 con un marcado gradiente de (-0.3 °C/m), debajo de los 30m, la temperatura continua disminuyendo aunque de manera paulatina, mostrando una segunda capa de características más homogéneas, hasta alcanzar su mínimo valor.

El oxígeno disuelto mostró sus máximos valores en la capa superficial >9 mL/L, disminuyendo abruptamente hasta los 20m con valores en torno a los 3 mL/L, con una gradiente de -0.3 mL/L/m, debajo de los 30m la concentración de oxígeno continua disminuyendo hasta alcanzar mínimas sub-superficiales 100-150m ~1.5 mL/L, para el caso del canal Puyuguapi-Jacaf, mientras que en ACHS el oxígeno disminuye constantemente con la profundidad, pero sin registrar concentraciones menores a 2mL/L en las estaciones de mayor profundidad, lo que denota una columna de agua bien oxigenada sobre los 50m.

La densidad expresada en unidades de sigma-t, mostraron un esquema concordante y de similares condiciones que la salinidad.

La distribución horizontal de los diferentes parámetros analizados exhibió diferencias espaciales, las cuales fueron más marcadas en las capas superficiales (5 y 25m). demarcando 2 aéreas diferentes una correspondiente al canal Puyuguapi-Jacaf y otra al Archipiélago Chonos sur (ACHS).

La salinidad (**Figura 140**) en los estratos superficiales fue menor dentro del canal Puyuguapi y Jacaf, con una gradiente en sentido este- suroeste, en los estratos más profundos este patrón se invierte, dentro del canal Puyuguapi y Jacaf, se registra salinidad mayor, atribuida a remanentes de agua ecuatorial sub-superficial.

La temperatura (**Figura 141**) presentó un marcado gradiente en la capa de 5 metros en sentido este-oeste, con temperaturas más elevadas en canal Puyuguapi-Jacaf, debajo de los 25m, el patrón se invierte con menores temperaturas en canal Puyuguapi-Jacaf.

El oxígeno disuelto (**Figura 142**) reveló, en los estratos 25m, 50, 100m y 150m un gradiente en sentido este-oeste dentro del canal Puyuguapi y Jacaf, la concentración de oxígeno es menor que en ACHS.

## Mediciones Puyuguapi-Jacaf y ACHS campaña de otoño 2015

### a) ADCP Remolcado

Antes de realizar la descripción de los flujos residuales es importante definir los periodos (Cuadratura/Sicigia/intermedia) en el que se efectuaron los transectos. El estudio del canal Utarupa coincidió con el periodo de cuadratura, mientras que el estudio del canal Darwin se realizó en un periodo intermedio.



Canal Darwin (Figura 143a) Los flujos residuales de las transectas T1 y T2 efectuadas en canal Darwin (**Figura 143b y 143c**) identificaron una configuración similar, mostrando una capa de salida en dirección al océano con una profundidad de hasta ~80 m e intensidades cercanas a 15 cm/s. Por debajo de esta capa aparecen flujos de entrada en dirección este, con intensidades que llegan a los 20 cm/s.

Los campos de salinidad de todas las transectas (track 0h, 12h y 24h), evidenciaron que el flujo con dirección hacia el océano localizado sobre 80 estuvo caracterizado por agua de baja salinidad (<31 psu), mientras que el flujo de entrada con dirección este, presento rangos mayores a 31 psu (**Figura 144**).

Canal Utarupa (Figura 145a) El flujo residual en canal Utarupa (**Figura 145b**) identificó una configuración de 2 capas, mostrando flujos de salida, hacia el norte, en los primeros 20 metros, con intensidades cercanas a 15 cm/s y flujos al sur por debajo, dominando la mayor parte de la transecta, con una disminución en la intensidad.

Los campos de salinidad de todas las transectas (track 0h, 12h y 24h). Identificaron que el flujo de salida con dirección norte estuvo constituido por agua de características estuarinas (<28 psu).mientras que el flujo hacia el sur, exteriorizó aguas con características oceánicas, salinidad >32psu (**Figura 146**).

#### b) ADCP Anclado

Canal Errázuriz Las series horarias de las componentes este (U) y norte (V) (**Figura 147**) destacaron una influencia mareal sobre la corriente con intensidades que disminuyen a mayor profundidad. En general las intensidades bordearon los 20 cm/s, mientras que las perturbaciones observadas llegaron a los 50 cm/s en las capas entre 5 y 20 m. Las elipses de máxima varianza (**Figura 148**) presentaron una dirección preferente norte sur, alineada con el canal. Los perfiles verticales de la magnitud promedio y el máximo (**Figura 149a**) evidencian máximos en superficie cercanos a los 80 cm/s, con una clara disminución en profundidad, mientras que la magnitud promedio fue de 20 cm/s en superficie y de 10 cm/s cerca del fondo. Los perfiles verticales de las componentes ortogonales (**Figura 149b**), muestran hasta los 20 m una dirección oeste y sur para luego variar a norte y este. La densidad espectral de la corriente (**Figura 150**) mostró una mayor energía en la componente norte (V), con máximos significativos en la frecuencia semi-diurna (M2) y cuarti-diurna (M4) y una mayor energía en la capa de 20 m. Las componentes residuales (**Figura 151**) evidencian un predominio de la corriente residual hacia el norte, con algunos eventos hacia el sur. El análisis armónico reveló una influencia mareal de 24% a los 5 m, 23% a 10 m, 29% a 20 m, 49% a 30 m y 47% a 40 m.

Estero Pangal Las series horarias de las componentes ortogonales U y V (**Figura 152**) evidenciaron una corriente que no sobrepasa los 30 cm/s, y que presenta influencia de la marea. Las elipses de máxima varianza (**Figura 153**) evidenciaron una oscilación noroeste-sureste en forma variable, como se observó en la capa de 40 m, con una dirección que cambia a noreste suroeste. Los perfiles



verticales de la magnitud (**Figura 154a**) presentaron un promedio cercano a los 10 cm/s, mientras que el máximo estuvo entre 20 y 40 cm/s. Los perfiles verticales de las componentes ortogonales (**Figura 154b**) mostraron una componente U que varía de este a oeste en los 40 m y una componente V con dirección sur. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 155**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) fueron las más dominantes en todas las profundidades, evidenciando una mayor energía en la componente V; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron mayor energía a la profundidad de 30 m y menor en la de 50 m. Los residuales de U y V (**Figura 156**) evidencian una corriente principalmente este. El análisis armónico reveló una influencia mareal de 14% a los 5 m, 16% a 10 m, 21% a 20 m, 21% a 30 m, 18% a 40 m y 14% a 50 m.

Canal Darwin El análisis de datos muestra resultados de 8 a 80 metros de profundidad, debido a un desplazamiento del equipo por las intensas corrientes, tal y como se mencionó con anterioridad.

Las series horarias de las componentes ortogonales U y V muestran la existencia de influencia mareal sobre la corriente, con magnitudes de ~125 cm/s en los primeros 40 m, profundidad a partir de la cual la intensidad va disminuyendo (**Figura 157**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 158**) mostraron una mayor oscilación en el eje noroeste-sureste, que varía a norte – sur a partir de los 68 metros de profundidad, además se observa una disminución de la intensidad a medida que la profundidad aumenta. El perfil de magnitud promedio (**Figura 159a**) muestra valores entre 25 y 60 cm/s; el valor de máxima magnitud, registrado a 12 m de profundidad, es de ~250 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 159b**) muestran dirección predominantemente norte para la componente V y oeste para la componente U. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 160**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de las cuarti-diurnas (M4) y diurnas (K1) fueron las más dominantes en todas las profundidades; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron una disminución de la energía con la profundidad. Las superficies de color de las componentes residuales U y V (**Figura 161**) muestran un patrón de corrientes de una sola capa, con dirección predominantemente norte para la componente V y oeste para la componente U. El análisis armónico reveló una influencia mareal de 77% a los 8 m, 94% a 24 m, 93% a 40 m, 88% a 56 m, 79% a 68 m y 77% a 80 m.

Canal Utarupa Las series horarias de las componentes ortogonales U y V muestran la existencia de influencia mareal sobre la corriente, con magnitudes máximas de ~50 cm/s en superficie, cuya intensidad disminuye con la profundidad (**Figura 162**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 163**) mostraron una mayor oscilación en el eje noroeste-sureste, además de una leve disminución de la direccionalidad y de la intensidad con la profundidad. El perfil de magnitud promedio (**Figura 164a**) muestra valores entre 15 y 20 cm/s a lo largo de la columna de agua; la magnitud máxima se da en superficie con valores de ~70 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 164b**) muestran dirección predominantemente norte para la componente V, que vira levemente a sur a partir de los 20 m; la componente U presenta dirección oeste en los 30 primeros metros, a partir de los cuales vira levemente hacia el este. El análisis espectral de las



componentes ortogonales (**Figura 165**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de las quarti-durnas (M4), las diurnas (K1) y las oscilaciones de 8 horas, fueron las más dominantes en todas las profundidades, evidenciando un ligero aumento de energía en la componente V; en general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron una mayor energía para las profundidades de 20 y 30 m. Las superficies de color de las componentes residuales U y V (**Figura 166**) muestran un patrón de corrientes de dos capas; en la componente U se observa una capa superficial con dirección oeste, que puede penetrar hasta los 30 m, profundidad a partir de la cual la dirección cambia levemente hacia el este; en la componente V la capa superficial presenta dirección norte, cambiando levemente a sur a partir de los 20 m. El análisis armónico reveló una influencia mareal de 81% a los 4 m, 83% a 12 m, 84% a 20 m, 79% a 32 m, 79% a 40 m y 87% a 52 m.

Canal Pichirupa Las series horarias de las componentes ortogonales U y V muestran magnitudes máximas de ~40 cm/s en superficie, cuya intensidad disminuye con la profundidad (**Figura 167**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 168**) mostraron una mayor oscilación en el eje noroeste-sureste, más marcada en los primeros 10 m, a partir de los 20 m la dirección se acerca más al eje norte-sur. El perfil de magnitud promedio (**Figura 169a**) muestra valores entre ~8 y 12 cm/s permaneciendo prácticamente constante a lo largo de la columna de agua; la magnitud máxima se da a 7 m de profundidad, con valores en torno a 45 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 169b**) muestran dirección predominantemente este en las capas superficiales de la componente U, a partir de ~20 m de profundidad la dirección es oeste; la componente V presenta dirección sur en los 25 primeros metros, a partir de los cuales la dirección vira hacia el norte. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 170**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) seguidas de las quarti-durnas (M4) fueron las más dominantes en todas las profundidades; en general, en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron una mayor energía para las profundidades de 10 y 20 m, que disminuye a medida que la profundidad aumenta. La superficie de color de la componente residual U (**Figura 171a**) muestra un patrón de corrientes de dos capas; en el que se observa una capa superficial de dirección este que llega hasta los 20 m de profundidad, por debajo de ésta existe una capa más profunda de dirección oeste. La componente residual de V presenta una distribución que alterna periodos de dos capas en los cuales la capa superficial es de dirección sur y la capa profunda norte, con periodos más cortos en los que la columna de agua se presenta como única capa de dirección sur (**Figura 171b**). El análisis armónico reveló una influencia mareal de 66% a los 5m, 71% a 10 m, 61% a 20 m, 62% a 30 m, 71% a 40 m, 75% a 50 m y 78% a 60 m.

Canal Puyuguapi – Valle del Marta Las series horarias de las componentes ortogonales U y V muestran magnitudes máximas de ~30 cm/s que disminuyen a medida que la profundidad aumenta (**Figura 172**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 173**) mostraron una mayor oscilación en el eje noreste-suroeste, presentando menor direccionalidad a los 5 m. El perfil de magnitud promedio (**Figura 174a**) muestra valores entre ~5 y 10 cm/s; la magnitud máxima hallada en superficie es de unos 30 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 174b**)



muestran dirección oeste para U y sur para V a lo largo de toda la columna de agua. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 175**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) fueron las más dominantes en todas las profundidades, observándose un ligero aumento de energía en la componente V; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron mayor y menor energía a los 20 y 10 metros respectivamente. Las superficies de color de las componentes residuales U y V muestran un patrón de corrientes de dirección predominantemente oeste para U y sur para V (**Figura 176**). El análisis armónico reveló una influencia mareal de 15% a los 5m, 17% a 10 m, 35% a 20 m, 48% a 30 m, 48% a 40 m y 54% a 50 m.

Canal Puyuguapi – Punta Pearson Las series horarias de las componentes ortogonales U y V presentan magnitudes máximas de ~40 cm/s en superficie, cuya intensidad disminuye notablemente con la profundidad (**Figura 177**). Las elipses de máxima varianza (**Figura 178**) mostraron una mayor oscilación en el eje noroeste-sureste. El perfil de magnitud promedio (**Figura 179a**) muestran valores entre ~5 y 8 cm/s permaneciendo prácticamente constante a lo largo de la columna de agua; la magnitud máxima se da en superficie, con valores en torno a 37 cm/s. Los perfiles promedio de las componentes ortogonales de la corriente (**Figura 179b**) muestran dirección este para la componente U y sur para V. El análisis espectral de las componentes ortogonales (**Figura 180**) mostró que las oscilaciones con frecuencia semi-diurna (M2) fueron las más dominantes en todas las profundidades; en estas bandas de frecuencia las corrientes presentaron mayor energía a los 45 y 40 m, mientras que la menor energía se observó a 20 m de profundidad. Las componentes residuales (**Figura 181**) evidencian un predominio de la dirección este para la componente U, interrumpido eventualmente por periodos de dirección oeste; la componente V presenta principalmente dirección sur, con periodos puntuales de dirección norte. El análisis armónico reveló una influencia mareal de 12% a los 5m, 15% a 10 m, 21% a 20 m, 38% a 30 m, 43% a 40 m y 40% a 45 m.

### c) Hidrografía

Los rangos de los diferentes parámetros oceanográficos (**Figura 182**), junto a la estadística descriptiva se encuentran resumidos en la **Tabla X**.

La distribución vertical de la hidrografía, reveló una columna de agua estratificada para las estaciones dentro del canal Puyuguapi-Yacaf, mientras que para las estaciones de ACHS evidenciaron una columna de agua mayormente uniforme.

La salinidad exhibió los menores valores de todo el periodo de estudio, dentro del canal Puyuguapi-Jacaf, 9.8 psu, desde superficie hasta 40m la salinidad experimenta un abrupto aumento denostado por un gradiente de 0.3 psu/m, a partir de los 50m la salinidad continua aumentando de manera discreta, hasta alcanzar sus máximos registros en canal Jacaf a 170m. En ACHS, la salinidad muestra una columna de agua homogénea con valores, entre 28 y 32 psu, correspondiendo los menores valores en superficie en las estaciones próximas al canal Chivato y canal Moraleda-Errazuriz, el gradiente salino en la capa superficial del área ACHS, fue de 0.03 psu/m, lo que denota mayor homogeneidad en comparación a Puyuguapi.



La temperatura estuvo identificada por exhibir mínimas superficiales, denotando inversión térmica, para el caso de canal Puyuguapi-Jacaf, se registraron máximas sub-superficiales entre 100-150m. La columna de agua en las estaciones de ACHS se presentó homotermia (10-11.5°C).

El oxígeno disuelto en ACHS se mostro bien oxigenado con una columna de agua uniforme y valores entre 4.5 - 6 mL/L. en las estaciones dentro del canal Puyuguapi-Jacaf, el oxígeno exhibe sus máximos valores en superficie, disminuyendo constantemente con la profundidad hasta alcanzar sus valores mínimos ~2 mL/L alcanzados bajos los 160m.

La densidad replica el mismo patrón de la salinidad

La distribución horizontal en la hidrografía reveló un marcado gradiente en sentido este (canal Puyuguapi-Jacaf) – suroeste (archipiélago Chonos sur).

La salinidad en los estratos de 5-25m es marcadamente menor es las estaciones de canal Puyuguapi-Jacaf, dónde la influencia del agua dulce es notoria en estrato de 5m, las capas de 50 y 100, también exhiben un gradiente opuesto con dirección suroeste-este, registrando las mayores salinidades en el canal Puyuguapi-Jacaf y los menores valores en ACHS, esquema asociado a distintos tipos de aguas (**Figura 183**).

La temperatura registro el mismo gradiente en dirección este-suroeste, donde la temperatura en canal Puyuguapi-Jacaf fue menor en contraste con la temperatura de ACHS (**Figura 184**).

El oxígeno disuelto, evidenció agua bien oxigenadas, denotadas en los estratos de 5, 25 y 50m, donde se observa un gradiente suroeste-este en las dispuestas en ACHS exhibiendo mayores valores de oxígeno, que el canal Puyuguapi-Jacaf, gradiente más marcado en estrato de 100m, con bajas concentraciones en canal Puyuguapi (**Figura 185**).

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

- El reducido número de expertos que pudiesen abordar el tema
- Solo recién en marzo se pudo establecer contacto con 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 reas consideradas en este estudio, solo fueron concretadas en junio.

Considerando todos los antecedentes anteriormente señalados se optó 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 (**Figura 186**), focalizándose para la evaluación del modelo con mediciones en 4 puntos: Quito, Cuzco Chile central y Patagonia Chilena, dados los alcances de este estudio, se ha centrado solo en la Patagonia Chilena, que son los aportes de agua dulce de interés para la este estudio

El modelo utilizado para generar las simulaciones, que finalmente entregaran las fuentes de agua dulce que ingresan al sistema estuarino de fiordos en Aysén, corresponde a SnowModel que es una



agregación de seis sub-modelos, que acoplan información generada mediante, procesos propios (**Figura 187**).

- 1.-Micromet: modelo físico de alta resolución meteorológica
- 2.-Enbal: 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 simulando la congelación del agua de deshielo (fusión), considerando la permeabilidad de bajas temperaturas.
- 5.-HydroFlow: es un modelo de enrutamiento que mediante una malla lineal incorpora los depósitos de escorrentía.
- 6.-SnowAssim: 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 (**Figura 188, Figura 189 y Figura 190**):

Variación en la temperatura del aire

Agua equivalente en precipitación (sólida y líquida)

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). Lo cual finalmente se traducirá en un aporte (cuantificación de cuanto agua dulce ingresará al sistema de fiordos, en las diferentes cuencas, de acuerdo a la escala delimita.

**5.2 Objetivo 2.2.2.** *Efectuar re-análisis de todos los resultados establecidos hasta la fecha para el área de estudio, focalizando el trabajo de reanálisis en aquellas zonas o sectores en los cuales se ha establecido un bajo ajuste entre las mediciones de terreno así como también en aquellos de importancia que cuenten con baja cobertura o resolución.*

Los resultados de este objetivo están contenidos en **Anexo II**.



**5.3 Objetivo 2.2.3.** *Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de patógenos o elementos de origen antrópico entre los diferentes centros de cultivo.*

Los resultados de este objetivo están contenidos en **Anexo IV**.

**5.4 Objetivo 2.2.4.** *Implementar tres modelos de alta resolución en la región de Aysén proporcionando información de alta resolución que permita identificar patrones de dispersión de partículas desde un centro de cultivo.*

Los resultados de este objetivo están contenidos en **Anexo V** y **Anexo VI**.

**5.5 Objetivo 2.2.5.** *Efectuar transferencia tecnológica a la Subsecretaría de pesca referente al desarrollo del proyecto y a las metodologías y técnicas implementadas. Desarrollar a lo menos 1 seminario de discusión de los resultados generados por el proyecto en el área de estudio.*

### **Transferencia de tecnología**

En el mes de abril de 2015, investigadores IFOP expertos modelación realizaron una síntesis en modelación numérica con MIKE3, a representante de SUBPESCA. 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 que fue explicada en detalle correspondió al 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.

Se le indica por parte de IFOP a SUBPESCA la forma de ingresar al sistema de modelación a través de un acceso remoto para pueda realizar experimentos o presentaciones en el mismo sistema de



cómputo. Al mismo tiempo se diseñó un experimento de dispersión de partículas que pudiese familiarizarse con el sistema.

### **Seminario resultados del proyecto.**

En el desarrollo del seminario se presentaron los mayores alcances sobre los resultados del proyecto, donde destaca, la separación espacial de las zonas medidas en áreas claramente definidas, junto a la implicancia sobre las concentraciones de oxígeno disuelto, en la columna de agua, desde el punto de vista de la actividad acuícola.

También se presentaron los resultados de los modelos, Se explica cuáles fueron las metodologías realizadas y las limitaciones en cada caso: donde destaca la escasa batimetría de las zonas modeladas y como esto influye en zonas relevantes, especialmente por la presencia de constricciones batimétricas y de las irregularidades de la topografía submarina. Se explicó la importancia de forzantes (viento y agua dulce), particularmente la importancia del agua dulce se explicó cómo se está abordando este tema, mediante asesoría y aplicación de un modelo atmosférico/topográfico. Para el caso del viento también se señaló como se están utilizando modelos de viento y convenios con la dirección meteorológica de Chile, para mejorar los patrones de viento local. Se habló de algunos resultados sobresalientes sobre los modelos desarrollados en canal Puyuguapi-Jacaf, donde los modelos tiende a replicar de manera adecuada los campos de salinidad, exhibiendo apropiadamente la estratificación y la capa de agua estuarina.

Se dio especial énfasis sobre el desarrollo de la modelación como un trabajo a mediano y largo plazo, que debe ser abordado con el apoyo y/o convenio con instituciones externas, lo cual significará una retro-alimentación y permitirá disminuir esfuerzos para el mejoramiento de los modelos, quedando establecido como la modelación puede ser una herramienta adecuada en el apoyo por parte del estado en la toma de decisiones enfocados en un correcto manejo de la gestión territorial, enfocados en la actividad acuícola.

Representante universidad de Concepción/universidad Valparaíso, presenta diferentes casos de estudio de fiordos chilenos, destacando Fiordo Reloncaví, Fiordo Aysén, Puyuguapi. Dentro de los aspectos más relevantes de la hidrodinámica señala al campo de masas respecto a la hidrodinámica, siendo el primer determinante en dicha circulación, señalando la importancia de que los modelos repliquen correctamente los campos de masa (salinidad), situación que fue ampliamente manifestada en los resultados, por parte de IFOP, del modelo de Canal Jacaf-Puyuguapi.

Representante del SHOA, realizó una presentación sobre un trabajo efectuado para determinar la extensión de la capa de agua dulce, desde el estero Elefante hasta la boca del Guafo, con esto se comprende la importancia del agua dulce en la circulación estuarina y la extensión de esta capa.



Durante la mesa de discusión, se señala a representante de SUBPESCA que SUBPESCA debe ser un articulador clave entre IFOP y otras entidades gubernamentales para la cooperación estratégica inter institucionales.

Como finalidad especial de dar difusión a los proyectos ejecutados en oceanografía por parte de IFOP es que se invitó a representante del SHOA-CENDHOC. Esto permitió también dar a conocer al SHOA la aplicación de la información de la información generada el programas CIMAR, con esto quedó establecido un acuerdo para que el SHOA comience a entregar información relevante, quedando una invitación para exponer resultados de oceanografía y modelación a miembros del CONA, señalando por parte de la representante del SHOA que es primera vez que se visualiza un producto (resultados de modelos), con información de cruceros CIMAR. Representante de la universidad señala la importancia y rol de la academia en el trabajo de investigación, para resolver muchas de las incógnitas en la hidrodinámica que aun se encuentran sujetas a estudio, y como resolver estas incógnitas, permitirá mejor también el desarrollo de la modelación en los complejos sistemas de fiordo y canales australes.



## 6. DISCUSIÓN

---

### ADCP Anclado

Los resultados del análisis espectral de las componentes ortogonales de la corriente en las dos áreas de estudio, mostraron en general una mayor energía en las componentes semi-diurnas (M2) y cuarti-diurnas (M4), similar a lo encontrado por Castillo & Valenzuela (2006). Lo anterior indica el carácter mixto de la corriente de marea con dominio en la frecuencia semi-diurna. Los resultados del análisis armónico revelaron una alta influencia mareal sobre la corriente en los distintos puntos de muestreo. En este caso los anclajes del sector de isla Betecoi, canal Baeza y canal Darwin fueron los que mostraron más altos porcentajes de marea, y las mayores intensidades de la corriente (cerca de 100 cm/s); mientras que los menores porcentajes mareales se registraron en isla Vergugo, y en el área de canal Puyuguapi (Valle del Marta, Punta Pearson) y canal Moraleda (Estero Pangal). Los perfiles verticales de las componentes ortogonales evidenciaron en la mayoría de los casos un cambio en la dirección de la corriente a mayor profundidad. Solo en los registros efectuados en isla Verdugo, canal Darwin y canal Puyuguapi no se observó esta configuración. En general las corrientes se expusieron alineadas con el eje del canal, tal como se observó en las elipses de máxima varianza, con la excepción de Punta Pearson en canal Puyuguapi, donde la corriente puede verse influenciada por la salida de agua del seno Magdalena hacia el canal de estudio, presentando una alineación noroeste-sureste, es decir hacia la costa este del canal principal.

### ADCP Remolcado

Los resultados de correntometría a través de ADCP remolcado destacaron una circulación residual que varió en los diferentes periodos de estudio en el área del archipiélago de las Guaitecas. Si bien este cambio en la circulación podría ligarse a cambios estacionales, forzantes atmosféricos y oceanográficos, entre otros, también podría atribuirse este efecto al cambio del instrumental empleado, ya que en la primera campaña se empleó un ADCP Teledyne RD Instruments, utilizado a nivel mundial en numerosos estudios y cuyos datos han sido validados en varias ocasiones por lo que ofrecen una elevada fiabilidad, mientras que en el resto de las campañas se utilizó un ADCP marca Linkquest, éste último no ha sido muy utilizado por el mercado nacional e internacional y por ende resulta difícil cuestionar su desempeño, así como la fiabilidad de los datos obtenidos.

La configuración del flujo en la época de invierno en Guaitecas presentó para el canal Pérez Norte, un flujo superficial preferentemente norte y un flujo inferior en dirección sur. En canal Baeza, se puede suponer que parte del flujo que ingresa, proviene del canal Moraleda, atravesaría el canal Simpson y Alanta en dirección oeste y norte respectivamente. Cabe mencionar que la topografía irregular en canal Simpson podría estar influyendo en la configuración del flujo. El canal Chaffers (flujo de 3 capas), por su parte, presentó una capa superficial de salida (hacia el norte), al igual que



Simpson y Alanta, y una capa intermedia al sur, la que podría coincidir con el flujo que ingresa por Simpson, suponiendo una entrada desde el océano por el fondo. Los canales laterales al canal Moraleda como fueron el canal Pihuel y Piure presentaron configuraciones diferentes. Canal Piure presentó una cizalla lateral, atribuible a la batimetría del sector, Valle-Levinson (2013) describe que las configuraciones batimétricas con forma de V suelen presentar una configuración del flujo que varía en forma lateral. El canal Pihuel evidenció flujos de entrada superficiales (al oeste) y de salida en la capa profunda. Mientras que la transecta ubicada en el sector más cercano al Moraleda (entre isla Garrao e isla Job) mostró una capa superficial en sentido norte y una capa profunda al sur, concordante con el comportamiento del canal Moraleda que descarga agua dulce en forma superficial y recibe agua proveniente desde la boca del Guafo en aguas profundas. Por último la transecta ubicada entre las islas Clotilde, Leucayec y Betecoi hace suponer que la influencia de aguas que ingresarían a través del canal Tuamapu hacia el norte y aguas que bajan por el fondo hacia el sur. En primavera la circulación evidenció un cambio en la dirección del flujo. El canal Pérez Norte, presentó sentido sur en la primera capa y sentido norte en la capa inferior. Los canales Baeza y Simpson muestran un sentido preferentemente este y con leves flujos al oeste en la capa asociada al fondo, mientras que el canal Alanta presentó sentido sur en la capa superior y sentido norte en la capa inferior. Canal Pihuel evidenció flujos de salida dominantes y flujos de entrada en una capa intermedia. Entre las islas Betecoi y Leucayec se identificó un flujo dominante hacia el sur, mientras que entre las islas Betecoi y Clotilde se identificó una capa superior que entra y una inferior que baja hacia el sur.

En el área de archipiélago Chonos Sur, la circulación residual para ambos periodos estacionales, muestra en el canal Darwin una capa superficial de salida al océano y una capa sub-superficial de flujos de entrada. Así mismo, en el canal Utarupa se observa una capa de salida superficial con sentido norte y por debajo de ésta una capa de entrada de sentido sur. Esta misma estructura se repite en el canal Moraleda, donde a grandes rasgos, se define una conformación de tres capas, una capa superficial de salida con sentido norte, una sub-superficial con sentido sur y una tercera capa de flujo compensatorio cercana al fondo más profunda en sentido norte, resultado posiblemente del efecto resonante del viento.

Se propone un esquema general de circulación estuarina con flujos superficiales de salida de agua al océano asociados al aporte de aguas fluviales que se mezclan con agua salada a través de los canales transversales (orientación relativa este-oeste) como también en el eje longitudinal (norte-sur), mientras que el agua de conformaciones más oceánicas estaría ingresando en los canales por la capa sub-superficial. De esta forma, el agua menos salina ingresaría por superficie desde el canal Moraleda a los canales orientales y la boca del Guafo, a través de los cuales llegaría al océano; mientras que el agua oceánica ingresaría al sistema por la capa sub-superficial de estos mismos canales. El cambio en la dinámica del flujo en el archipiélago de las Guaitecas, podría ser atribuido en parte a que el sector de estudio está conformado por un conjunto de islas que se encuentran en conexión directa con el canal Moraleda (al este), la boca del Guafo (al norte) y el océano Pacífico (al



oeste), generando una dinámica compleja de la corriente que modificaría la configuración general descrita.

Las características termo-halinas en primavera, en el archipiélago de las Guaitecas, junto a las mediciones de los flujos residuales, estarían señalando condiciones oceanográficas diferentes entre invierno y primavera. Ya que si bien, los rangos en la hidrografía solo evidenciaron un tipo de agua ASAAM con condiciones termo-halinas homogéneas, esta exhibe agua de menor salinidad en superficie, fluyendo en un sentido, mientras que agua de mayor salinidad fluiría en dirección opuesta. Las mediciones efectuadas en Archipiélago de las Guaitecas, estarían corroborando lo anteriormente planteado debido a que en la columna de agua pueden visualizarse agua de características oceánicas junto a agua de características estuarinas, patrón que también fue replicado en los canales de Archipiélago Chonos Sur patrón que ha sido descrito y esquematizado por Sievers y Silva (2006).

Estudios desarrollados dentro de algunos canales de la región de Aysén revelan una fuerte influencia mareal sobre la circulación, llegando a ser en algunos casos más importante que aquellos derivados del aporte de agua dulce desde el interior de fiordos y glaciares (Salinas y Hormazábal, 1996).

Los resultados obtenidos a través de los campos de hidrografía, dentro de los canales con conexión oceánica, archipiélago las Guaitecas como archipiélago de Chonos Sur, estarían reforzando el planteamiento de los flujos en capas, indicando flujos superficiales de salida menos salinos (<32psu), con mayor temperatura (9-10°C) y más oxigenado (>5.5mL/L), a través de los canales transversales. A su vez se observó un flujo con ingreso de agua de características oceánicas por los mismos canales, esta agua oceánica sería de mayor salinidad (>32psu), menor temperatura (9.5°C) y menor concentración de oxígeno (<7,5°C). Particularmente existiría un flujo superficial de entrada en otoño (dirección sur y este respectivamente). Sin embargo, el patrón inverso en primavera de circulación, no ha podido ser explicado de manera satisfactoria, sospechando que esto obedezca a condiciones locales como acción del viento, presión atmosférica o configuración costera. En relación a esto Salinas y Hormazábal (2004) señalan que la característica de la masa de agua que ingresa a los canales, sumado a las conformación batimétricas, e.g constricciones y profundidades menores a 150m. Sumado a esto el modelo de circulación propuesto por Silva *et al.*, (1998) señala que en los canales de conexión oceánica, el agua ingresaría a estos, bajo la capa superficial, debido a la diferencia de densidad, generando el sistema de circulación estuarino positivo (hecho que fue observado en los flujos residuales de la mayoría de los canales estudiados). Esto en parte, también estaría explicando los estrechos rangos de variación y/o la ausencia de haloclina en otoño, debido que los canales no poseen una conexión profunda, por lo que no ingresaría agua mayor a 33psu. Al respecto estudios realizados por Guzmán y Silva (2002), Castillo *et al.*, (2006), han efectuado mediciones en zonas geográficas aledañas a las realizadas en el presente estudio, en los resultados de estos autores, se han registrados mediciones hidrográficas en la columna de agua, donde se ha



observado estratificación débil, pero con ausencia de termoclina y haloclina, reafirmando los resultados encontrados en otoño.

Durante el periodo de estudio mediante los campos de masa se observaron 3 zonas claramente diferenciadas (**Figura 191**), la primera área comprende a las estaciones del archipiélago las Guaitecas, las cuales consideran al canal Simpson, Pérez Norte y Chaffers. El área 2 correspondió al Archipiélago Chonos Sur (ACHS), donde se incluye canal Carrera del Chivato, Darwin y Errazuriz, la tercera área correspondió a las estaciones que conformaron el canal Puyuguapi y Jacaf. Estas diferenciaciones estuvieron determinadas principalmente por la salinidad (**Figura 192**), siendo los principales forzantes en su distribución, los cuales son corroborados por el grado del parámetro de mezcla de cada área en particular (**Figura 193**).

Área 1 de la Guaitecas, una estructura termohalina homogénea, tanto en periodo estival como invernal, siendo una de los principales forzantes la corriente de marea encargada de realizar fuerte mezcla en la columna de agua, ya que el parámetro de mezcla (**Figura 10**) indicó lo menores valores, de las 3 áreas ( $>0.1$ ) para periodo invernal y estival, esta área estuvo constituida por una solo tipo de agua representan por ASAAM agua sub-antártica modificada), propias de estas zonas de canales interiores con conexión oceánica, tal como ha sido señalado por Guzmán y Silva 2002. La diferencia térmica observada en diferentes periodos estacionales, básicamente en la capa superficial, se debe al forzante de radiación.

Área 2 correspondiente al ACHS, estuvo caracterizada por una columna de agua con tendencias homogéneas debajo de los 15m, sin embargo en la capa superficial ( $<10m$ ) se reconoció influencia de agua estuarina (AE) de connotación salina que fue más marcada en periodo invernal lo que denota una influencia de agua dulce proveniente posiblemente del fiordo Aysén y/o estero Elefante, el parámetro de mezcla denota diferencias estacionales exhibiendo una columna de agua con cierta tendencia hacia la estratificación en periodo invernal, tal como se señaló anteriormente por efecto del agua dulce en la capa superficial, también es importante señalar que el tipo de agua predominante en las estación que conformaron esta zona corresponde a ASAAM. La columna de agua para ambos periodos exhibió, aguas bien oxigenadas.

Área 3 estuvo constituida por las estaciones que conformaron el Canal Puyuguapi y canal Jacaf, esta fue el área que presentó las mayores particularidades. Tanto en periodo de invierno como de verano la columna se evidenció estructura vertical termohalina de 2 capas: la primera correspondiente a agua estuarina  $<15$  psu, condición controlada por los aportes de agua dulce más elevados en invierno denotados por la profundización de la isohalina de 32 psu, (20m en verano; 50m en otoño respectivamente). La segunda capa localizada debajo de la isohalina de 32 psu donde se muestra una columna de agua con mayor salinidad, bajo esta profundidad la salinidad continua aumentando de manera paulatina, hasta observa sus registros máximos próximo a los 200m en verano y 175m en otoño. Uno de los aspectos más relevantes del sistema Puyuguapi-Jacaf, desde el punto de vista de la salinidad (**Figura 194**), es la presencia de 4 tipos de agua diferentes agua estuarina, en sus diferentes grados de mezcla (10-31 psu), agua sub-antártica



modificada ASAAM (31-32 psu); agua sub-antártica (32 -33 psu) y agua ecuatorial sub-superficial AESS (~34 psu), si bien la presencia de este último cuerpo de agua solo fue detectado en verano, se deba posiblemente a la profundidad de las mediciones en invierno. Sin embargo, Schnaider *et al.*, 2014 señala que no hay presencia de AESS, tanto es sus estudios como en análisis de cruceros CIMAR anteriores, no obstante Silva y Vargas, (2014), indican en sus resultados presencia de AESS, en fiordo Ventisquero y canal Puyuguapi. En periodo estival se registró presencia de termoclina (0.05 C/m), mientras que en invierno se registró una inversión térmica con menores valores en superficie, destacando los máximos sub-superficiales localizados entre 100-150m. El oxígeno disuelto en otoño presentó en superficie sus mayores valores, disminuyendo constantemente con la profundidad para alcanzar sus mínimos próximo a los 180m. En verano el oxígeno se observó estratificado, en la capa superficial.

### **Implicancias para la acuicultura (Figura 195)**

El oxígeno disuelto evidenció básicamente patrones similares en el área 1 y área 2 columna de aguas bien oxigenadas, destacando los elevados valores en la capa superficial, siendo más marcado en primavera, en contraste en periodo invernal se exhibió una columna de agua más homogénea, destacando que en ninguna de las estaciones de estas áreas se observó niveles de hipoxia. En el sistema de Puyuguapi-Jacaf (área 3) la concentración de oxígeno evidenció 2 estratos diferentes, uno superficial con altos valores y un estrato profundo con concentración menor ambas capas se encontraron separadas, por una disminución sostenida y significativa, que en algunas estaciones fue denotada por una oxiclina (periodo estival) diferenciada en magnitud e intensidad para cada caso en particular. Tal como señala Silva & Vargas 2014, la mayoría de los fiordos y canales de la Patagonia Chilena posee, condiciones oxicas, es decir concentraciones de oxígeno disuelto > 2 mL/L, situación que se estaría replicando en los resultados obtenidos en este estudio, donde el área 1 y área 2, fue observado durante invierno y verano una columna de agua bien oxigenada, sin embargo particularmente en canal Puyuguapi-Jacaf se observaron condiciones de hipoxia en la capa intermedia (100-150) metros, situación también señalada por los autores para estos canales.

Los diferentes esquemas observados en la distribución 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, siendo el caso del canal Puyuguapi una zona que podría considerarse con cierta fragilidad, aunque es importante señalar que estos niveles de hipoxia solo fueron registrados en los estratos de mayor profundidad, donde no se desarrolla actividad acuícola. Y tal como señala Schanieder *et al.*, 2014, se requiere de un constante monitoreo, ya estos eventos de hipoxia, como el registrado en Puyuguapi solo fue detectado en periodo de verano. Además Schanieder *et al.*, *op cit.* Indica que estas bajas de oxígeno se deben al efecto de procesos biogeoquímicos, sumado baja ventilación por efecto de la batimetría.



## Aportes de agua dulce

Dado que los aportes de agua dulce mantienen el balance de masas en sistemas estuarinos y de fiordos, como es la zona austral de Chile, y también juega un rol importante en la estabilidad de la columna de agua por gradientes de densidad. Ha significado un aspecto complejo de abordar en el desarrollo de la modelación hidrodinámica. Si bien la DGA (Dirección General de Aguas) proporciona datos en tiempo real de estaciones de aforo, éstas son muy escasas, enfocando solo a ríos de gran caudal, La DGA también cuenta con una base de datos histórica de caudales, pero son datos limitados para las principales cuencas y no para todos los ríos, que si bien individualmente no son muy caudalosos, en conjunto su aporte puede ser tanto o mayor que el de los principales ríos anteriormente descritos. A esto se suman los aportes glaciares pues su descarga al medio marino no puede ser medida directamente como un río. Además los glaciares se comportan de manera distinta a los ríos en la escala intra-anual. Debido a esto es que la determinación de las fuentes y cuantificación de agua dulce por parte de ríos y glaciares se transformó en una incógnita, que dada la enorme extensión de la línea costera de la zona austral de Chile sería en extremo complejo y muy costoso de resolver mediante mediciones, se optó como una buena aproximación, implementar un modelo numérico atmosférico-topográfico de aplicación tanto en ríos como glaciares para la zona de estudio, en este escenario SnowModel ofrece una buena manera de generar información sobre fuentes de agua dulce en el sistema estuarino de la zona sur Austral, además Snowmodel, ha sido satisfactoriamente testado y probado con mediciones de campo en , Alaska, Ártico de Canadá, Groenlandia Noruega y Japón (Hiemstra *et al.*, 2002, Mernild *et al.*, 2008), también es importante señalar que, dentro de este estudio estaba contemplado generar información sobre la cantidad y fuentes de agua dulce en función de utilizarlo para las modelaciones de este estudio, sin embargo toda la complejidad del tema significó, que para esta primera etapa, se identificó como abordar la problemática del agua dulce para el desarrollo de la modelación hidrodinámica, no obstante dada la extensión que este trabajo requiere y que el asesor solo viene por periodos acotados a Chile, la información estará disponible en octubre para ser utilizada en los modelos hidrodinámicos ejecutados por IFOP, desde octubre en adelante, sin embargo, considerando que los proyectos de modelación tienen un continuo trabajo y desarrollo en el tiempo y aplicación con de mediano y largo plazo, es adecuado utilizar la información que entregara consultor.

## Modelo regional Chiloé-Aysén

### NIVEL MEDIO DEL MAR

La evaluación del nivel del mar por parte del modelo regional Chiloé-Aysén en todos los puntos de muestreo (que se extienden de Norte a Sur por todo el dominio regional) es bastante buena como se aprecia en las series de tiempo de las **Figuras 20-29 – Anexo III** y así se refleja en los estadísticos cuyos errores van desde el 4.2% de NRMSE en el canal de Chacao a los 5.93% de NRMSE en el canal Costa. Para el análisis estadístico se emplearon las series de tiempo del modelo que corresponden a la corrida **08**, por ser esta la que mejores resultados deparó tras la fase calibración



(que tuvo en cuenta no sólo la evaluación del nivel del mar, sino correntometría euleriana también). Posteriores análisis de la densidad espectral de las frecuencias de la señal en 2 estaciones, Melinka (**Figura 67 – Anexo III**) y canal Costa (**Figura 68 – Anexo III**) muestran que la oscilación de la superficie libre del mar está controlada por la frecuencia semi-diurna principalmente, seguida de la diurna y que en las altas frecuencias (<4horas) el modelo tiende a sobreestimar la energía y que ésta no se disipa con el ingreso de la marea a las zonas más interiores (canal Costa).

## CORRENTOMETRÍA EULERIANA

En general el modelo representa bien el comportamiento de las componentes principales del total del flujo de la corriente en cada canal (**Figuras 30- 48 – Anexo III**), lo cual fue cuantificado y así lo constatan los índices estadísticos con errores entorno al 10% y correlaciones del 90% en el canal Goñi, errores del 20% y correlaciones entorno al 70% en el canal Pérez Sur, correlaciones alrededor del 85% en el canal King, NRMSE de 10% y correlación cercana al 90% en superficie del canal Rowlett y errores por debajo del 25% y correlaciones superiores al 80% en el canal Ninualac. Esta capacidad del modelo de replicar la correntometría euleriana es consecuencia del carácter mareal de la zona de estudio (Salinas y Hormazábal, 1996) y que se refleja en la periodicidad de la señal de las corrientes. Las **Figuras 69 y 70 – Anexo III** muestran cómo la componente semi-diurna de 12 horas de periodo de la marea rige en mayor medida la frecuencia del flujo.

Un aspecto importante de la calibración del modelo es el hecho de que el fuerte régimen mareal y la disipación de esta energía controlan la hidrodinámica. Hasta 15 corridas o simulaciones con distintos parámetros se llevaron a cabo; los resultados de las corrientes residuales apenas se ven alterados por la modificación de estos parámetros y en algunos casos los cambios cuando los hubo no significaron mejoras (orden de la solución técnica y parametrizaciones de la viscosidad de eddy). La falta de eventos extremos hizo más difícil la calibración del modelo en las diferentes simulaciones, pues son estos eventos los que resaltan en mayor o menor medida la idoneidad de los forzantes del modelo y cómo éste los asimila. El criterio de selección de un nuevo componente o modificación de algún parámetro se hizo teniendo en cuenta las habilidades y falencias del modelo allí donde se hicieran notorios tales cambios. Por ejemplo la parametrización Log-law de la viscosidad de Eddy en la vertical no supone ni mejora ni empeoramiento de los resultados en ninguna estación de muestreo salvo en Rowlett en superficie (**Figura 44 – Anexo III**), lo que ya sirvió como argumento para excluir tal modificación en siguientes simulaciones. Así mismo el viento finalmente el forzante del viento empleado, ERA-interim, se mostró más adecuado que NCEP/NCAR según la comparación establecida entre ambos en el canal Pérez Sur (**Figuras 36-39 – Anexo III**). En un principio no se detectaron anomalías con el forzante de la presión atmosférica reducida a nivel del mar del modelo global ERA-interim, pero el análisis de la correntometría en el canal Goñi (tal vez el mejor representado por el modelo) puso de manifiesto que la utilización de una presión neutra mejoró ostensiblemente los resultados y el sentido de las corrientes residuales (**Figuras 32-33 – Anexo III**) además de no perjudicar la evaluación de los resultados en otras estaciones.



Las evaluaciones de la correntometría con ADCP remolcado han sido las que peores resultados han deparado (**Figuras 49-58 – Anexo III**). Al contrario que con los ADCP fondeados en los que examinamos las capas más superficiales, en las mediciones de bottom track el registro es dado por la profundidad o el alcance máximo del equipo. Las mediciones fueron efectuadas con un ADCP de 150 kHz con un alcance máximo (bajo estándares de calidad) de 300 metros. Por ello a la hora de construir un modelo tridimensional como Mike3D es muy importante definir correctamente el campo de densidades y en especial cómo se distribuye espacialmente la salinidad, que en este tipo de ambiente controla la densidad (Pickard, 1971). Sin un adecuado campo de densidad, o el tiempo necesario para que éste se forme a partir de un arranque en frío de las condiciones iniciales de temperatura y salinidad, aquellas circulaciones dependientes de cómo la densidad se estructure en profundidad (baroclínicas) bien no tendrán lugar u ocurrirán de forma imprecisa mientras el sistema evoluciona hacia su punto de equilibrio.

Durante la campaña oceanográfica “Chonos Centro Otoño 2014” se midieron perfiles de temperatura y salinidad con equipo CTD (conductivity, temperature, depth). Se hicieron cast de CTD en los vértices y el centro de los transectos de ADCP remolcado. **Las Figuras 71, 72 y 73 – Anexo III** muestran los perfiles correspondientes a los transectos en los canales Pérez Sur, King y Bynon respectivamente. En Pérez Sur y King las condiciones iniciales de salinidad del modelo distan de asemejarse a la observación, pues además de estar fuera de rango los perfiles muestran una clina suave pero constante en los primeros 80 metros en King y hasta el fondo en Pérez Sur, cuando en la observación la mezcla es total de superficie hasta el fondo (Salinas y Hormazábal, 2004). Sin embargo a medida que transcurre la simulación los perfiles del modelo se van acercando más a la observación, especialmente en el canal King, tanto en rango como en la ruptura de esa leve estratificación. Por ello el bottom track del canal King es el más cercano a la observación de entre todos los evaluados. En el canal Bynon las condiciones iniciales del modelo sí representan situación de mezcla, pero se casi 2 PSU más salinas que la medición con CTD.

Se trata de un sistema donde, al menos en el periodo de evaluación del modelo, la predominante influencia mareal consigue romper la estratificación típica de la zona de fiordos y se produce mezcla en la columna de agua. Una mayor mezcla significa que los gradientes de densidad en la columna de agua y a través de los canales son menores que aquellos observados en sistemas más típicamente estuarinos con importantes flujos de boyantez en superficie, como en los fiordos. Por tanto las estructuras de varias capas derivadas de estos tenues gradientes de densidad (debidas a gradientes de salinidad principalmente) son más difícilmente reproducibles por parte del modelo que estructuras donde está claramente definidas capas de distinta densidad separadas por una marcada pycnoclina. Los flujos multicapa, como son los que se miden con las mediciones de ADCP fondeado, tienen lugar a su vez en estas mismas capas que sirven de interfaz entre ellos, de manera que una insuficiente definición del campo de masas repercute a su vez en una ineficaz representación de los flujos multicapa en profundidad.



Por tanto se demanda de una mejor aproximación al campo de masas inicial para modelos de escala regional, pues en la escala local se ha logrado con éxito (como en el modelo de alta resolución de Puyuhuapi)

## CORRENTOMETRÍA LAGRANGIANA

Aunque las evaluaciones del modelo consiguen replicar los principales patrones de los derivadores de terreno, como dirección principal, posición final relativa respecto del origen y excursión mareal, una mejora en el campo de masas inicial que defina adecuadamente la típica estructura de capas estuarina (Cáceres *et al.*, 2002) junto con una mejora en la resolución de los forzantes atmosféricos que resuelva las singularidades que generan la topografía de canales y fiordos debiera mejorar estos resultados y los de subsiguientes modelos.

### Modelos de escenarios ambientales y dispersión de partículas

El alcance de las partículas desde centros de cultivo y entre los barrios está determinado por distintos factores. Por un lado está la variabilidad en el ciclo mareal; para una misma época del año (Invierno o Verano) y en condiciones de sicigia, la mayor excursión mareal provoca que la dispersión de las partículas sea mayor respecto de los escenarios de cuadratura. Esto lo podemos observar en el último horizonte de las dispersiones (72 horas después del inicio de la dispersión) entre las **Figuras 21 y 26 – Anexo IV** para el periodo invernal, las **Figuras 31 y 36 – Anexo IV** para el periodo estival y las **Figuras 41 y 46 – Anexo IV**. En Invierno por ejemplo es evidente la mayor dispersión que alcanzan las partículas de los barrios 35, 19a, 24, 29 y 21d, entre otros, en sicigia (**Figura 26 – Anexo IV**) que en cuadratura (**Figura 21 – Anexo IV**). En verano también es notoria la diferencia en rango de alcance de los barrios 19a, 20, 21c y 22a en sicigia (**Figura 36 – Anexo IV**) respecto a la cuadratura (**Figura 31 – Anexo IV**). En general los barrios que establecen una mayor dispersión se encuentran en la zona insular dominada por las mareas por sobre los que se localizan en la zona de fiordos. Independientemente del escenario ambiental barrios como los enclavados en la zona del estero Elefantes (25a, 25b y 26a) apenas experimentan variación en el alcance y conectividad de las partículas.

Por otro lado están las diferencias que surgen a partir de la variabilidad estacional (Invierno – Verano) debido principalmente a la dirección del viento y a la intensidad de éste, del NW de 11.4 m/s en Invierno, del Oeste y 9.6 m/s en Verano y de 20 m/s y del Oeste en escenario de tormenta de Invierno, y a la orientación de los canales en los que se ubican los centros de cultivo dispersores de partículas. En aquellos centros de canales o fiordos de orientación hacia el Oeste el rango de expansión de sus partículas ha sido menor en invierno debido al mayor coeficiente de arrastre del viento, pues las partículas fueron liberadas cercanas a la superficie (5 metros de profundidad). Comparando escenarios de cuadratura, donde el rol de la marea es menos relevante y sí lo es más el viento, vemos que en los barrios 19a, 22a, 23a y 31b entre otros, el alcance de las partículas hacia el Oeste en Invierno (**Figura 21 – Anexo IV**) es visiblemente menor que en Verano (**Figura 31**



– **Anexo IV**). A su vez estos mismos barrios establecen más conectividades más hacia el Este en Invierno que en verano por la misma causa de la mayor intensidad del viento en dicho periodo. Esto último es especialmente patente en los escenarios de tormenta de invierno, donde los fuertes vientos sostenidos de 20 m/s del Oeste establecen nuevas y más lejanas conectividades hacia barrios de la zona interior de canales en el Este (**Figuras 41 y 46 – Anexo IV**). Incluso en el escenario de tormenta cuadratura (**Figura 41 – Anexo IV**) el alcance de la dispersión y el número de conectividades entre barrios desde cada barrio emisor hacia el Este es notablemente mayor que en el escenario de Invierno sicigia (**Figura 26 – Anexo IV**). De esto último se extrae que el empuje que ejerce el viento en eventos de extrema intensidad en las capas superficiales es más determinante en el establecimiento de nuevas conectividades en la misma dirección del viento que el debido a la excursión mareal, aún en sus máximos de amplitud mareal en sicigias, lo cual cumple con lo esperado debido a la influencia de ambos forzantes sobre la hidrodinámica. Si bien en situaciones de viento de intensidad moderada la excursión mareal puede transportar partículas sobre un mayor área, el flujo residual generado por el empuje de arrastre del viento, especialmente en superficie, transporta las partículas en la misma dirección del viento, tanto más lejos que la excursión mareal cuanto más ciclos mareales hayan transcurrido desde el inicio de la dispersión. Por el contrario, la mera acción de la marea al cabo de un ciclo mareal (12.5 horas en este caso) apenas habría realizado algún transporte neto más allá del alcance de la excursión mareal o flujos residuales derivados de la interacción del flujo mareal con la topografía y batimetría local.

Por último está el factor que desempeña la ubicación de los centros de cultivo desde donde se dispersan las partículas respecto de los bordes que su barrio comparte con otros barrios vecinos, según los centros de cultivo se encuentren más cerca de los bordes o al interior de un extenso barrio (**Figuras 14 y 15 – Anexo IV**). En el mismo sentido hay barrios que se encuentran más aislados que otros, como el 32 por ejemplo (canal Puyuhuapi) o el 31b, que ni dispersan ni reciben partículas de otros barrios para los escenarios de Invierno y Verano, pero que bajo situaciones de tormenta sí que reciben transporte de partículas desde otros barrios (el 32 recibe del 32a) o sí que llegan a dispersar hacia barrios aledaños situadas más hacia el Oeste (el 31b comunica al 33). Por otro lado hay barrios que suponen un mayor riesgo de posible contagio por encontrarse rodeados de múltiples vecinos en las proximidades de sus centros de cultivo, como por ejemplo el 29 (entre isla Quemada e isla Victoria). Además sus reducidas dimensiones llevan a que ya a las pocas horas del inicio de la dispersión y según qué escenario (incluso tras sólo 12 horas) las partículas ya hayan traspasado sus límites e incursionado en un barrio vecino. El único barrio que permanecería aislado e incomunicado de sus vecinos de la XI región tras 72 horas bajo los escenarios descritos es el 35, fruto de su ubicación en el extremo NE. Para ver la evolución de cada una de las dispersiones bajo cada escenario a lo largo de las 72 horas mejor referirse a los vídeos adjuntos en BASE DATOS 656068\VIDEO\Conectividad Alcance Deriva Partículas entre Barrios XI región por escenario ambiental.



### **Modelos de alta resolución archipiélagos de las Guaitecas y Chonos Sur**

El modelo regional Chiloé-Aysén ha sido evaluado extensamente para servir de base para los modelos de alta resolución. Dando por validado este modelo se estimó adecuado para servir de patrón para los modelos de alta resolución de los archipiélagos de las Guaitecas y Chonos Sur de Invierno, que tienen lugar en junio y mayo respectivamente, periodo que se solapa con el del modelo regional Chiloé-Aysén, por lo que compartirán las mismas características. Teniendo en cuenta las dificultades que presenta el campo de masas inicial del modelo, se consideró conveniente desarrollar e implementar una nueva aproximación a la consecución de un campo de masas para un modelo regional que garantice a los nuevos modelos, como son los de los archipiélagos de las Guaitecas y Chonos Sur de Verano el escenario propicio para una correcta representación de la hidrodinámica.

Los modelos de alta resolución de los archipiélagos de las Guaitecas y Chonos Sur de Invierno, al igual que su homólogo el modelo regional Chiloé-Aysén, del que toman sus características y se sirven de su metodología, representan adecuadamente tanto la oscilación del nivel del mar como la correntometría lagrangiana.



## 7. CONCLUSIONES

---

A través del intercambio técnico entre la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura - SSPA 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 para el suministro de datos relevantes para la ejecución del presente estudio, como es el caso de MERCATOR, e información de oceanografía por parte del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada - SHOA.

Se logró establecer la forma más adecuada de obtener información sobre flujos de agua dulce que ingresan al sistema estuarino, el cual será realizado mediante el Modelo atmosférico/topográfico SnowModel.

La información recopilada de proyectos anteriormente ejecutados por IFOP ha suministrado una plataforma de información valiosa, referente a las condiciones oceanográficas de la región Aysén esto 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 podrá implementar modelos de una mayor resolución y con mayor grado de exactitud.

Las mediciones oceanográficas efectuadas en este estudio lograron establecer un patrón de circulación estuarina, en los diferentes canales estudiados, pero se establecieron diferencias espaciales dividiendo toda la zona de estudio en 3 áreas bien definidas, además de condiciones oceanográficas diferentes para cada periodo de estudio (invierno/primavera).

Los estudios de modelación llevados a cabo en el área insular de la XI Región, tanto el re-análisis en Chonos Centro (entre canal King y Ninualac) como los modelos de alta resolución de los archipiélagos de las Guaitecas y de Chonos Sur, fueron afrontados desde la escala regional. La evaluación de los resultados en estas mismas zonas muestra que se ha conseguido desarrollar un modelo que responde correctamente a fluctuaciones de carácter barotrópico, lo que sumado al hecho del régimen predominantemente mareal del área insular de la XI Región lleva a buenos resultados de evaluación de nivel del mar y correntometría euleriana total. La respuesta del modelo a la acción de los forzantes está condicionada tanto por la calidad intrínseca de estos mismos como por lo acotado de los tiempos de simulación. La mejor resolución de viento disponible a la fecha para los periodos de modelación fue de  $1.875^\circ$ , lo que no llega a resolver la climatología local de los canales, gobernada en última instancia por la topografía. La longitud de los tiempos de simulación (2 semanas en el mejor de los casos) se antoja insuficiente para que el campo de densidades inicial, dominado por la salinidad, alcance su equilibrio a través de los ingresos de boyantes por parte del agua dulce de ríos y glaciares, y de los lejanos bordes oceánicos. Por último esto provoca que allí donde las condiciones iniciales distan más de su condición de equilibrio (o los tiempos de residencia son mayores) no se alcancen los plazos necesarios para que puedan desarrollarse estructuras



espaciales en el campo de densidades (formación de capas) por donde tener lugar las fluctuaciones baroclínicas. Sin embargo el sistema responde en el sentido adecuado como se observa de la evolución en el tiempo de los perfiles de temperatura y salinidad, más cercanos a la observación al final de la modelación que en sus condiciones iniciales de partida.

Los modelos de alta resolución de los archipiélagos de las Guaitecas y Chonos Sur respondieron adecuadamente a las evaluaciones de nivel del mar y correntometría lagrangiana con derivadores. Sin embargo, sería conveniente abordarlos por independiente, si no en un modelo local debido a las dificultades que en la zona insular se presentan debido al alto número de bordes, sí empleando una metodología de evaluación y calibración propia como la empleada para el modelo regional Chiloé-Aysén para de esa manera poder determinar en detalle cuáles son las particularidades del régimen hidrodinámico local de ambos modelos de alta resolución.

En cuanto a los experimentos de dispersión de partículas estos respondieron acorde a los forzantes impuestos en cada escenario ambiental, mayores dispersiones en condiciones de sicigia debido a la mayor excursión mareal, y menor dispersión hacia el Oeste y mayor concentración de partículas hacia el Este y la zona interior de canales y fiordos en Invierno y especialmente en situaciones de eventos extremos en formas de tormentas, debido al empuje y arrastre de los vientos del Oeste típicos de estos escenarios en las capas superficiales. Sin embargo cada barrio establece conectividades particulares con otros barrios no sólo dadas por la variabilidad intra-anual de los forzantes, sino también por la ubicación de sus centros de cultivo respecto de los bordes o fronteras que dicho barrio comparta con otros barrios vecinos.

Se implementó un modelo en alta resolución en los canales Puyuhuapi y Jacaf basado en información batimétrica del SHOA además de datos de temperatura, salinidad, corrientes, mareas y viento recopiladas en campaña oceanográfica de IFOP. El modelo muestra resultados apropiados en la definición de la estratificación de ambos fiordos, mostrando que las pendientes de perfiles observados de salinidad están bien representados por el modelo, cuestión fundamental en la modelación de sistemas estuarinos. El modelo es capaz de replicar el flujo de 3 capas observado con anterioridad en la boca del fiordo Puyuhuapi, como en otros fiordos. Además las simulaciones parecen indicar una importancia relativamente grande de la rotación de la tierra en los flujos transversales, mostrando un desplazamiento hacia la izquierda de los flujos de entrada y salida. La estructura de 3 capas parece ser, al menos, en canal Puyuhuapi una estructura que se extiende hacia al interior de fiordo disminuyendo en su intensidad desde la boca a la cabeza.



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Aceituno, P., Fuenzalida, H., Rosenbluth, B., 1993. The atmospheric synoptic circulation affecting the Fjord area is related to the seasonal variability of the anticyclone off the Chilean coast.
- 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](http://aysen.udec.cl/wp-content/uploads/Araya_Vergara_1996.pdf).
- Bendat, j. & a. Piersol. 1986. Random Data: Analysis and Measurement Procedures. John Wiley: pp. 566.
- 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.
- Castillo, M. & C. Valenzuela. 2006. Régimen de circulación en 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. 59-62, 2006.
- Emery, w. j. & r. e. Thomson . 1998. Data Analysis Methods in Physical Oceanography. Pergamon Press: pp. 634.



- Fierro J., Castillo M. y Valenzuela C. 2003. Propagación de la onda de marea en canales adyacentes a campos de hielo Sur. *Ciencia Tecnología Marina*, 26 (1): 5-14.
- 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 (cruce CIMAR fiordo 4). *Cienc. Tecnol. Mar*. 25 (2) 45-76.
- Hansen F., Potthoff M., Uhrenholdt T., Vo H., Linden O. y Andersen J., 2014. Development of a prototype tool for ballast water risk management using a combination of hydrodynamic models and agent-based modeling. *WMU Journal of Maritime Affairs* 08/2014; DOI: 10.1007/s13437-014-0067-8.
- Hiemstra, C. A., Liston, G. E., and Reiners, W. A. 2002. Snow redistribution by wind and interactions with vegetation at upper treeline in the Medicine Bow Mountains, Wyoming, USA. *Arctic, Antarctic, Alpine Research*, 34, 262–273. doi:10.2307/1552483.
- Joyce, T. 1989. On *in situ* A calibration of shipboard ADCPs. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 6: 169-172.
- 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
- Kamga, A., S. Fongang, and A Viltard, 2000: Systematic error of ECMWF operational model over tropical Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1949-1959.
- Lwiza, K. M. M., D. G. Bowers, and J. H. Simpson. 1991. Residual and tidal flow at a tidal mixing front in the North Sea, *Cont. Shelf Res.*, 11, 1379 – 1395.
- Mercator Ocean, 2001. Parc Technologique du Canal, 8-10 rue Hermés – Batiment C, 31520 Ramonville Saint-Agne (France). "(C) MERCATOR OCEAN. Product and interpretations obtained from Mercator Ocean products. MERCATOR OCEAN cannot be held responsible for the results nor for the use to which they are put. All rights reserved."



- Mernild, S. H., Hasholt, B., and Liston, G. E. 2008. Climatic control on river discharge simulations, Zackenberg River Drainage basin, NE Greenland. *Hydrological Processes*, 22, 1932–1948.
- Meruane C., de la Fuente A., Contreras M. y Niño Y. 2013. Large-scale mass transport in the austral fjords and channels of Chile. *Proceedings of 2013 IAHR Congress*. Tsinghua University Press, Beijing.
- Pawlowicz, R., Beardsley B. and Lentz S. 2002. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_TIDE. *Computers and Geosciences*, 28, 929-937.
- Pickard GL (1971) Some physical oceanographic features of inlets of Chile. *J Fish Res Board Can* 28:1077–1106.
- Pinilla, E., G. Soto, M. Arriagada. 2012. Informe final. "Diseño y estudio técnico de macrozonas de agrupaciones de concesiones en la zona sur-austral X a XII regiones" Proyecto ASIPA – SUBPESCA.
- Pinilla, E., G. Soto, M. Arriagada, C. Ruíz, P. Reche. 2015. Informe final. "Determinación de los patrones de circulación en los mares interiores de la región de Magallanes" Proyecto ASIPA – SUBPESCA.
- Pinilla, E., C. Ruíz, P. Reche. 2015. Informe final. "Desarrollo de estadísticas de conectividad para la X y XI Región basados en resultados de modelos Mike3D, I etapa" Proyecto ASIPA – SUBPESCA.
- Salinas, S. y S. Hormazábal, 1996. Circulación en la constricción de Meninea, Canal de Moraleda 45°15' S. Resultados Crucero Cimar-Fiordo 1, Resumen Ampliado. Disponible en [http://www.shoa.cl/n\\_cendhoc/productos/cimar-1/fisica-del-agua-de-mar/circulacion/resumen-ampliado/salinas.htm](http://www.shoa.cl/n_cendhoc/productos/cimar-1/fisica-del-agua-de-mar/circulacion/resumen-ampliado/salinas.htm)
- Salinas, S. y S. Hormazábal, 2004. Capacidad de transporte de la constricción de Meninea para un flujo de dos capas y el efecto de la corriente de marea. *Ciencia y Tecnología*, vol.27, núm.1, 2004, pp. 5-15.
- 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.
- Schneider, W., Perez-Santo. I, Ross L Bravo L, Seguel T & Hernandez Freddy. 2014. On the hydrography of Puyuhuapi Channel, Chilean Patagonia. *Prog.Oceanogr*. 129: 8-18.



- 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>
- Silva N & Vargas C.A. 2014. Hypoxia in Chilean Patagonian Fjords. *Prog.Oceanogr.* 129: 62-74.
- Tee, K. T. 1977. Tide-Induced Residual Current-Verification of a Numerical Model. *Journal of Physical Oceanography*, 7: 396-402.
- Valle-Levinson, A. & L.P. Atkinson. 1999. Spatial gradients in the flow over an estuarine channel. *Estuaries*, 22(2A), 179-193.



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.

Valle-Levinson 2013. Some basic hydrodynamic concepts to be considered for coastal aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Proceeding 21*. Rome, FAO. 282pp.

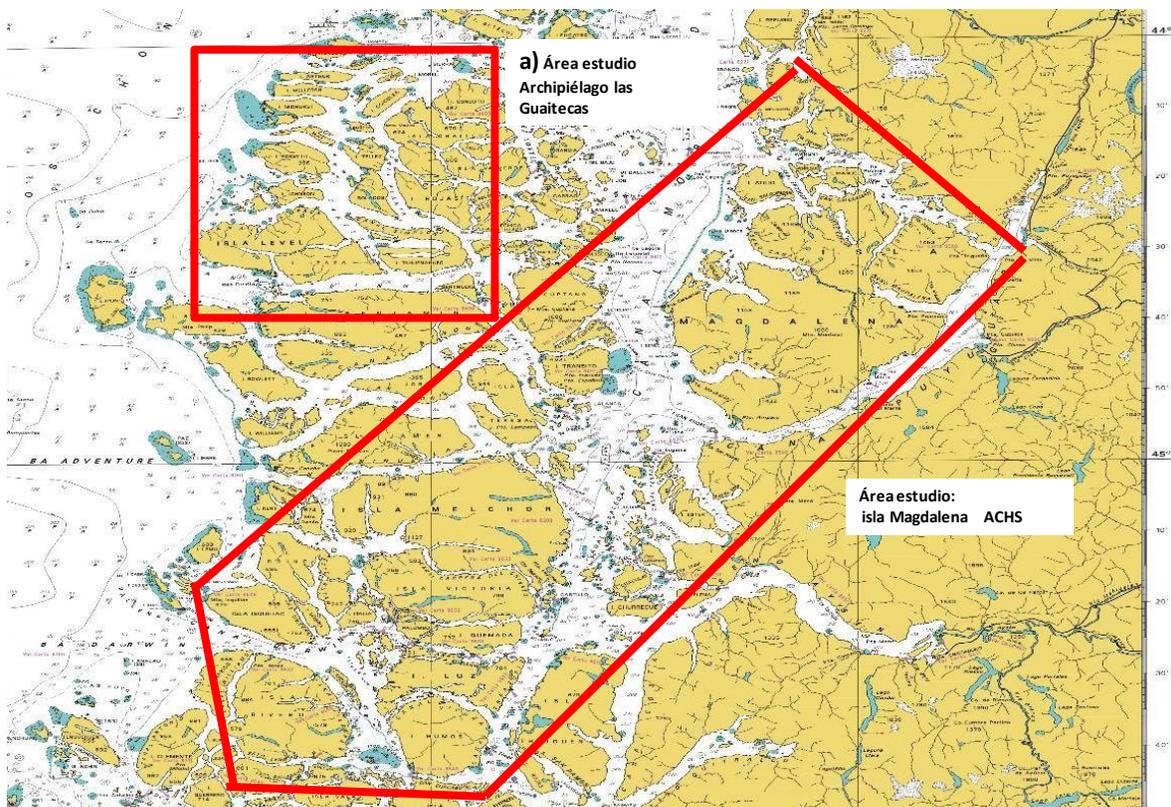
Valle-Levinson A., M. Cáceres and O. Pizarro. 2014. Variations of tidally driven three-layer residual circulation in fjords. *Journal of Ocean Dynamics*, 64:459–469, DOI 10.1007/s10236-014-0694-9.

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**

---

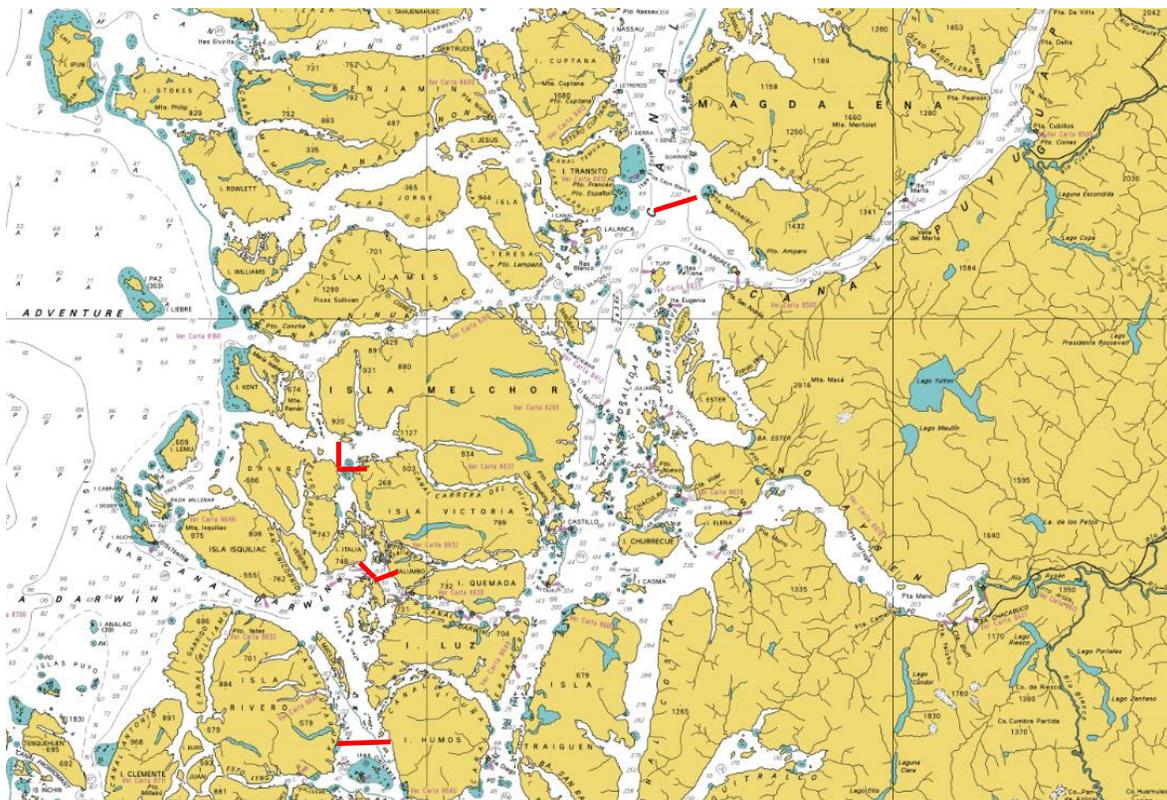




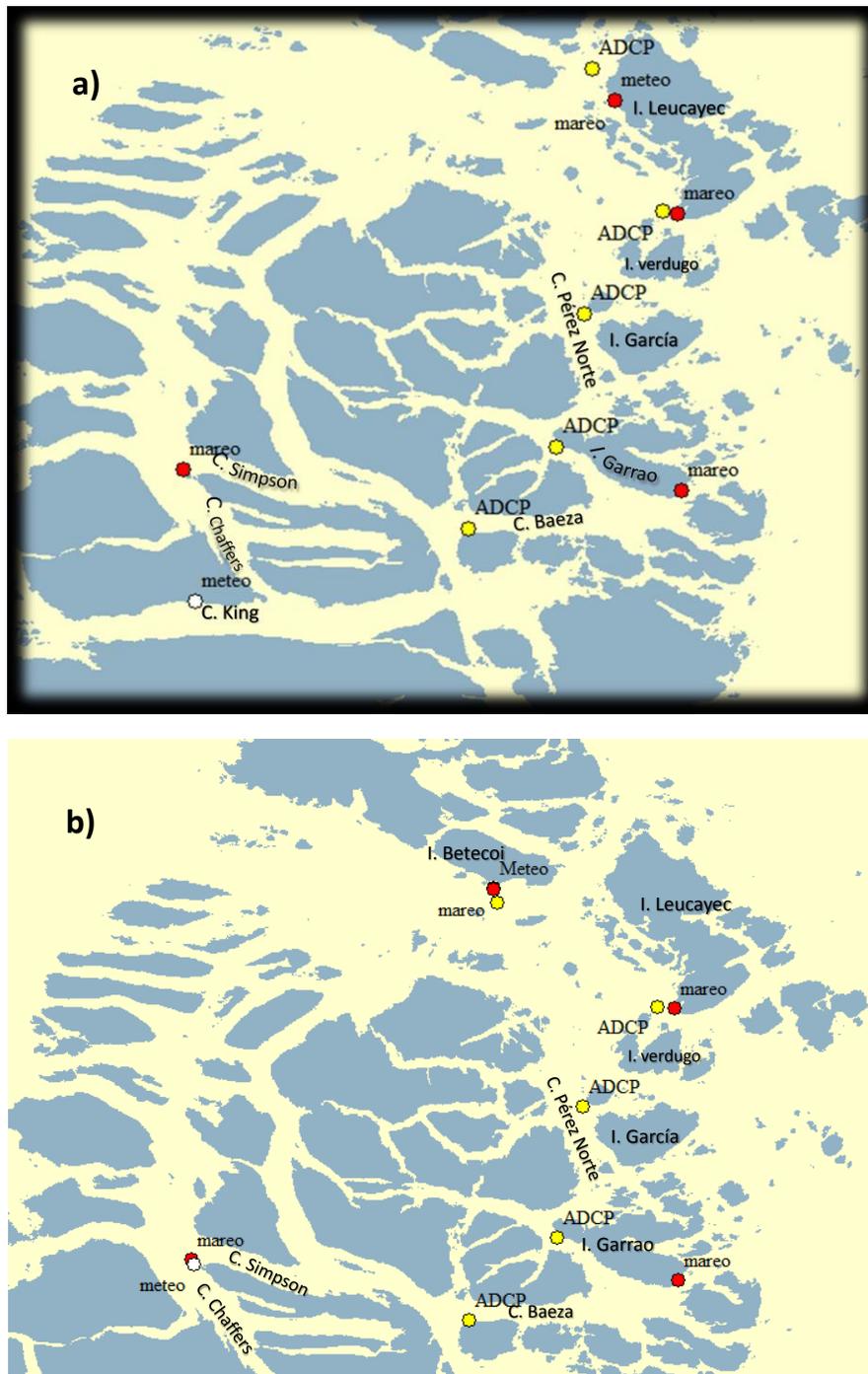
**Figura 1.** Zona de estudio, incluyendo la divisi3n de cada área donde serán efectuadas cada una de las mediciones e instalaci3n de equipos para cada campaa.



**Figura 2.** Track de las distintas secciones para medir las corrientes transversales en las campa1as de invierno y primavera en archipi3lago de las Guaitecas 2014.



**Figura 3.** Track de las distintas secciones para medir las corrientes transversales en las campañas de verano y otoño en Archipiélago de Chonos Sur, 2015.



**Figura 4.** Ubicaci3n geogr3fica de ADCP anclado (color amarillo), mare3grafos (color rojo) y estaciones meteorol3gicas (color blanco). En la XI Regi3n, archipi3lago de las Guaitecas. (a) Campa1a de invierno y (b) camp1a de primavera.



**Figura 5.** Ubicaci3n geogr3fica de ADCP anclado (color amarillo), mare3grafos (color rojo) y estaciones meteorol3gicas (color blanco). En la XI Regi3n. Sector de Archipi3lago de Chonos Sur y los canales Puyuguapi/ Jacaf (isla Magdalena). Campa1as de verano y o1o1o.

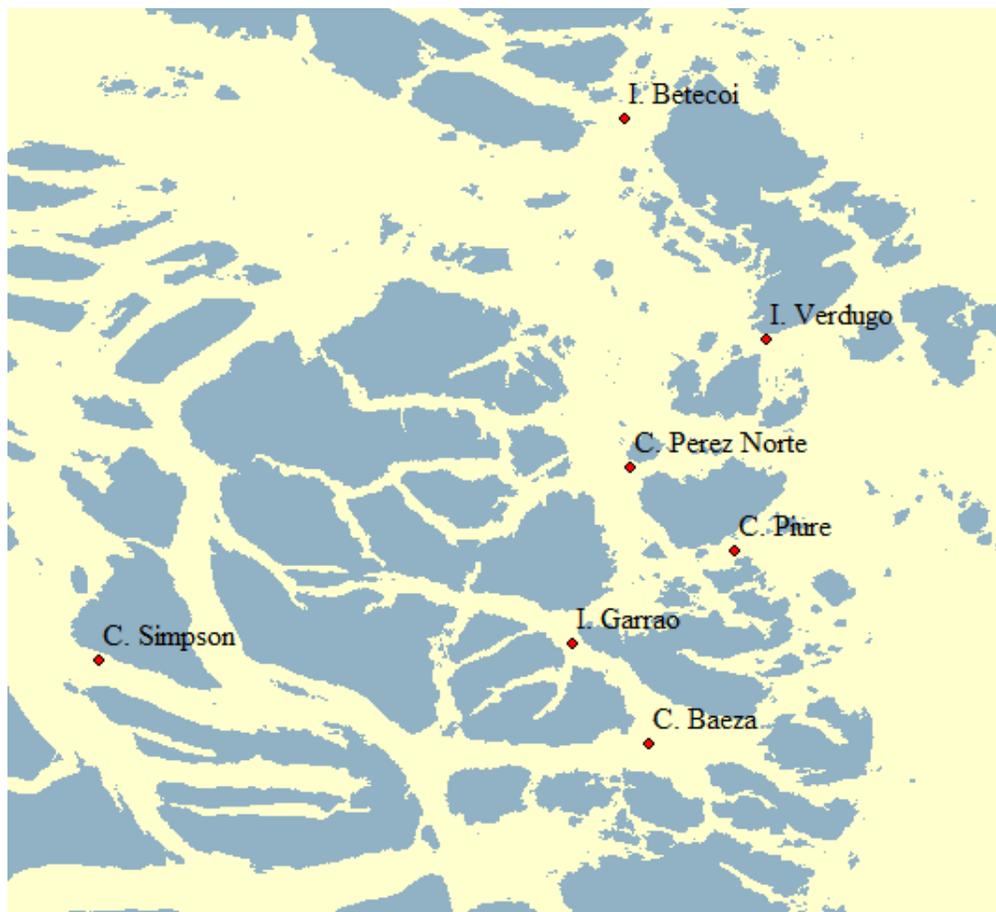
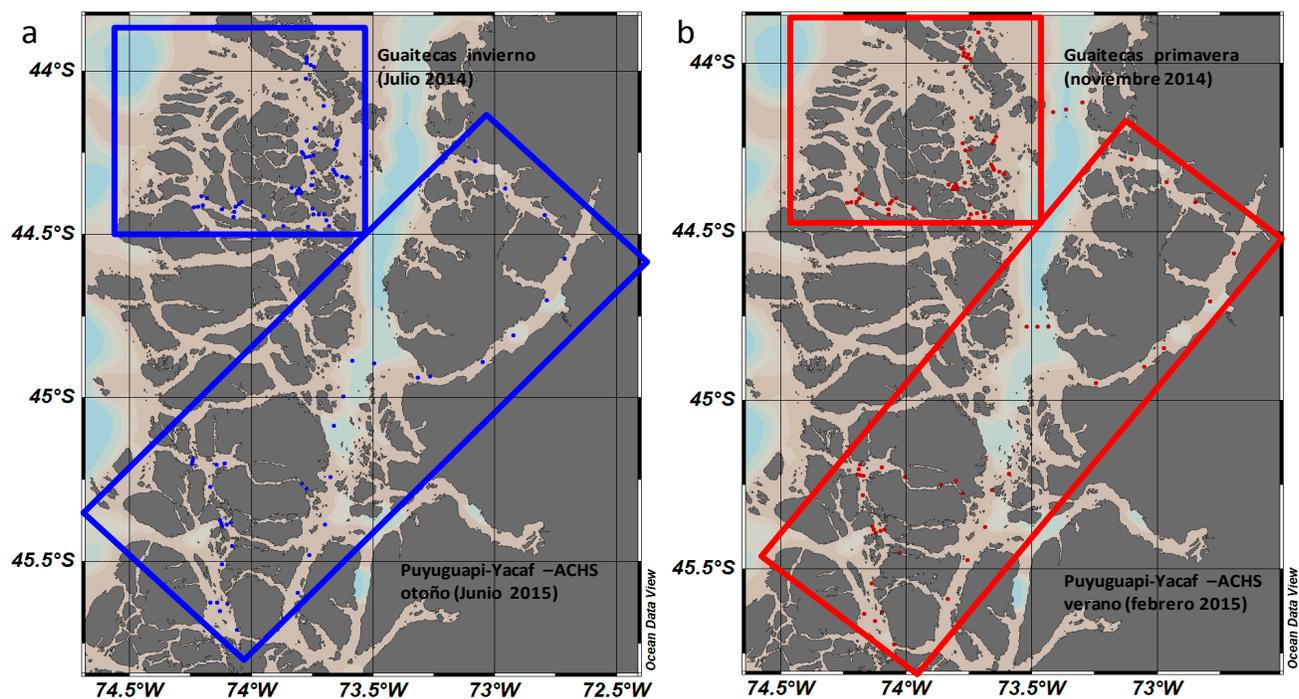


Figura 6. Ubicación geográfica de las boyas derivadoras en la XI Región, archipiélago de las Guaitecas.



**Figura 7.** Ubicación geográfica de las boyas derivadoras en la XI Región Archipiélago de Chonos Sur y Puyuguapi / Jacaf, sector isla Magdalena.



**Figura 8.** Posici3n estaciones de CTD realizadas en la campaa considerando periodo estival (primavera-verano) periodo invernal (otoño-invierno)



TERMS OF USE AGREEMENT FOR MERCATOR PRODUCTS

Contract n° 2014\_012/NCUTD/120

Between
MERCATOR OCEAN, Société civile, hereinafter referred to as MERCATOR OCEAN, SIRET n° 522 911 577 00016, Registered Office at 8/10, rue
Hermès, Parc Technologique du Canal, RAMONVILLE SAINT-AGNE – 31520, France, represented by Pierre SAHUREL, Director,
for the first Party
and
Mrs. / Mr. Pablo RECHE, Researcher, hereinafter referred to as the Licence Holder.
IFOP, Almirante Manuel Blanco Encalada 839, 2340000 Valparaiso Chile,
for the second Party;

Jointly designated as the PARTIES : IT IS AGREED AS FOLLOWS:

ARTICLE 1 : PURPOSE

The purpose of this Agreement is to define the conditions under which MERCATOR OCEAN grants the Licence Holder, on a non-exclusive and
temporary basis, a non-transferable right to use MERCATOR products.

MERCATOR products shall be used by the Licence Holder to develop Derivative products in the following framework:
Circulation regimes of the Magallanes Region inner seas
The data will be used to set boundary and initial conditions for temperature and salinity, likely model nesting in high resolution areas within the
domain and validation/data comparison as well.

The Right of use will expire at the term of the Agreement and does not allow the Licence Holder to transfer to a third party, sell or distribute
MERCATOR OCEAN products.

The Terms and conditions of use of Mercator Products are an integral part of this Agreement.

ARTICLE 2 : TECHNICAL DETAILS

2.1 Delivered products

The products delivered are the following:

Table with 2 columns: Parameter and Value. Includes Operational system (PSY3V3R1), Spatial resolution (1/4", Standard), Geographic area boundaries (Longitude: -78 / +2, Latitude: -57.5 / -40), Ocean field(s) / Parameters(s) (T,S), Depth level(s) (0--5500m), Temporal resolution, field means (Daily), Frequency of delivery (Weekly), Temporal period (From 2011/01/01 to 2014/01/31), Type of service (Delay made, first delivery : D-14, last delivery : D-8), File format (NetCDF), Comments.

2.2 Delivery times and media

• Delivery time is expressed in working days. The delivery will be within 4 weeks from the date of receipt by MERCATOR OCEAN of this
Agreement signed by the Licence Holder. The Agreement is sent by email to products@mercator-ocean.fr.

The delivery arrangements are as follows:

- Products will be delivered at one time.
- Form of delivery :
- FTP server of MERCATOR OCEAN in a workspace dedicated to this contract, access by login and password
- The address of the workspace and authentication information will be sent by e-mail on the day of the delivery at the latest.
- The protocol for downloading the products is the FTP
- The data are available on the FTP server for 3 weeks, beyond this time the products can be withdrawn without notice by
MERCATOR OCEAN.

ARTICLE 3 : FINANCIAL CONDITIONS

This Agreement is drawn up on a no fee basis. All the costs relating to the production and the diffusion of these products are fully covered by
MERCATOR OCEAN's shareholders.

ARTICLE 4 : TERM

The Agreement shall come into force on the date MERCATOR OCEAN receives it signed by the Licence Holder and shall remain in force
for 18 months.

Done in RAMONVILLE SAINT- AGNE, on the 2014/02/14

TO SIGN THIS CONTRACT.
Please fill in the area below with your First Name and Name and tick the box to confirm that you accept the Terms and conditions of use of
Mercator Products as well as the above terms.
I, the undersigned Pablo Reche, accept the Terms and conditions of use of Mercator Products and the specific terms of use of this Agreement
[ ]
Date: 14-02-2014

The Licence Holder is called « the User » in the Terms and conditions of use of Mercator Products.

Figura 9. Contrato por uso de datos de Salinidad y temperatura de Mercator Ocean.

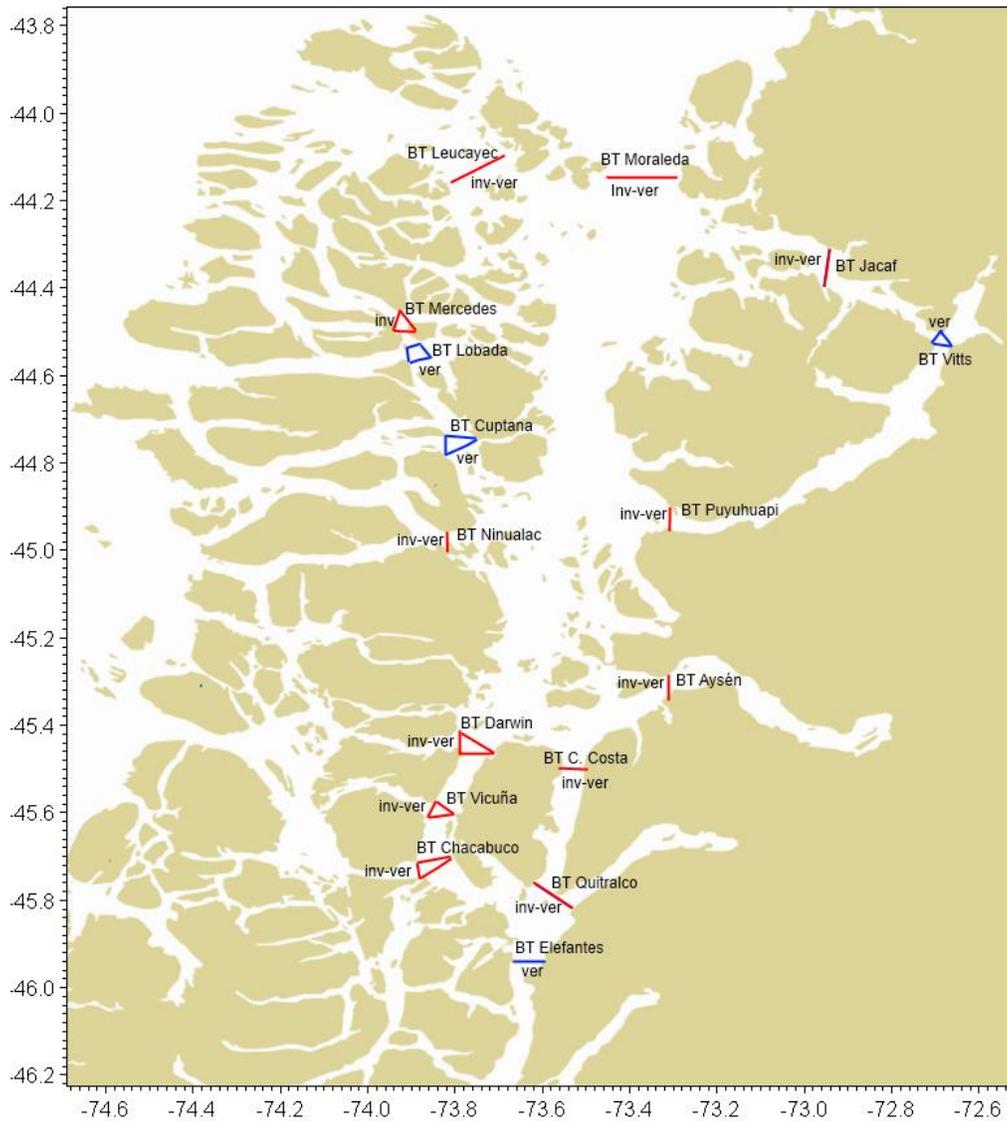


Taller difusión de resultados estudios "Modelación de alta resolución aplicada a la conectividad y transporte hidrodinámico al interior de macrozonas en la XI Región de Aysén" y "Desarrollo de sistema de predicción sinóptico de circulación marina para apoyo de la acuicultura, 1 etapa"  
 División de Investigación en Acuicultura  
 Puerto Montt, Hotel Gran Pacifico, Salón Austral

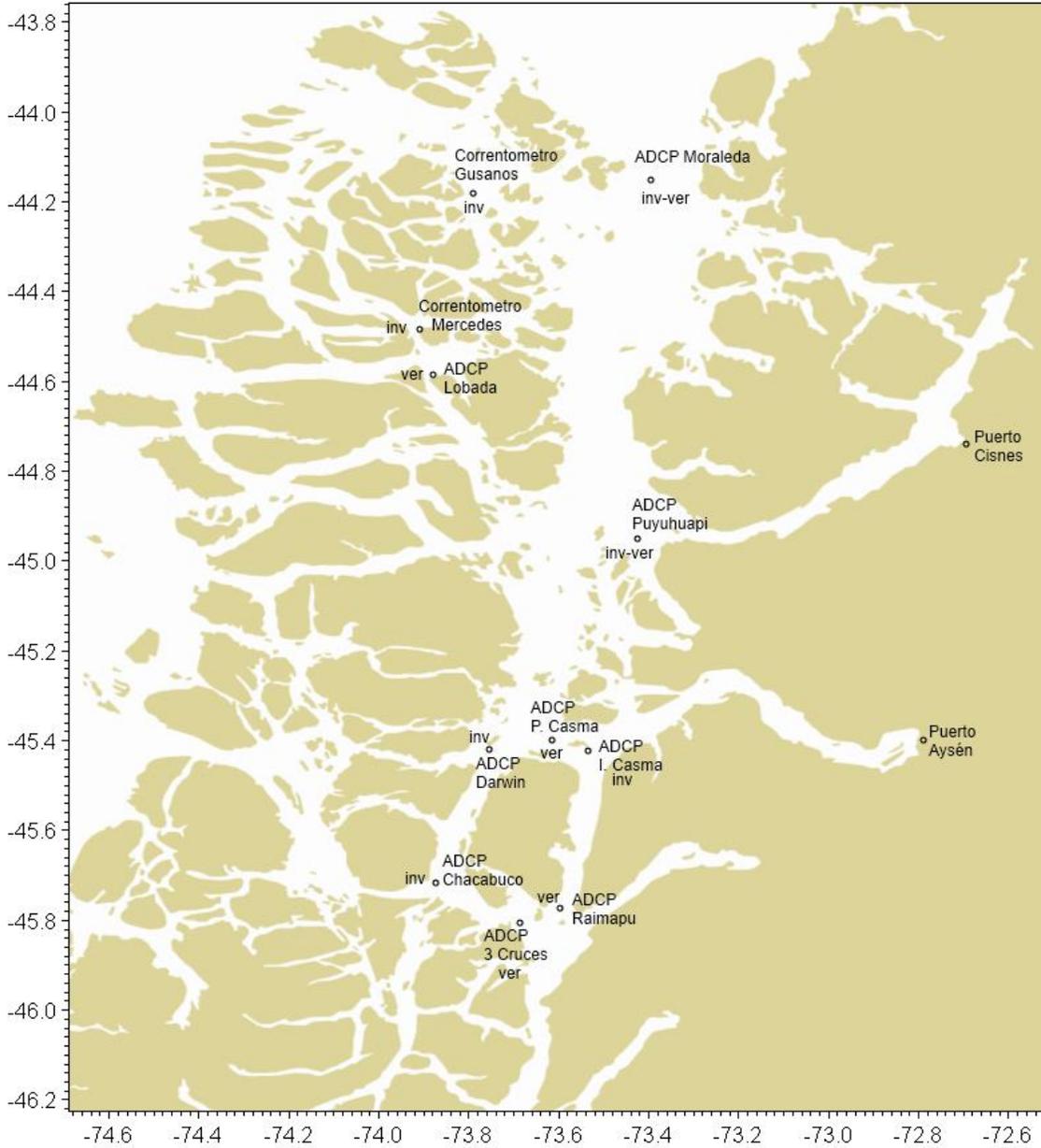
Día: viernes 14 de agosto de 2015

N°	NOMBRE	INSTITUCIÓN	EMAIL	FIRMA
1	Gastón Videla S.	IFOP	gaston.videla@ifop.cl	
2	Carolina Oyarte	IFOP	carolinaoyarte@ifop.cl	
3	Claudia Pérez Soes	IFOP	claudia.perez@ifop.cl	
4	Oscar Espinosa Contreras	IFOP	oscar.espinosa@ifop.cl	
5	Nicolas Perese Lopez	IFOP	nicolas.perese@ifop.cl	
6	Rodrigo Vera S.	IFOP	rodrigo.vera@ifop.cl	
7	Oliver Venegas Melib	Udec	olvenegas@udec.cl	
8	Cristian Ruiz	IFOP	cristian.ruiz@ifop.cl	
9	Oswaldo Aretal	DGEO	oswaldo@dgco.udec.cl	
10	Karla Ballarín T	CETCSAL	karla.ballarin@cetcsal.cl	
11	Javier Ahraon V	CETCSAL	jahraonv@cetcsal.cl	
12	Rosario Díaz G. V.	DTL-DGAC	rosario.diaz@dtl-dgac.cl	
13	Carolina Calvete M.	SHOA	cendhoc@shoa.cl	
14	MANUEL CASTILLO	U.V.	manuel.castillo@uv.cl	
15	Macarena Herrera	IFOP	macarena.herrera@ifop.cl	
16	Gabriel Soto	IFOP	gabriel.soto@ifop.cl	
17	Elias Pilla M.	IFOP	elias.pilla@ifop.cl	

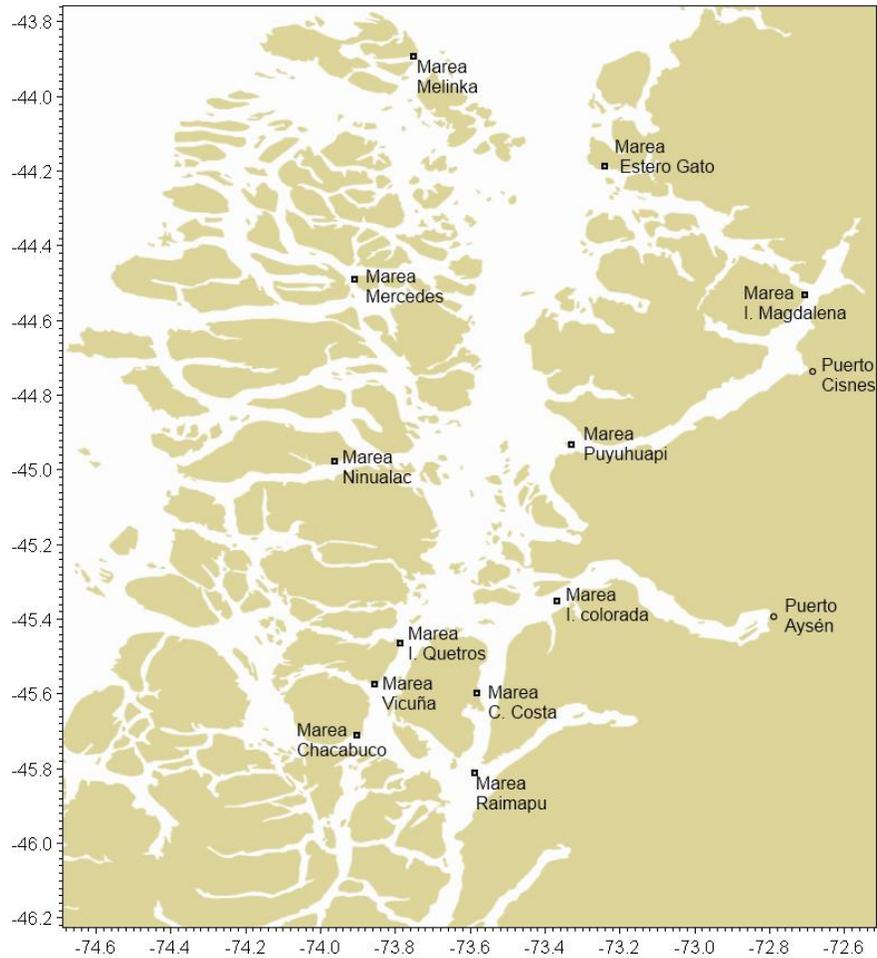
Figura 10. Lista asistencia taller difusión proyecto.



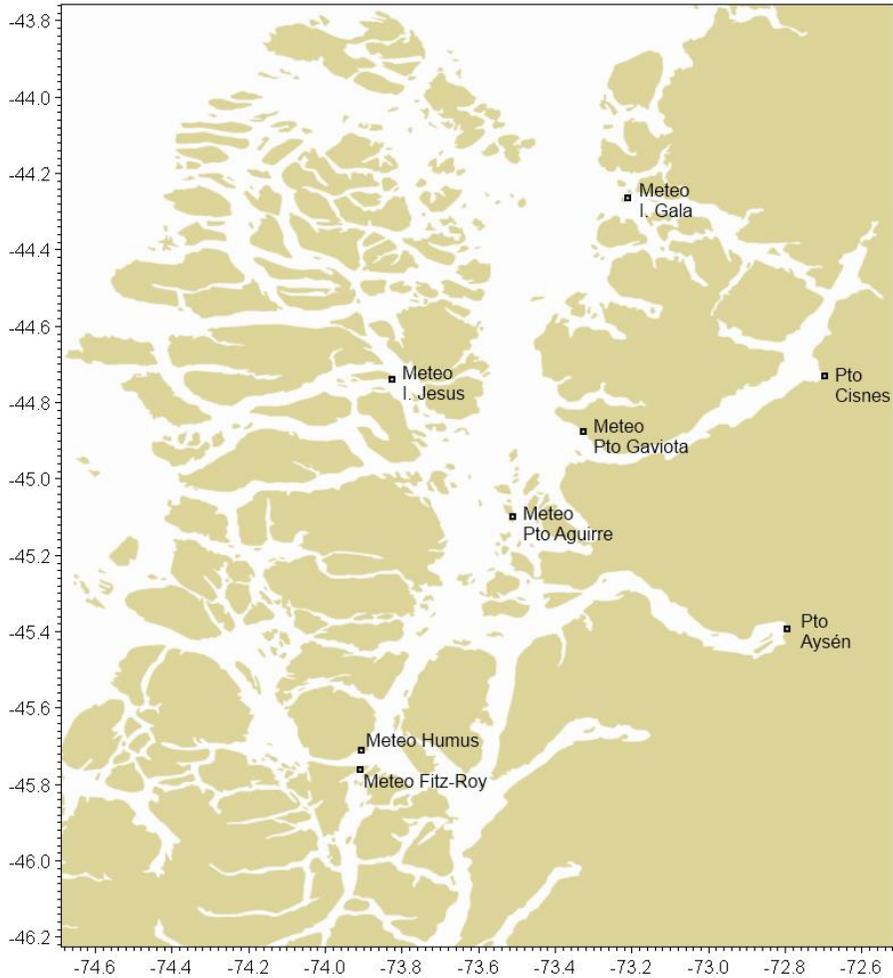
**Figura 11.** Mediciones ADCP bottom track, realizadas en las diferentes campañas de IFOP en distintos sectores de la regi3n de Aysén, en periodos de invierno (azul) y verano (rojo).



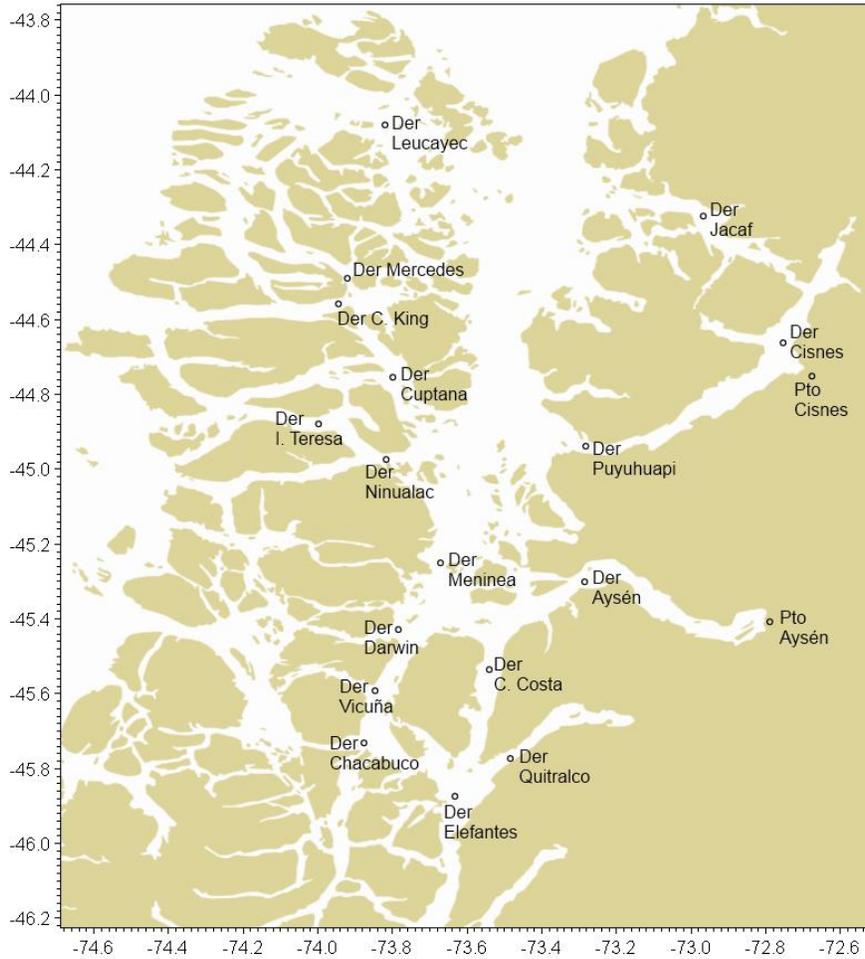
**Figura 12.** Mediciones con anclajes ADCP, realizadas en las diferentes campañas de IFOP en distintos sectores de la regi3n de Aysén, en periodos de invierno (inv) y verano (ver).



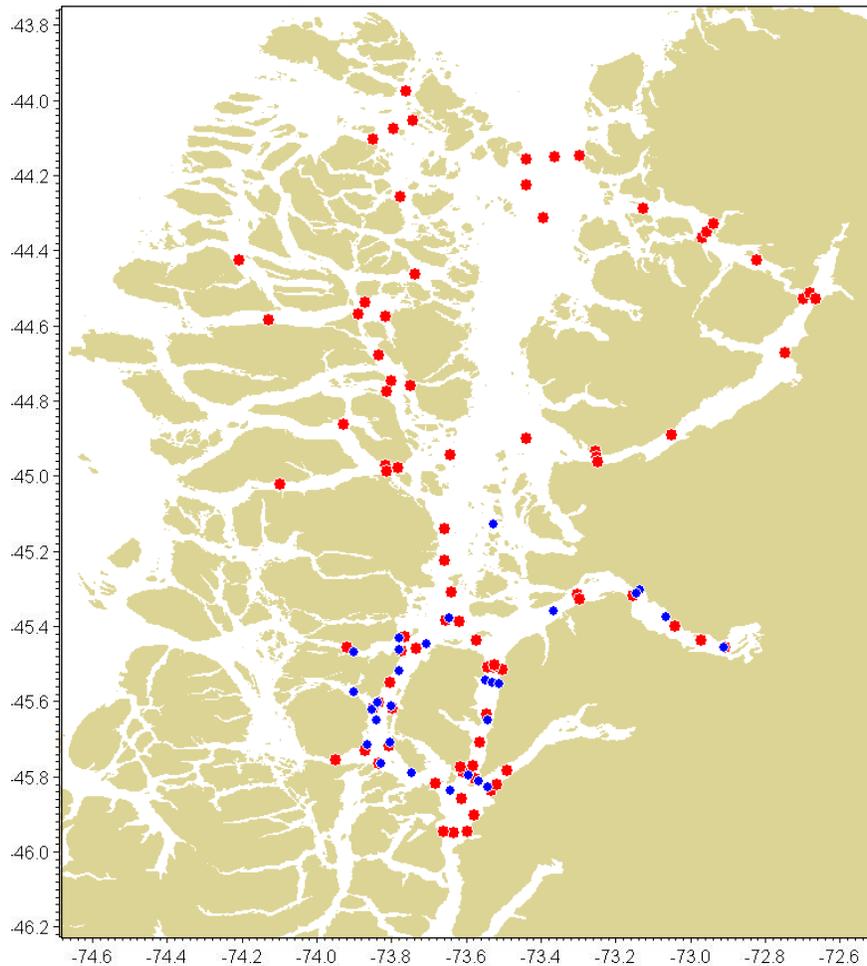
**Figura 13.** Ubicaci3n mare3grafos instalados en las diferentes campa1as oceanogr1ficas de IFOP en la regi3n de Ays3n, en periodos de invierno y verano.



**Figura 14.** Ubicaci3n estaciones meteorol3gicas instaladas en las diferentes campa1as oceanogr1ficas de IFOP, en la regi3n de Ays3n, en periodos de invierno y verano.



**Figura 15.** Mediciones con derivadores lagrangianos en las diferentes campañas oceanográficas de IFOP en la región de Aysén, en periodos de invierno y verano.



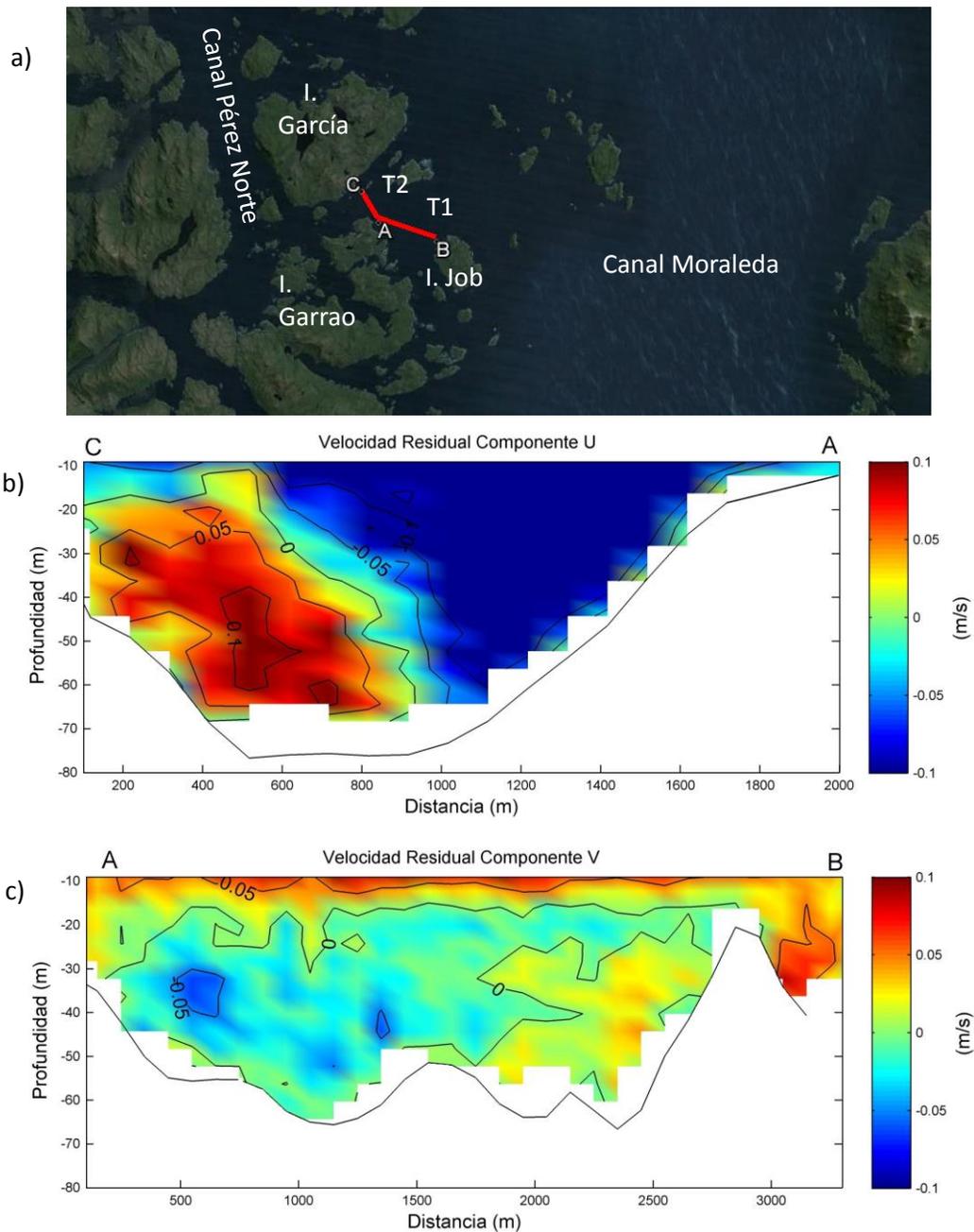
**Figura 16.** Medición estaciones CTD-O realizadas en las diferentes campañas oceanográficas de IFOP en la región de Aysén, en periodos de invierno • y verano •.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN EN ACUICULTURA

---

## **FIGURAS OBJETIVOS 1 CAMPAÑAS OCEANOGRÁFICAS**



**Figura 17.** a) Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Piure e Isla Job a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente U en la transecta T2; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T1, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.

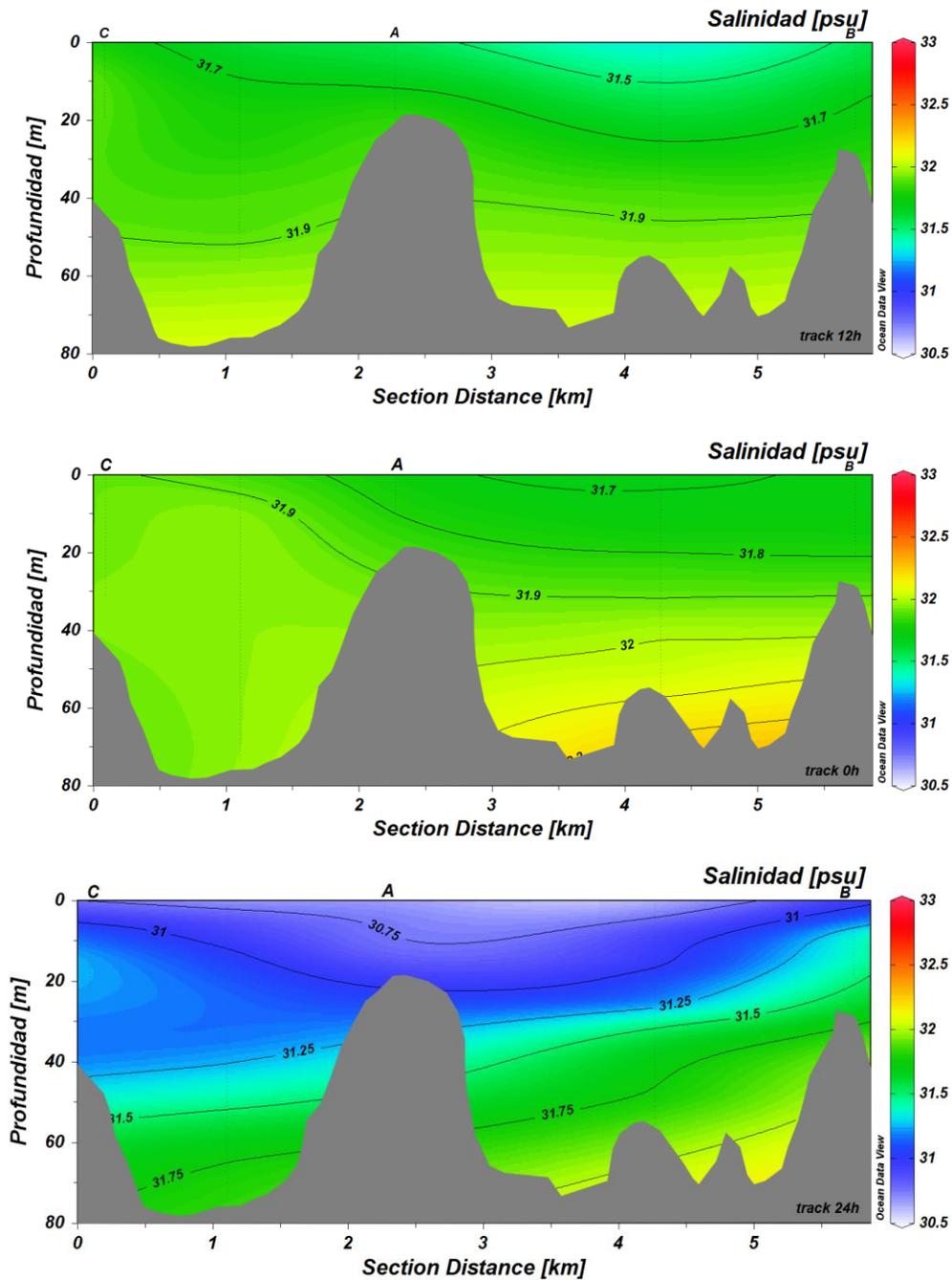
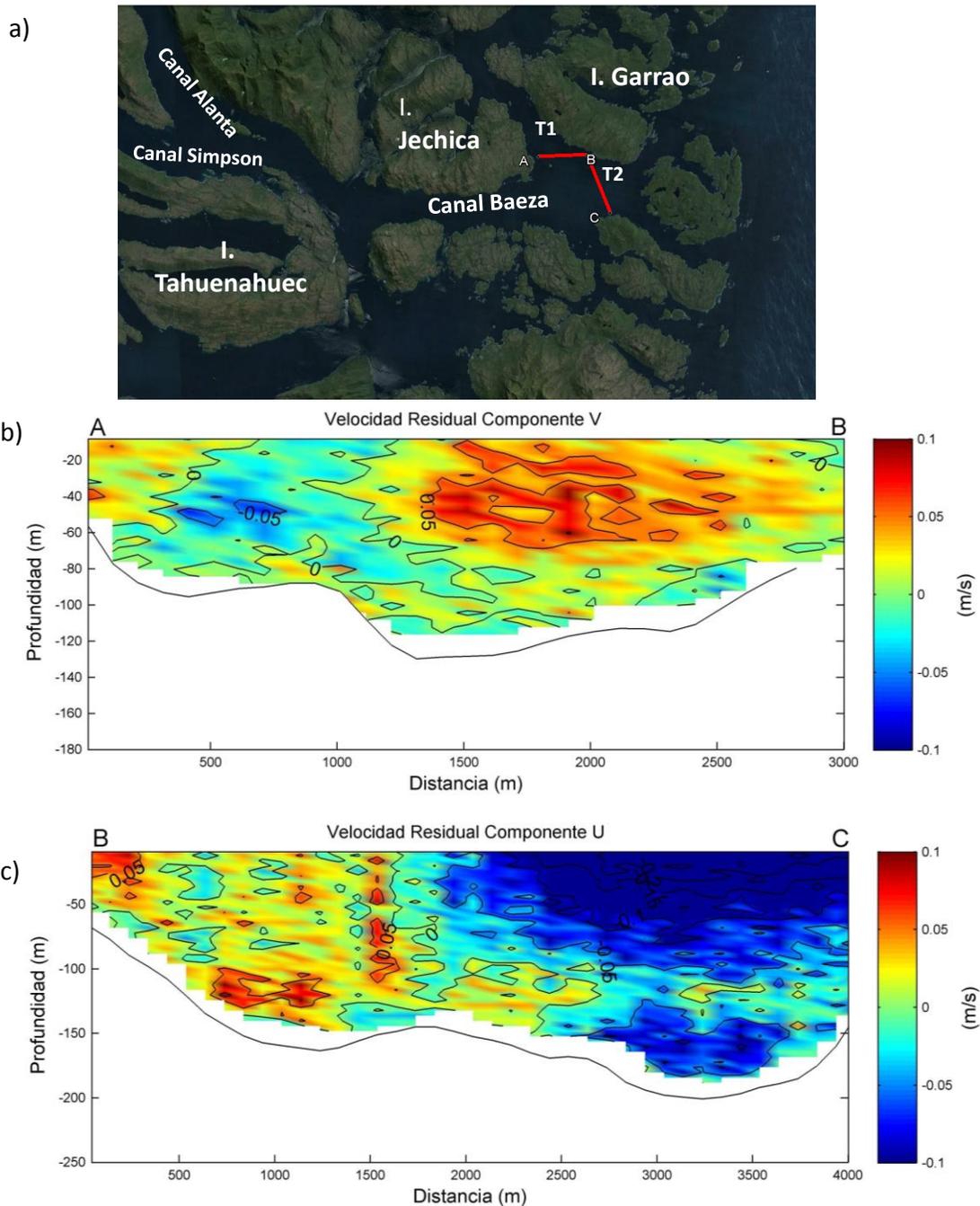


Figura 18. Distribuci3n vertical de salinidad entre Isla Garc3a e Isla Job realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.



**Figura 19.** a) Transectas T1 y T2 efectuadas en Canal Baeza a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente U en la transecta T2, durante la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.

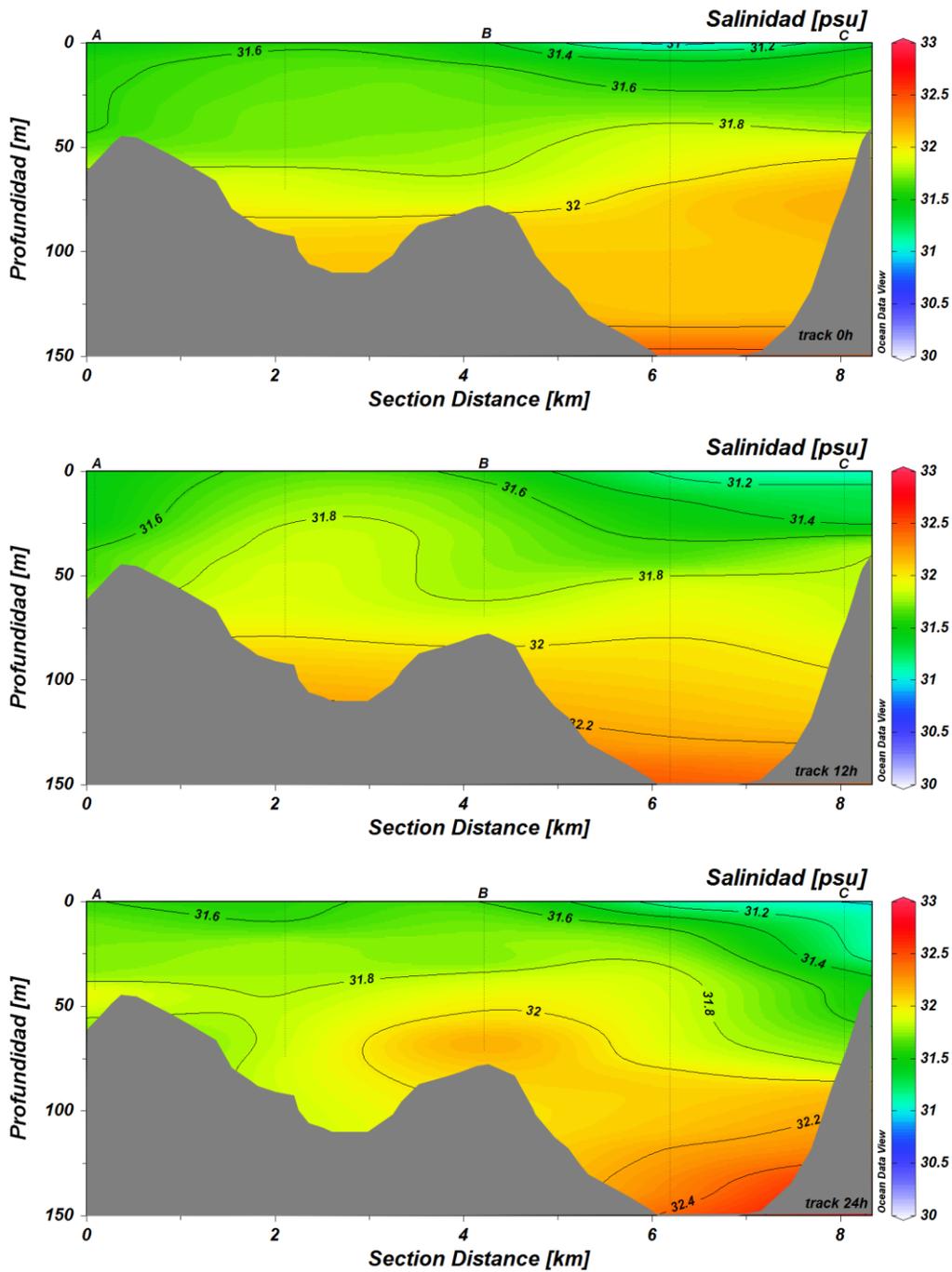
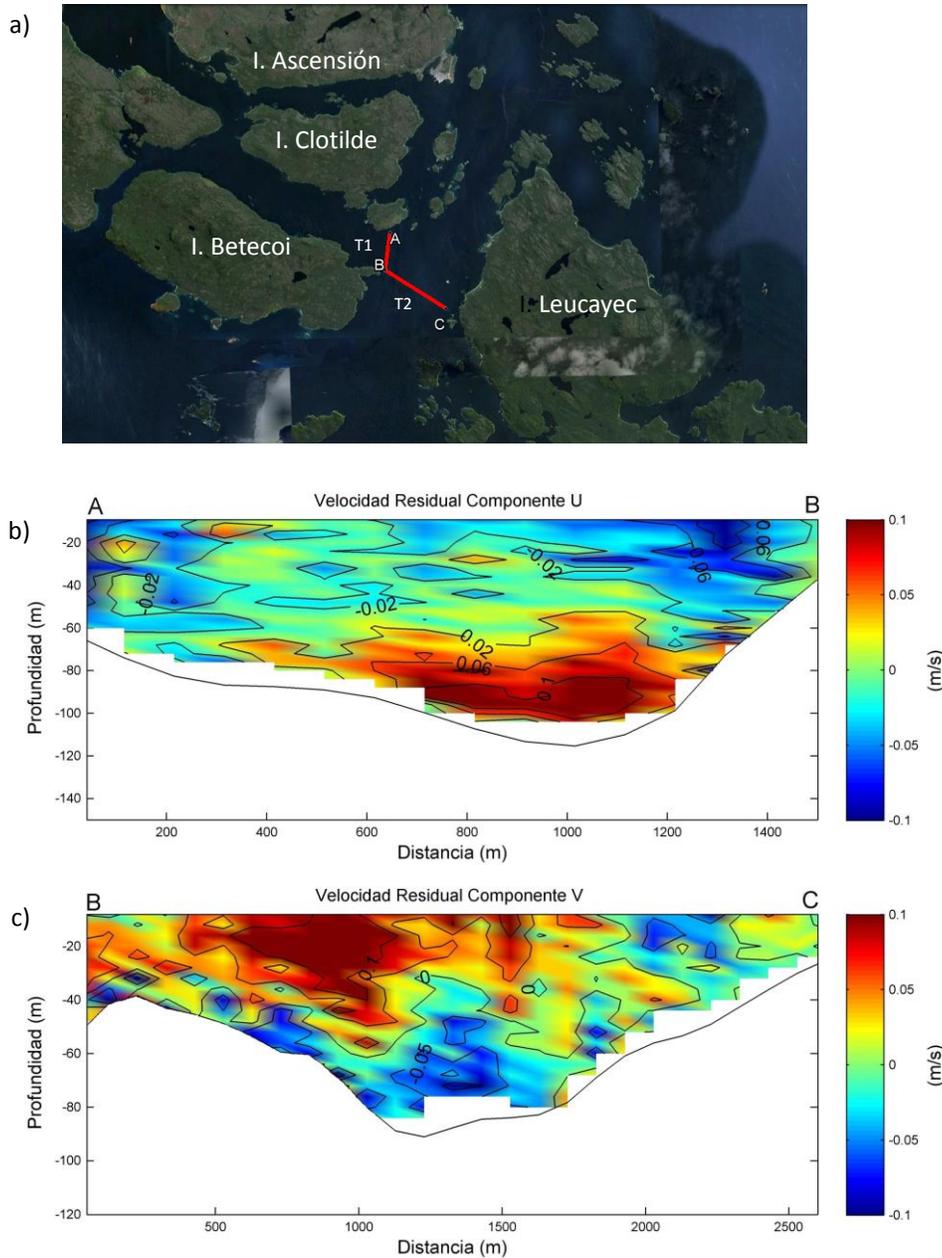
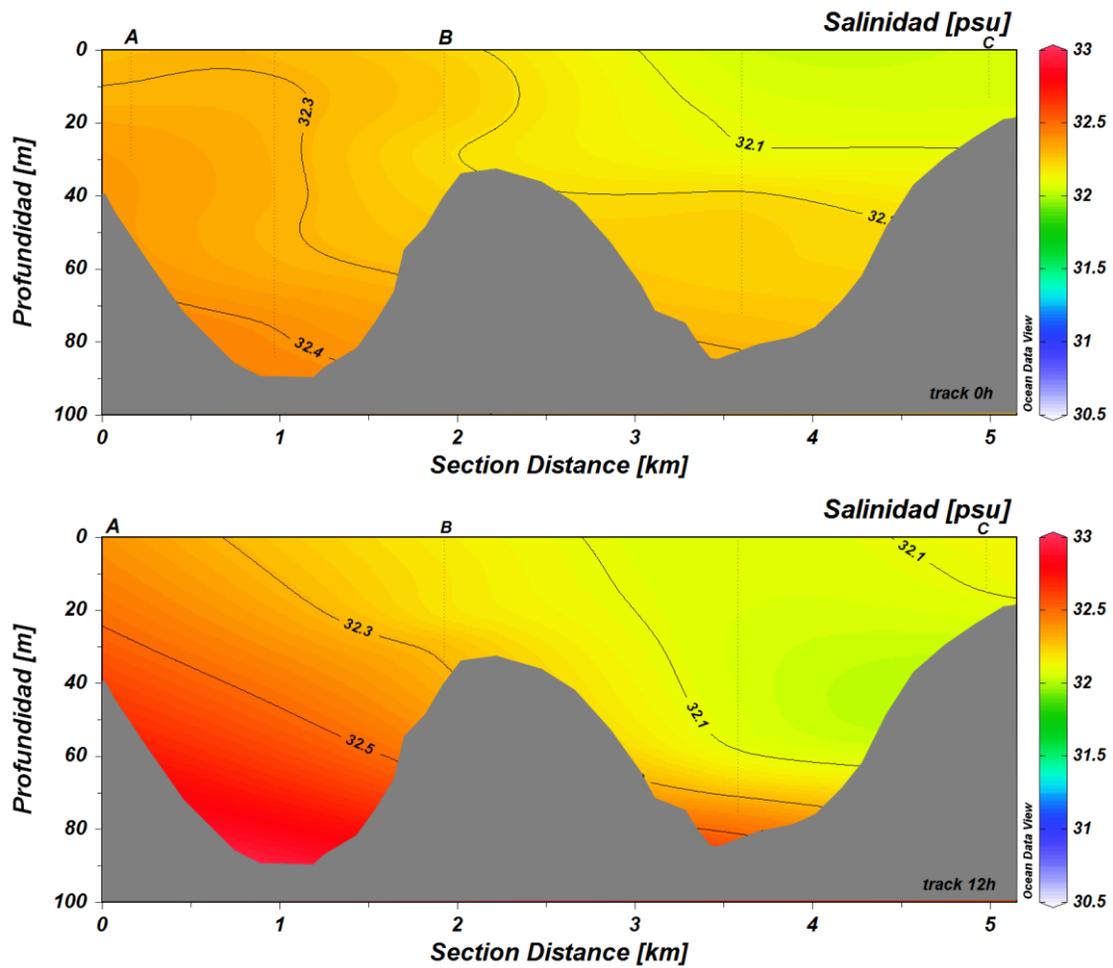


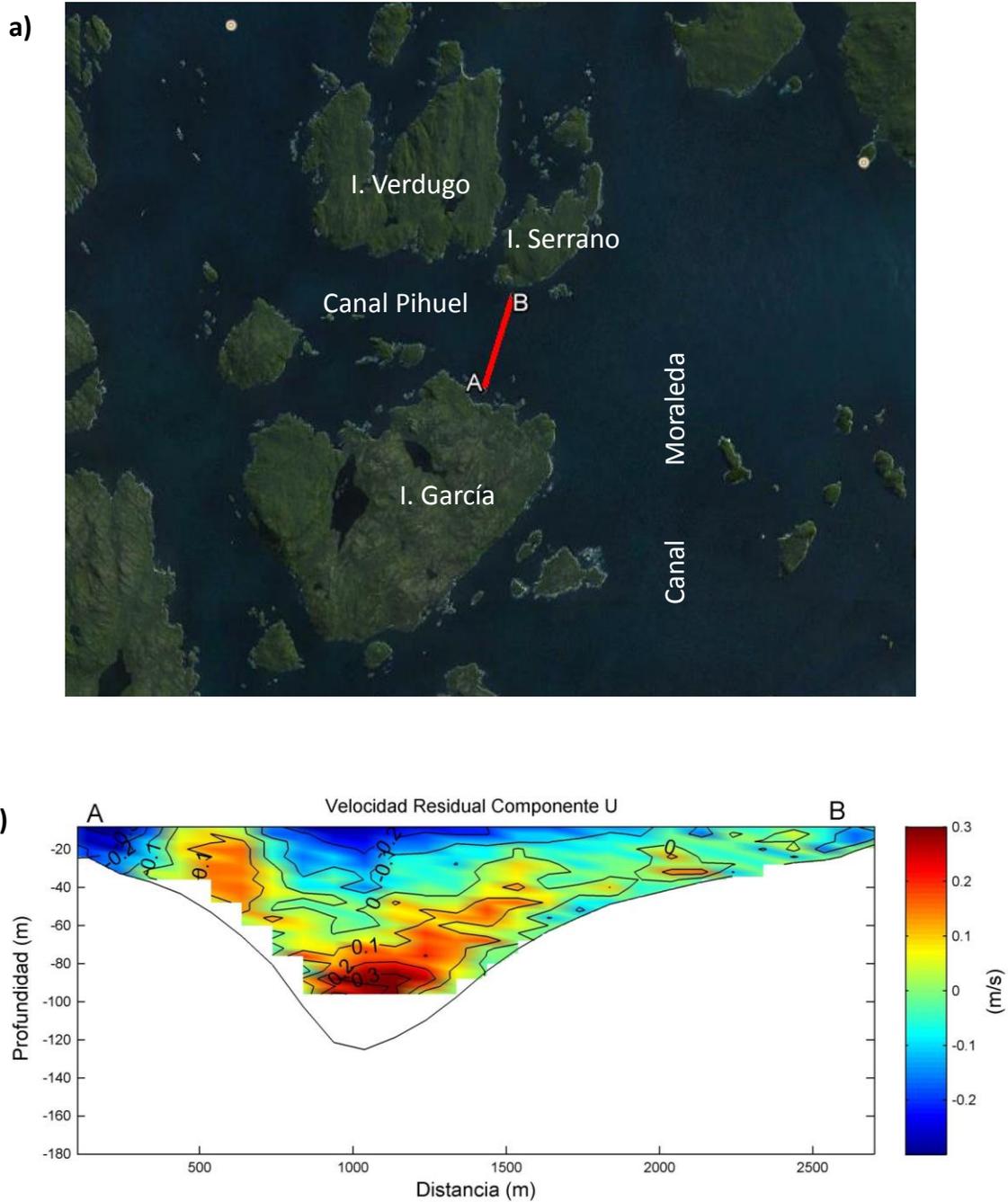
Figura 20. Distribuci3n vertical de salinidad en Canal Baeza realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.

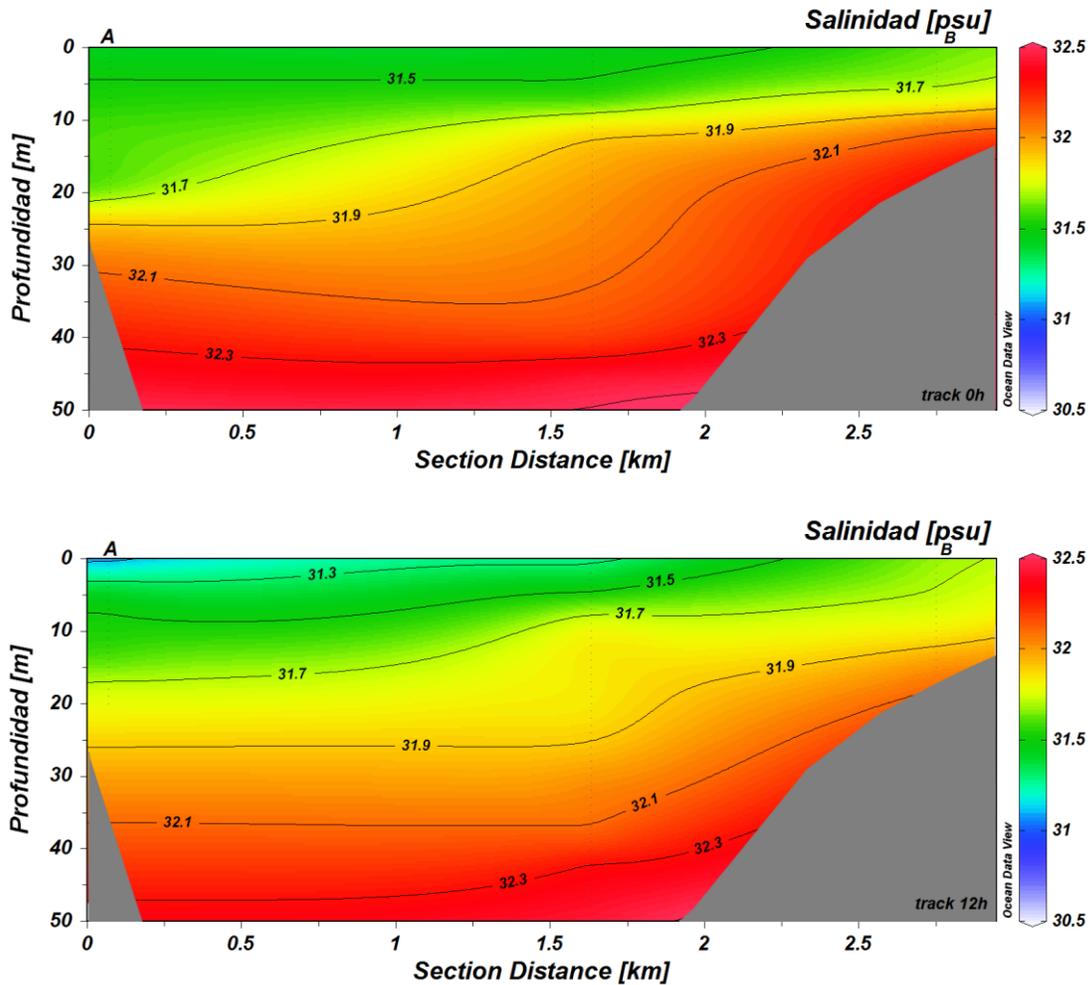


**Figura 21.** a) Transectas T1 y T2 efectuadas entre las Islas Betecoi, Clotilde y Leucayec a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente U en transecto T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.

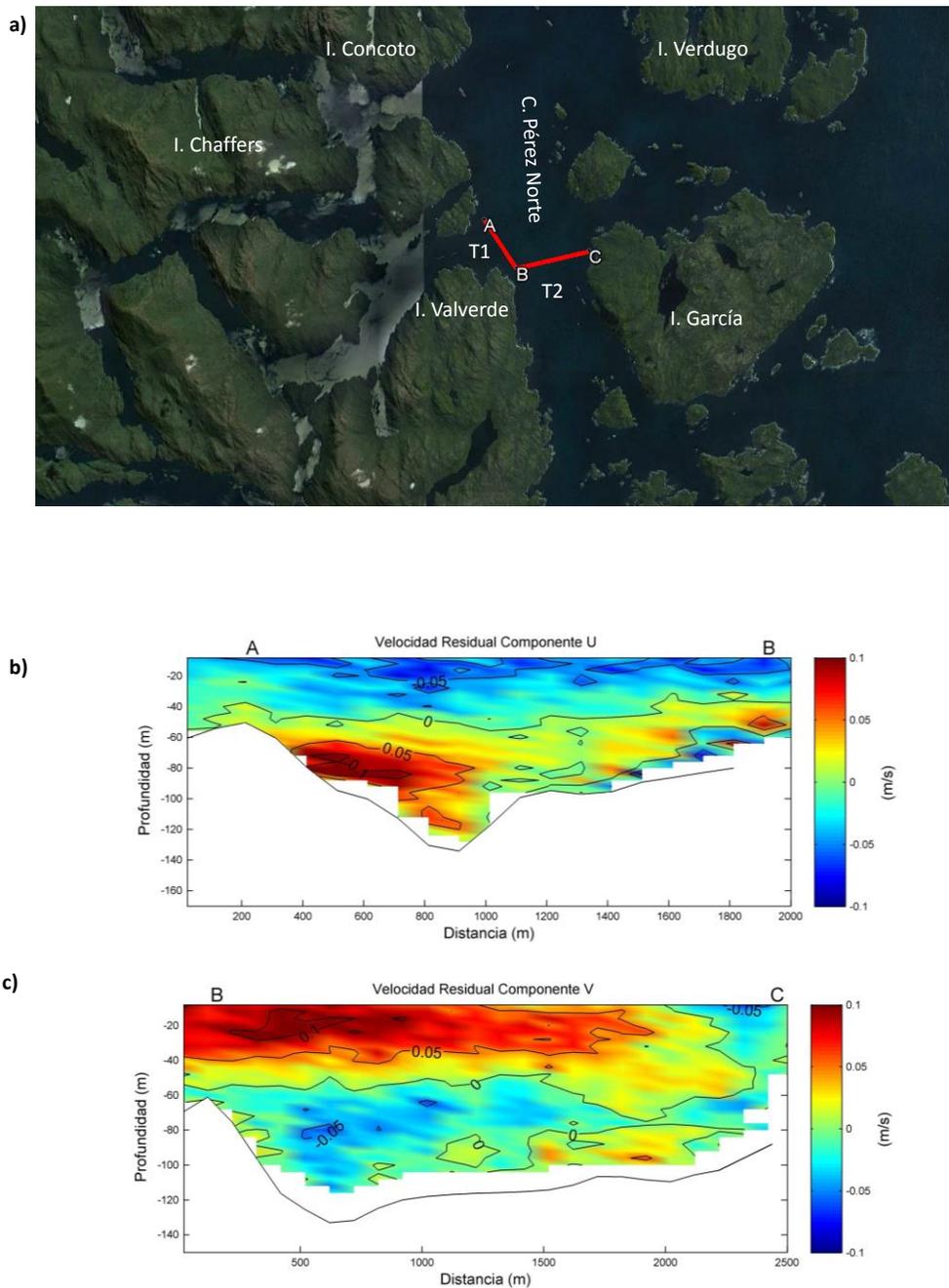


**Figura 22.** Distribuci3n vertical de salinidad entre las Islas Betecoi, Clotilde y Leucayec realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.





**Figura 24.** Distribuci3n vertical de salinidad canal Pihuel realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.



**Figura 25.** a) Transectas T1 y T2 efectuadas en canal P3rez Norte a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente U en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campa1a de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.

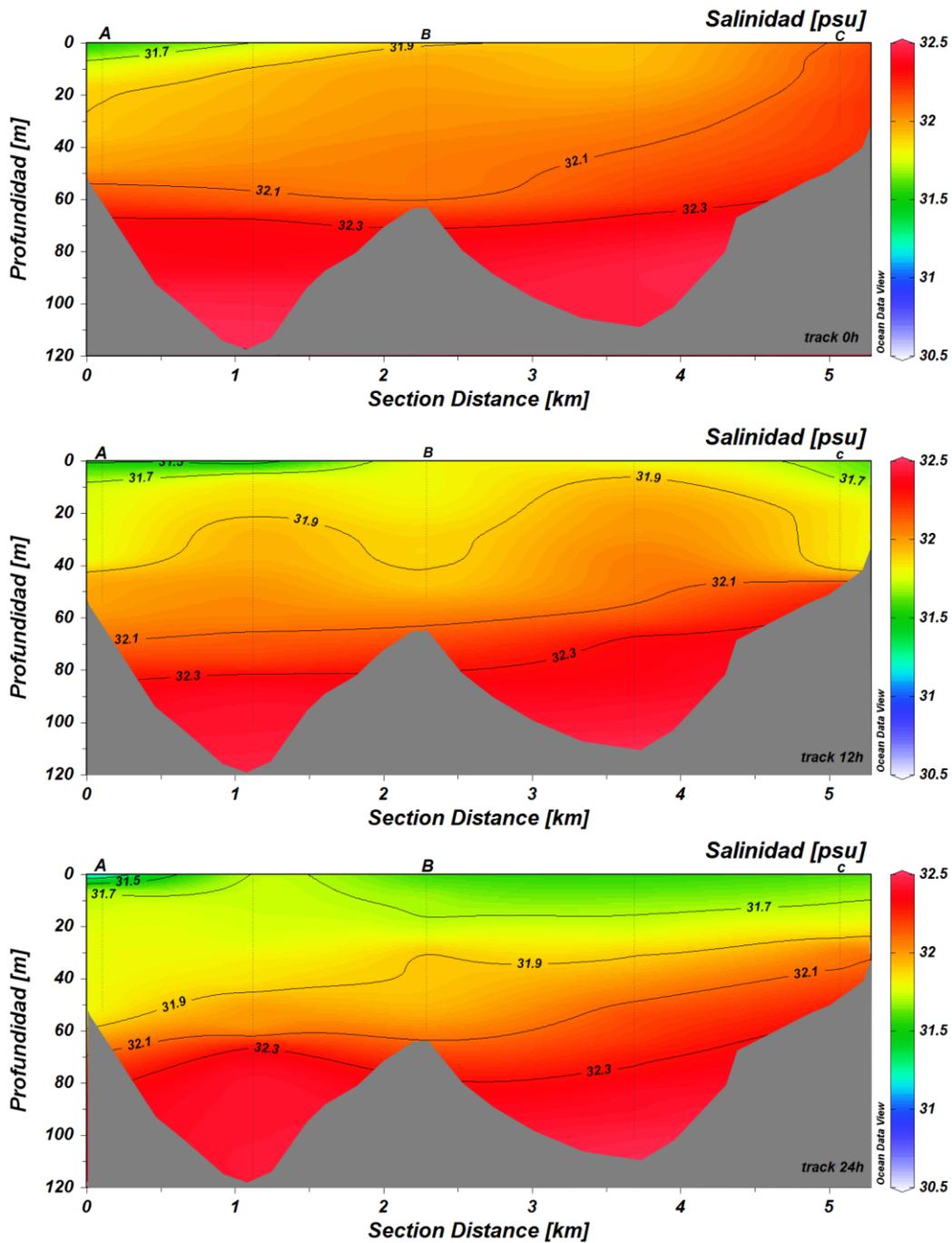
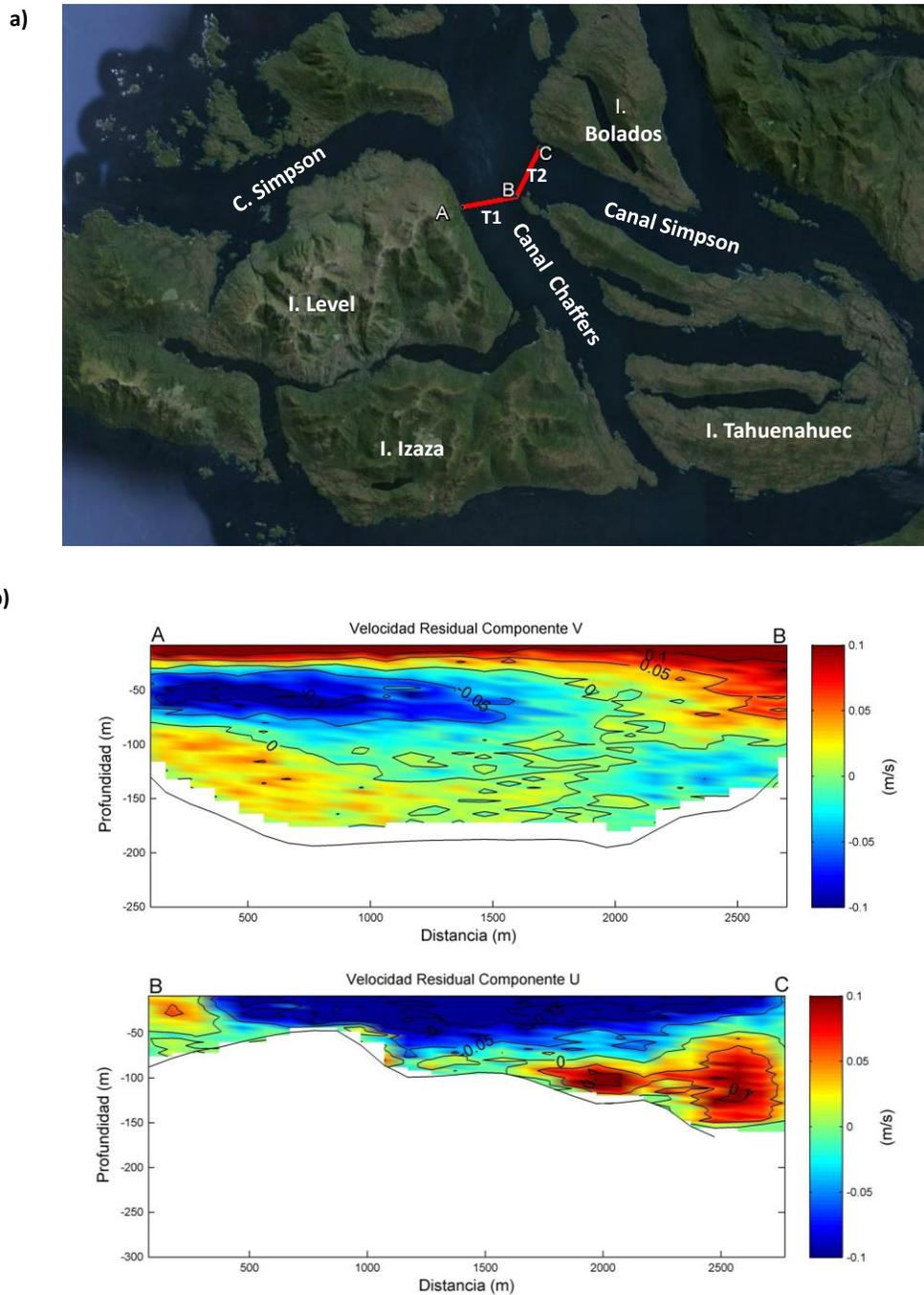
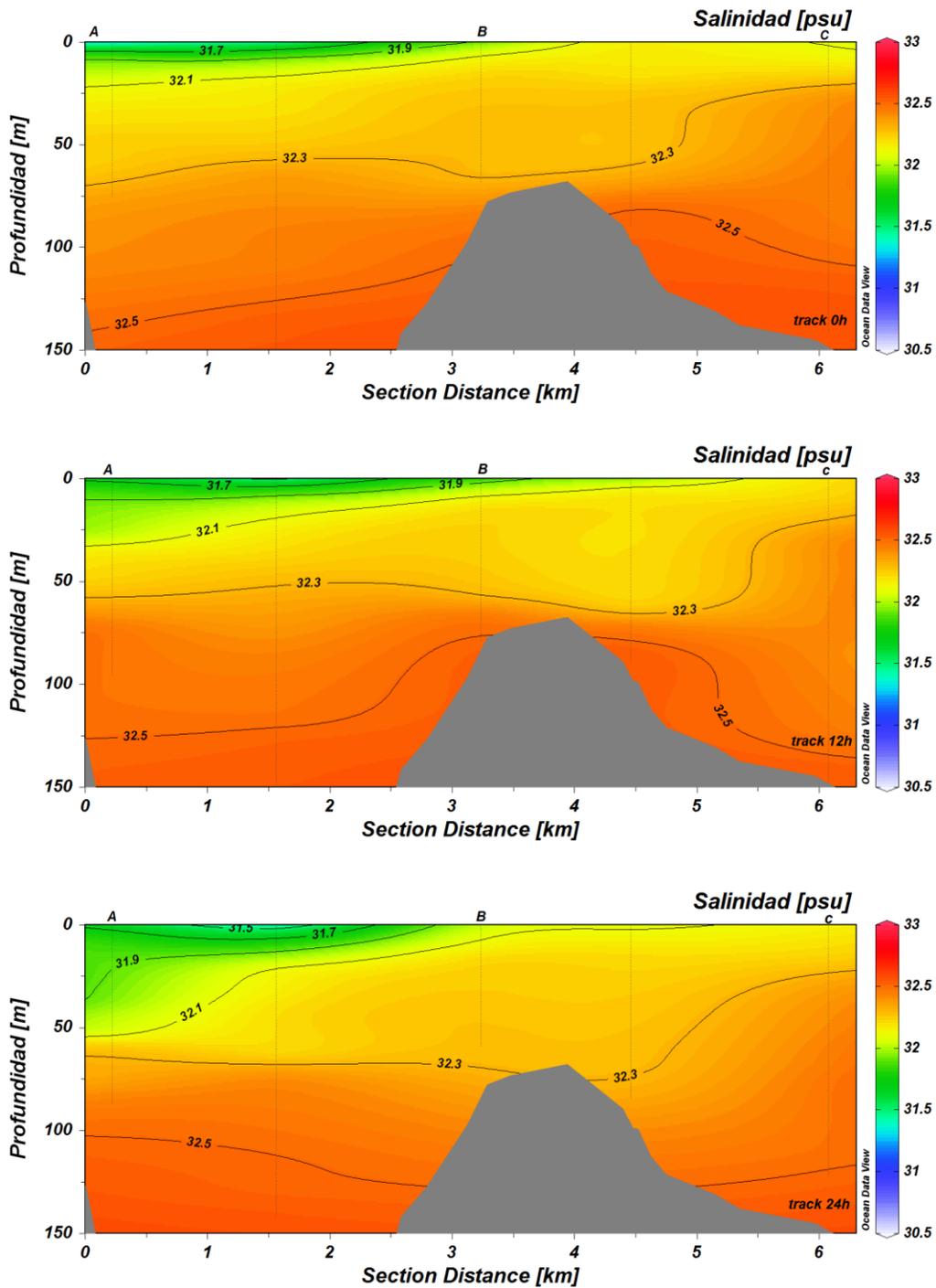


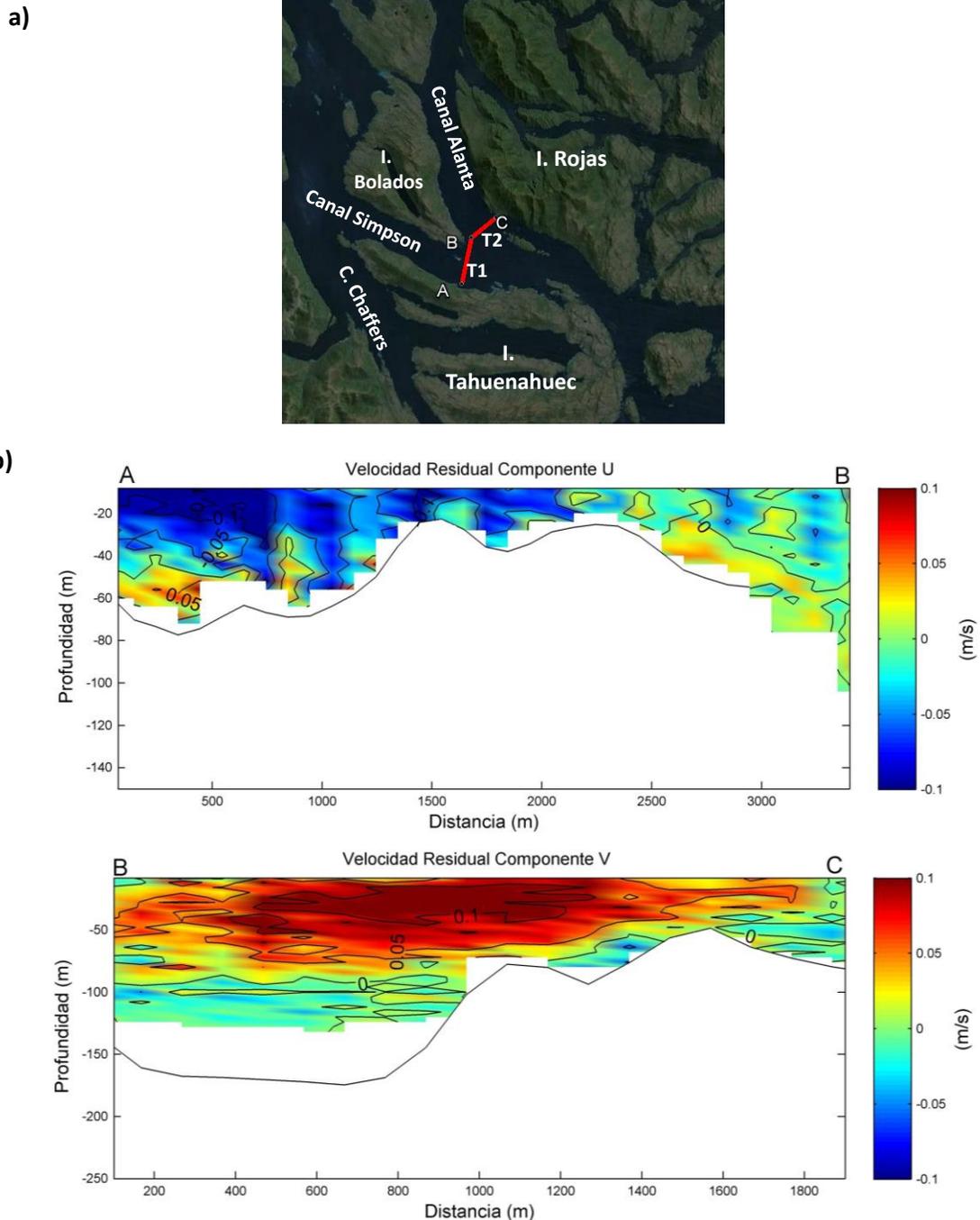
Figura 26. Distribuci3n vertical de salinidad en canal P3rez Norte realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.



**Figura 27.** a) Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Chaffers y Simpson a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente U en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en invierno 2014.



**Figura 28.** Distribuci3n vertical de salinidad en canal Chaffers y Simpson realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.



**Figura 29.** a) Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Simpson y Alanta a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente U en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.

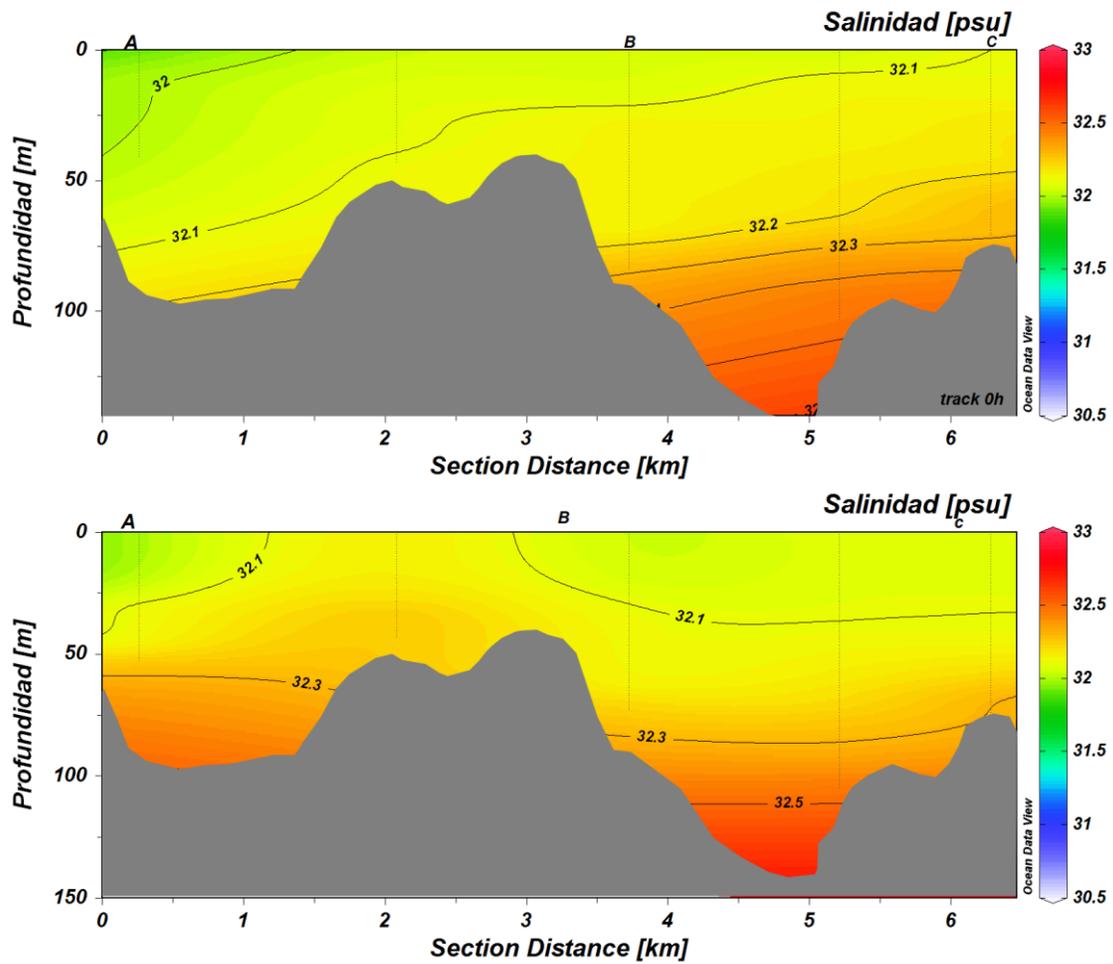
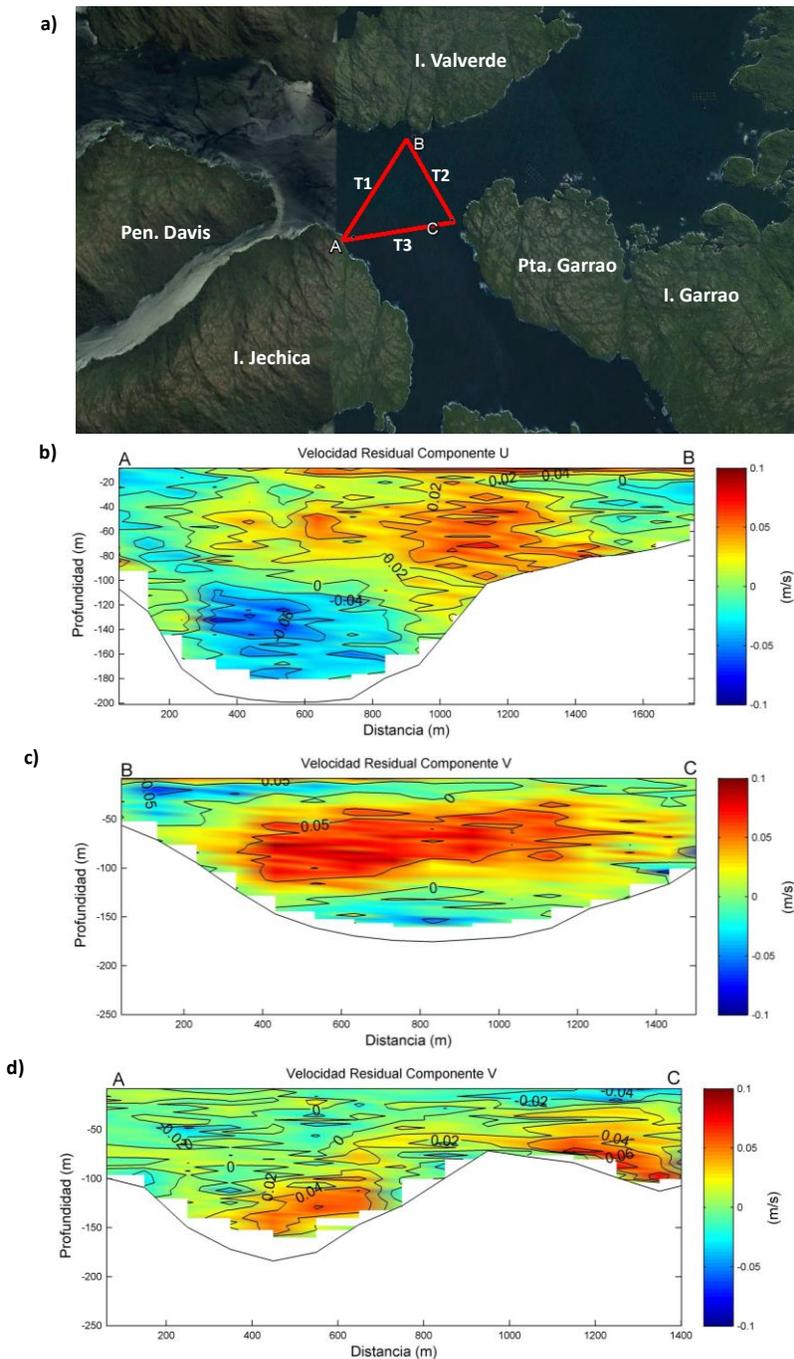
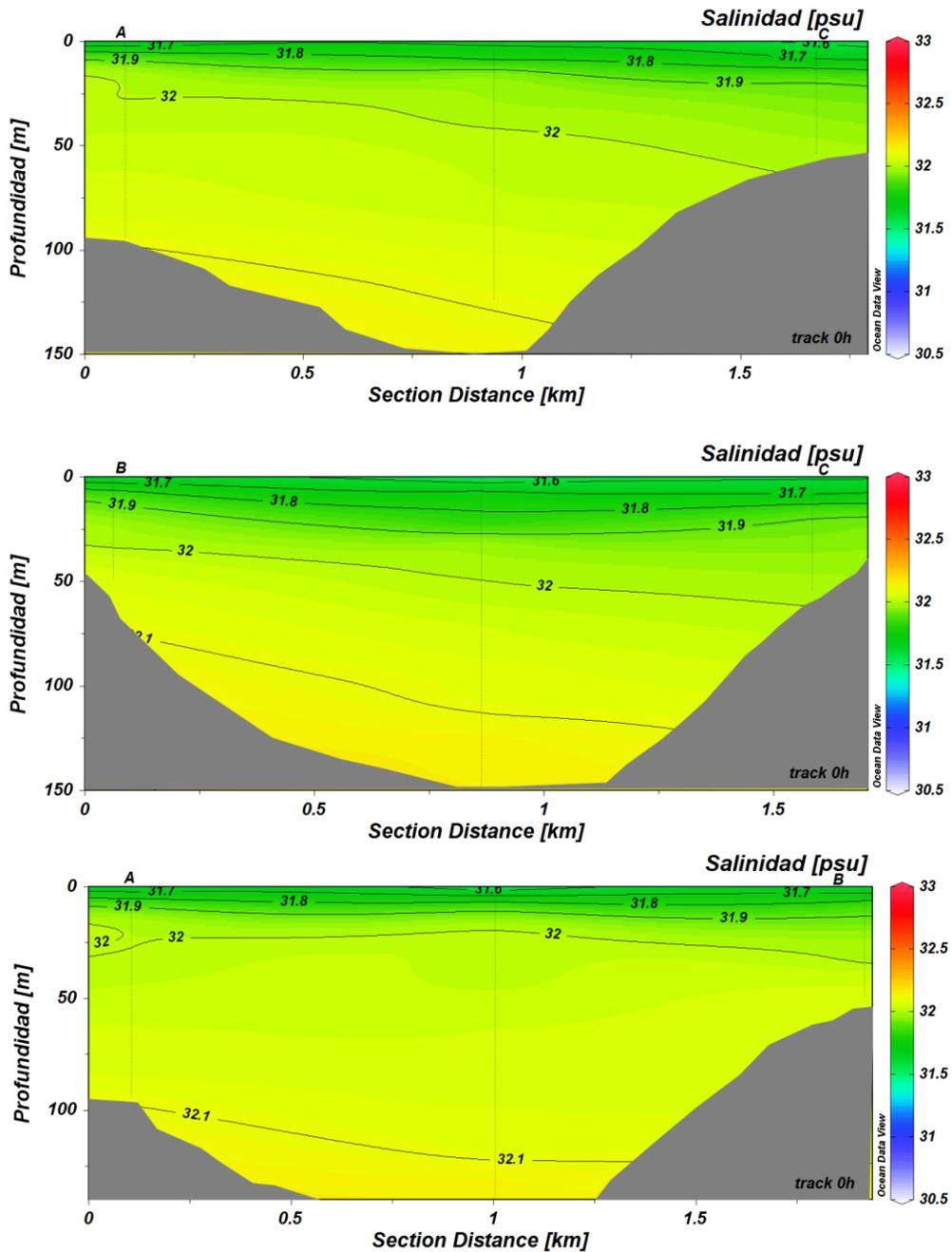


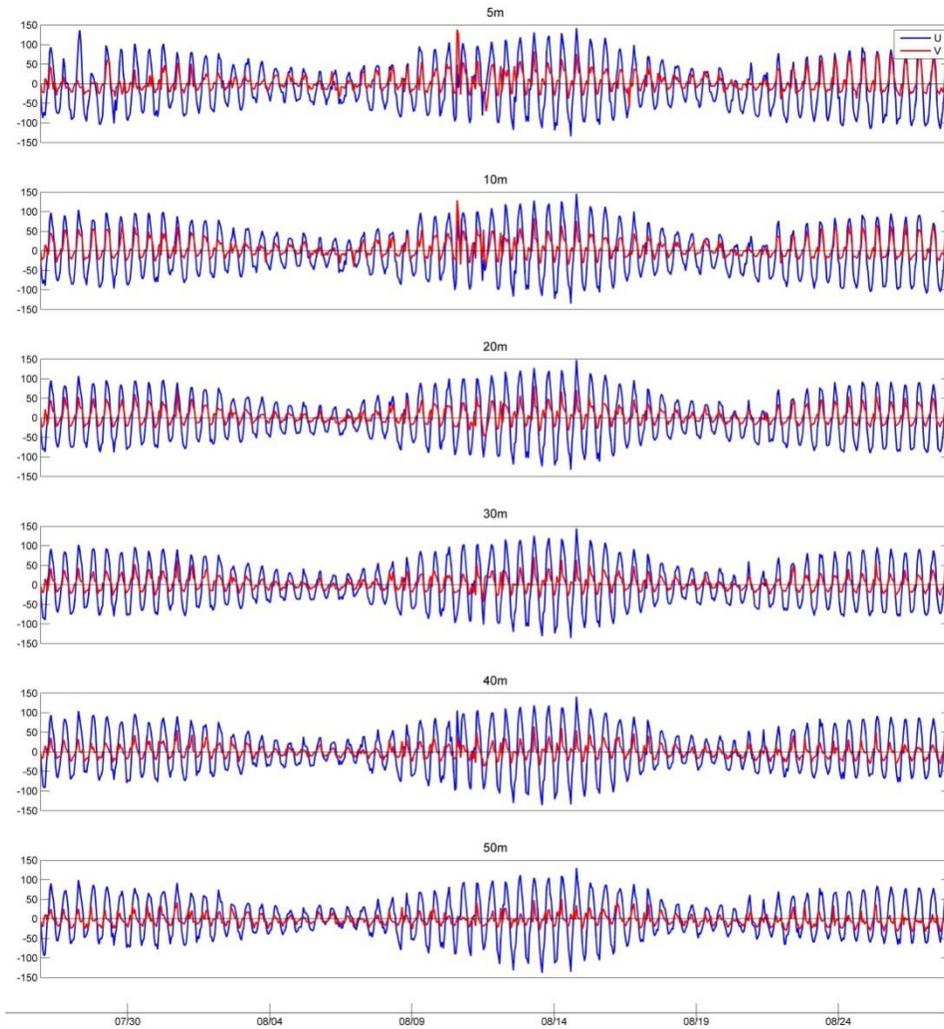
Figura 30. Distribuci3n vertical de salinidad en canal Simpson y Alanta realizada durante las transectas de ADCP remolcado, en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.



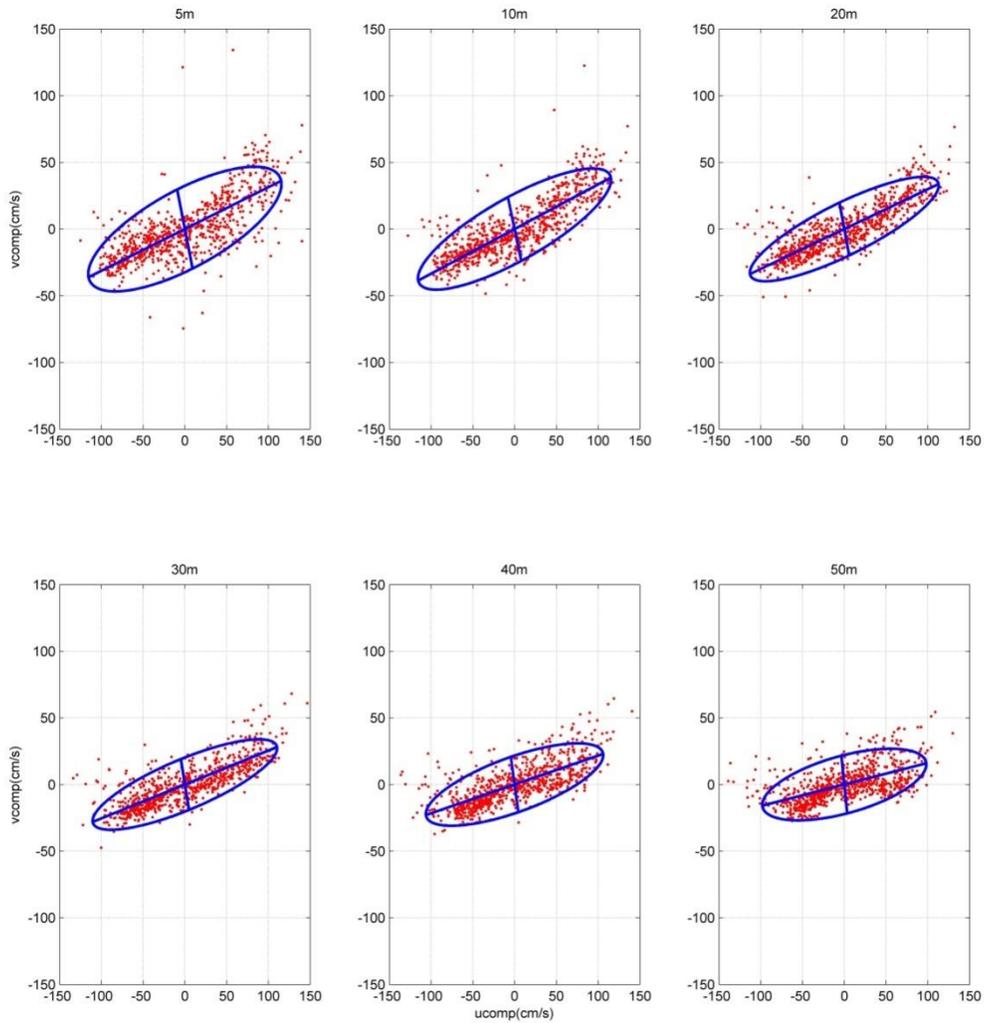
**Figura 31.** a) Transectas T1, T2 y T3 efectuadas entre las islas Valverde, Garrao y Jechica a trav3s de ADCP remolcado; b) flujo residual de la componente U en la transecta T1; c) flujo residual de la componente V en la transecta T2; d) flujo residual de la componente V en la transecta T3 durante la campa1a de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.



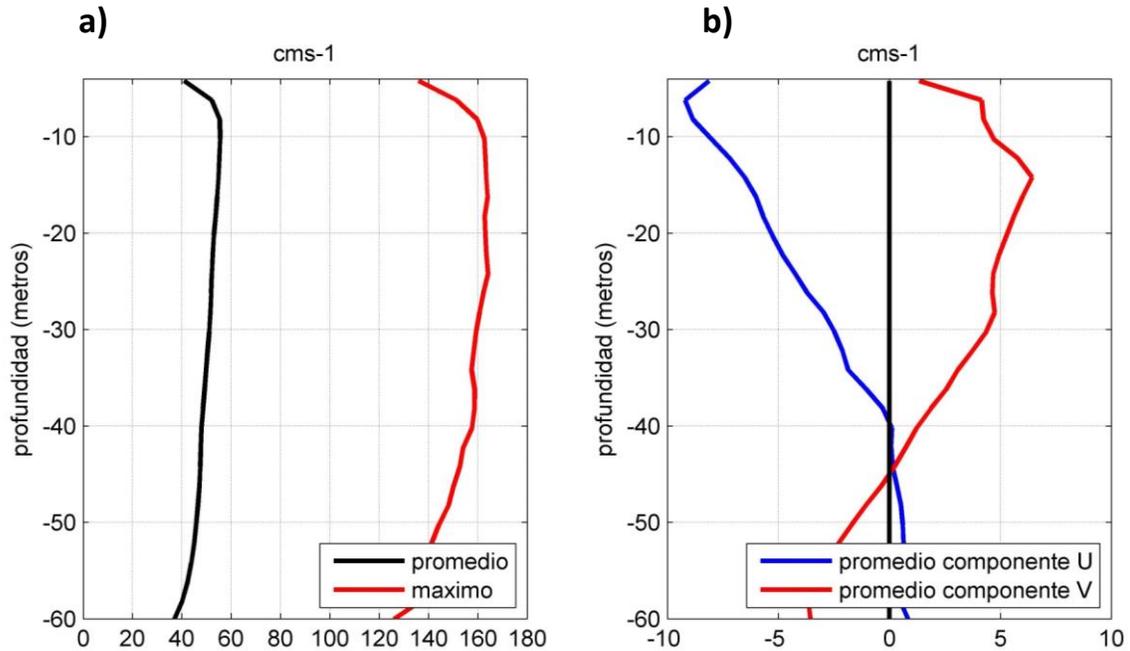
**Figura 32.** Distribuci3n vertical de salinidad entre las islas Valverde, Garrao y Jechica realizada durante los transectos de ADCP remolcado, en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.



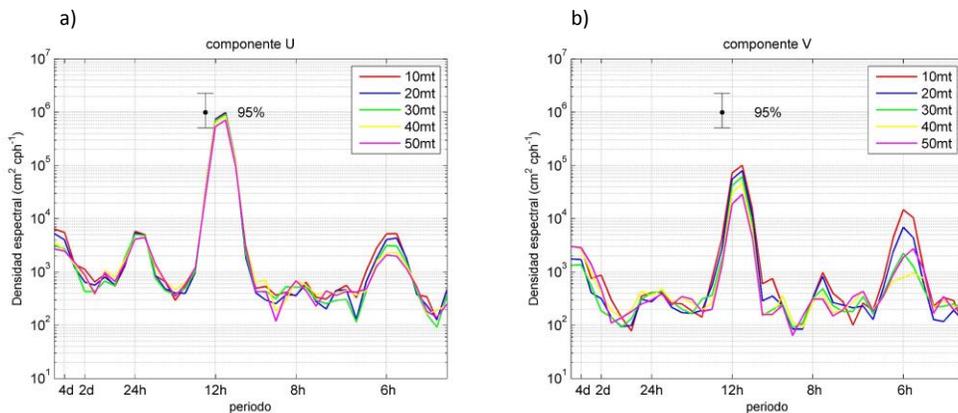
**Figura 33.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en canal Baeza, durante la campaña de invierno 2014 en Archipiélago de las Guaitecas.



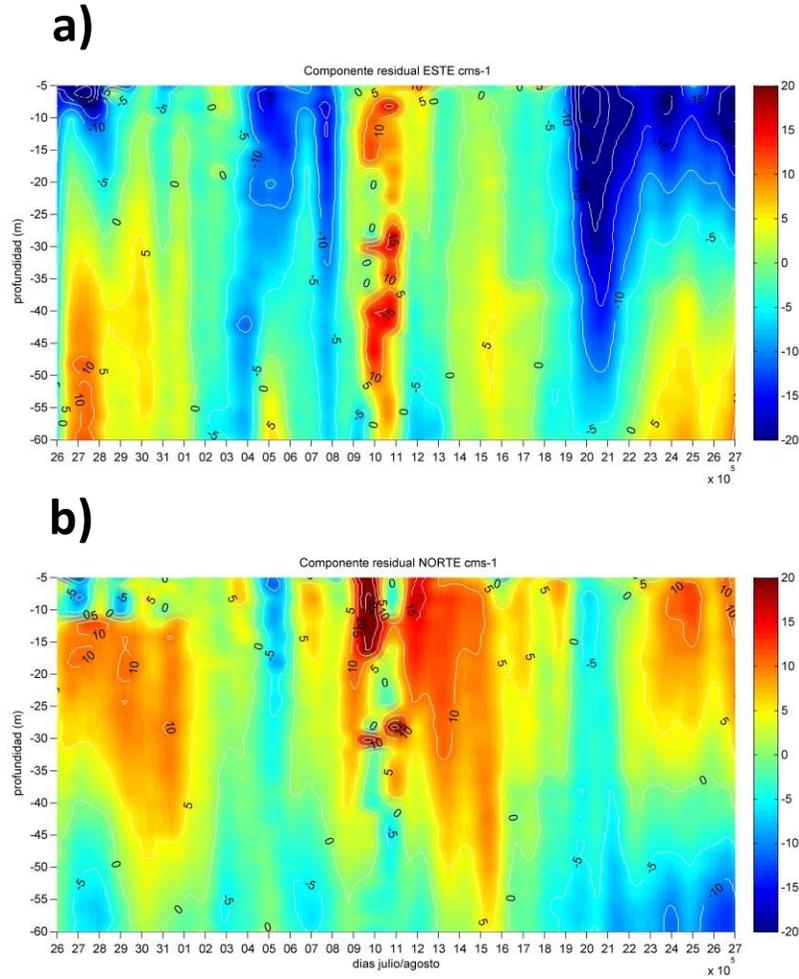
**Figura 34.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en canal Baeza durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



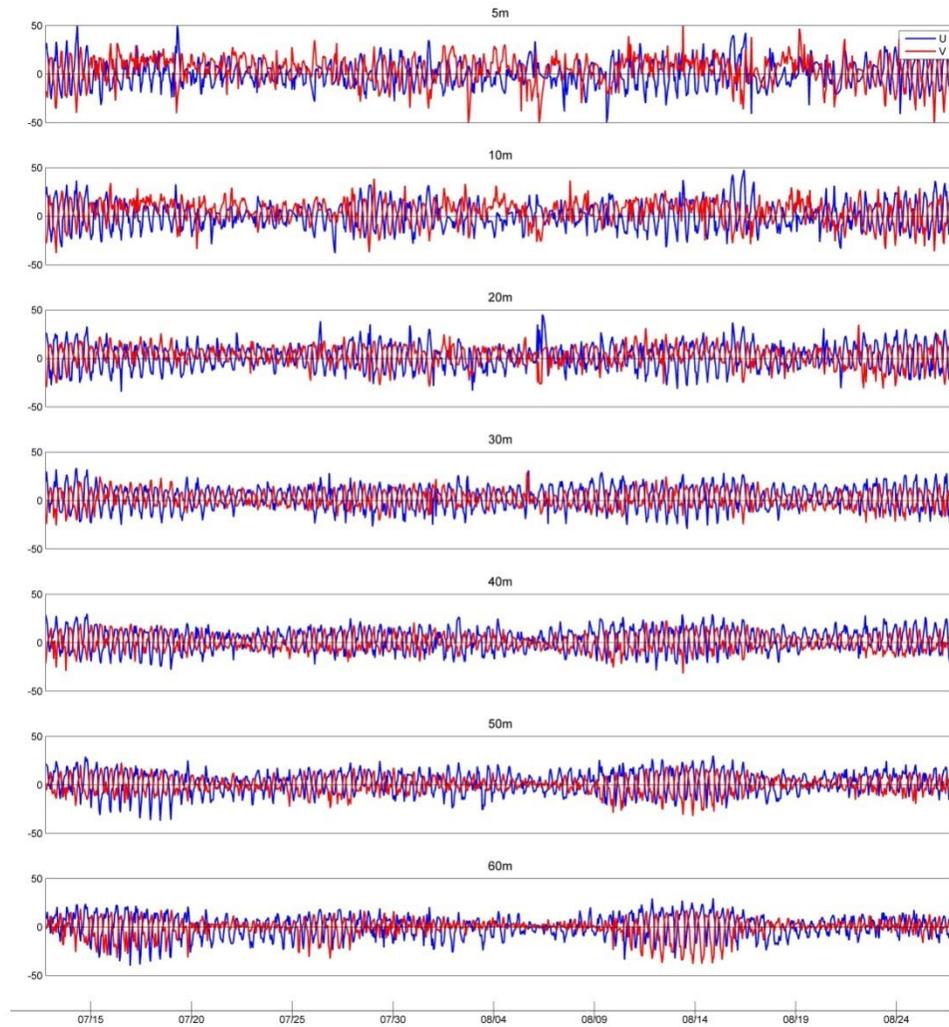
**Figura 35.** (a) Perfiles promedio y m3ximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Baeza durante la campaa de invierno 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



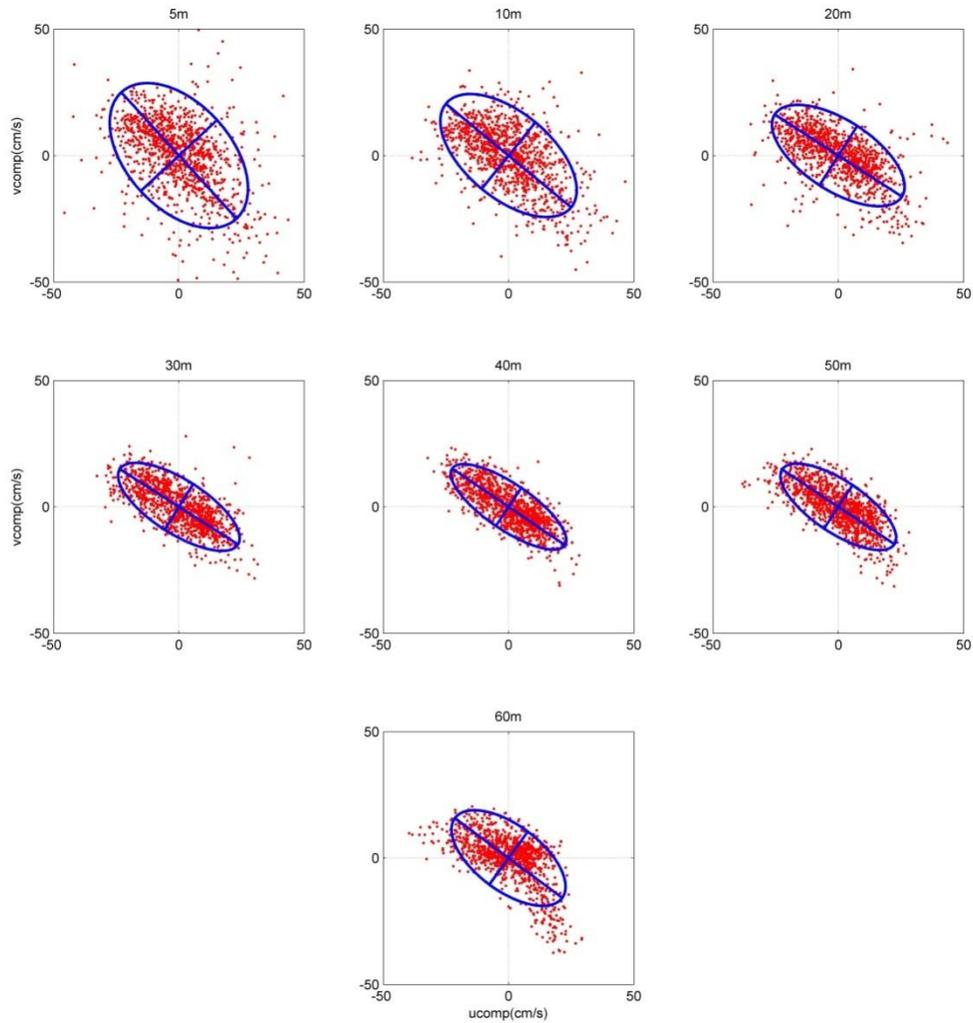
**Figura 36.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Baeza durante la campaa de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



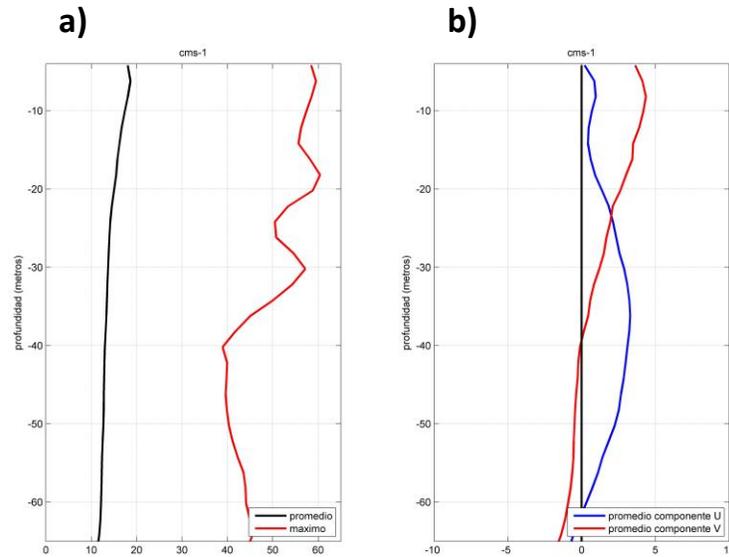
**Figura 37.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Baeza durante la campa1a de invierno 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



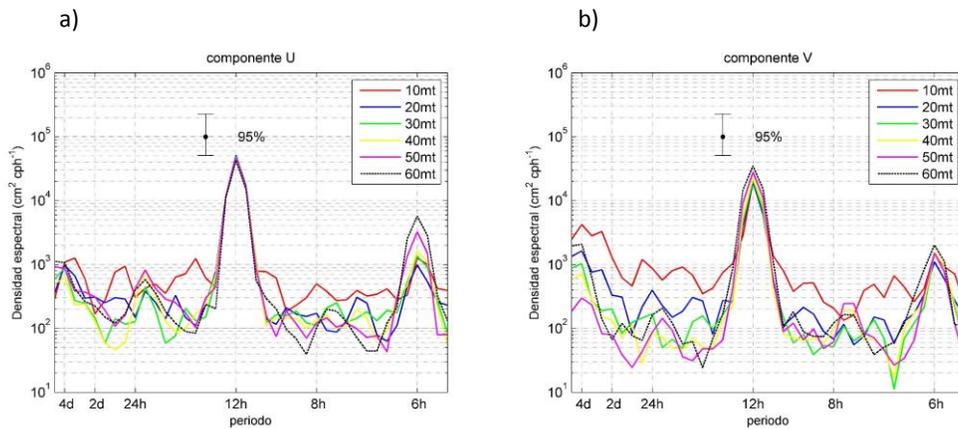
**Figura 38.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50-60 m en P3rez Norte, durante la campaa de invierno 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



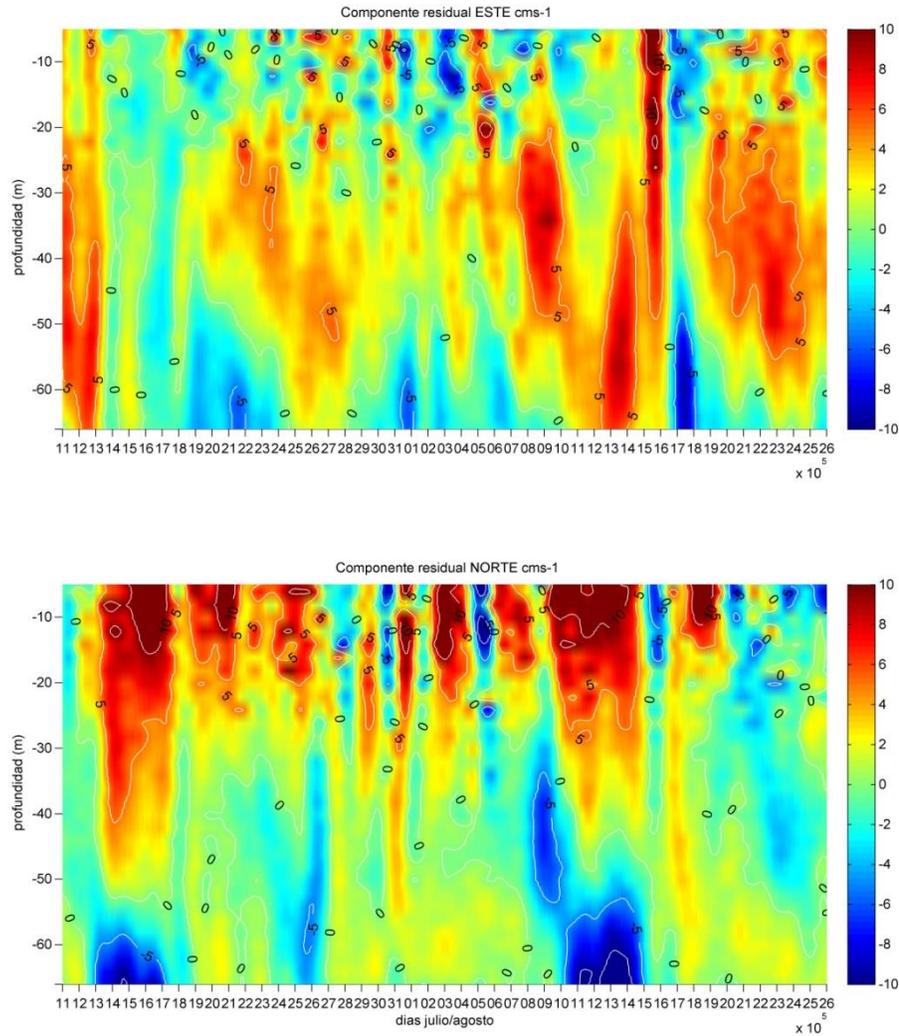
**Figura 39.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50-60 m en canal Pérez Norte durante la campaña de invierno en archipiélago de las Guaitecas, región de Aysén.



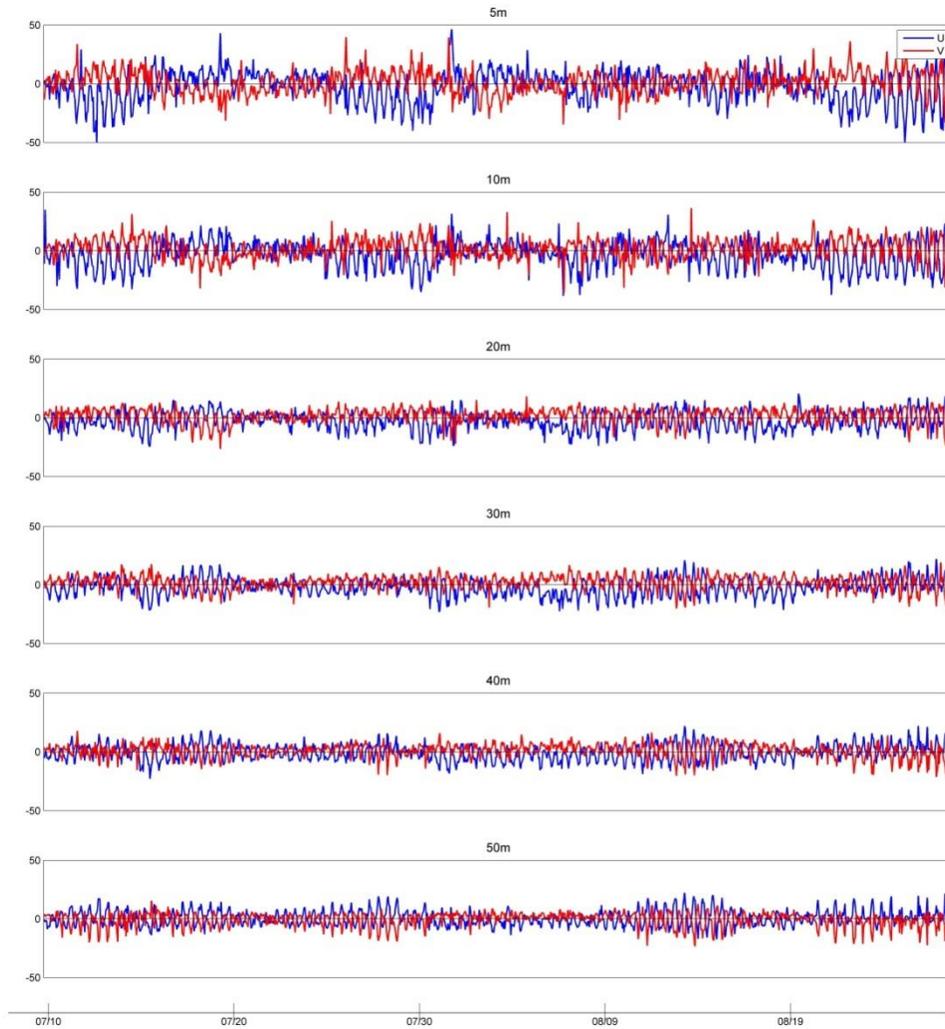
**Figura 40.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Pérez Norte durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



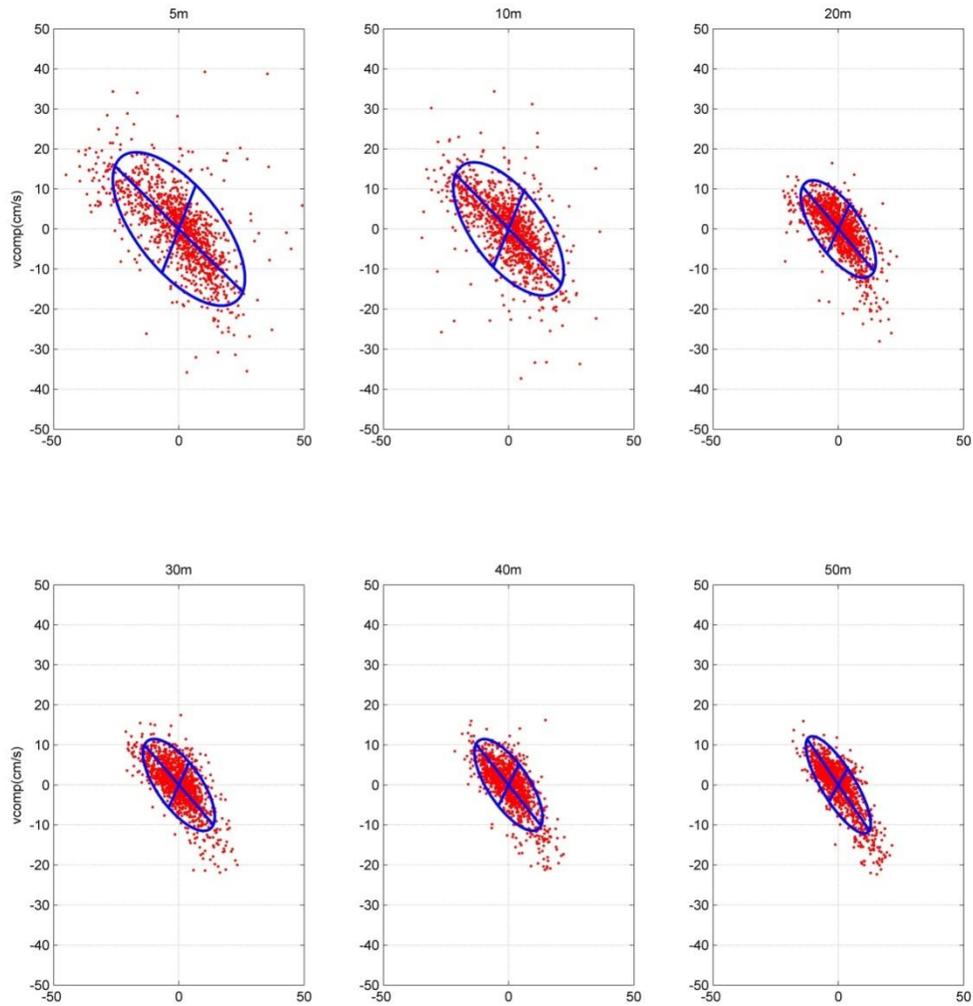
**Figura 41.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V, en canal Pérez Norte durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas, región de Aysén.



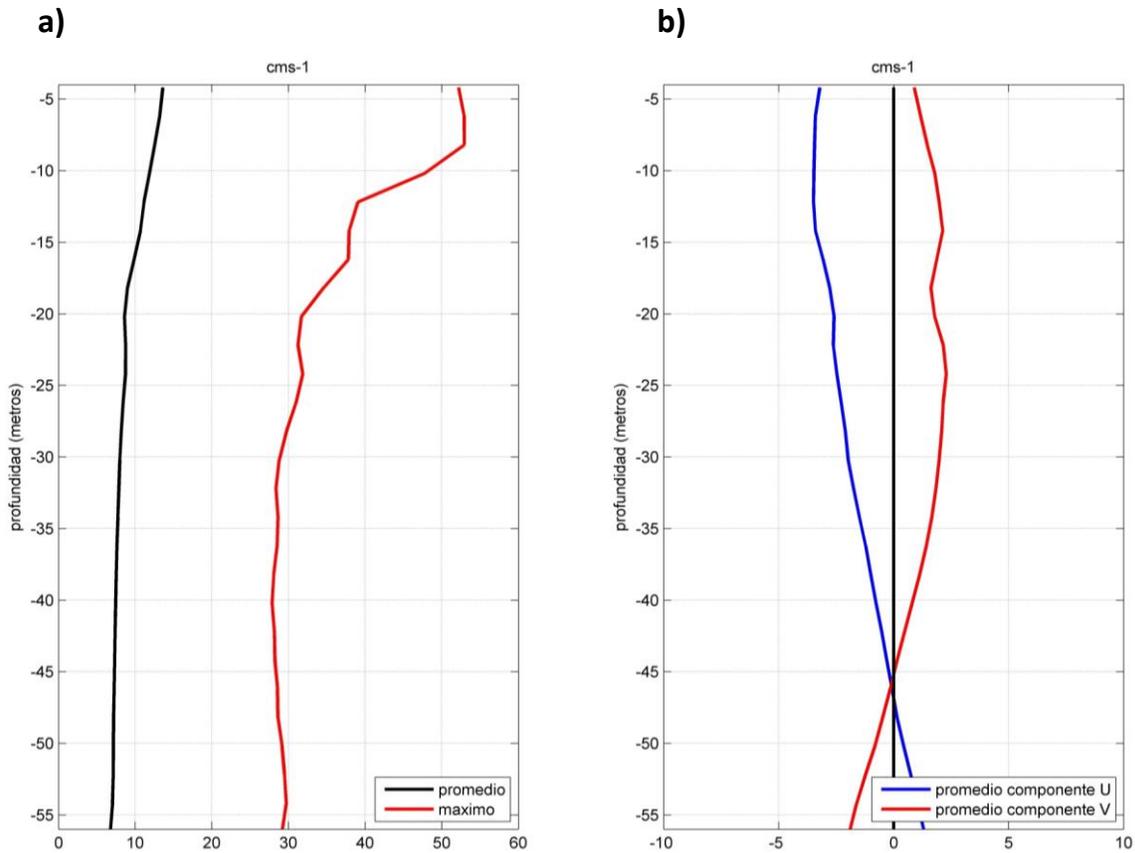
**Figura 42.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal P3rez Norte durante la campaa de invierno 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



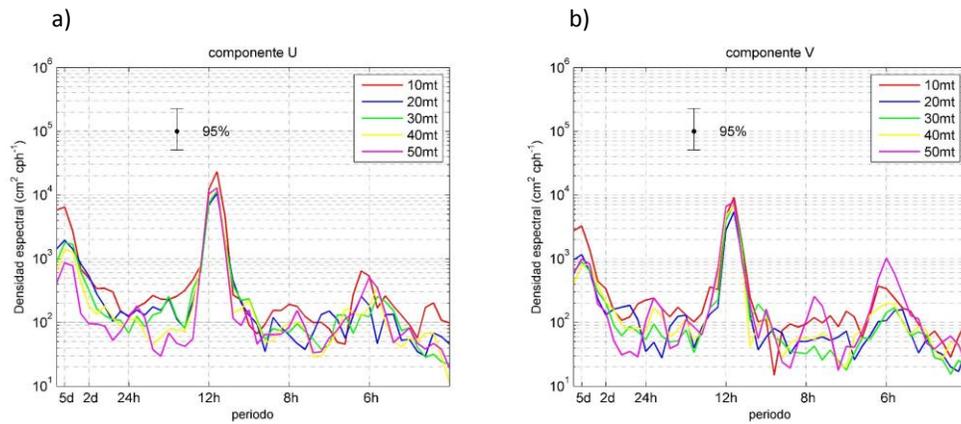
**Figura 43.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en Punta Garrao, durante la campaa de invierno 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



**Figura 44.** Elipses de máxima variancia en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en Punta Garrao durante la campaa de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



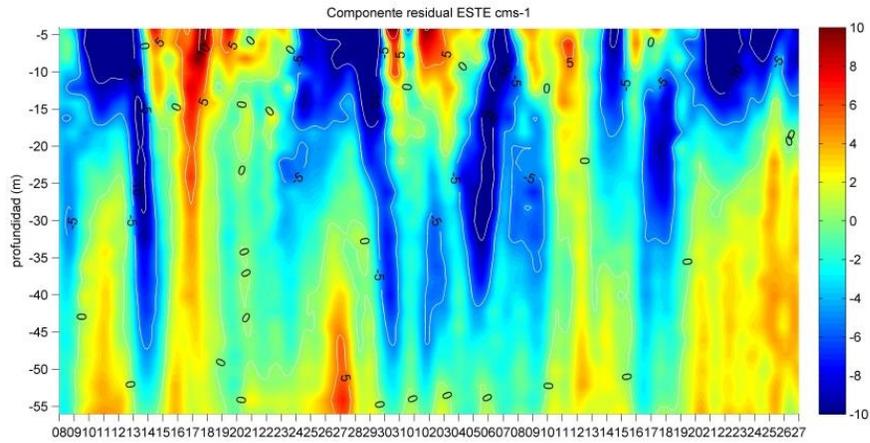
**Figura 45.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Punta Garrao durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



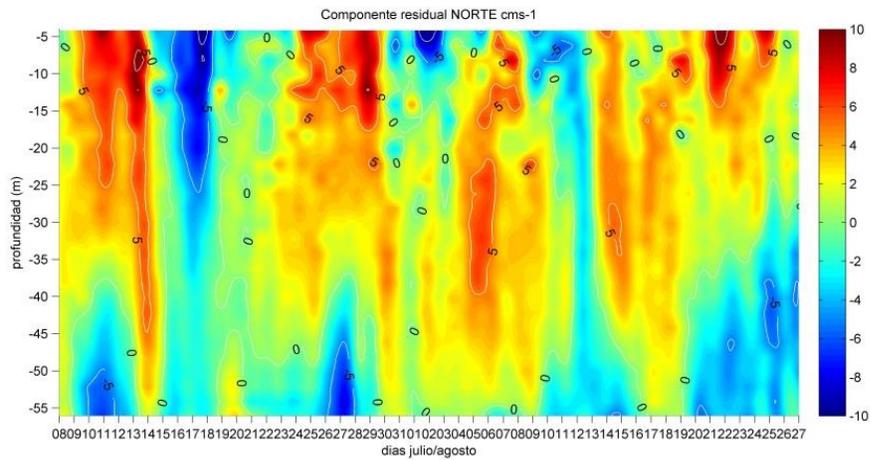
**Figura 46.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en Punta Garrao durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



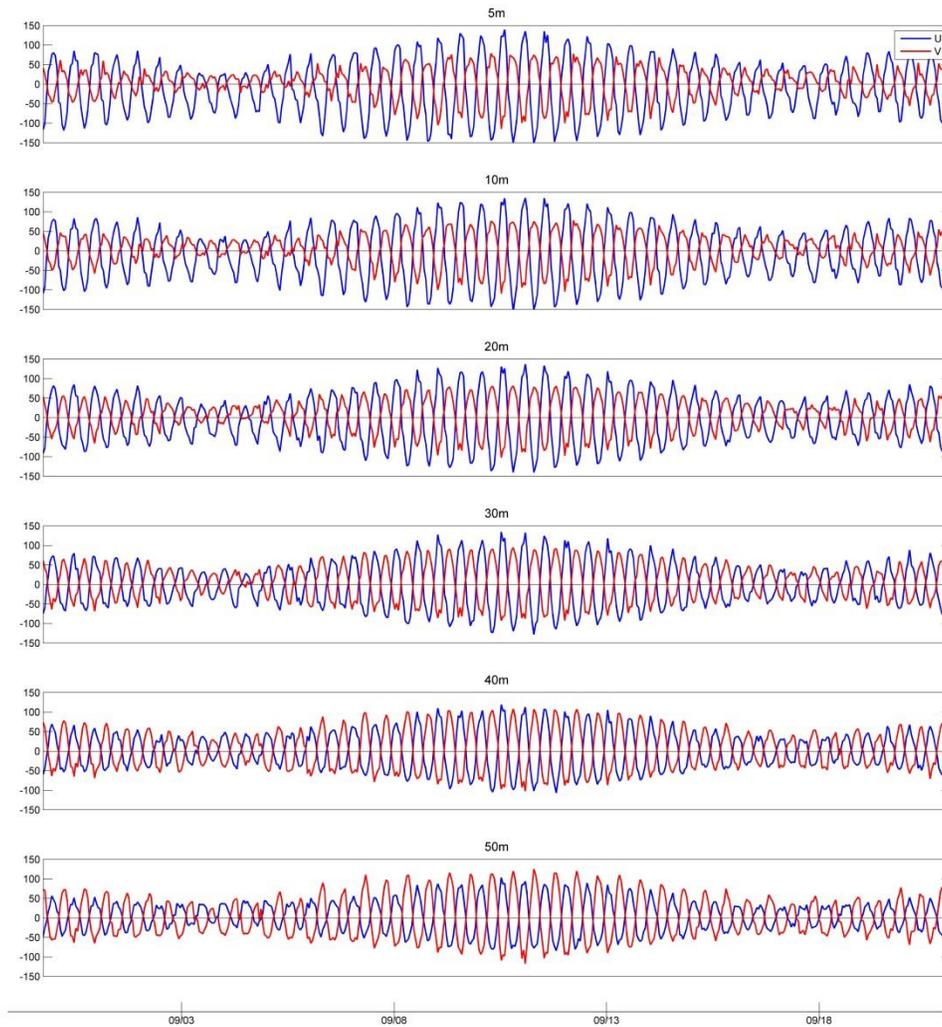
a)



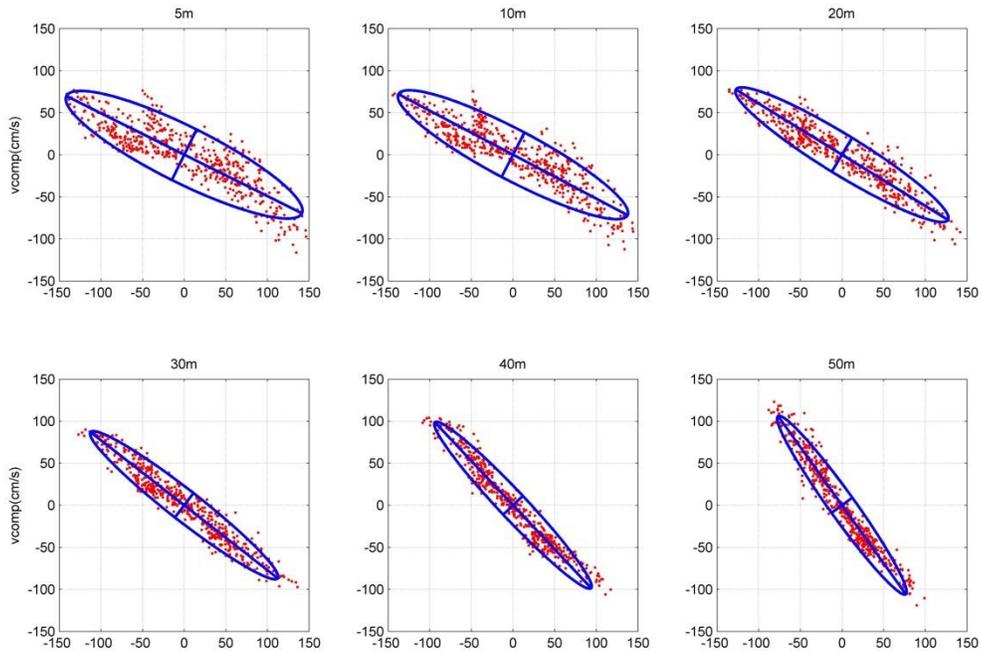
b)



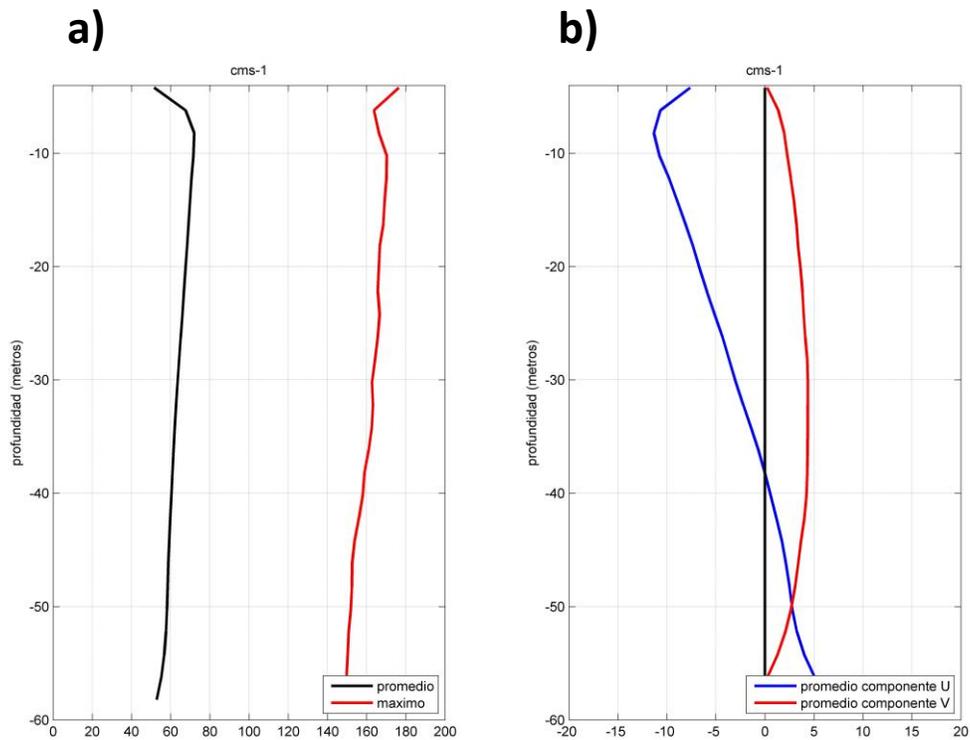
**Figura 47.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en Punta Garrao durante la campaa de invierno 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



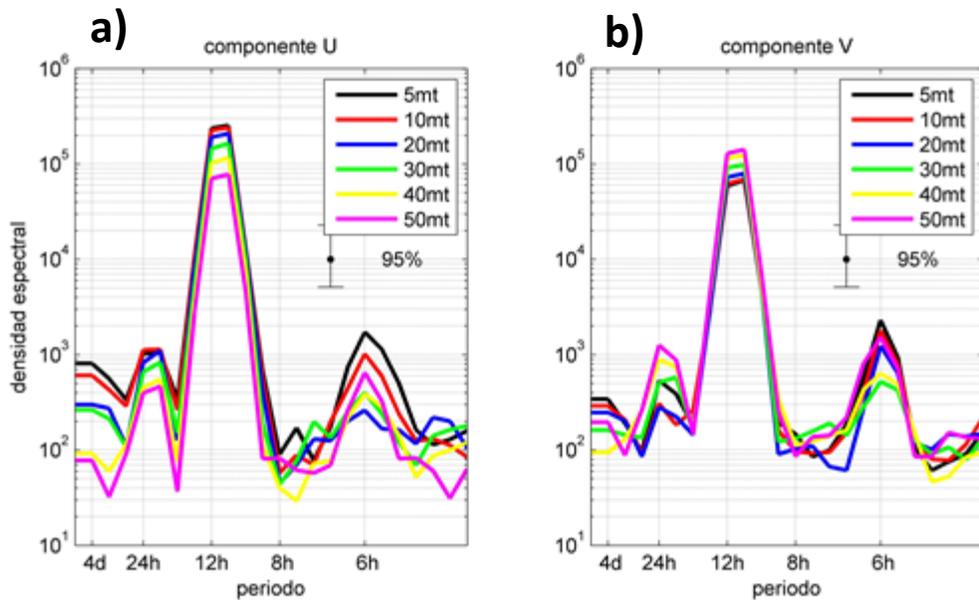
**Figura 48.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en Betecoi, durante la campaa de invierno 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



**Figura 49.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50-60 m en Betecoi, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



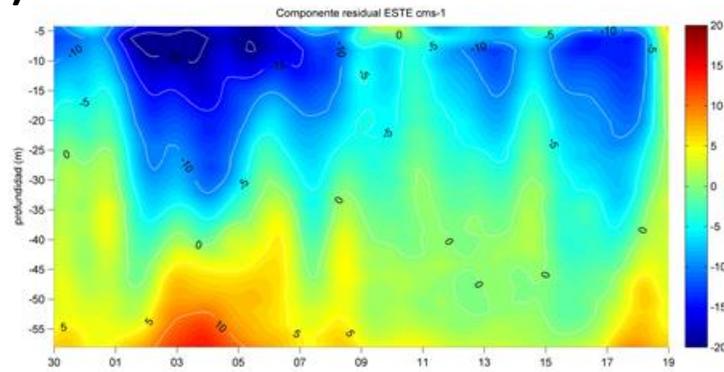
**Figura 50.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Betecoi, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



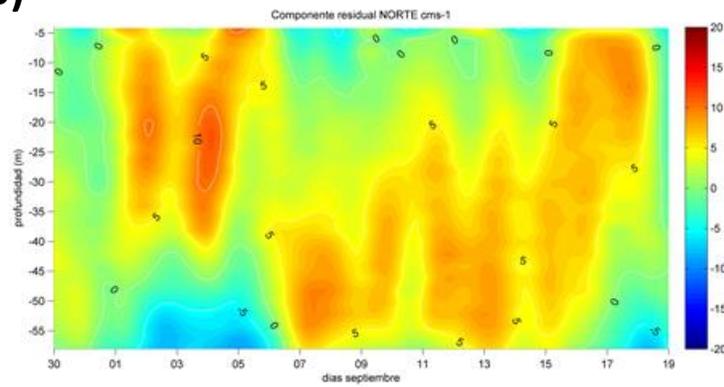
**Figura 51.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en Betecoi, durante la campa1a de invierno 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



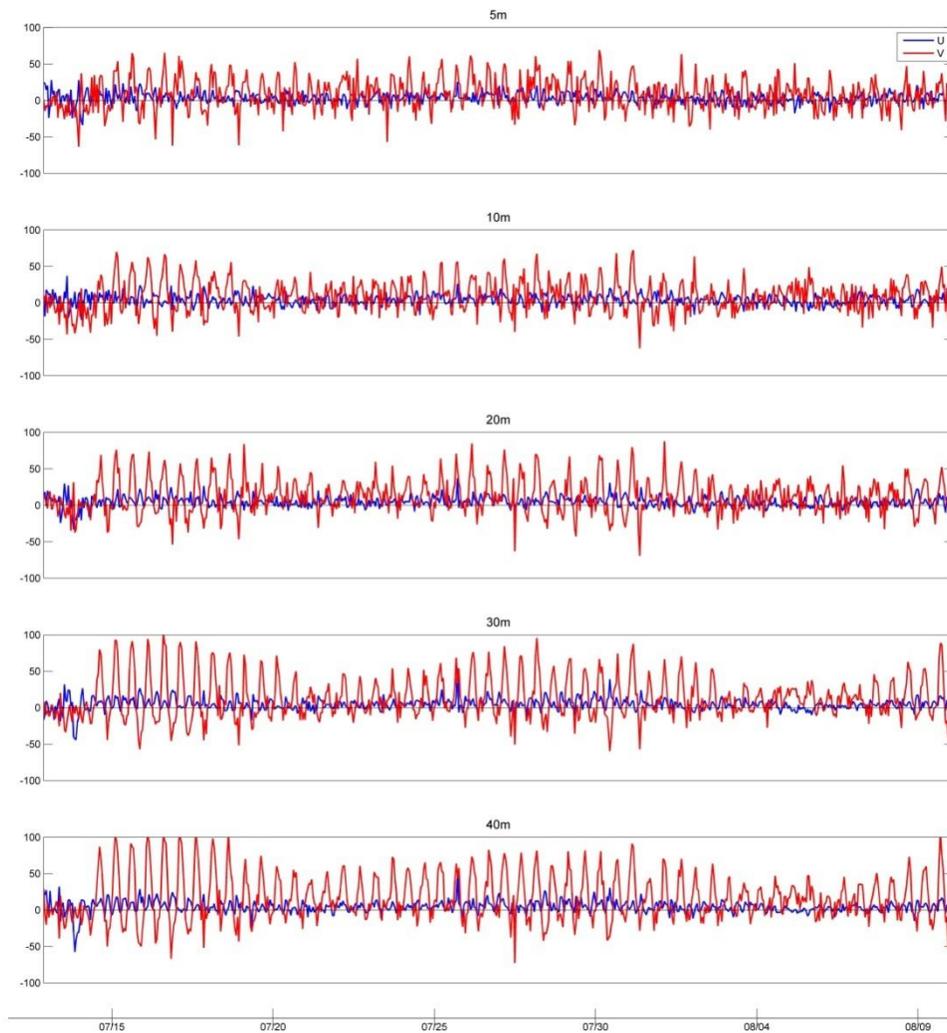
a)



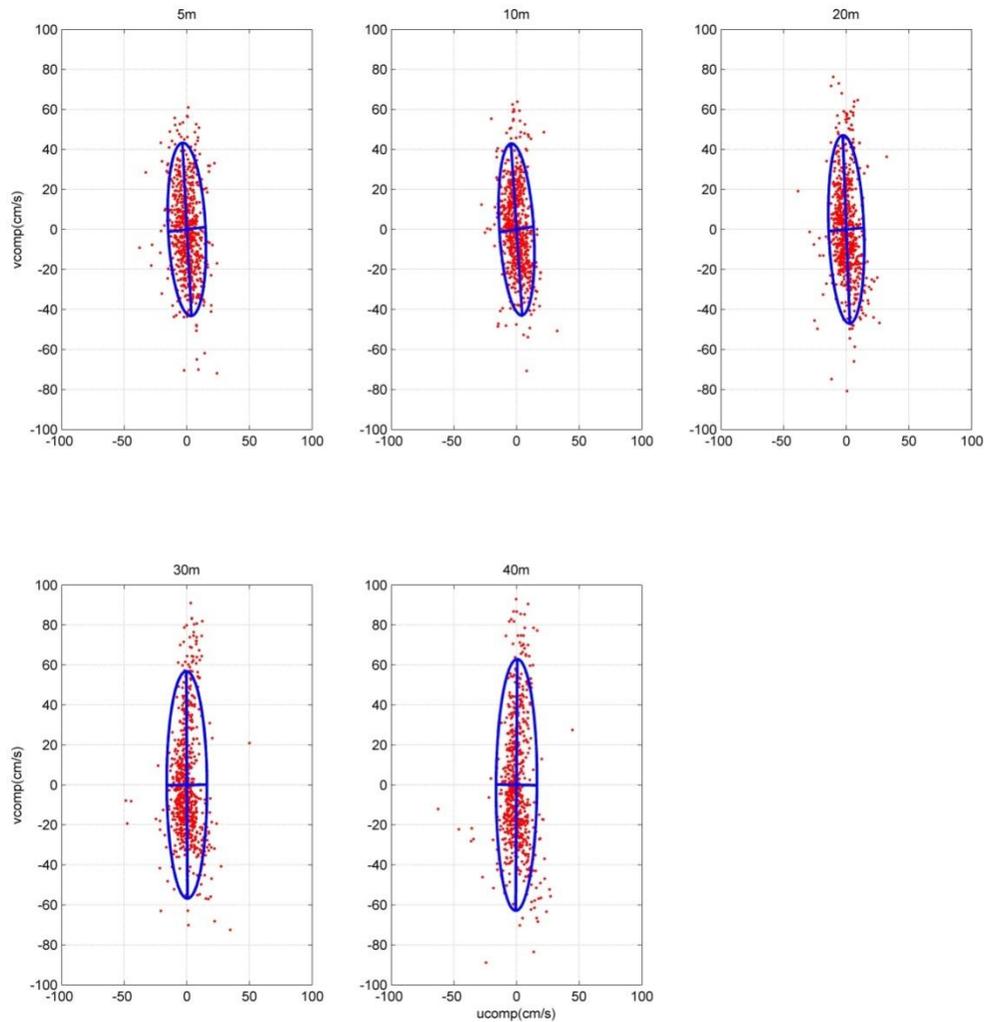
b)



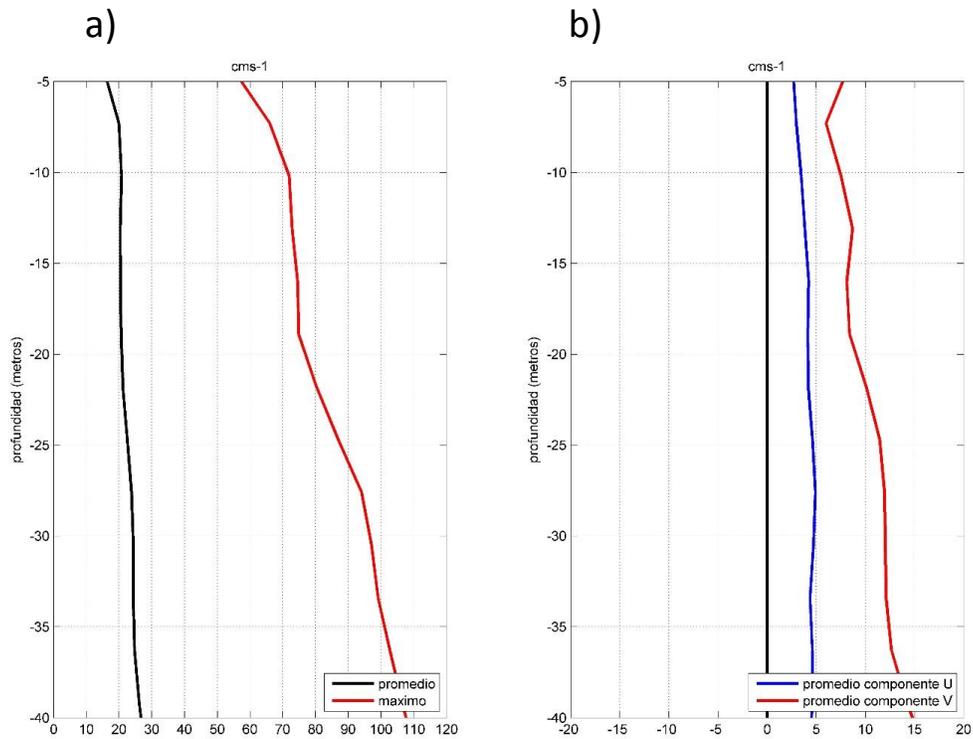
**Figura 52.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en Betecoi, durante la campaa de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



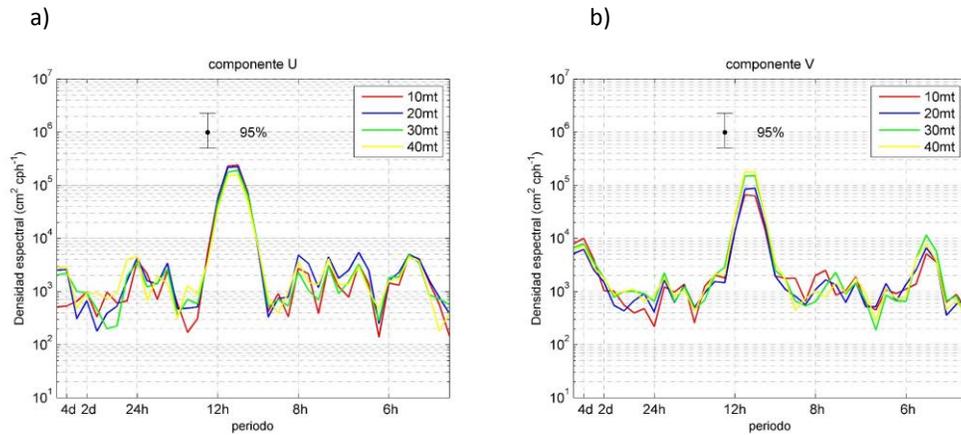
**Figura 53.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40 m en Isla Verdugo, durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



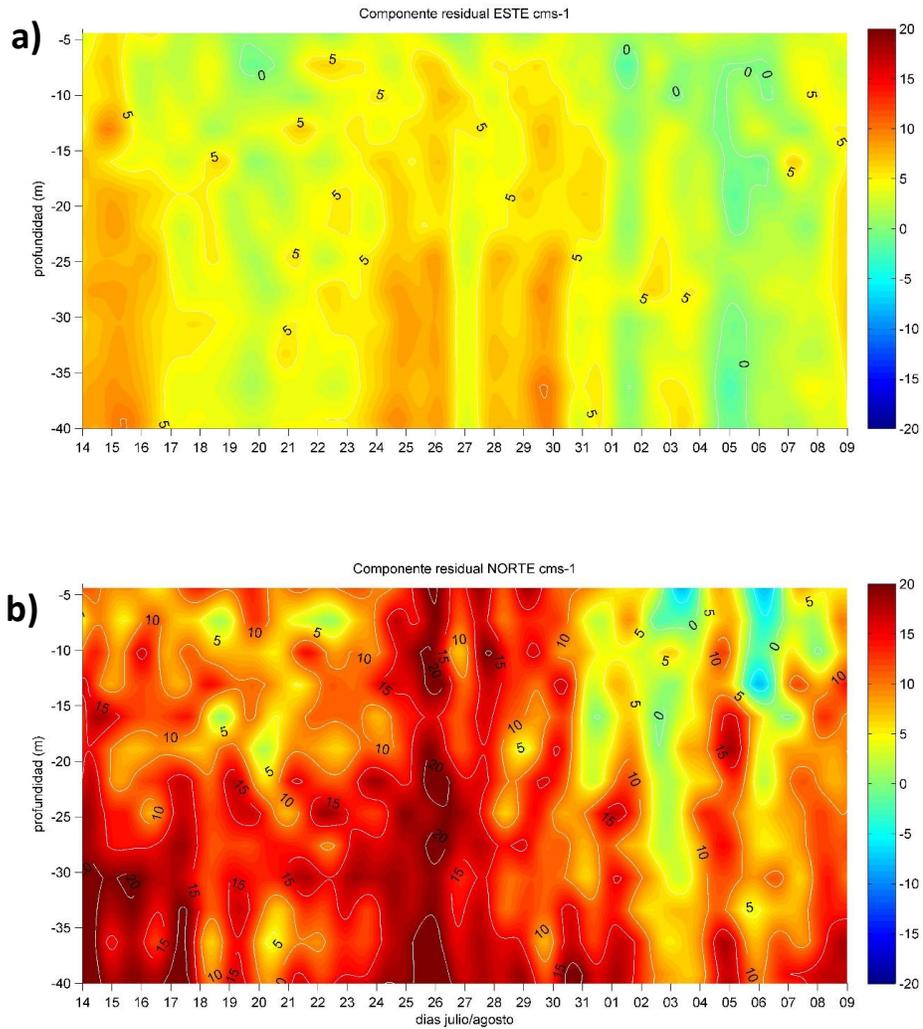
**Figura 54.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40 m en isla Verdugo durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



**Figura 55.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Isla Verdugo durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



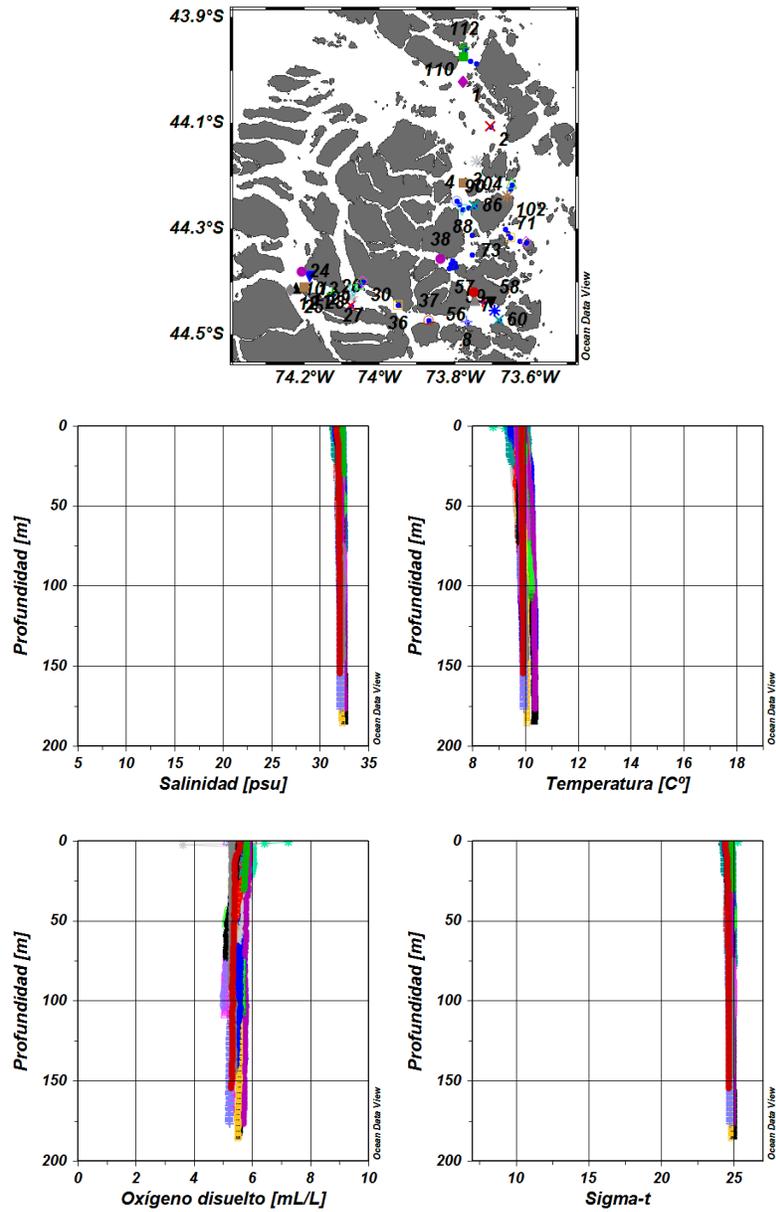
**Figura 56.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en Isla Verdugo durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



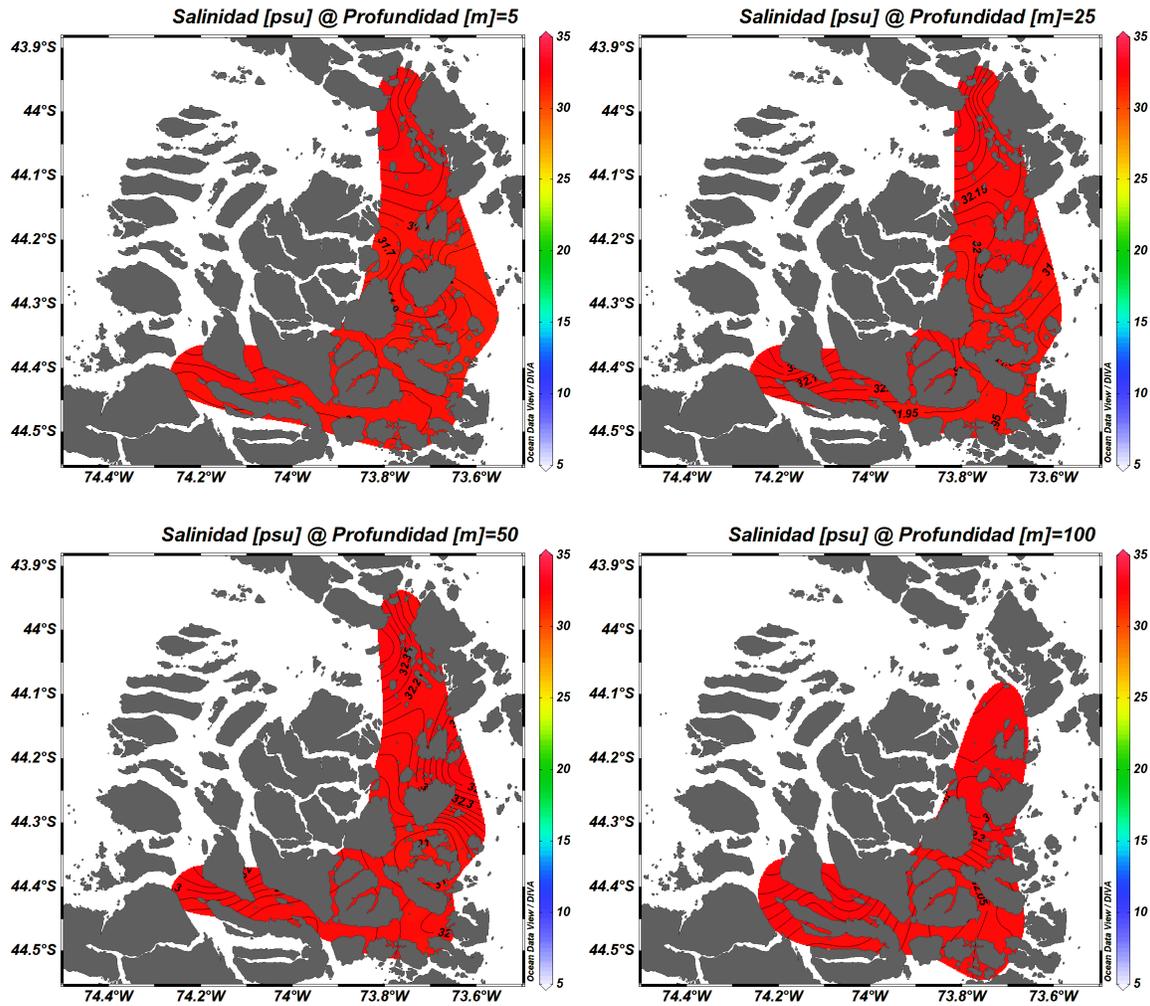
**Figura 57.** Superficies color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) componente V (norte) en Isla Verdugo durante la campaña de invierno 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



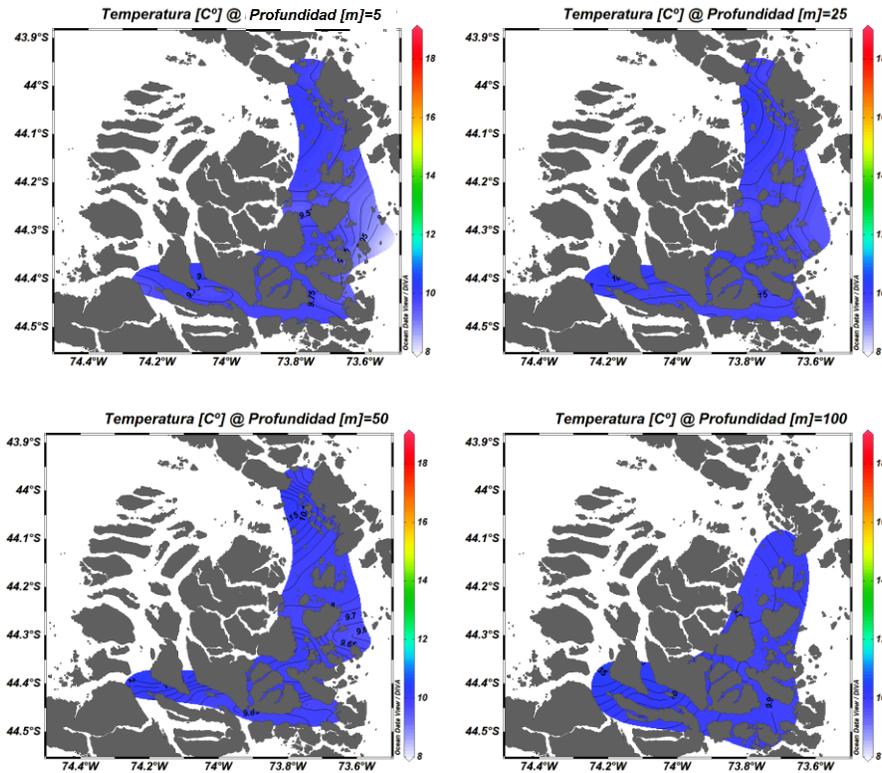
Symbol	Station ID
●	7 (B)
▲	56 (B)
▼	58 (B)
✱	59 (B)
×	60 (B)
+	8 (B)
○	37 (B)
□	36 (B)
◇	30 (B)
△	29 (B)
▽	28 (B)
*	27 (B)
×	26 (B)
+	25 (B)
●	24 (B)
■	11 (B)
◆	12 (B)
▲	10 (B)
▼	13 (B)
+	57 (B)
■	110 (B)
◆	1 (B)
*	102 (B)
×	86 (B)
○	90 (B)
□	73 (B)
◇	71 (B)
△	104 (B)
▽	88 (B)
*	3 (B)
×	2 (B)
+	112 (B)
●	38 (B)



**Figura 58.** Ubicaci3n y simbología por estaci3n de muestreo. Distribuci3n vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y densidad para crucero Guaitecas invierno 2014.



**Figura 59.** Distribuci3n horizontal de salinidad para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipi3lago las Guaitecas (invierno 2014).



**Figura 60.** Distribuci3n horizontal de temperatura para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipiélago las Guaitecas (invierno 2014).

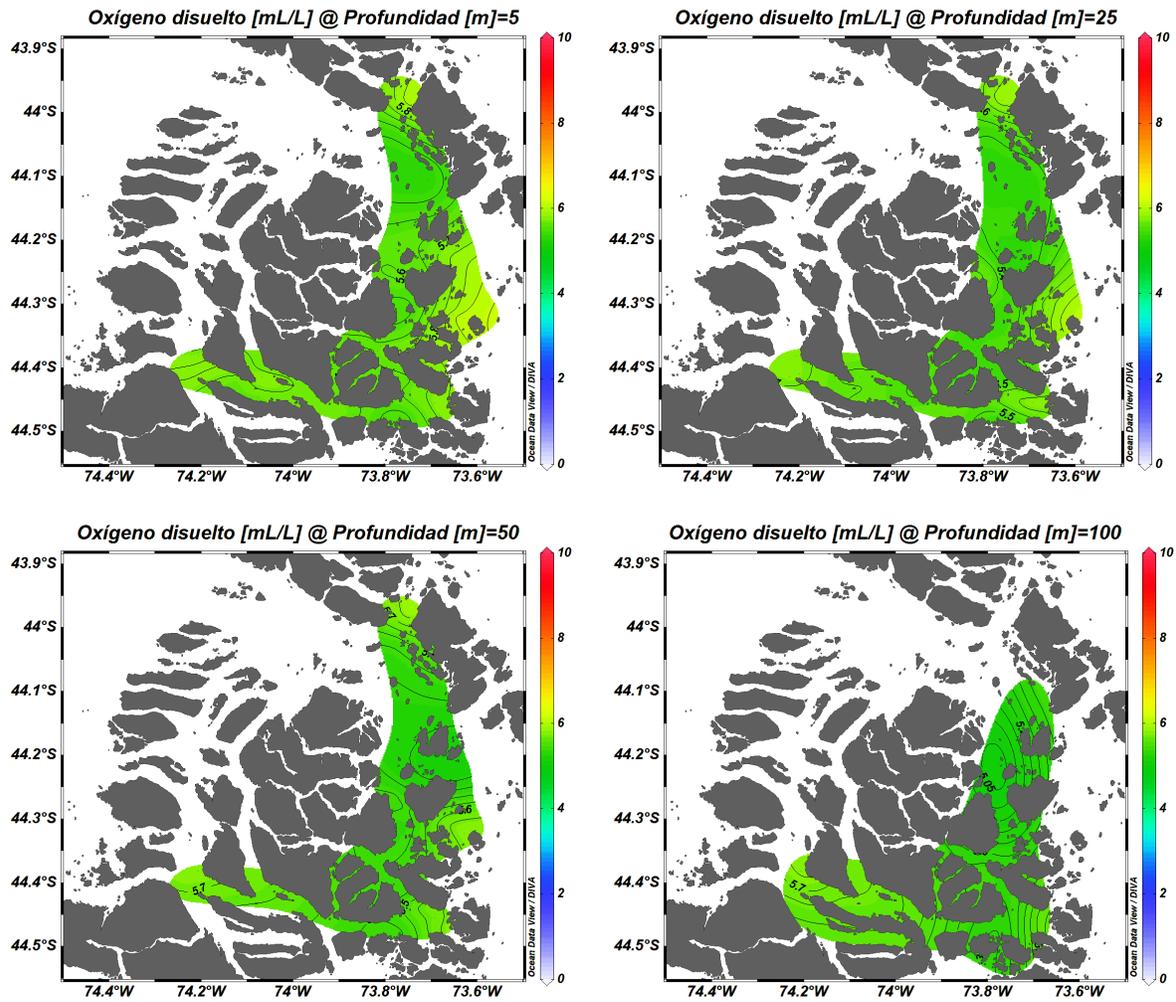
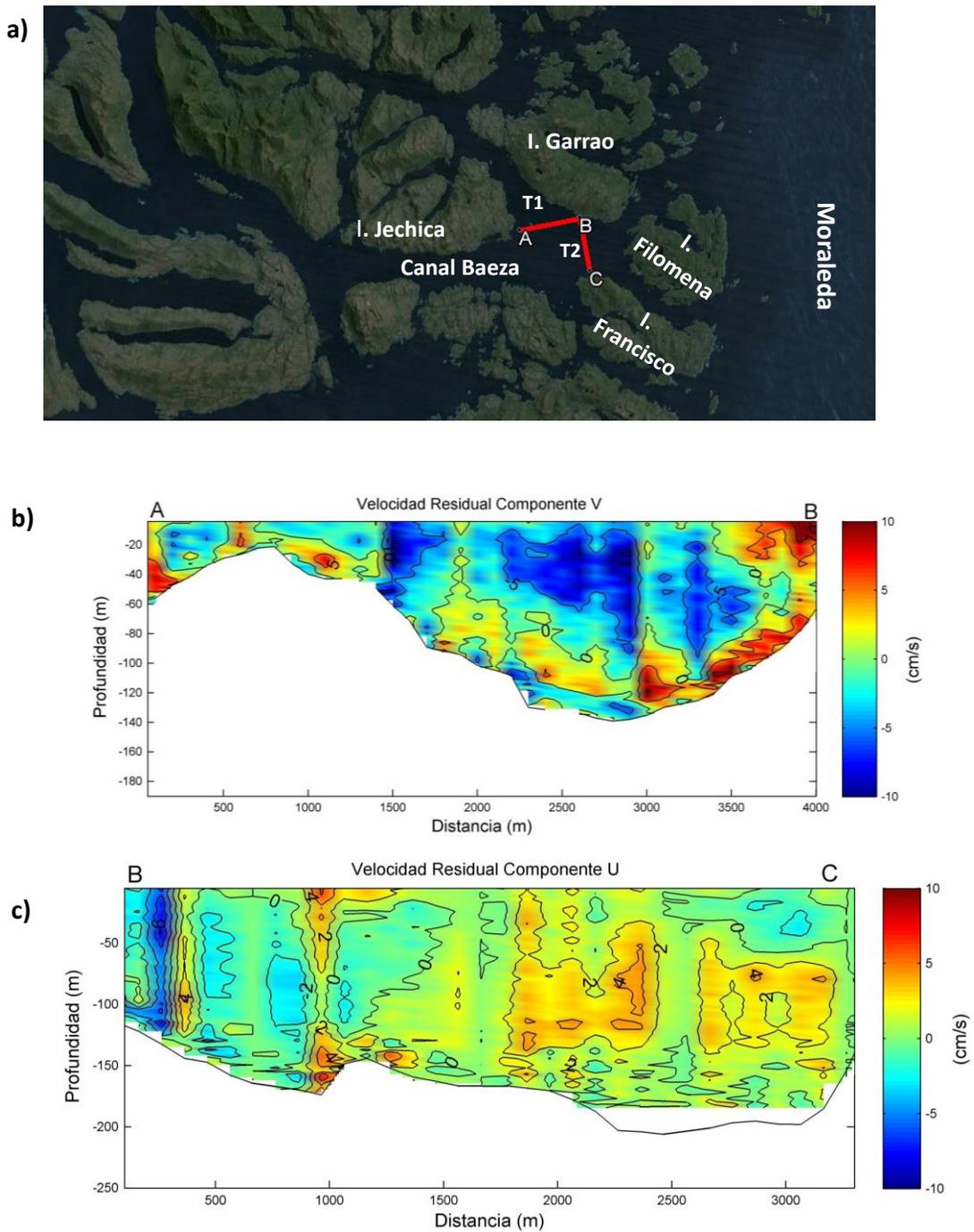


Figura 61. Distribuci3n horizontal de oxígeno disuelto para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipiélago las Guaitecas (invierno 2014).



**Figura 62.** a) Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Baeza a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente U en la transecta T2, durante la campaa de archipi3lago de las Guaitecas en primavera 2014.

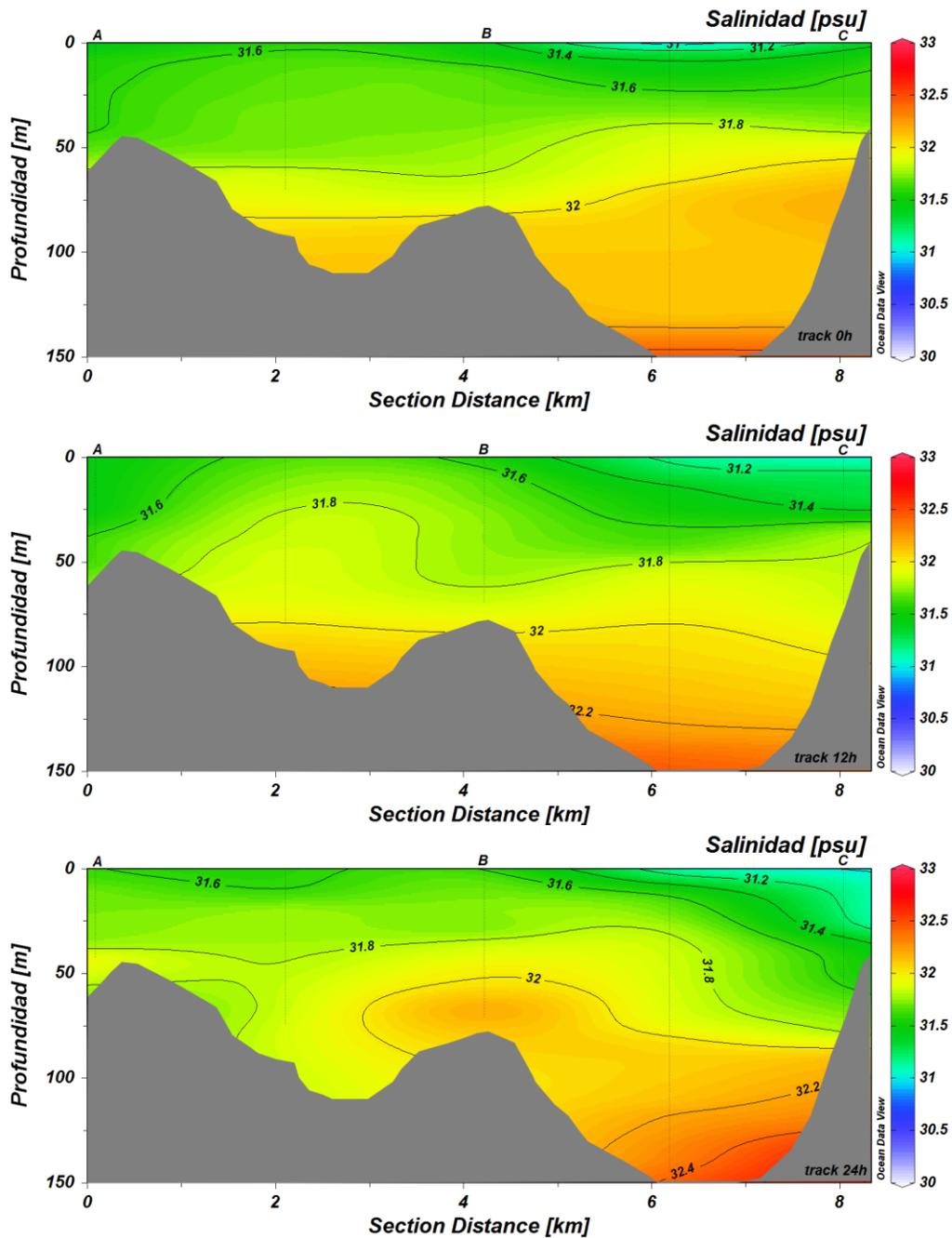
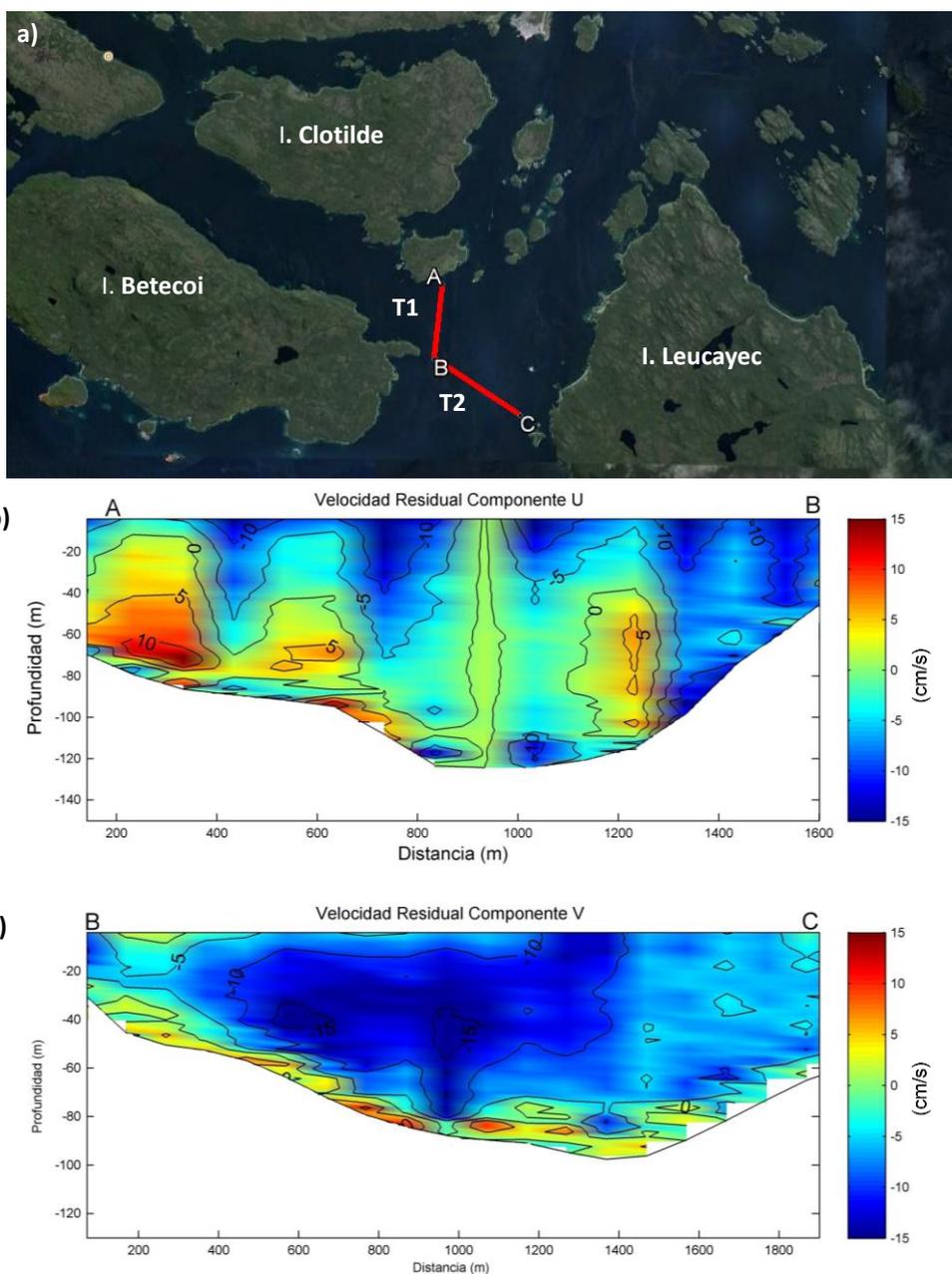
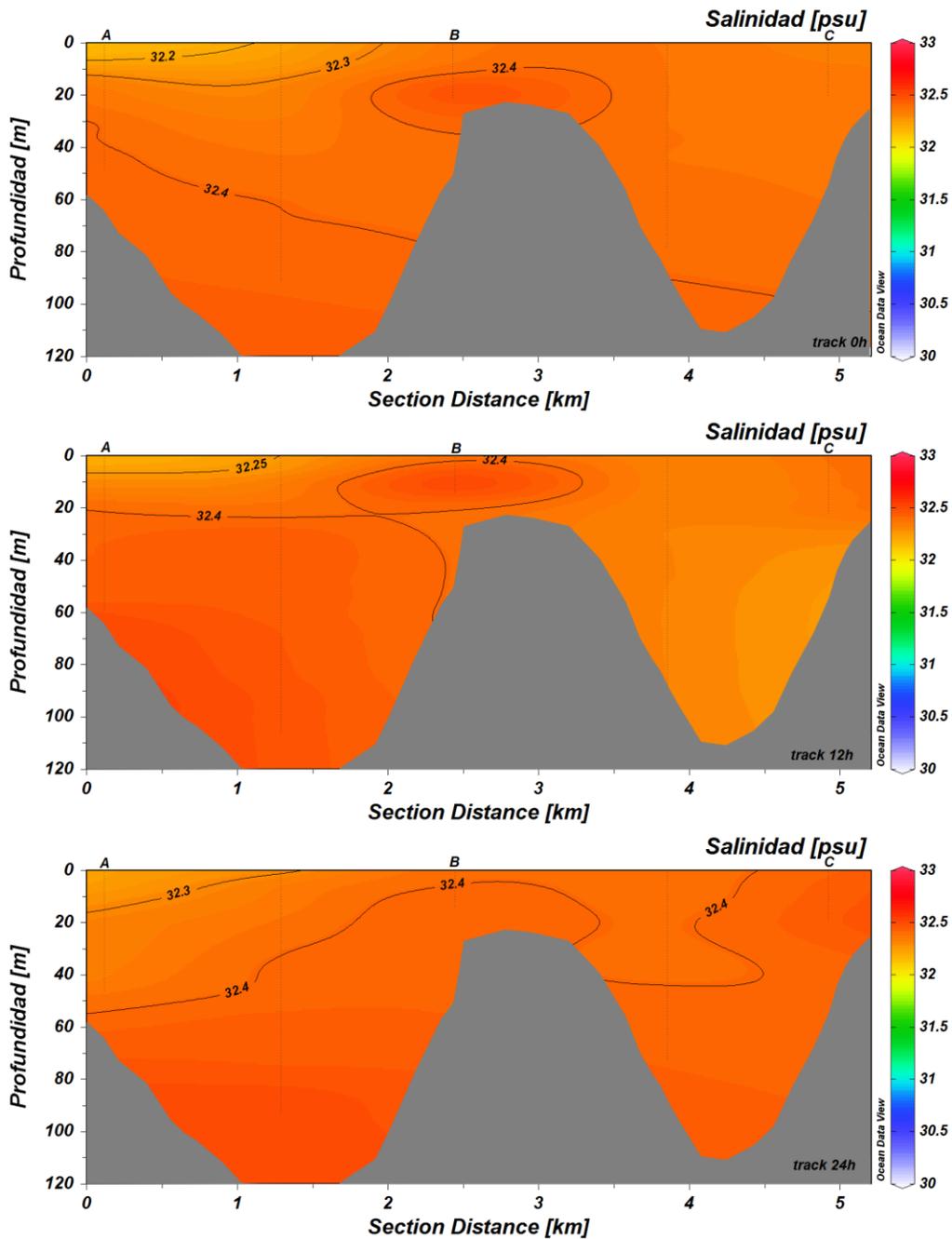


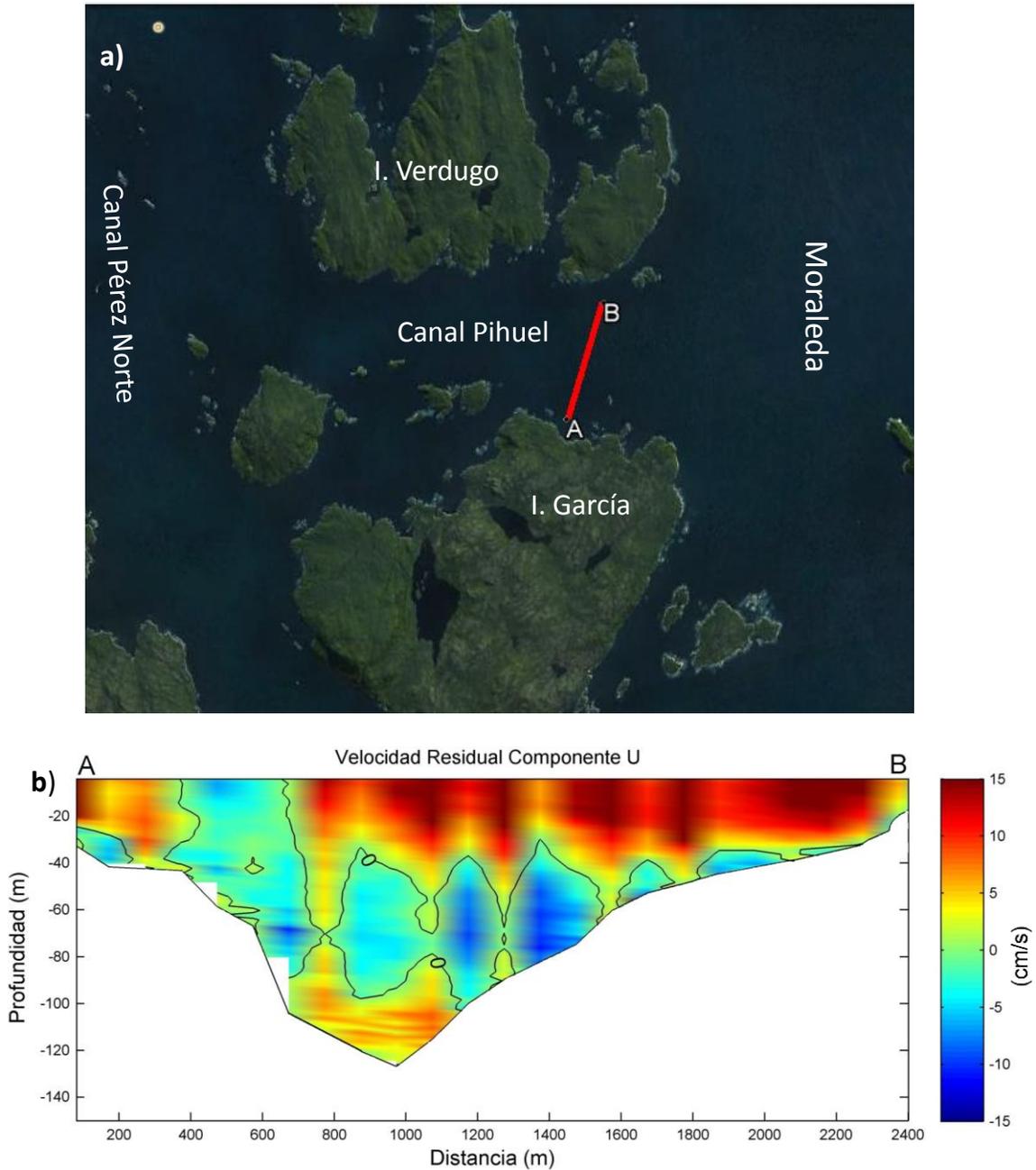
Figura 63. Distribuci3n vertical de salinidad en Canal Baeza realizada durante los transectos de ADCP remolcado en la campaa de archipi3lago de las Guaitecas en primavera 2014.



**Figura 64.** (a) Transectas T1 y T2 efectuadas entre las Isla Betecoi, Clotilde y Leucayec a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente U en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.



**Figura 65.** Distribuci3n vertical de salinidad entre las Islas Betecoi, Clotilde y Leucayec realizada durante las transectas de ADCP remolcado en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en primavera 2014.



**Figura 66.** (a) Transecta efectuada en canal Pihuel a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente U en la transecta durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.

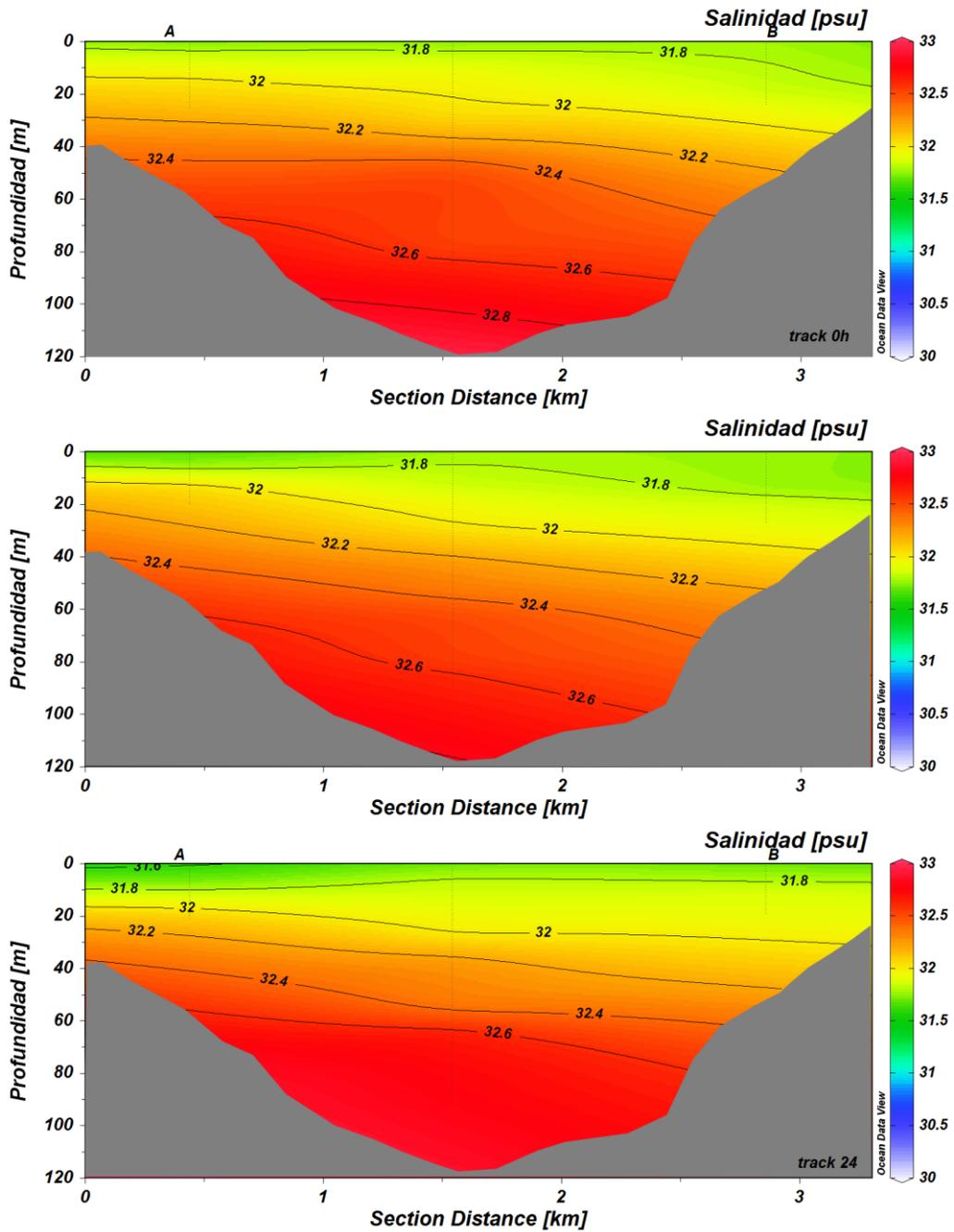
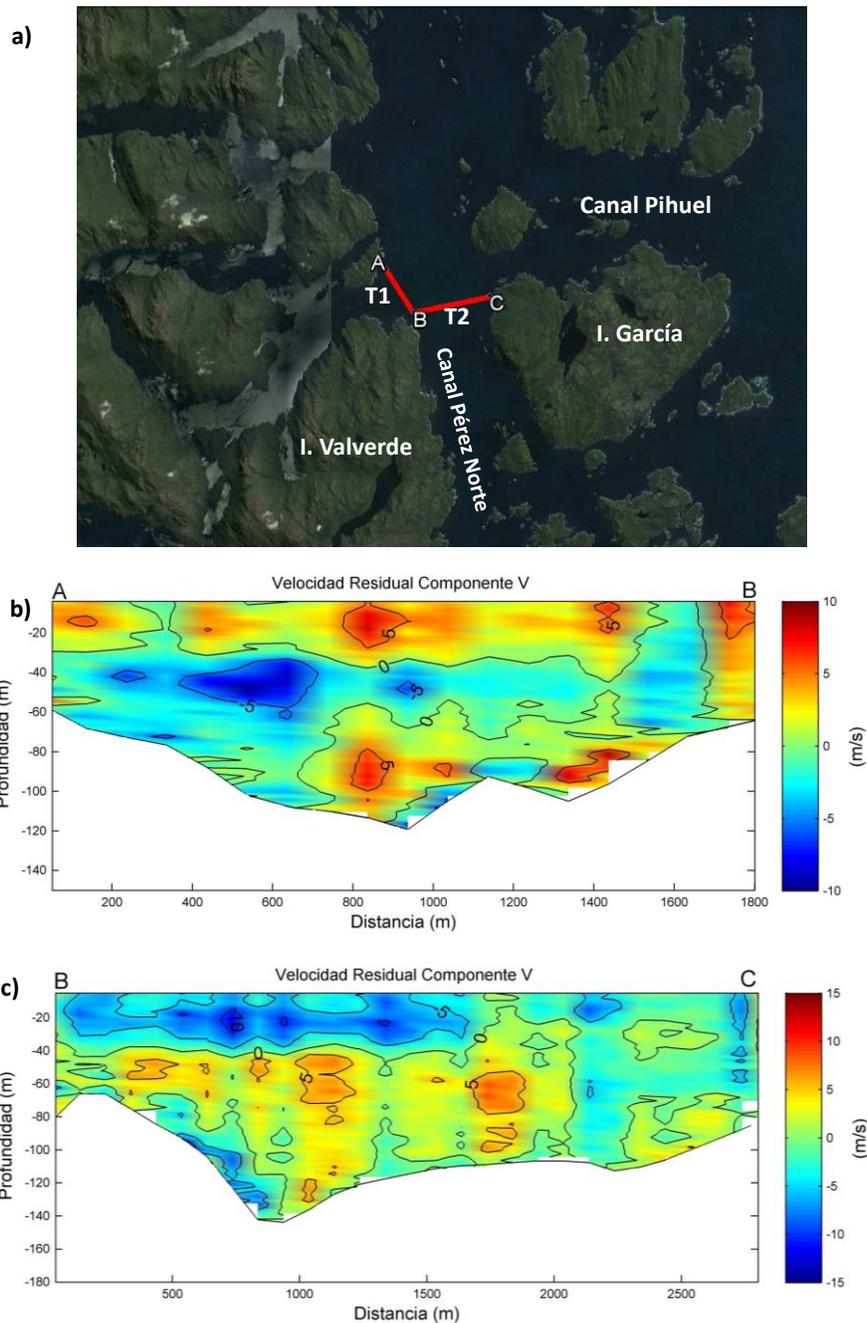
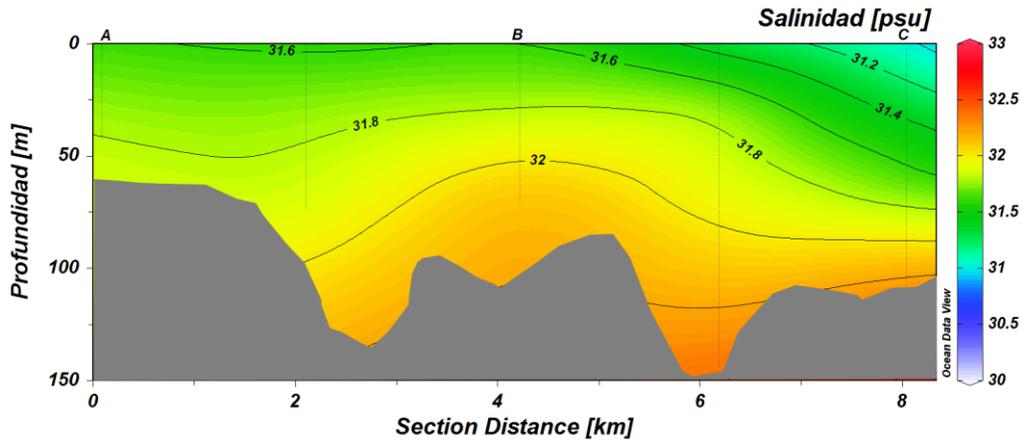


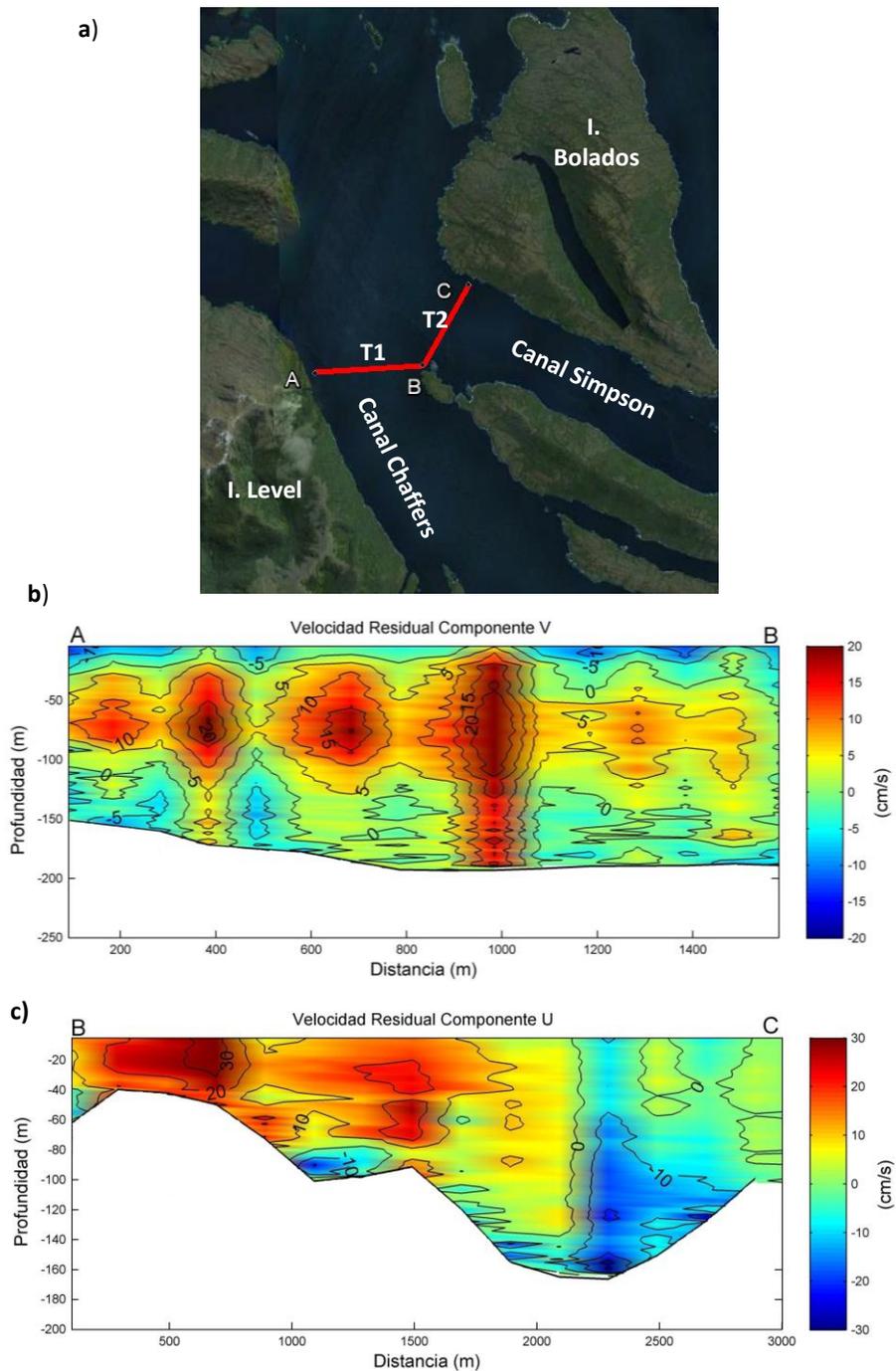
Figura 67. Distribuci3n vertical de salinidad canal Pihuel realizada durante las transectas de ADCP remolcado durante la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en primavera 2014.



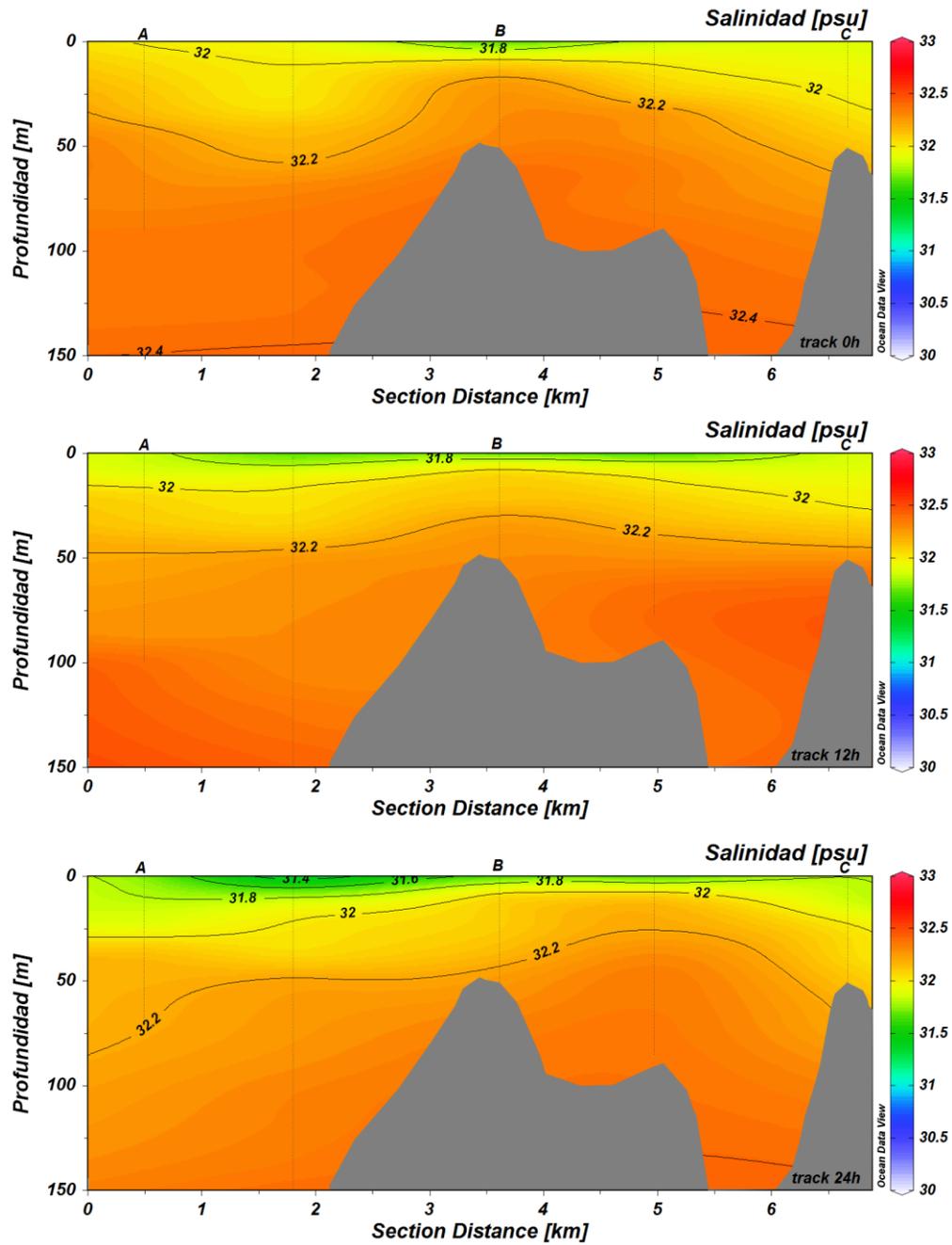
**Figura 68.** (a) Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Pérez Norte a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.



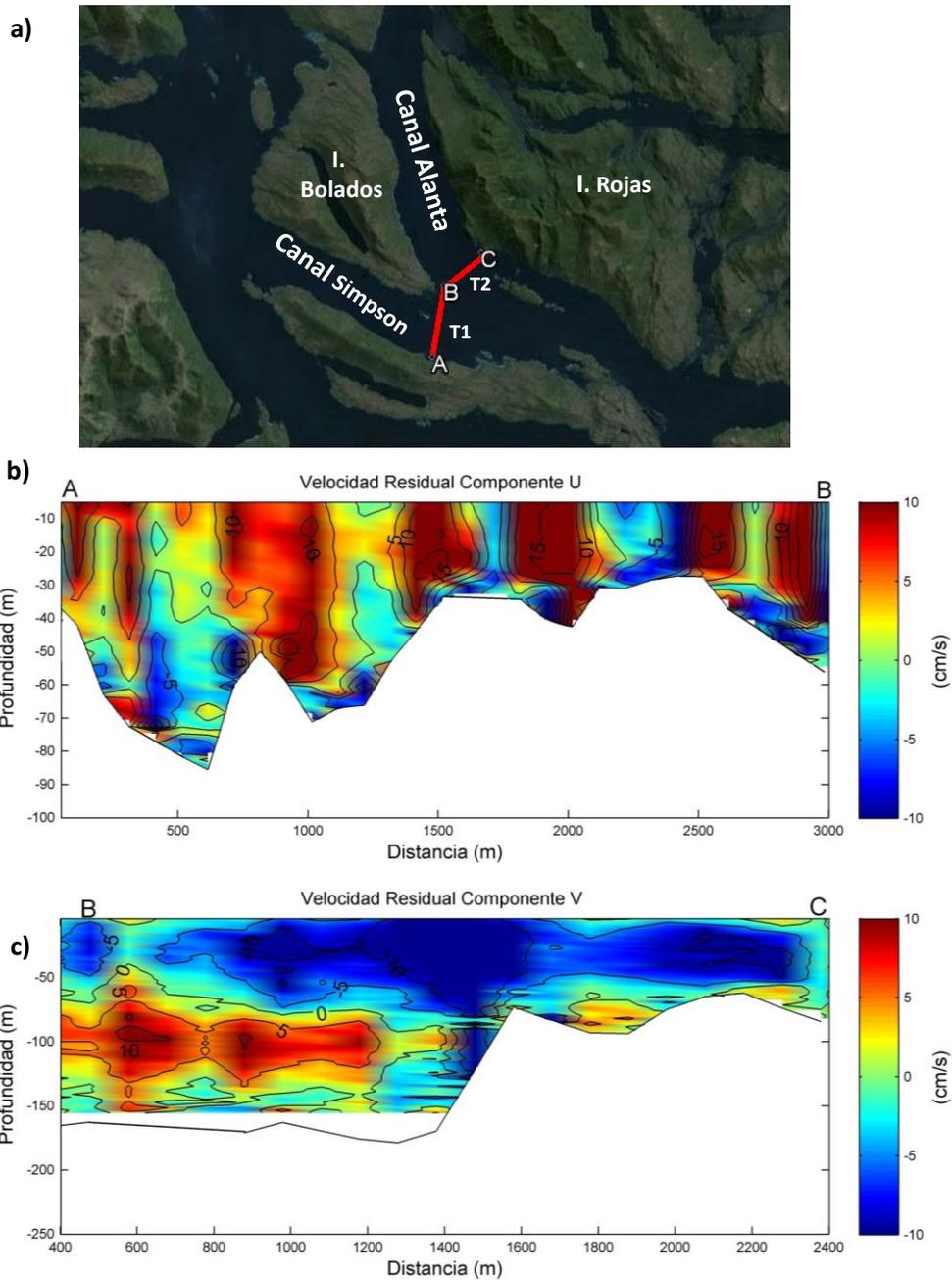
**Figura 69.** Distribuci3n vertical de salinidad en canal P3rez Norte realizada durante las transectas de ADCP remolcado en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas, primavera 2014.



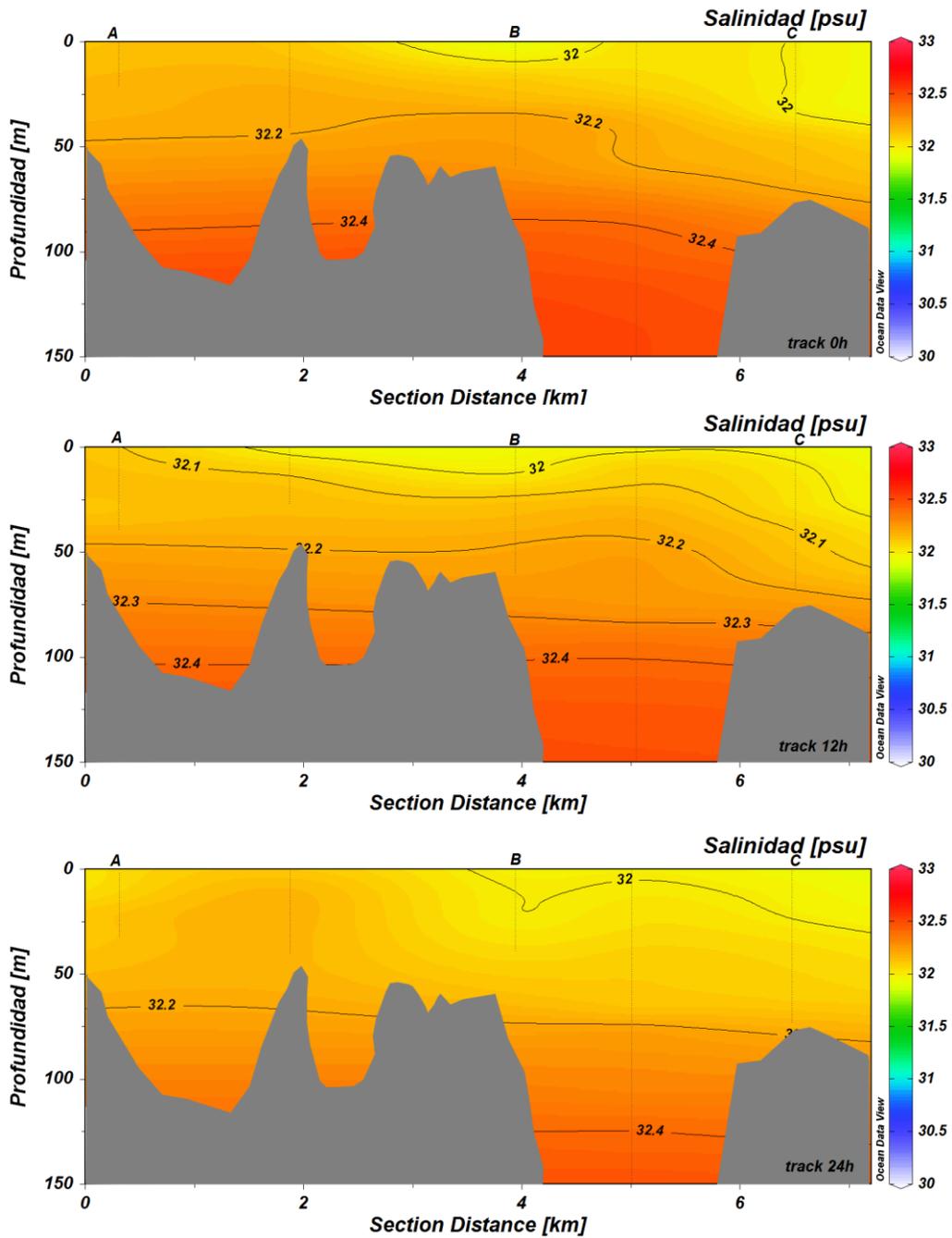
**Figura 70.** (a) Transectas T1 y T2 efectuado en canal Chaffers y Simpson a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente U en la transecta T2, durante la campaña de Archipiélago de las Guaitecas en primavera 2014.



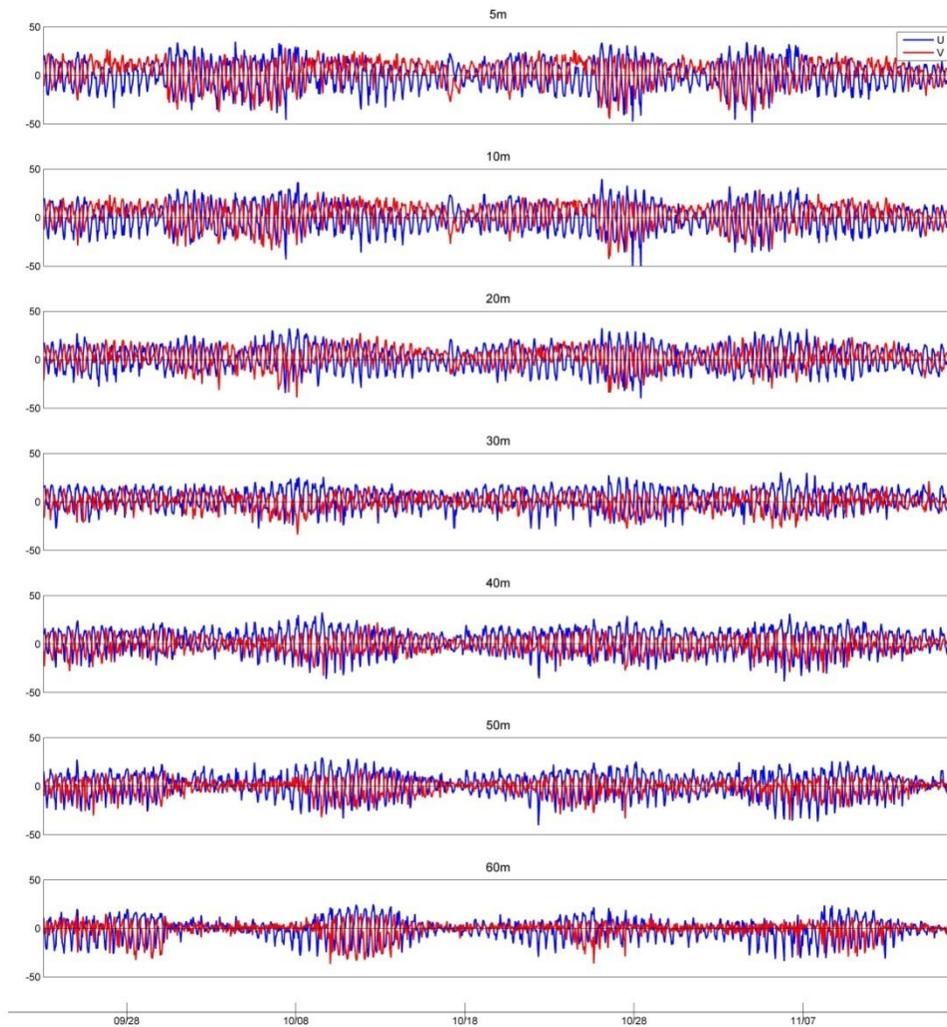
**Figura 71.** Distribuci3n vertical de salinidades canal Chaffers y Simpson realizada durante las transectas de ADCP remolcado en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas, primavera 2014.



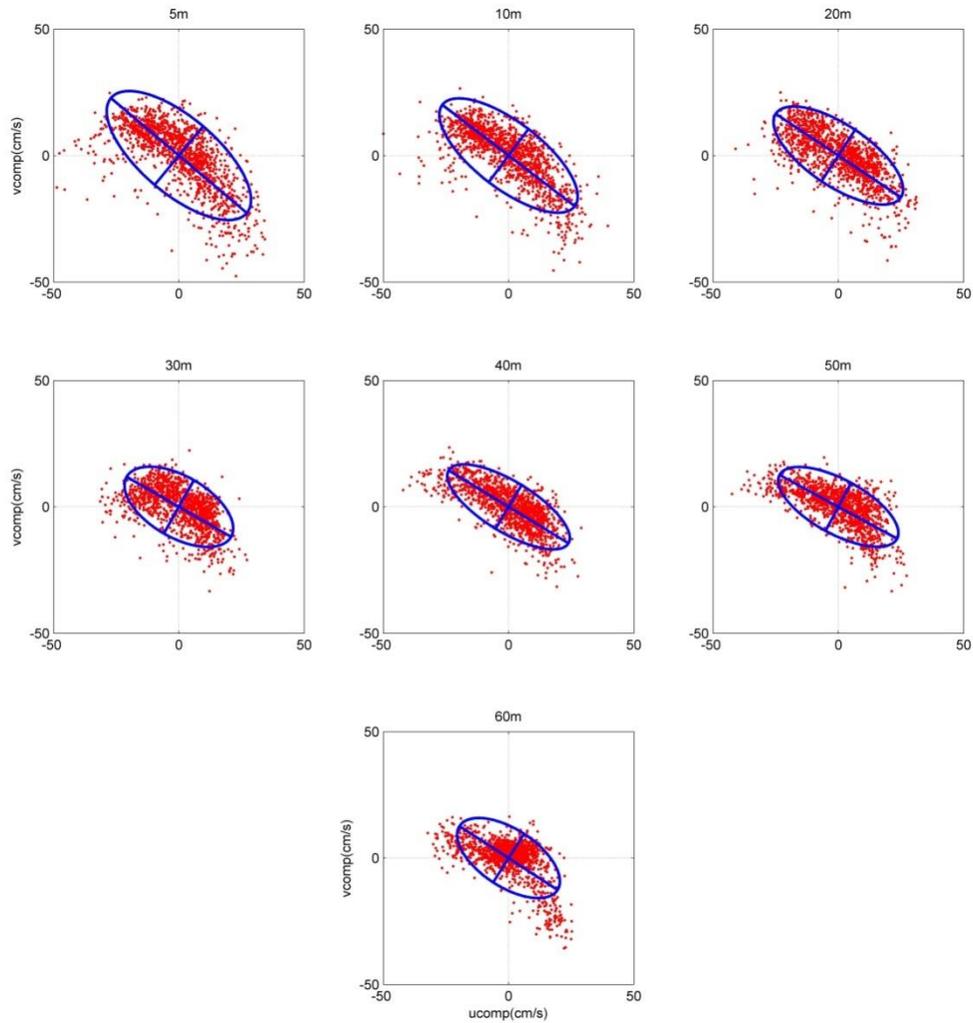
**Figura 72.** (a) Transectas T1 y T2 efectuadas en canal Simpson y Alanta a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente U en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en invierno 2014.



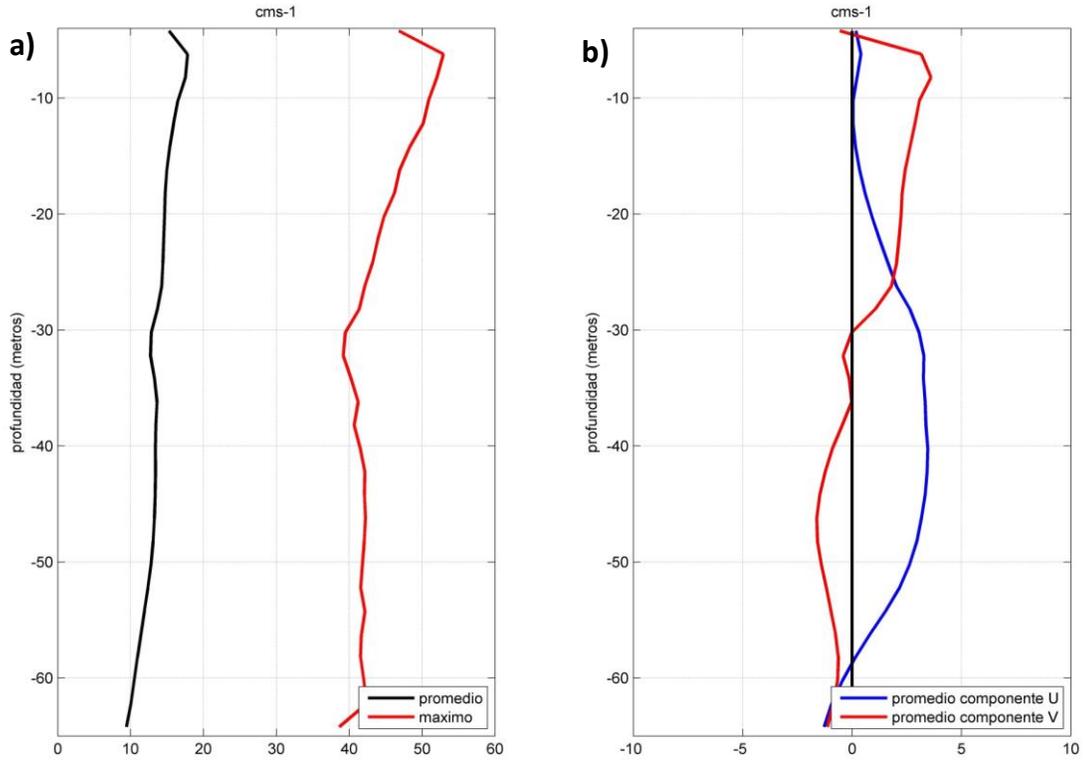
**Figura 73.** Distribuci3n vertical de salinidad en canal Simpson y Alanta realizada durante las transectas de ADCP remolcado en la campaa de Archipi3lago de las Guaitecas en primavera 2014.



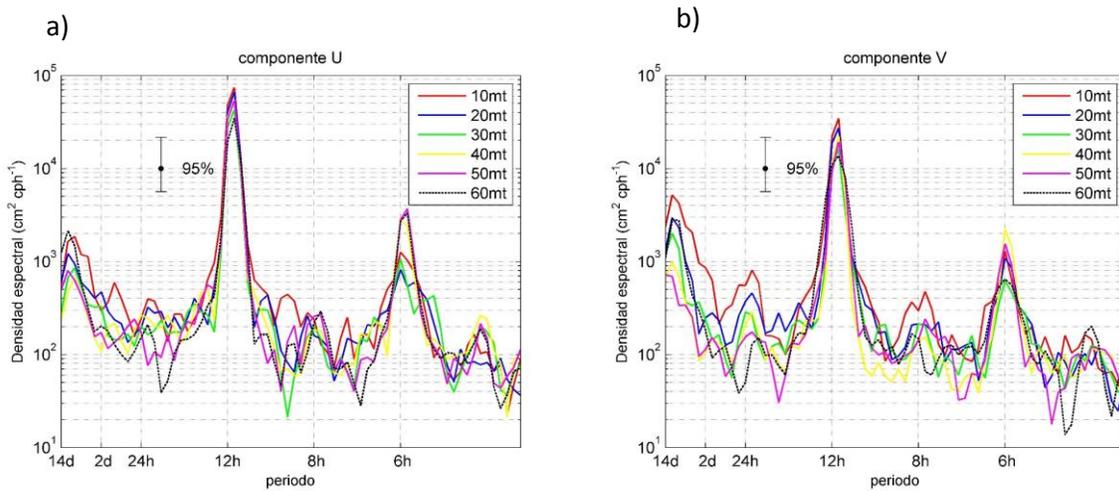
**Figura 74.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50-60 m en canal P3rez Norte, durante la campaa de primavera 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



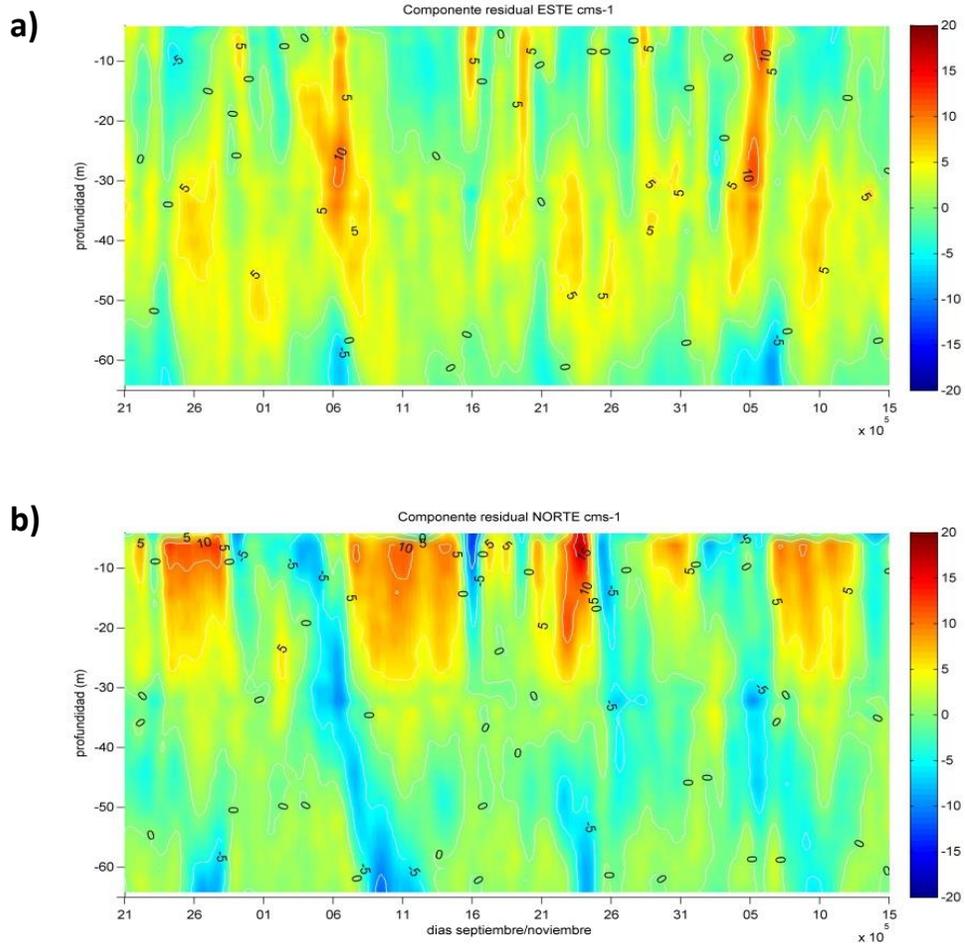
**Figura 75.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50-60 m en canal Pérez Norte durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



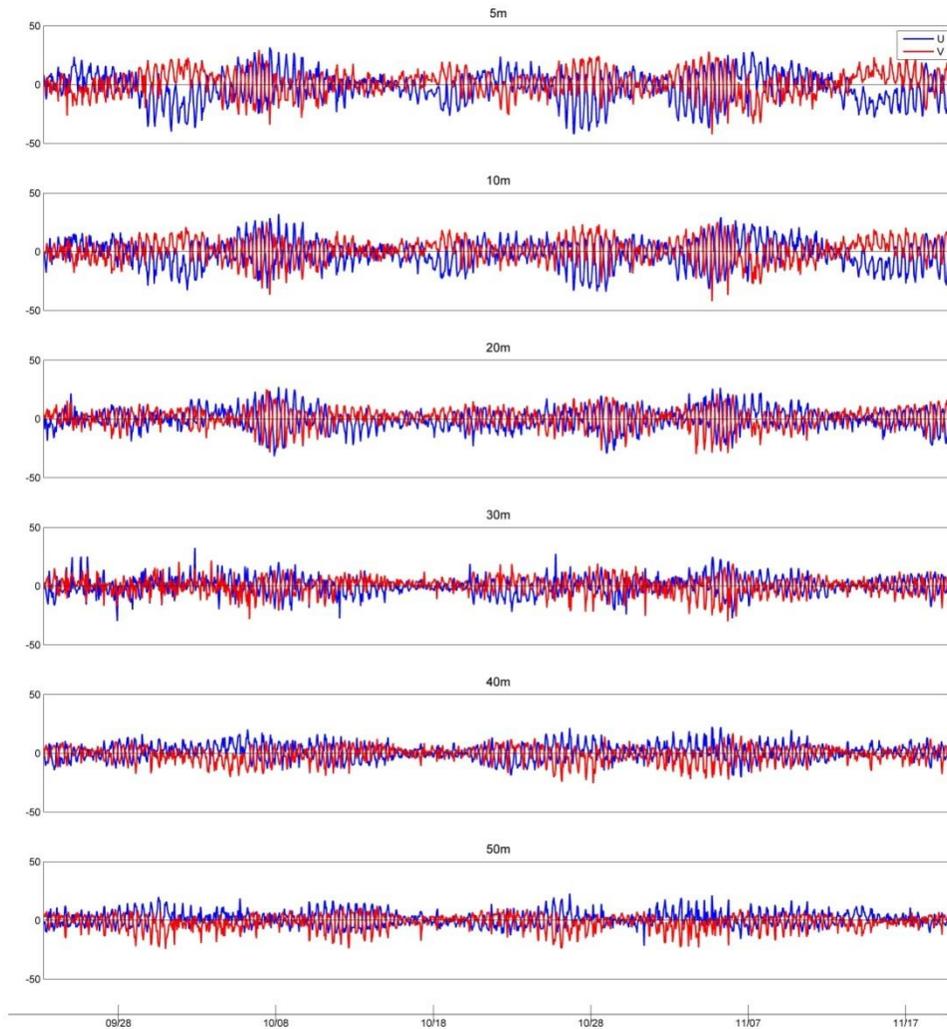
**Figura 76.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Pérez Norte, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



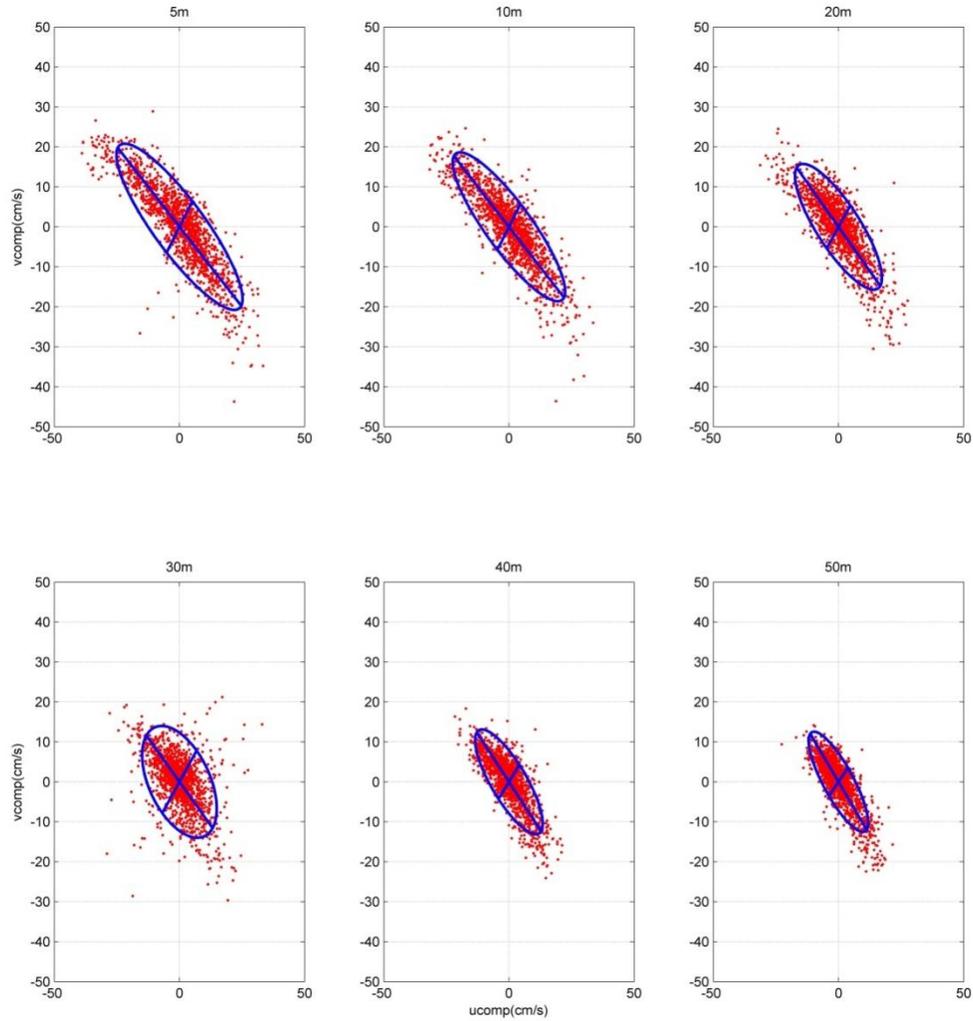
**Figura 77.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Pérez Norte durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



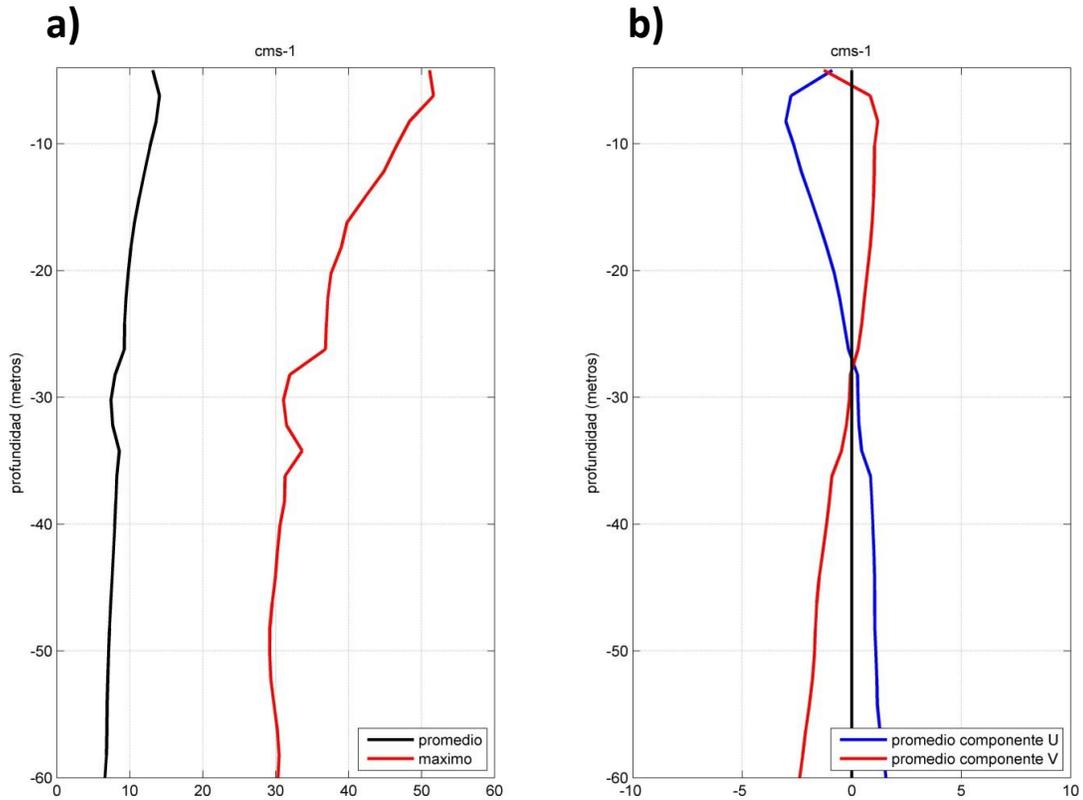
**Figura 78.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal P3rez Norte, durante la campa1a de primavera 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



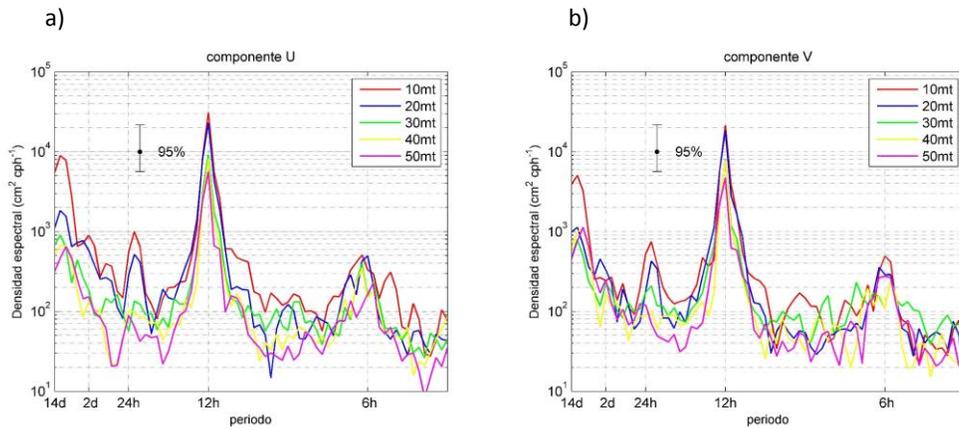
**Figura 79.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en Garrao, durante la campaa de primavera 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



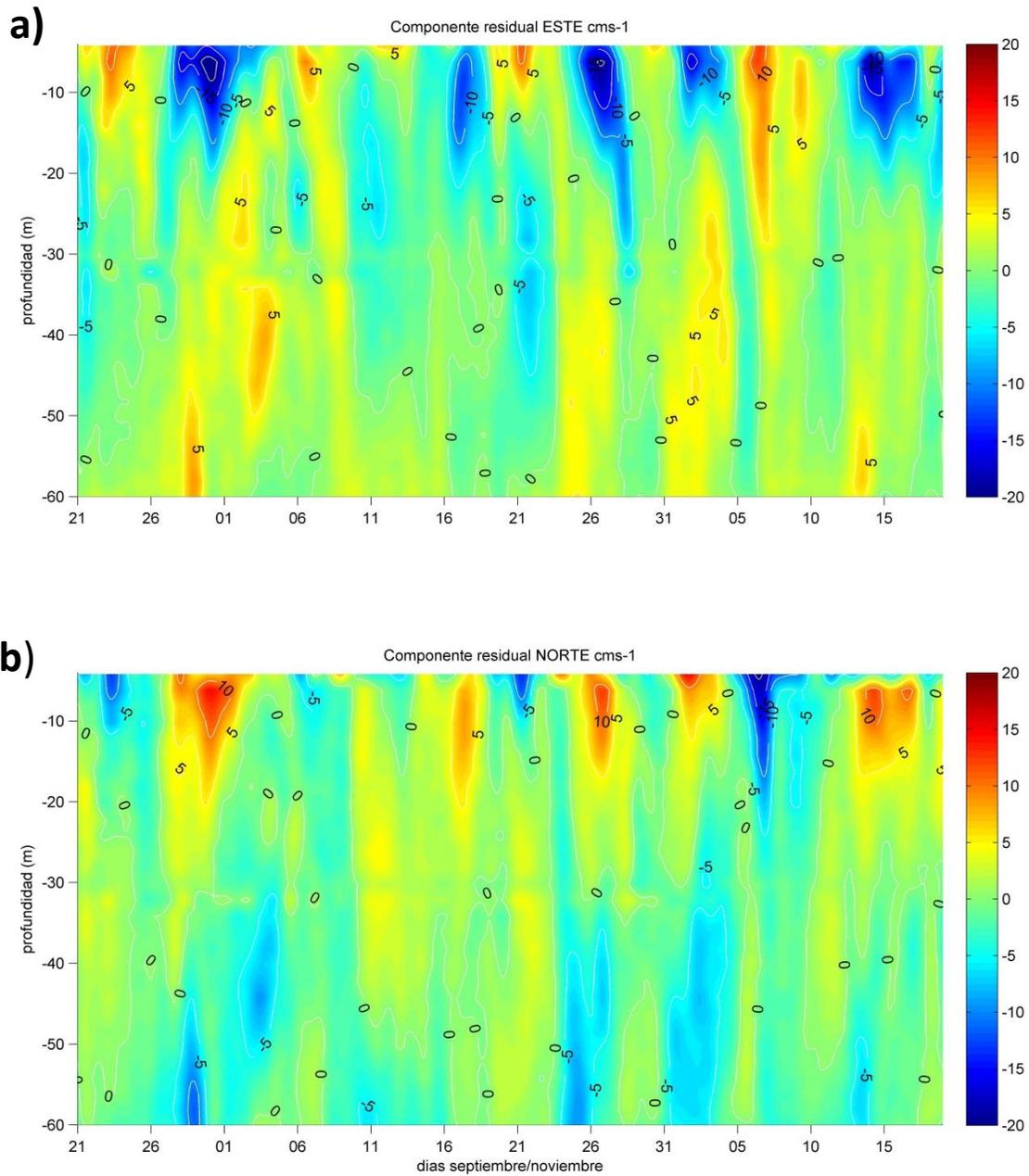
**Figura 80.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en punta Garrao durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



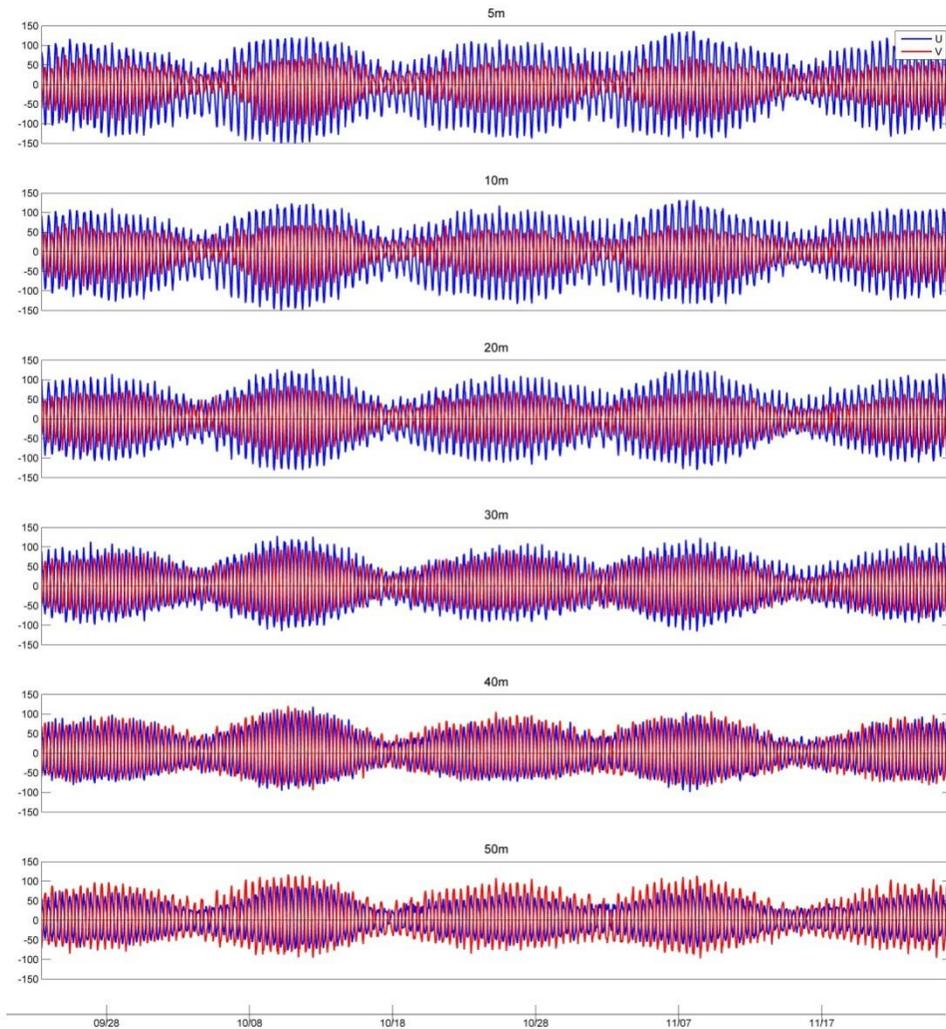
**Figura 81.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Garrao, durante la campaa de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



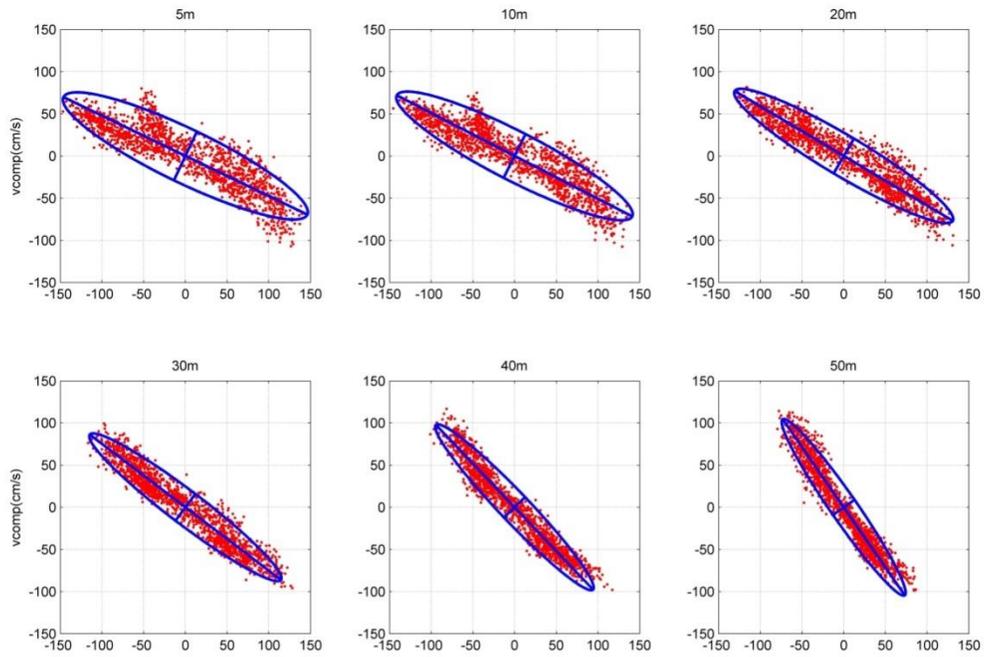
**Figura 82.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) Espectro de la componente V en Garrao durante la campa1a de primavera 2014, en archipi3lago de las Guaitecas.



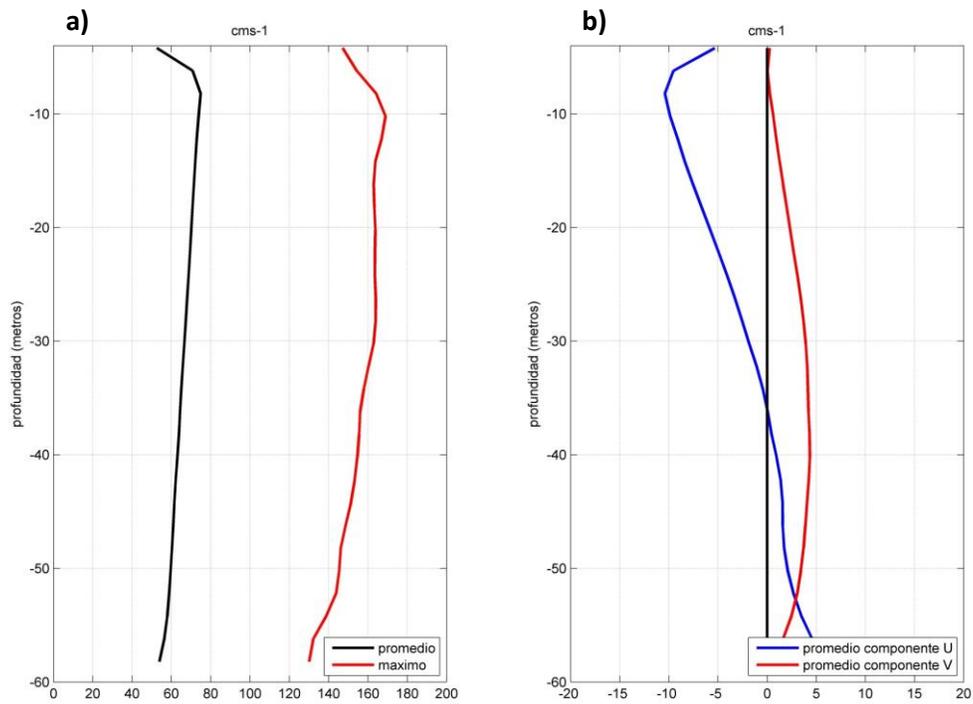
**Figura 83.** Superficies color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) Componente V (norte) en Garrao, durante la campaña de primavera en archipiélago de las Guaitecas.



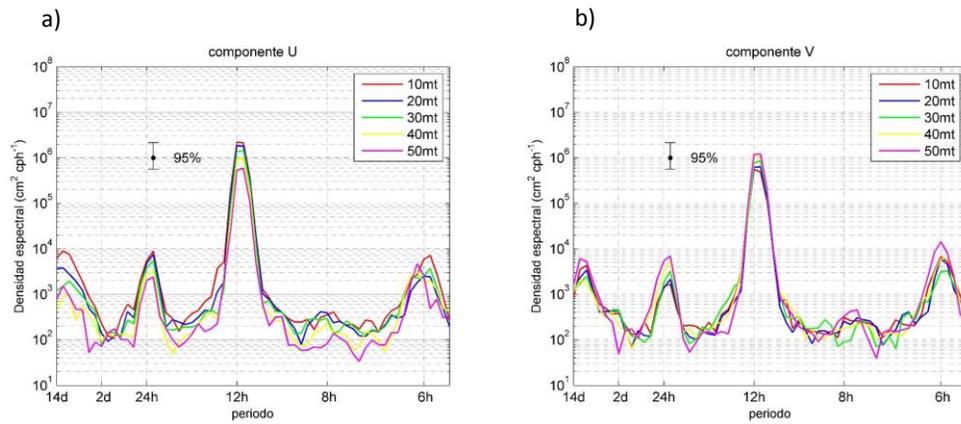
**Figura 84.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en Betecoi, durante la campa1a de primavera en archipi3lago de las Guaitecas, regi3n de Ays3n.



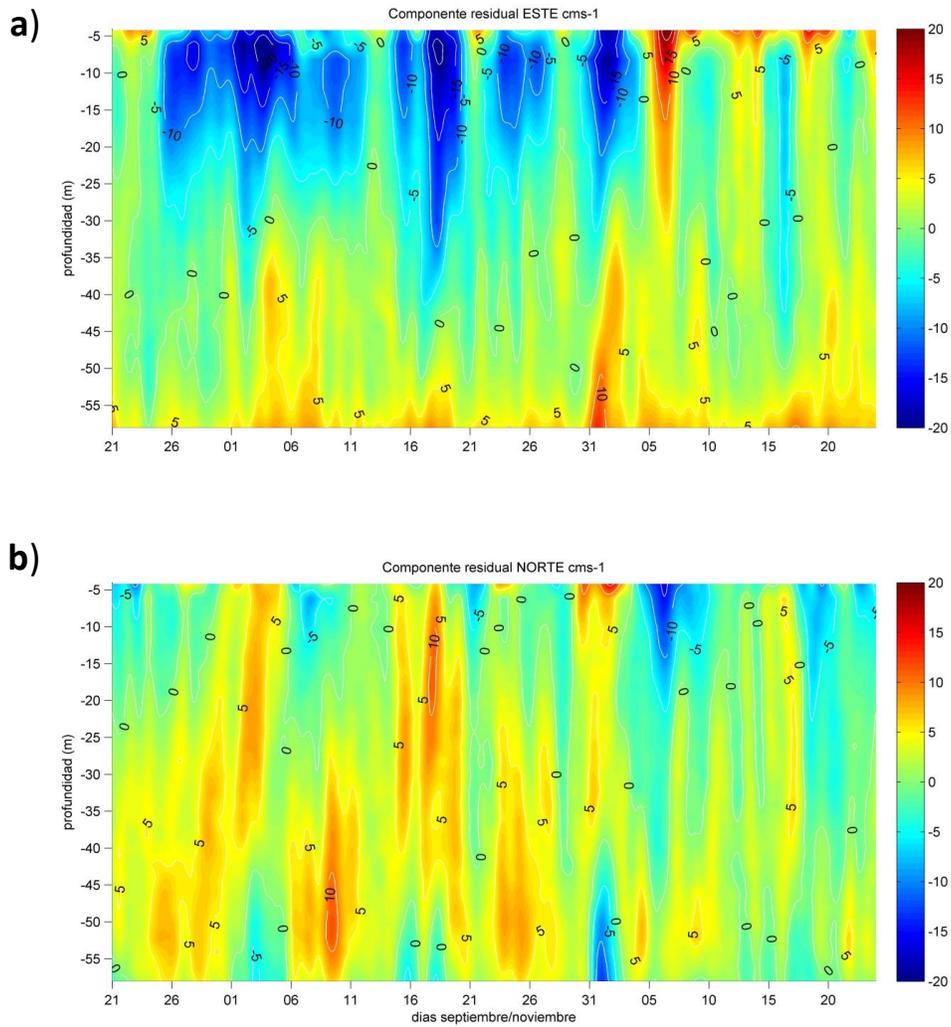
**Figura 85.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en Betecoi durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



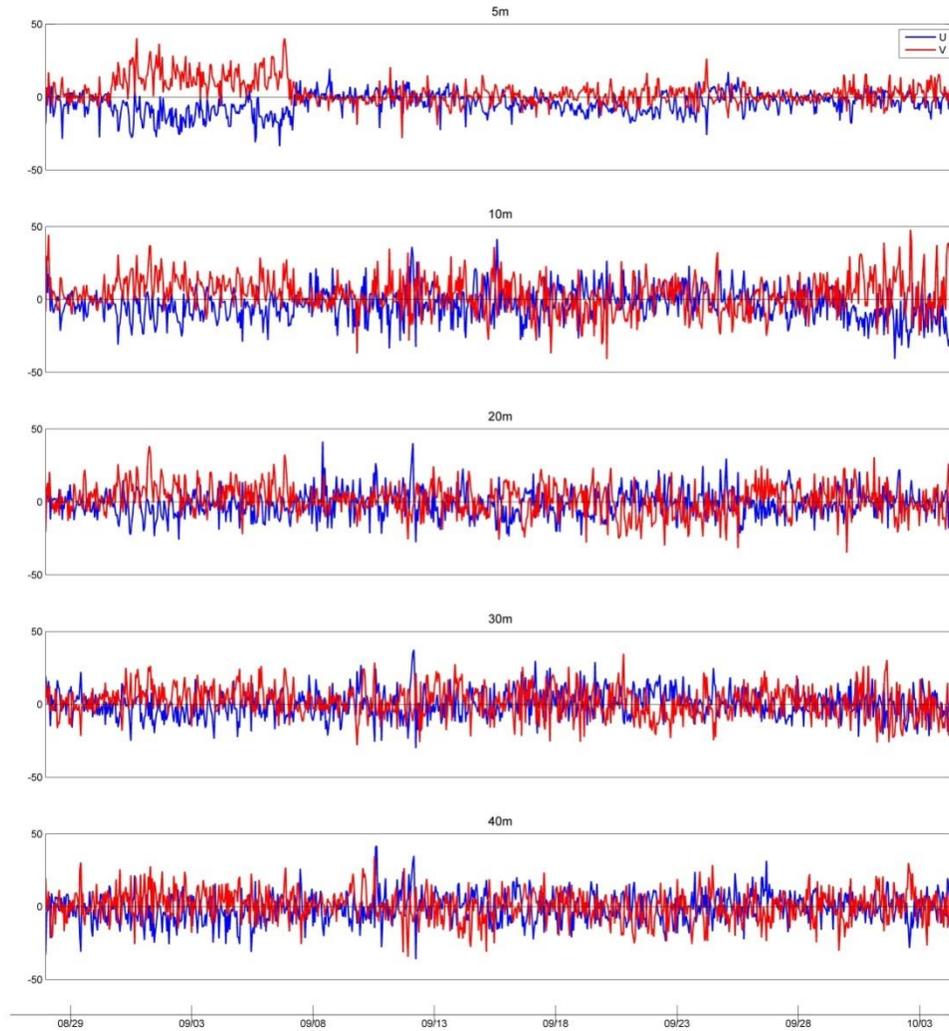
**Figura 86.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en Betecoi, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



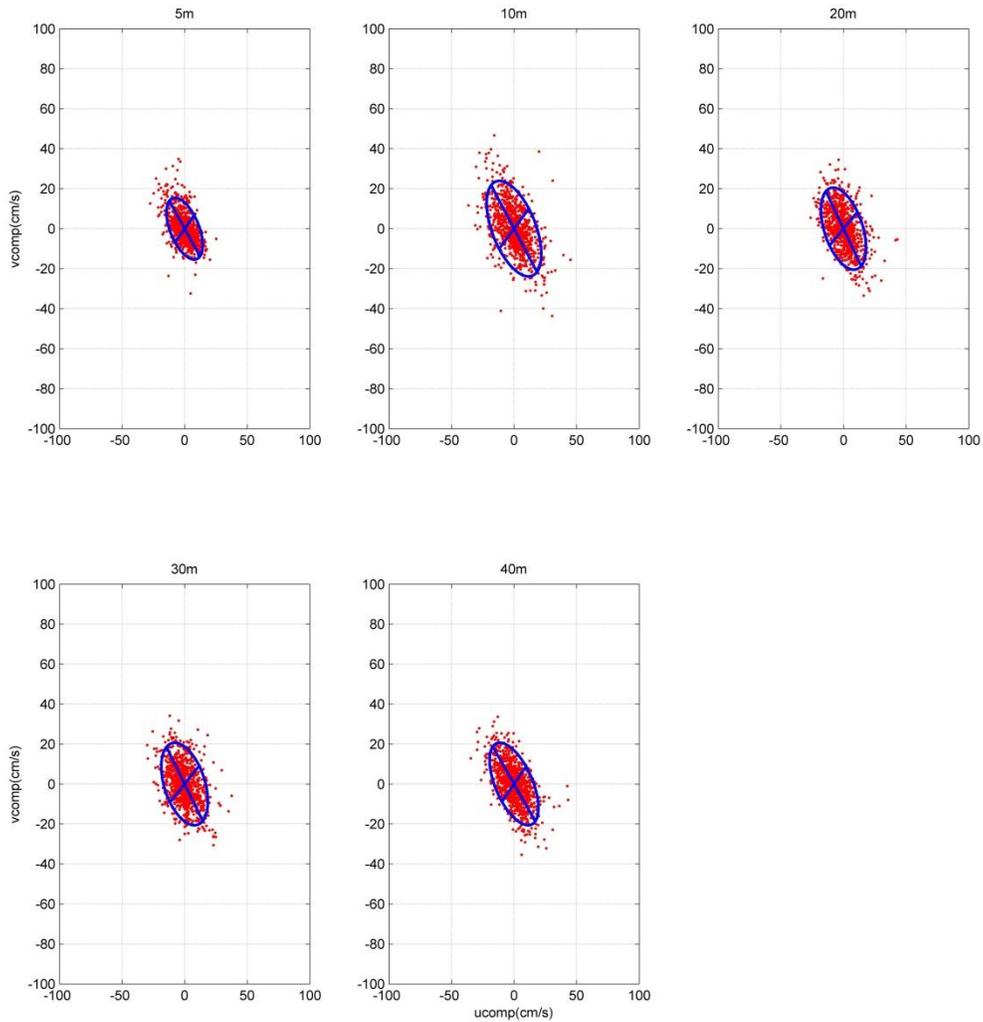
**Figura 87.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V en Betecoi, durante la campaa de primavera 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



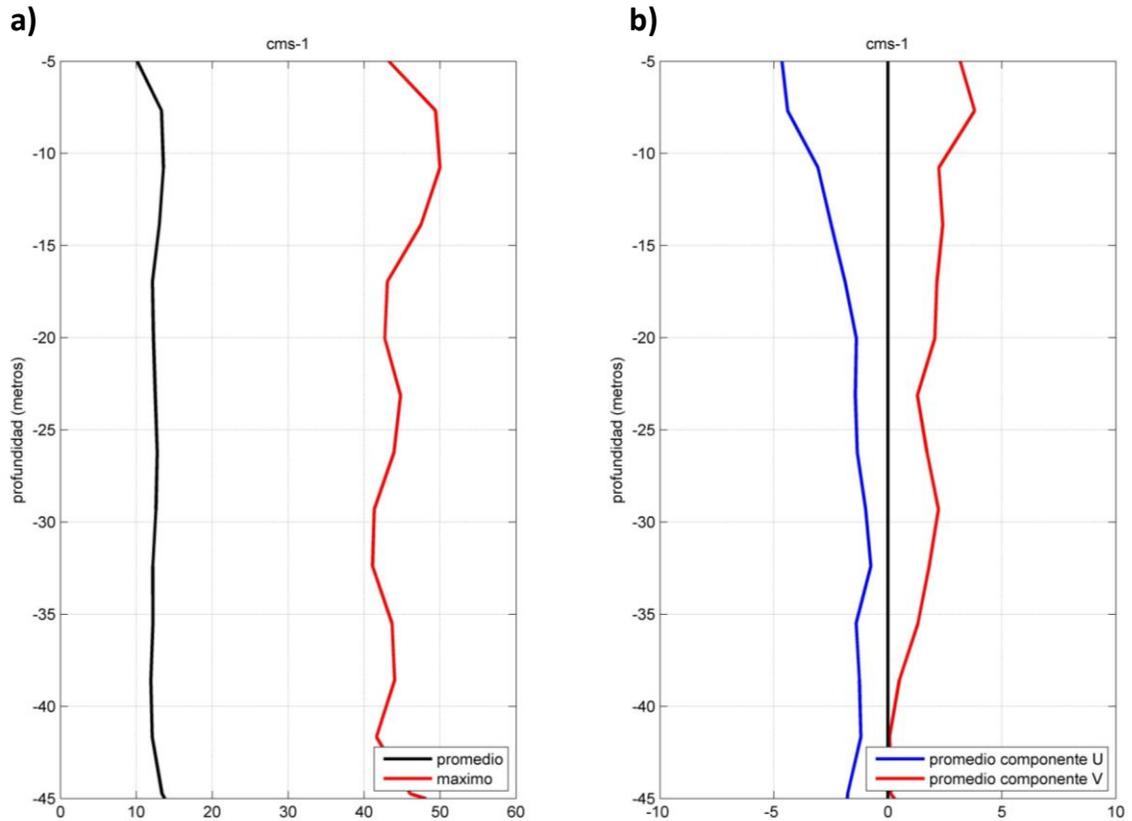
**Figura 88.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en Betecoi, durante la campaa de primavera 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



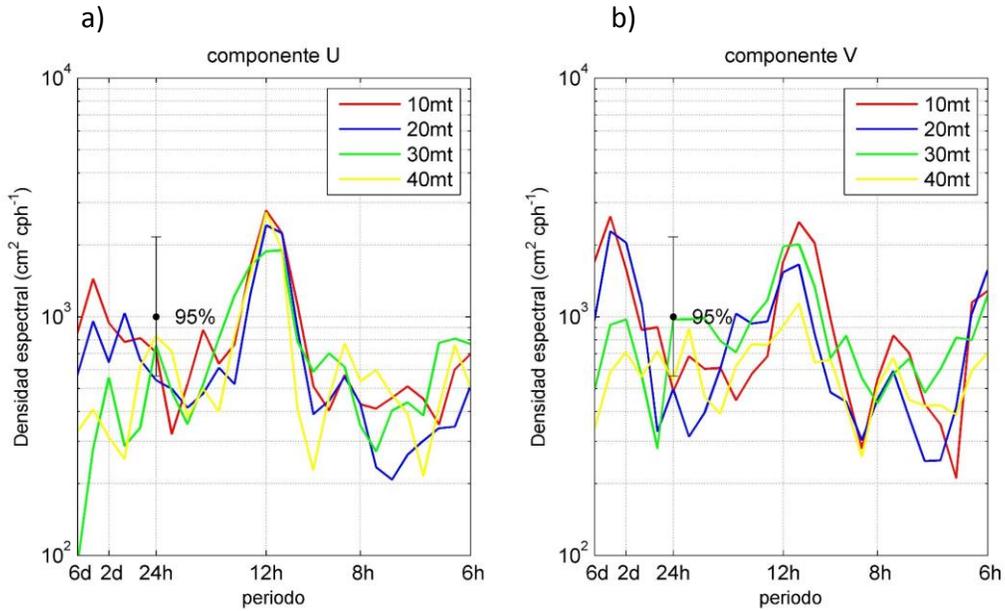
**Figura 89.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40 m en isla Verdugo, durante la campaa de primavera 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



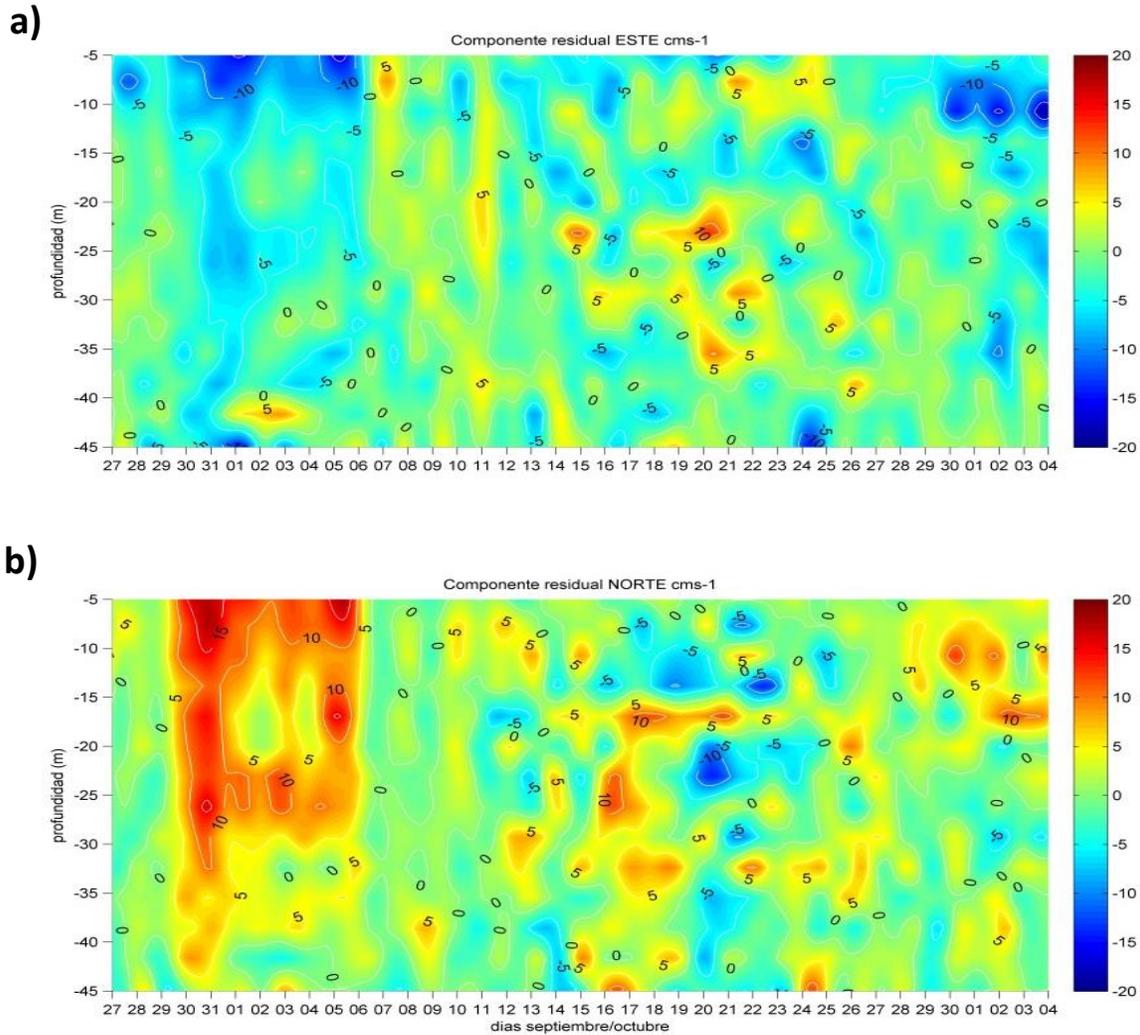
**Figura 90.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40 m en isla Verdugo, durante la campaña de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



**Figura 91.** (a) Perfiles promedio y m3ximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en isla Verdugo, durante la campaa de primavera 2014 en archipi3lago de las Guaitecas.



**Figura 92.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V en isla Verdugo durante la campaa de primavera 2014 en archipiélago de las Guaitecas.



**Figura 93.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en isla Verdugo durante la campaa de primavera 2104 en archipiélago de las Guaitecas.



Symbol	Station ID
▽	123 (B)
*	141 (B)
×	139 (B)
+	122 (B)
▲	120 (B)
▼	121 (B)
*	157 (B)
×	155 (B)
+	144 (B)
○	143 (B)
□	159 (B)
◇	142 (B)
△	160 (B)
▽	161 (B)
*	162 (B)
×	175 (B)
+	176 (B)
●	163 (B)
■	177 (B)
◆	190 (B)
▼	178 (B)
◇	156 (B)
●	82 (B)
■	191 (B)
△	84 (B)
○	95 (B)
□	115 (B)
◇	113 (B)
△	96 (B)
*	110 (B)
×	111 (B)
+	114 (B)
●	86 (B)
■	85 (B)

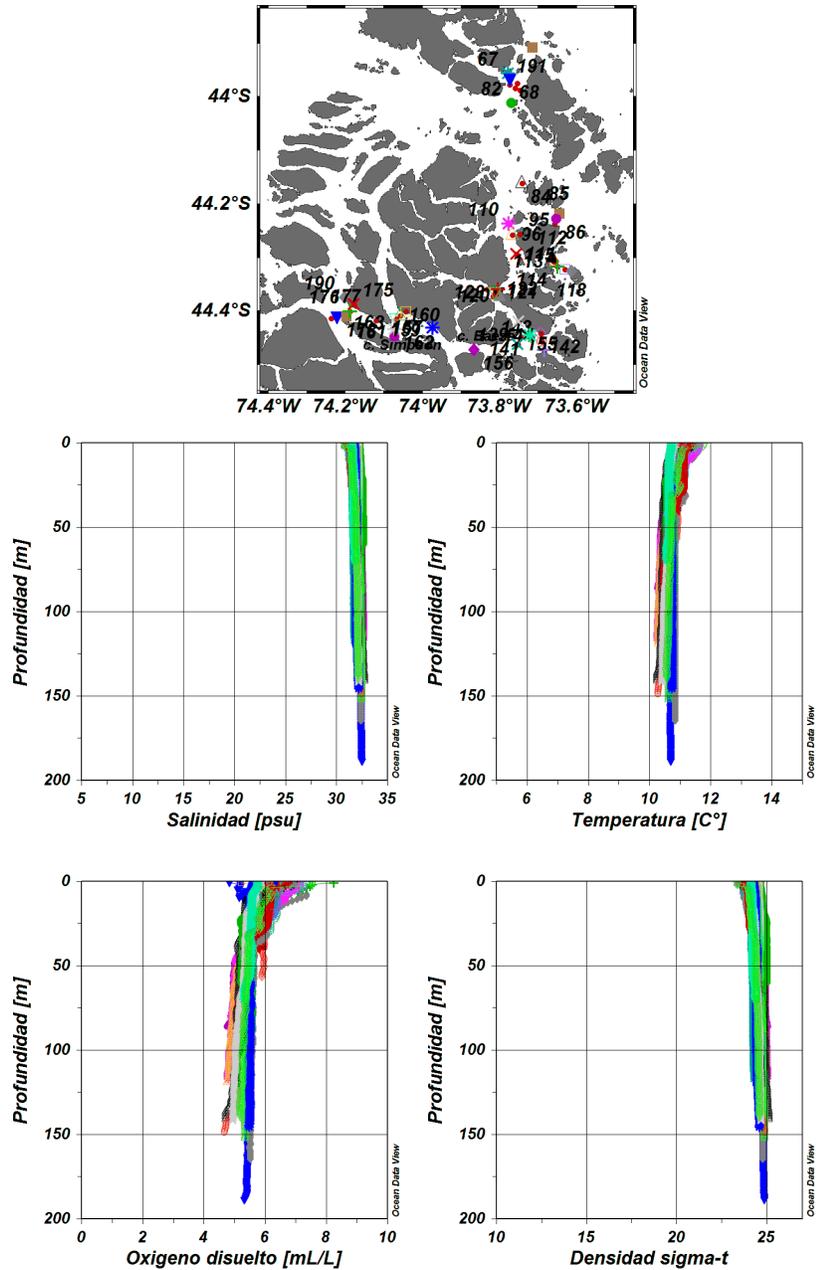
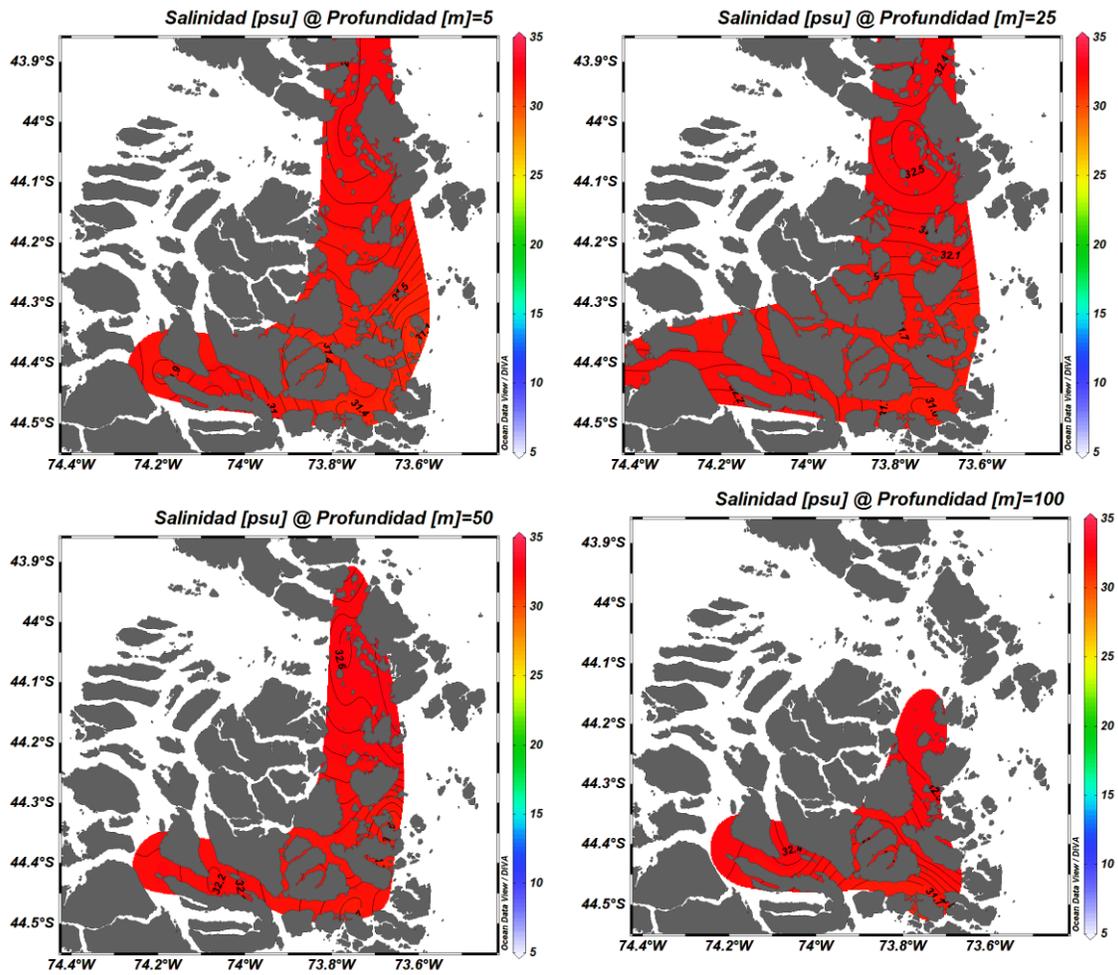


Figura 94. Ubicaci3n y simbología por estaci3n de muestreo. Distribuci3n vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y densidad. Campaña Guaitucas, primavera 2014.



**Figura 95.** Distribuci3n horizontal de salinidad para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipi3lago las Guaitecas, primavera 2014.

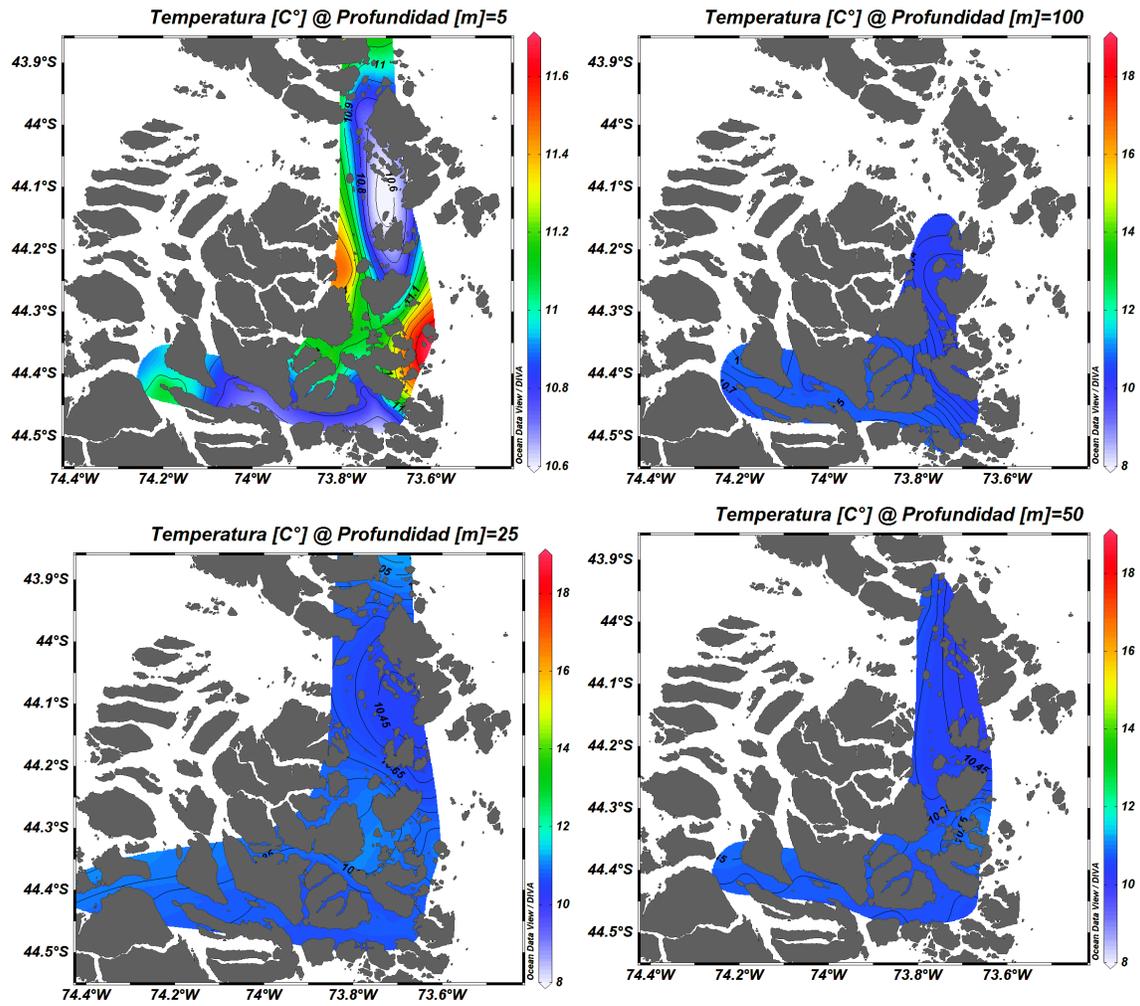


Figura 96. Distribuci3n horizontal de temperatura para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipi3lago las Guaitecas, primavera 2014.

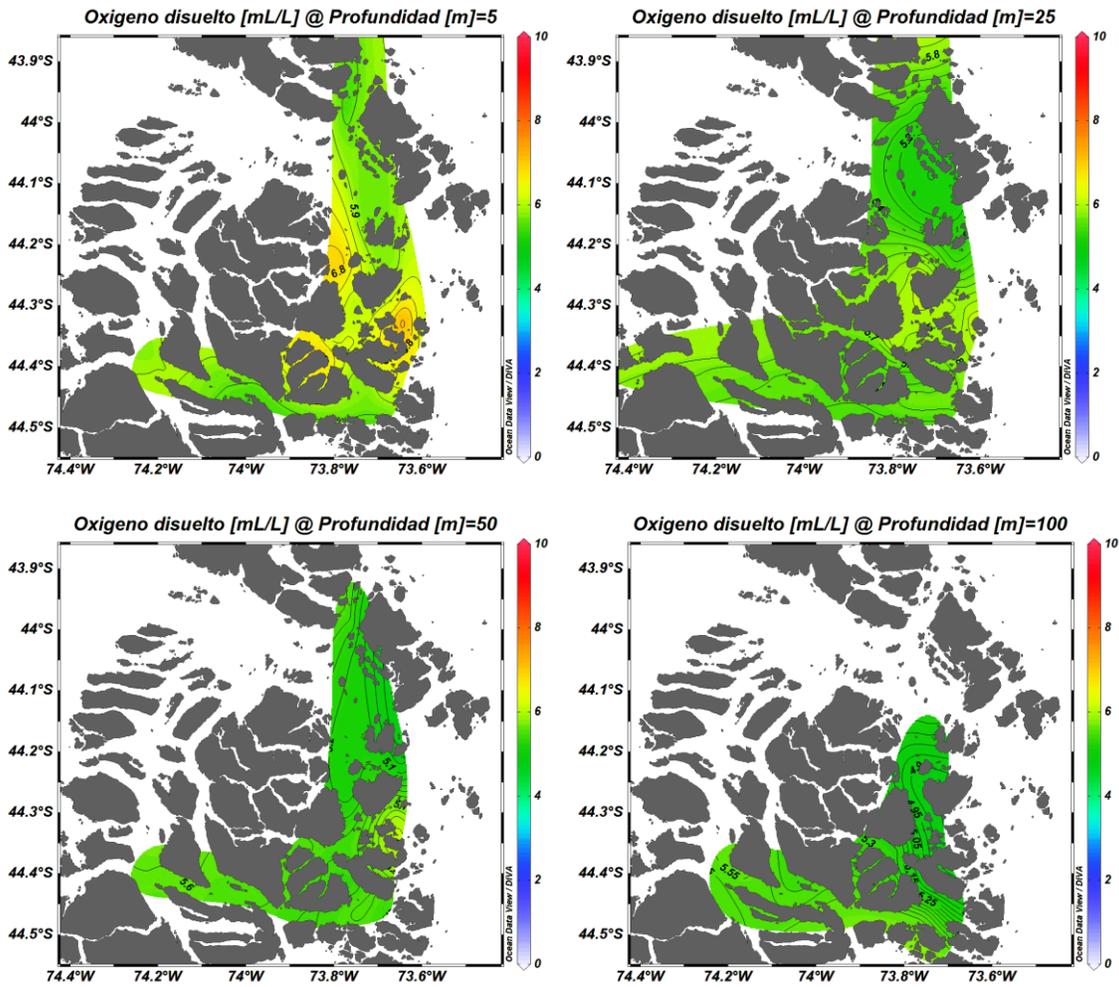
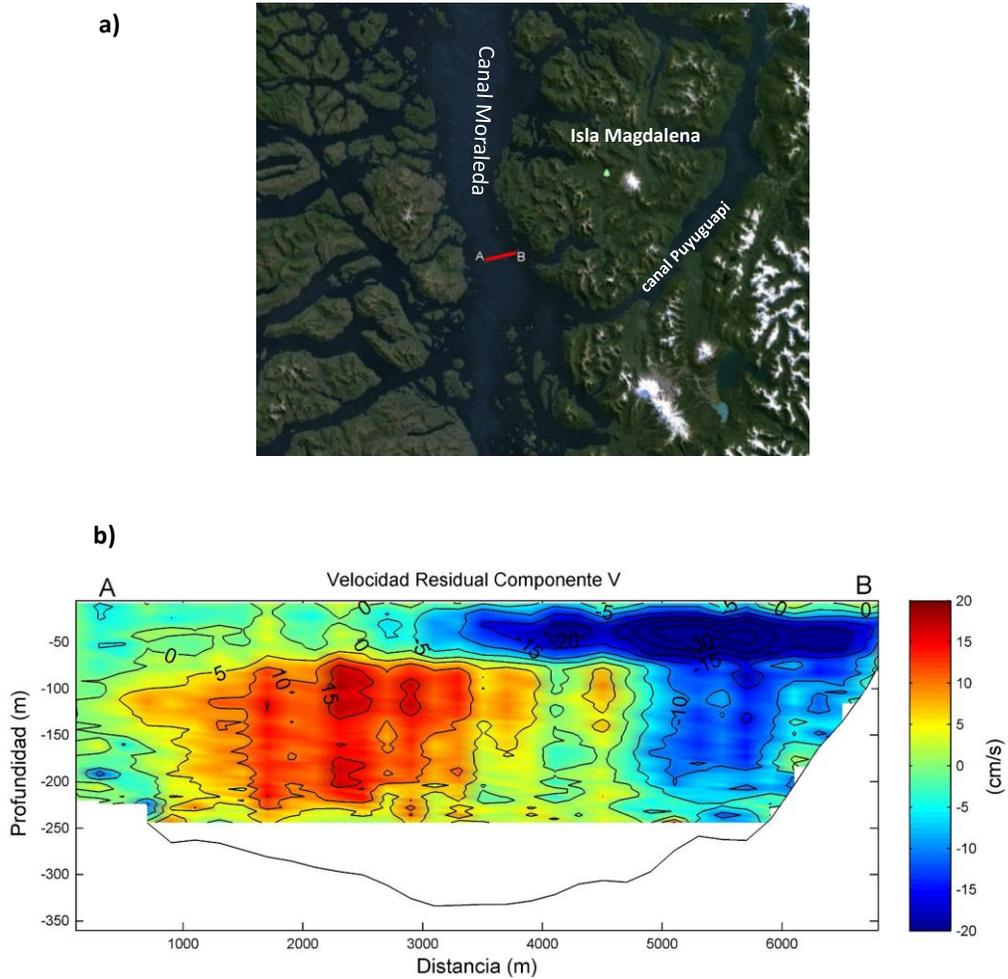
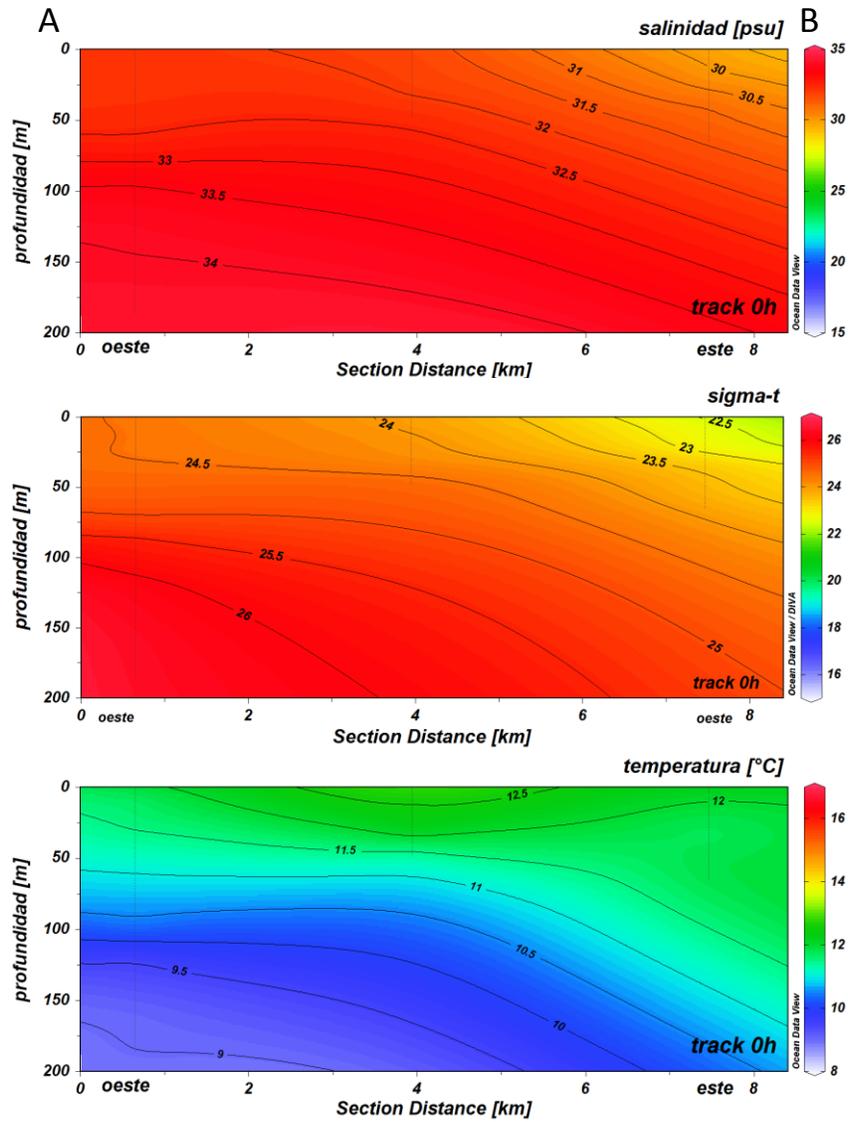


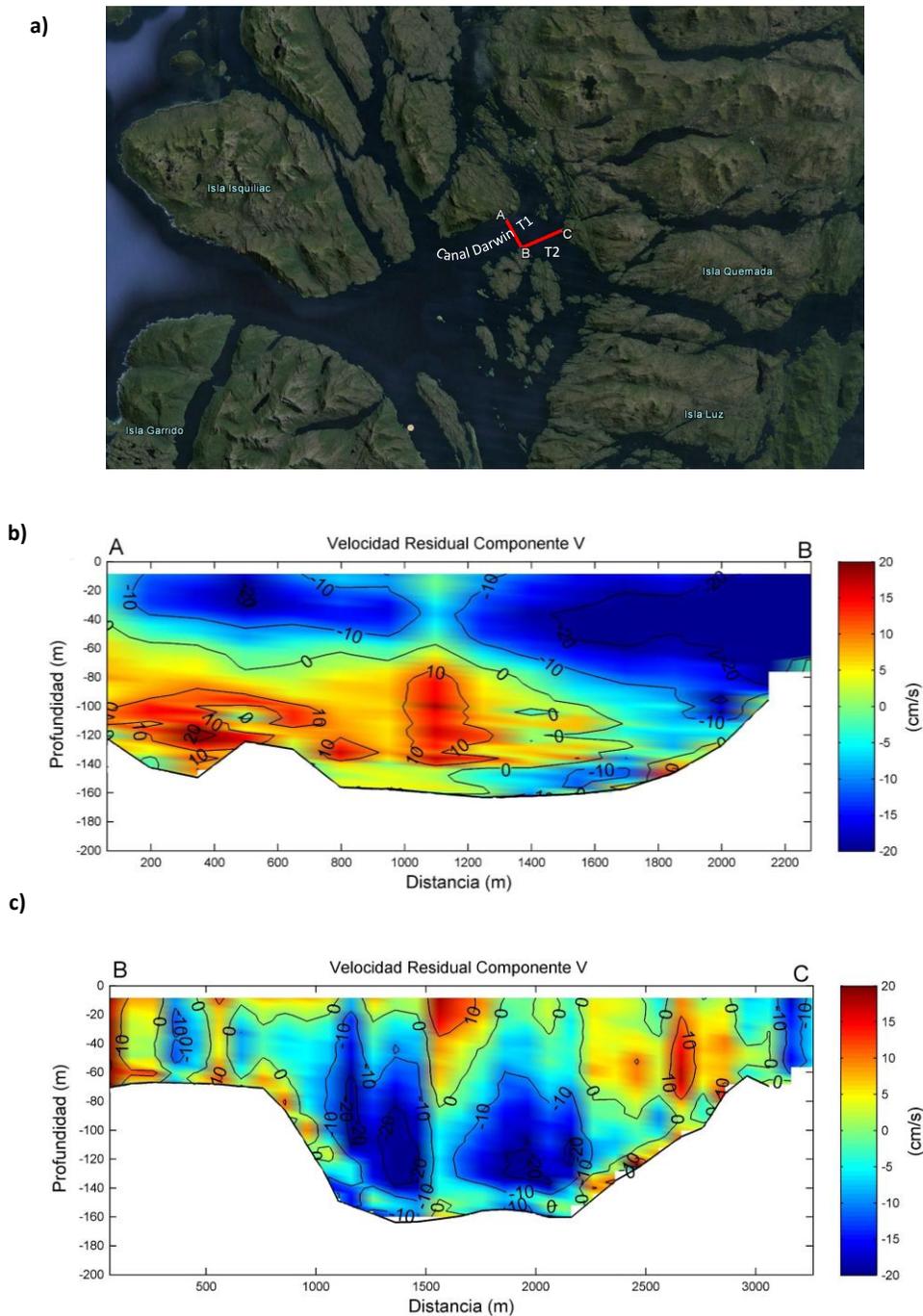
Figura 97. Distribuci3n horizontal de oxígeno disuelto para diferentes estratos analizados, durante el crucero Archipiélago las Guaitecas, primavera 2014.



**Figura 98.** (a) Transecta efectuada en Moraleda a través de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta, durante la campaña Isla Magdalena y ACHS, en verano 2015.



**Figura 99.** Distribuci3n vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Moraleda. Durante la campaa Puyuguapi-Yacaf-ACHS verano 2015.



**Figura 100.** (a) Transecta efectuada en canal Darwin a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2, durante la campaa de Isla Magdalena y ACHS, en verano 2015.

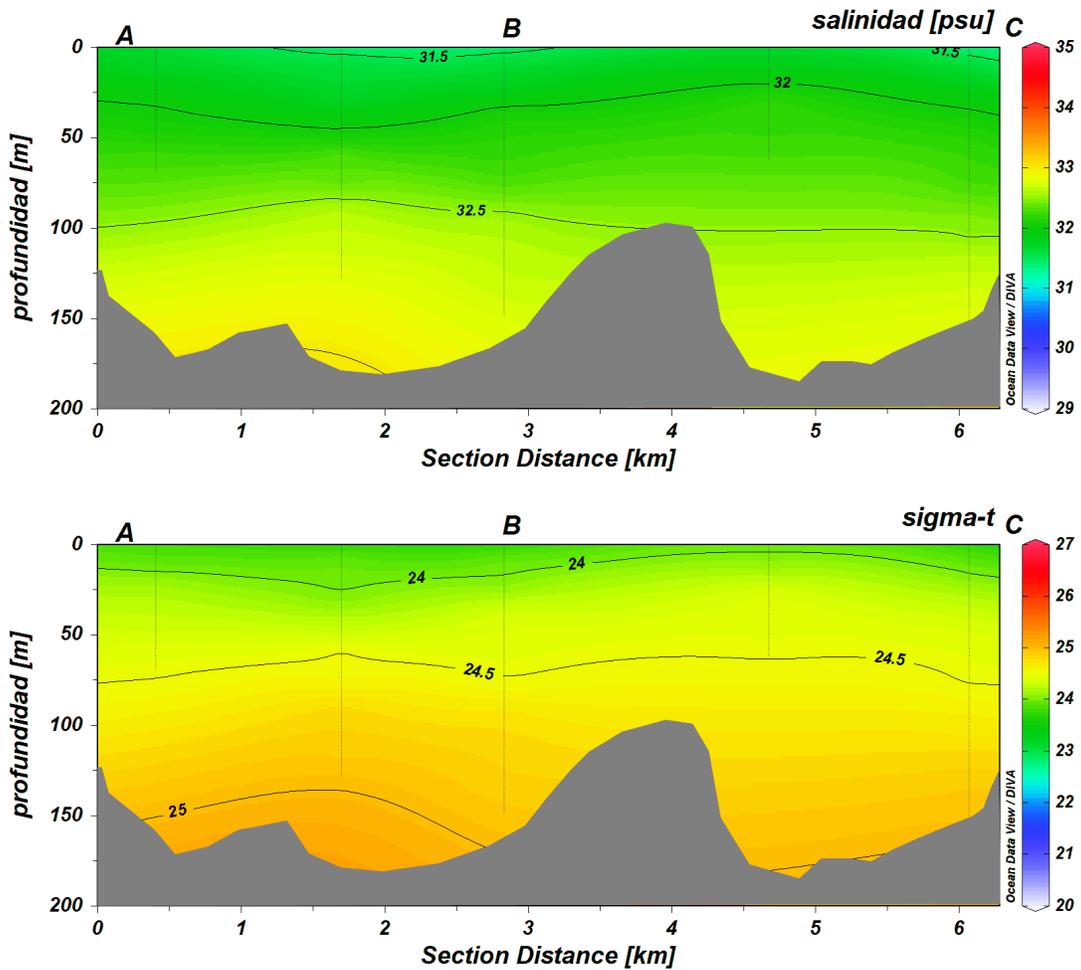


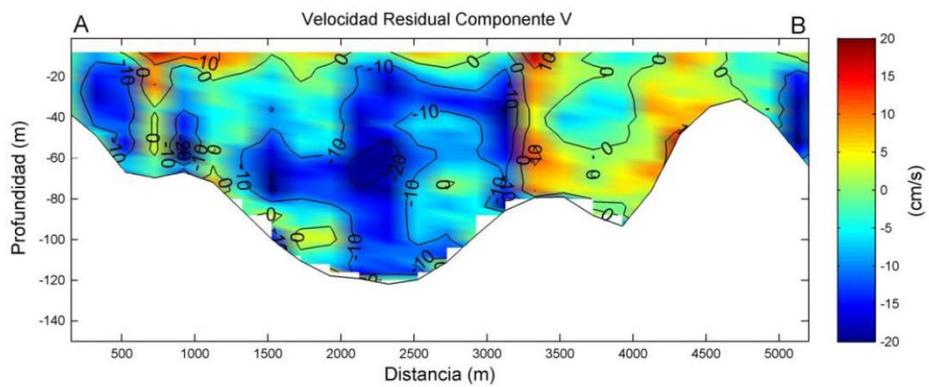
Figura 101. Distribuci3n vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Darwin. Durante la campaa Puyuguapi-Yacaf-ACHS verano 2015.



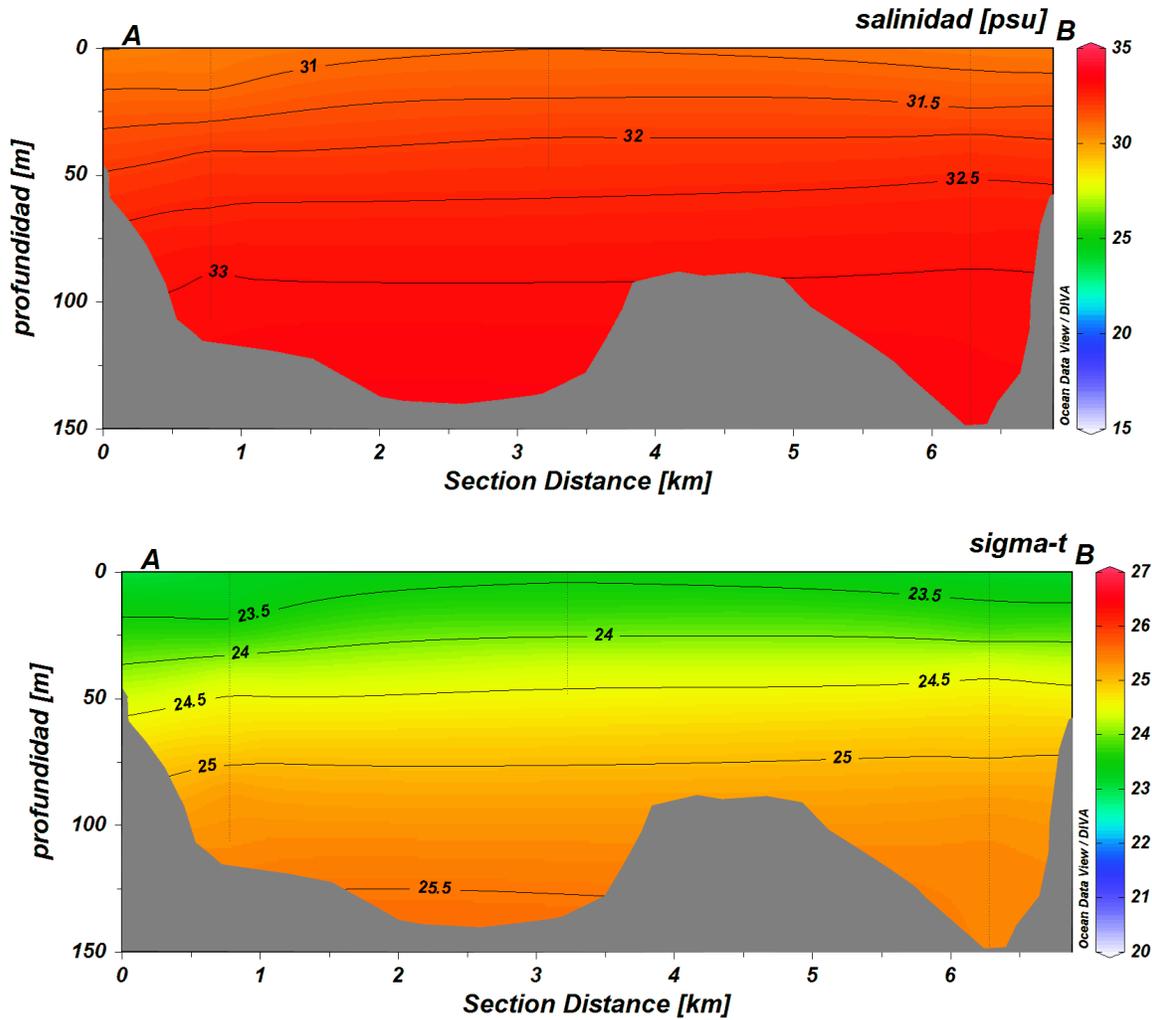
a)



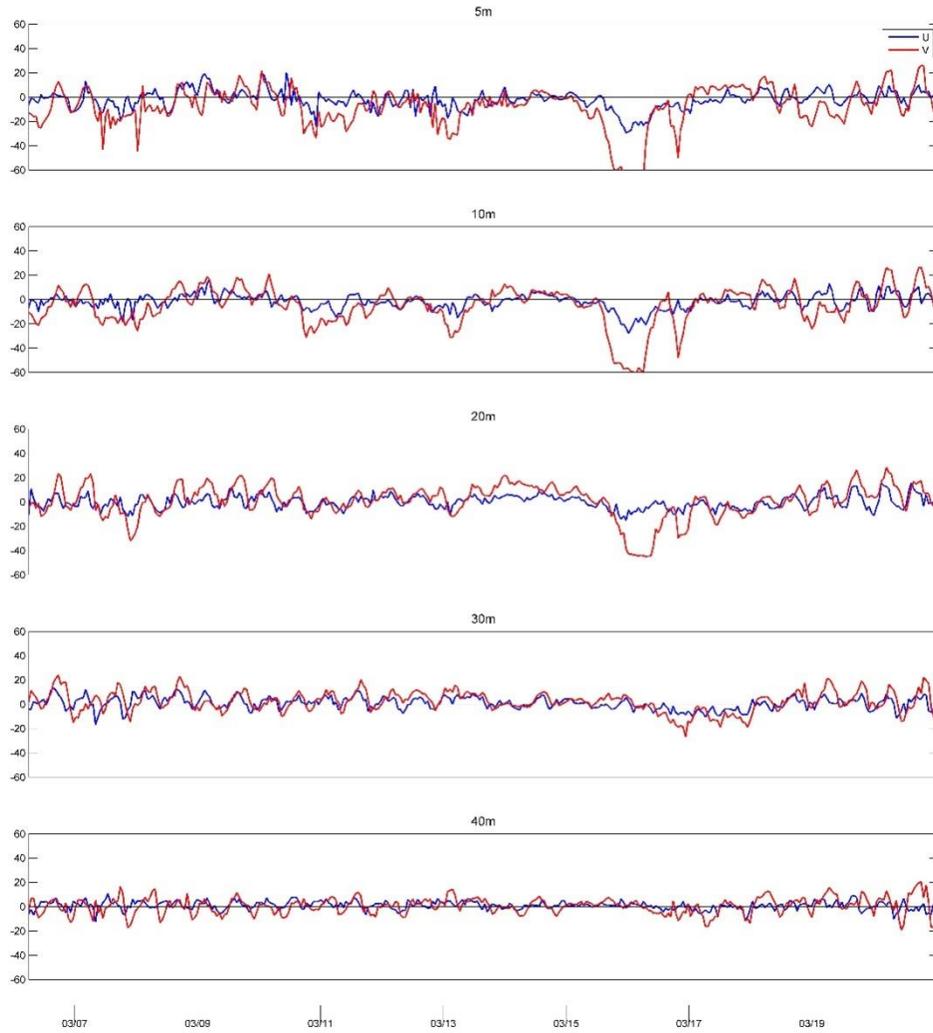
b)



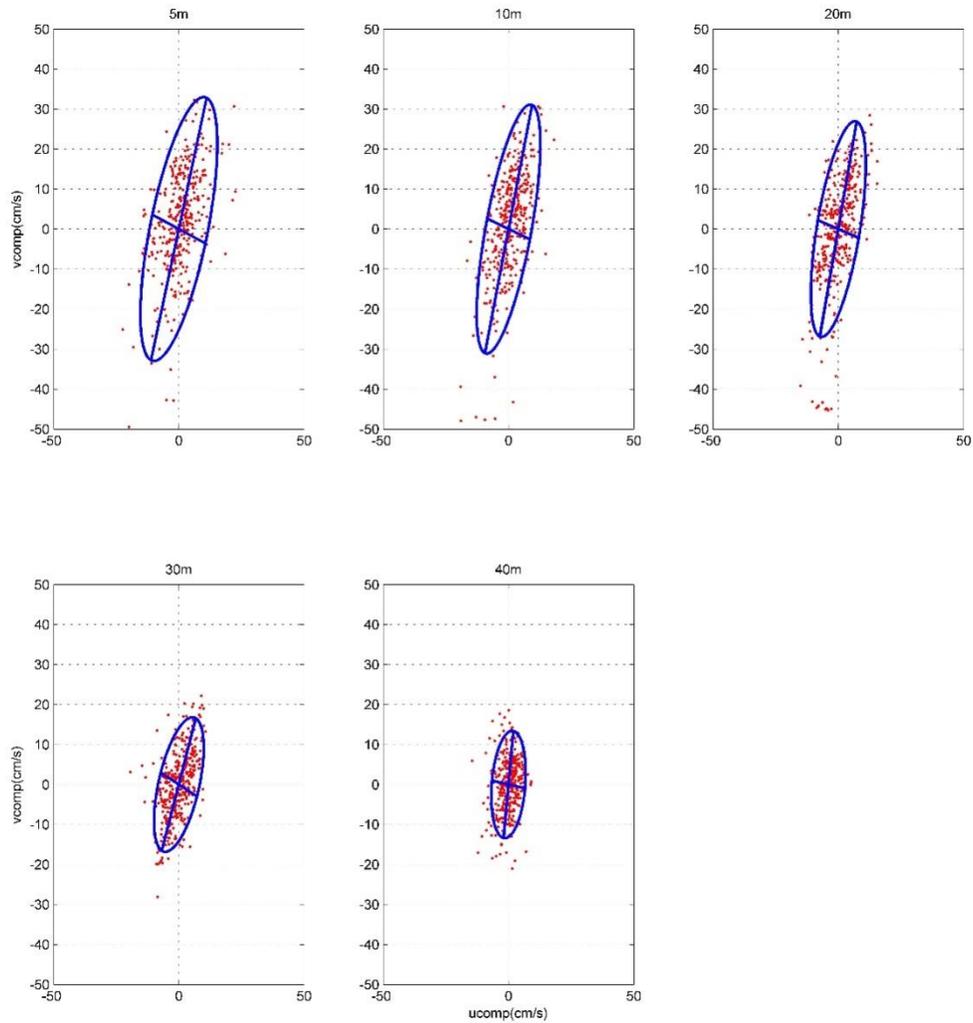
**Figura 102.** (a) Transecta efectuada en canal Utarupa a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta, durante la campaa Isla Magdalena y ACHS, en verano 2015.



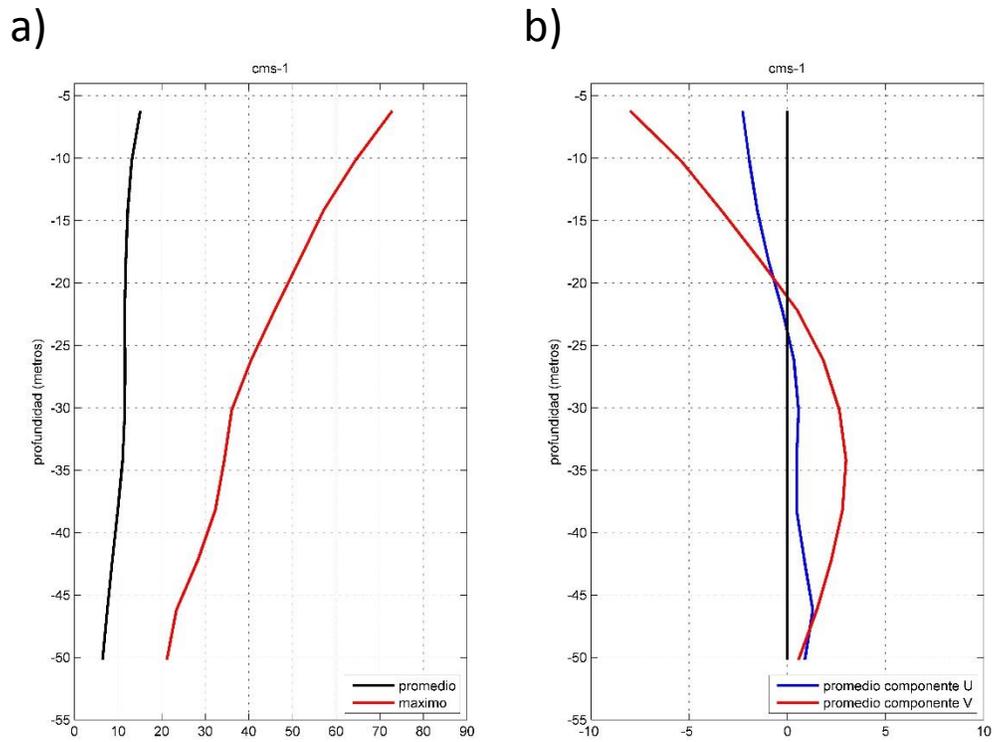
**Figura 103.** Distribuci3n vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Utarupa. Durante la campaa Puyuguapi-Jacaf-ACHS verano 2015.



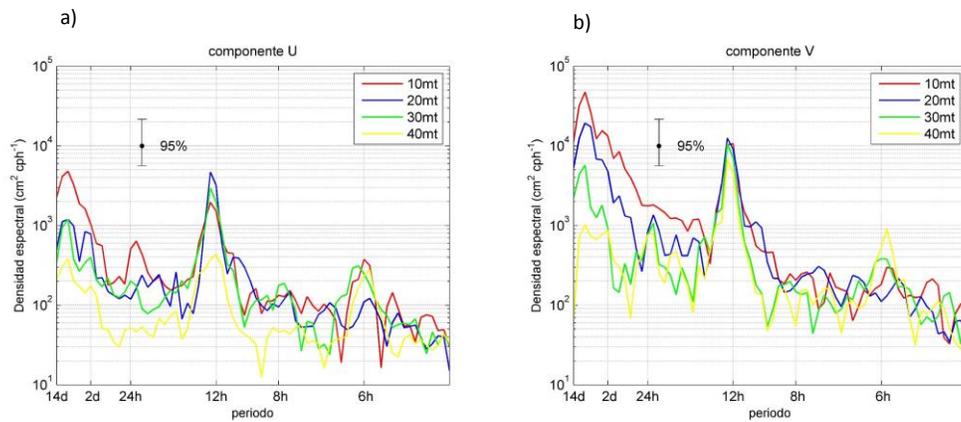
**Figura 104.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40 m en canal Err3zuriz, durante la campaa de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



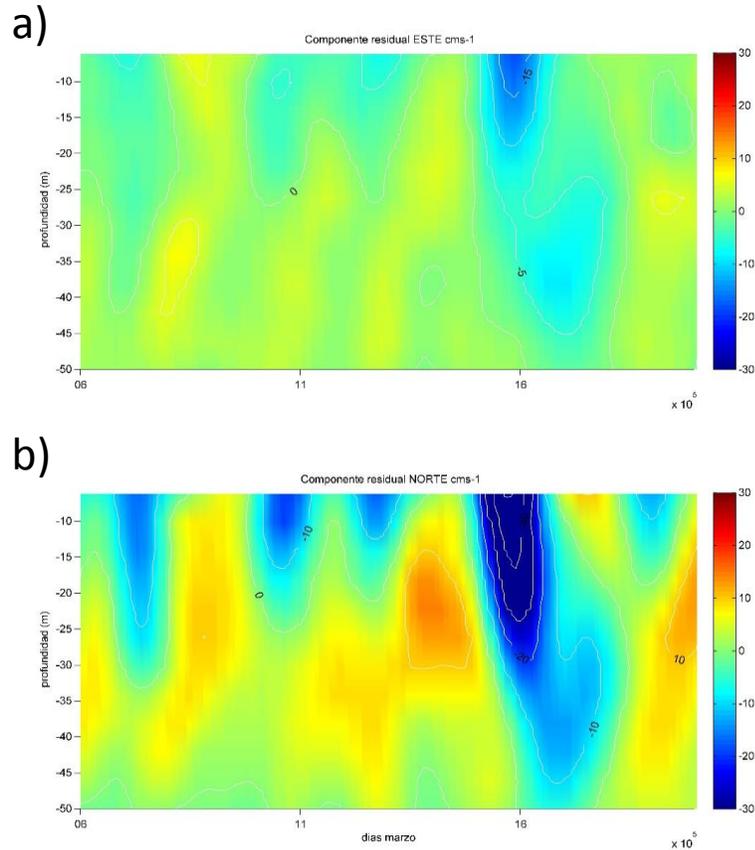
**Figura 105.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40 m en canal Errázuriz, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



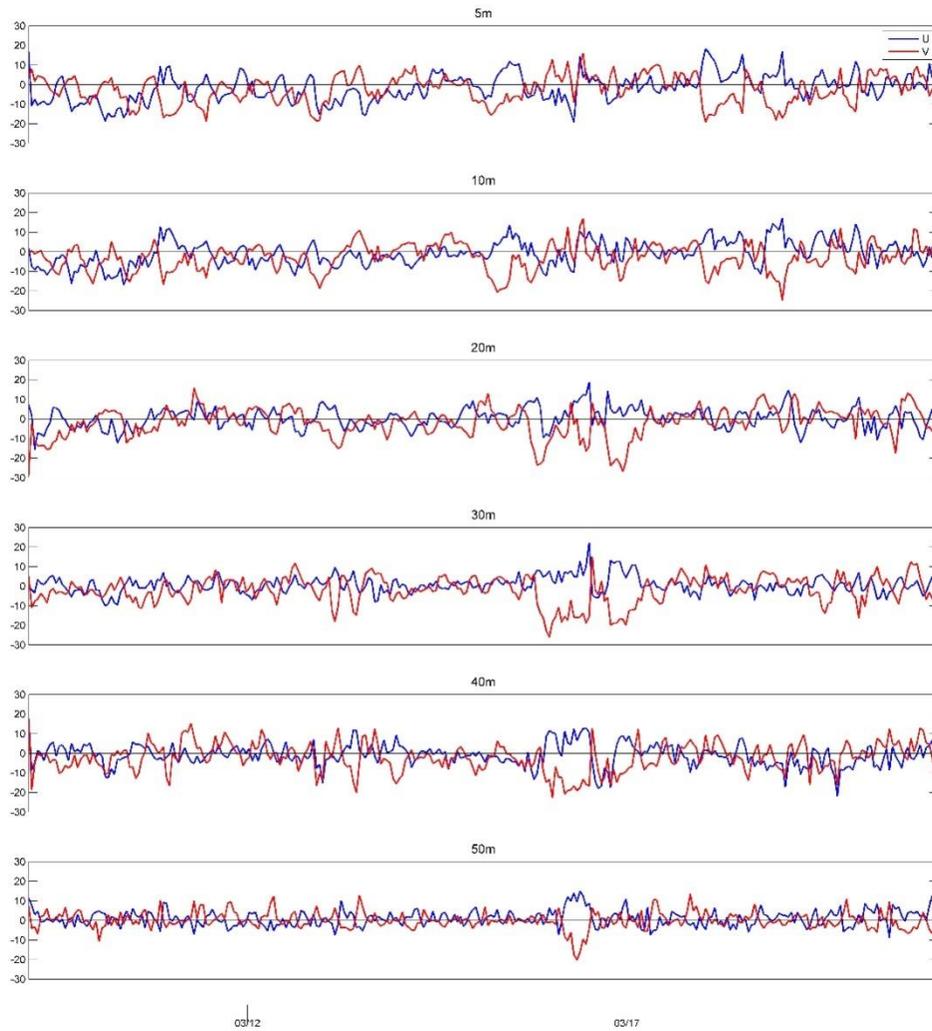
**Figura 106.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Errázuriz, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



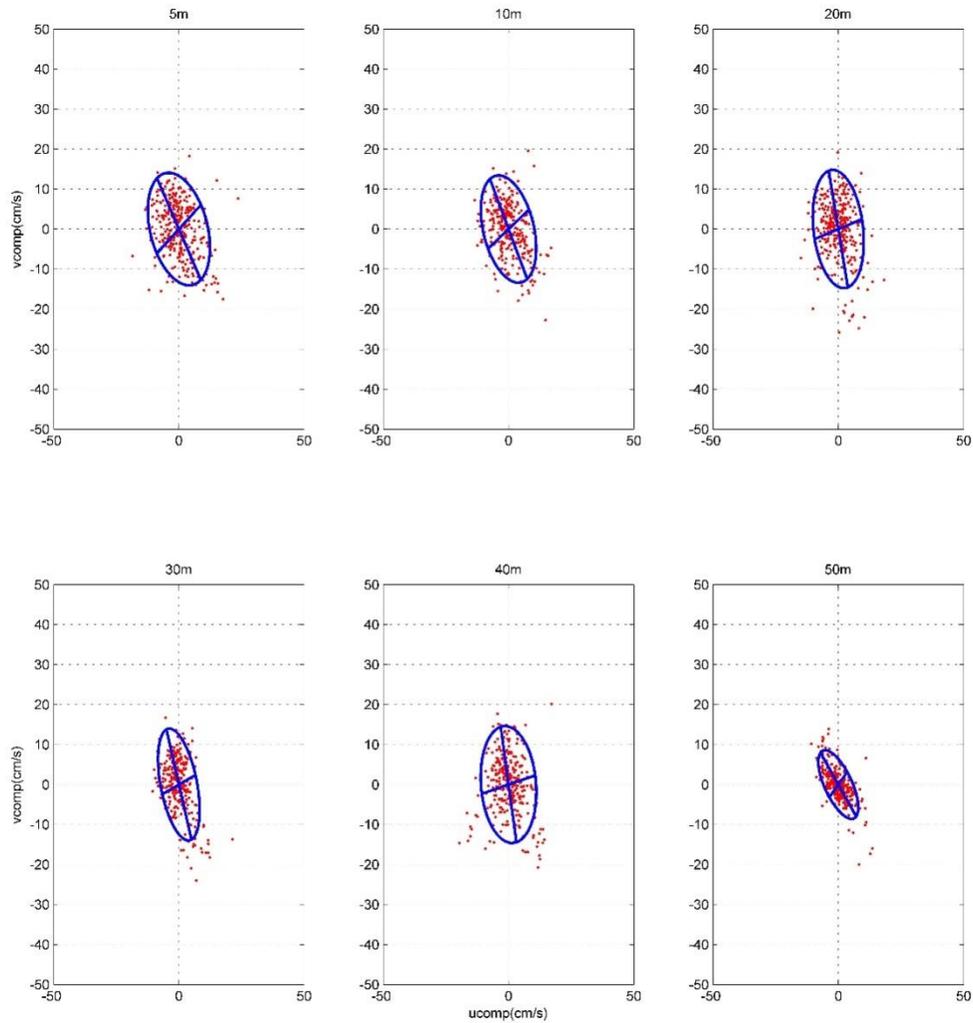
**Figura 107.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Errázuriz durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



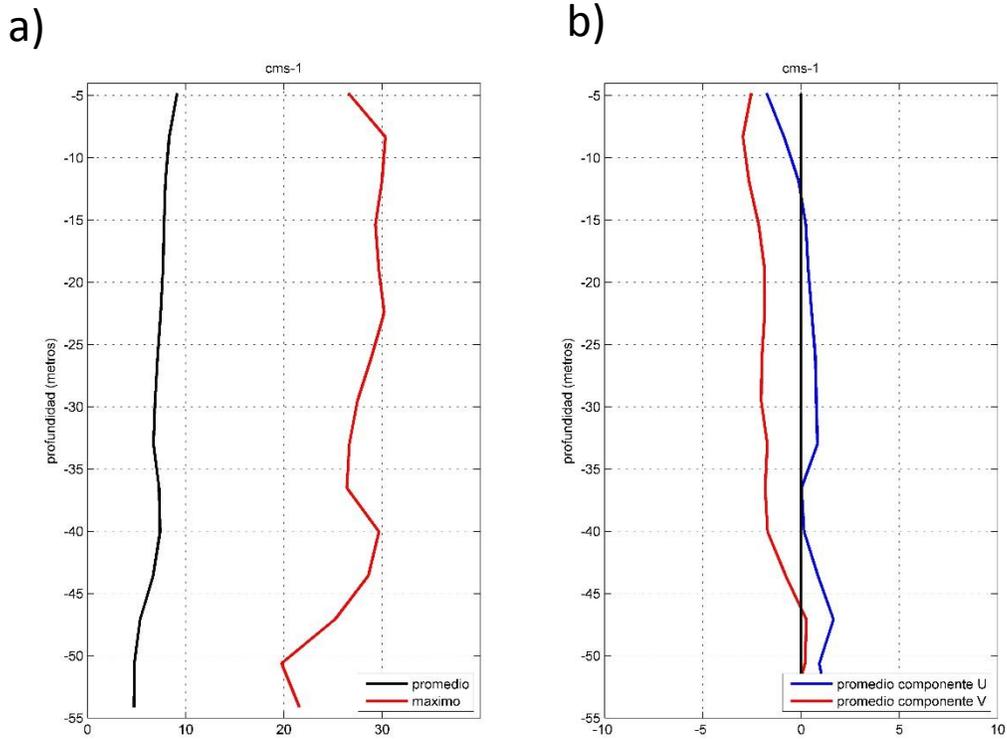
**Figura 108.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** Componente V (norte) en canal Errázuriz durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



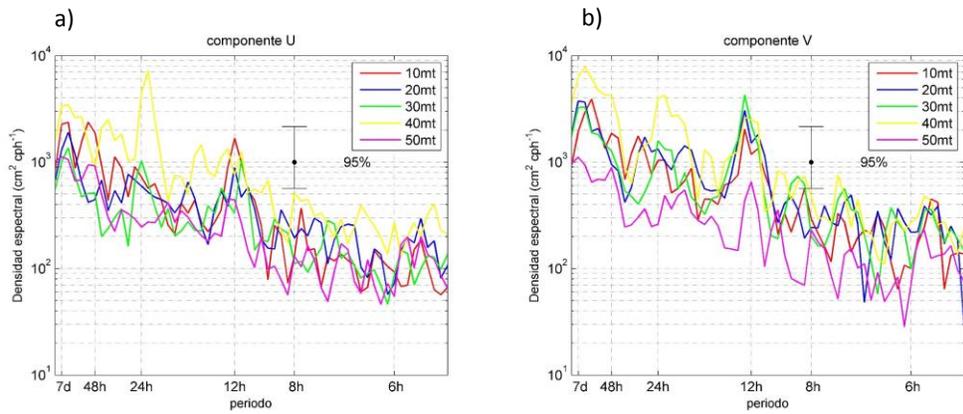
**Figura 109.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en estero Pangal, durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



**Figura 110.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en estero Pangal, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



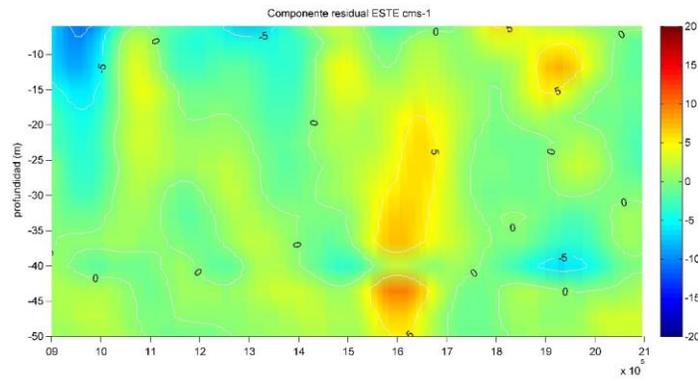
**Figura 111.** (a) Perfiles promedio y m3ximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en estero Pangal, durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



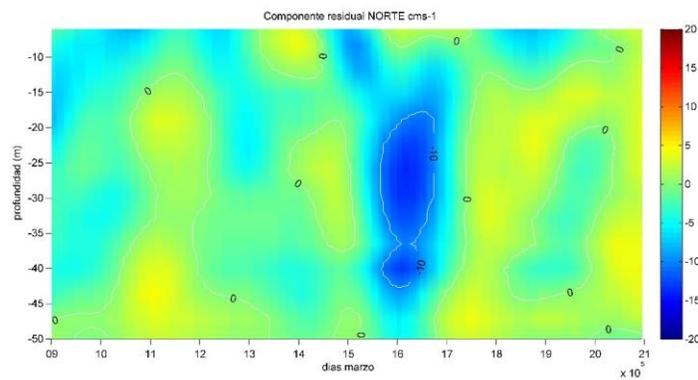
**Figura 112.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** Espectro de la componente V, en estero Pangal durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



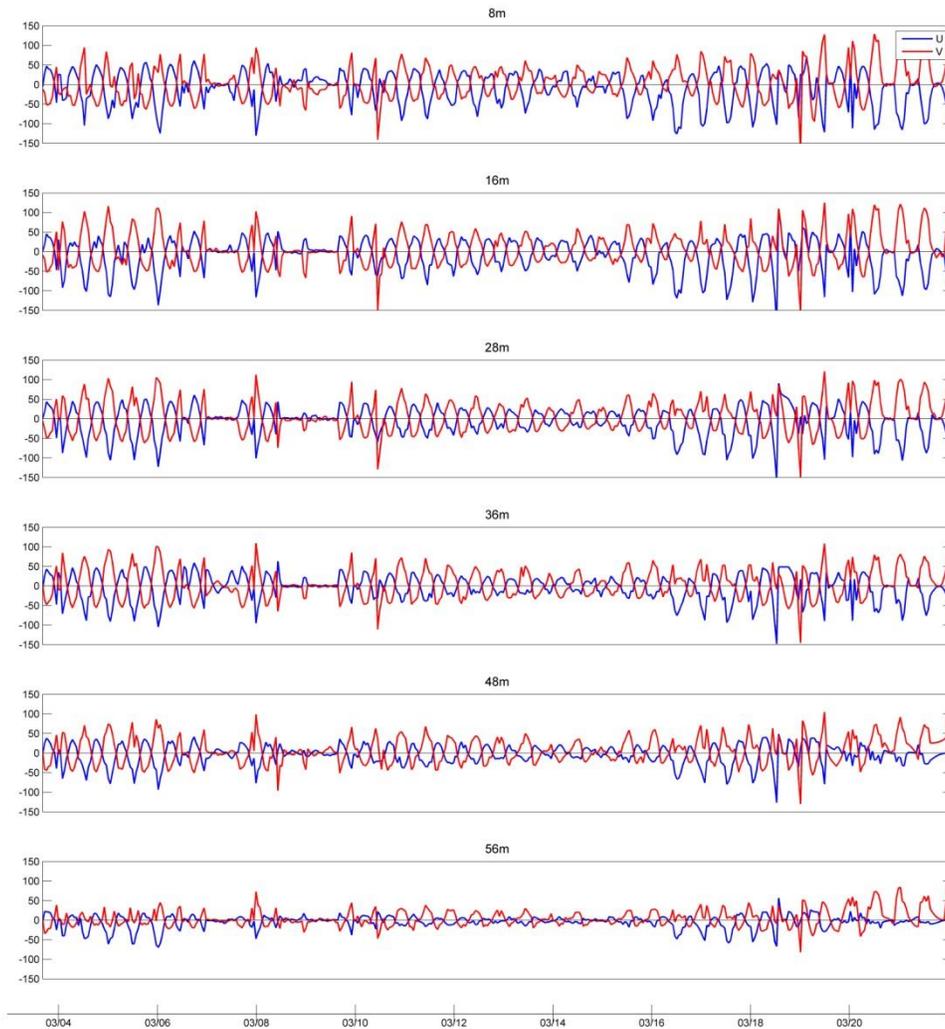
a)



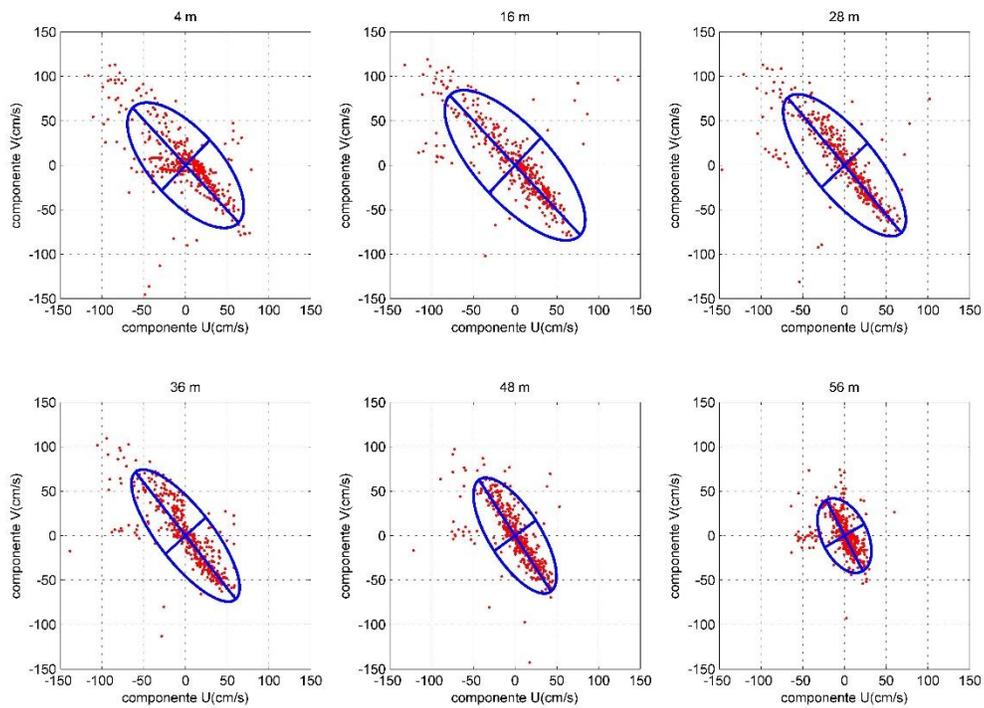
b)



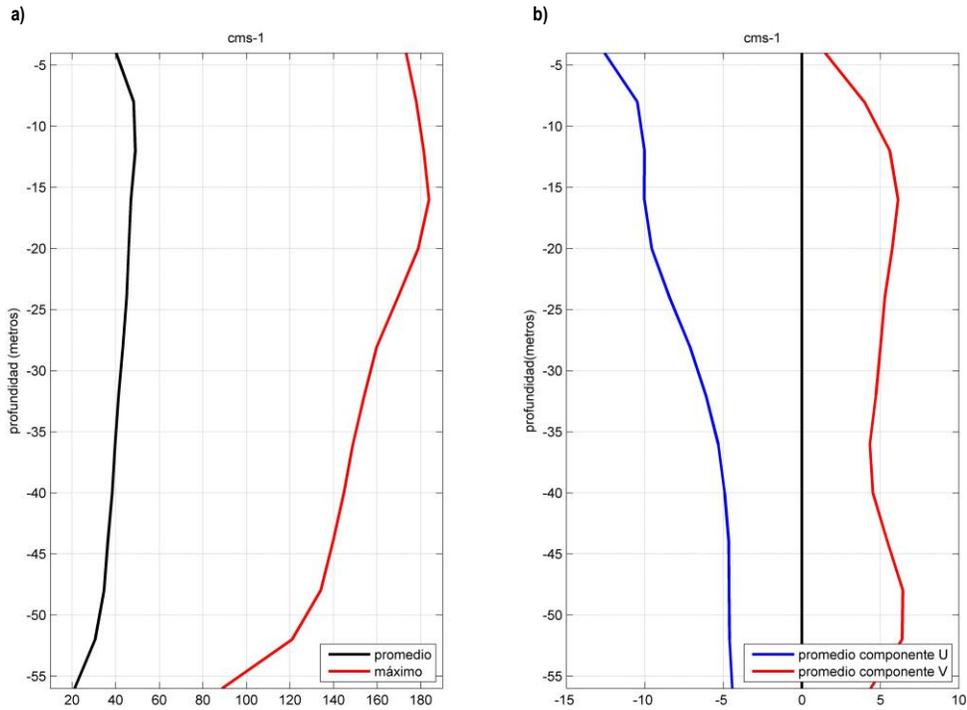
**Figura 113.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** Componente V (norte) en estero Pangal durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



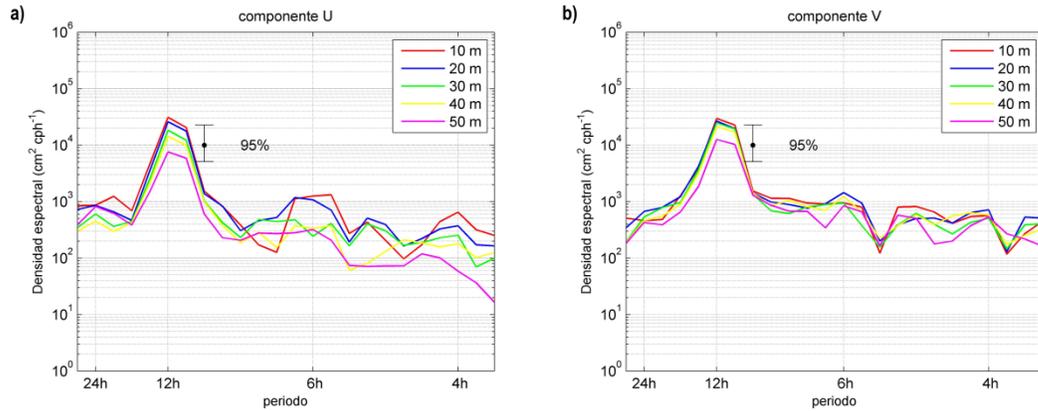
**Figura 114.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 8-16-28-36-48-56 m en canal Darwin, durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



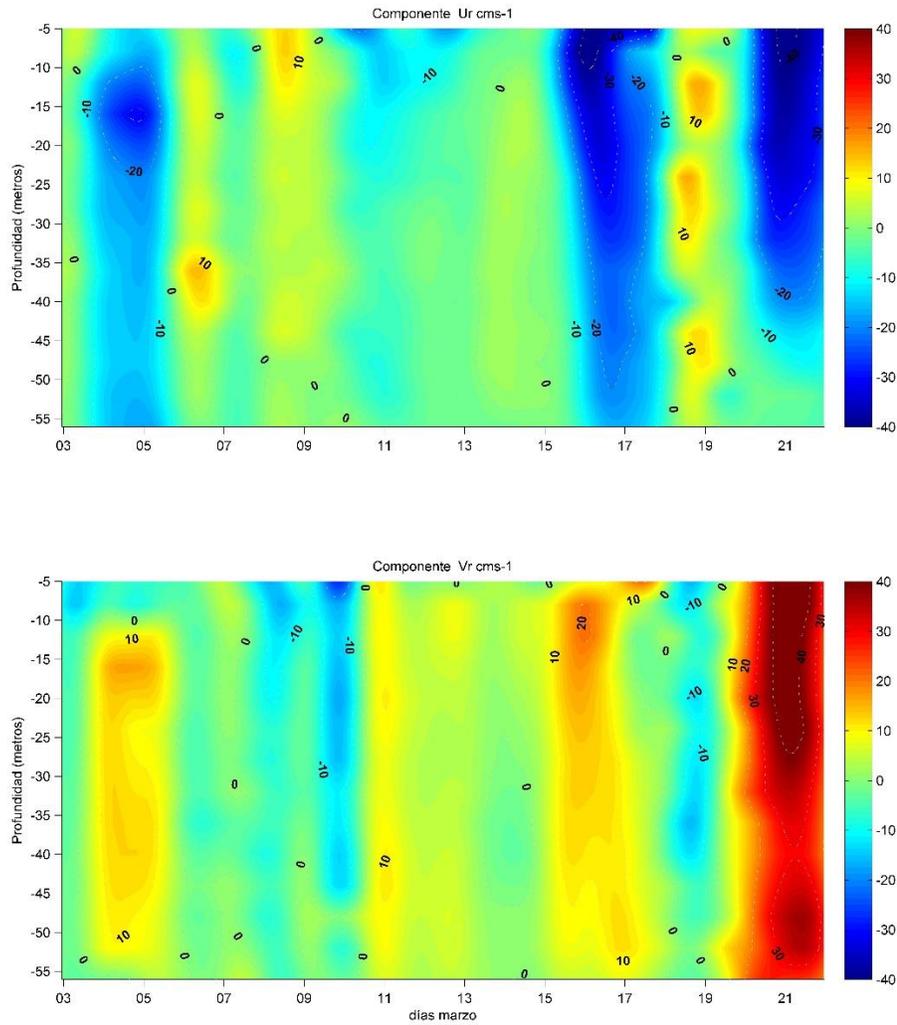
**Figura 115.** Elipses de máxima varianza en las capas de 4-16-28-36-48-56 m en canal Darwin, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



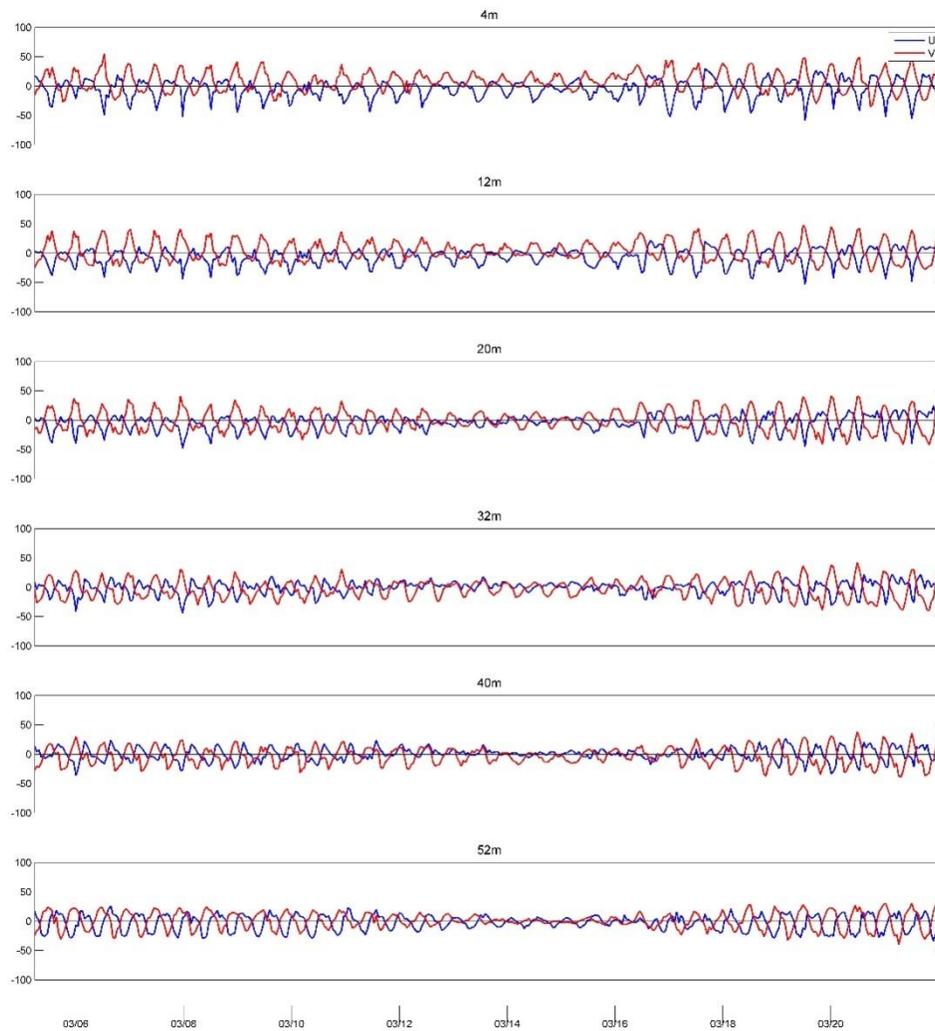
**Figura 116.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Darwin, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



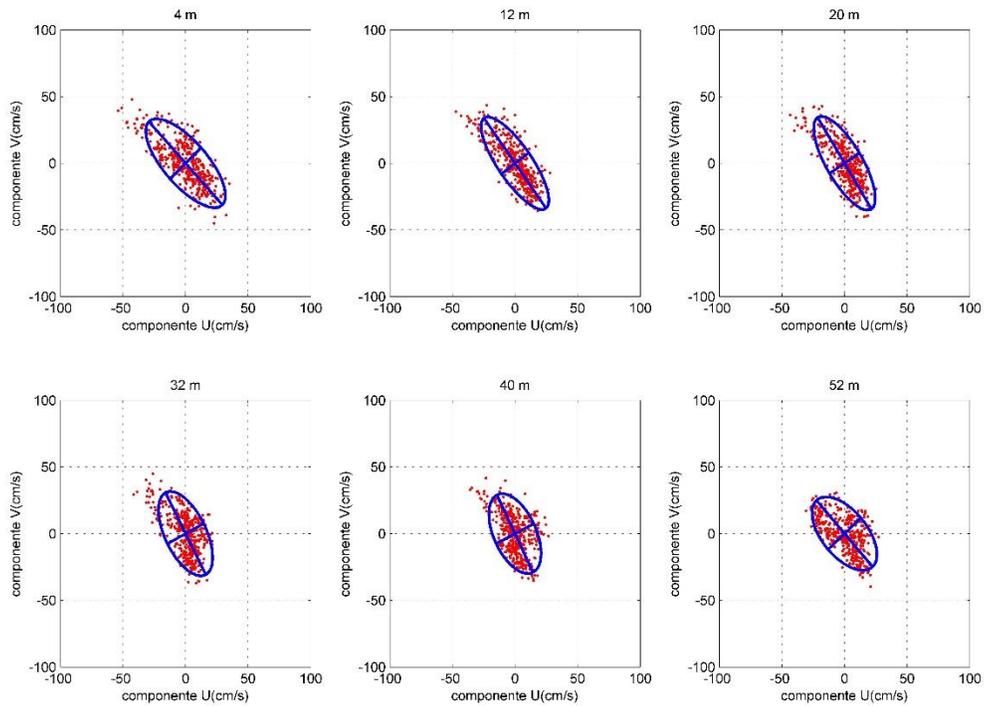
**Figura 117.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Darwin durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



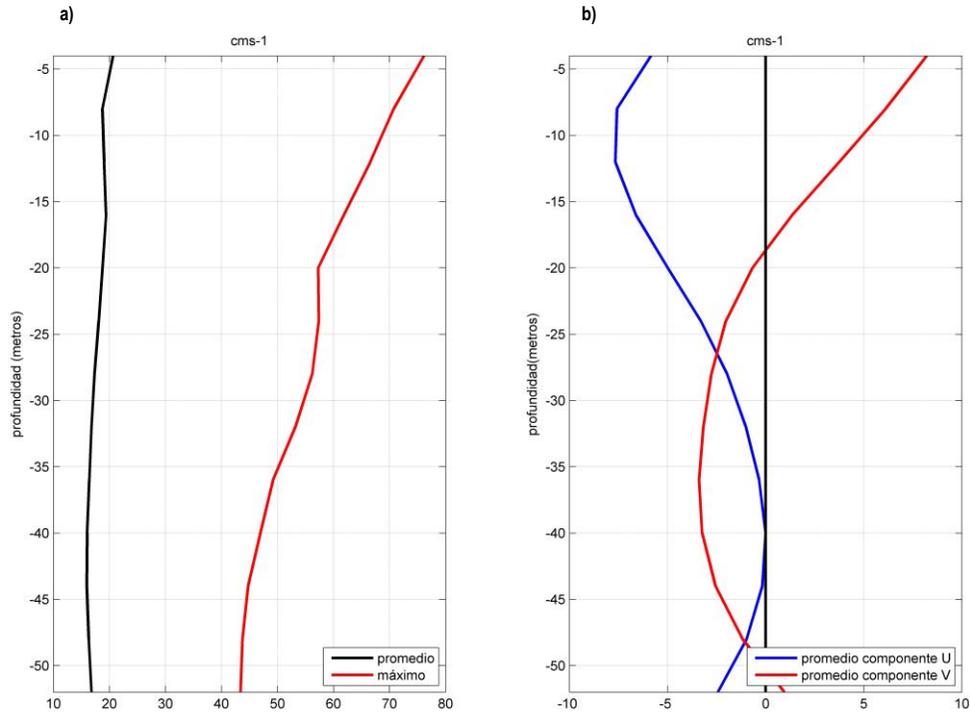
**Figura 118.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Darwin durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



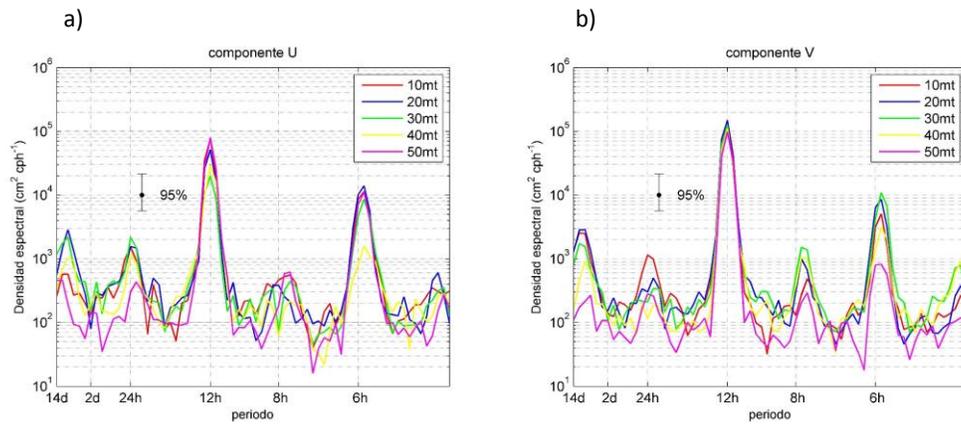
**Figura 119.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 4-12-20-32-40-52 m en canal Utarupa, durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



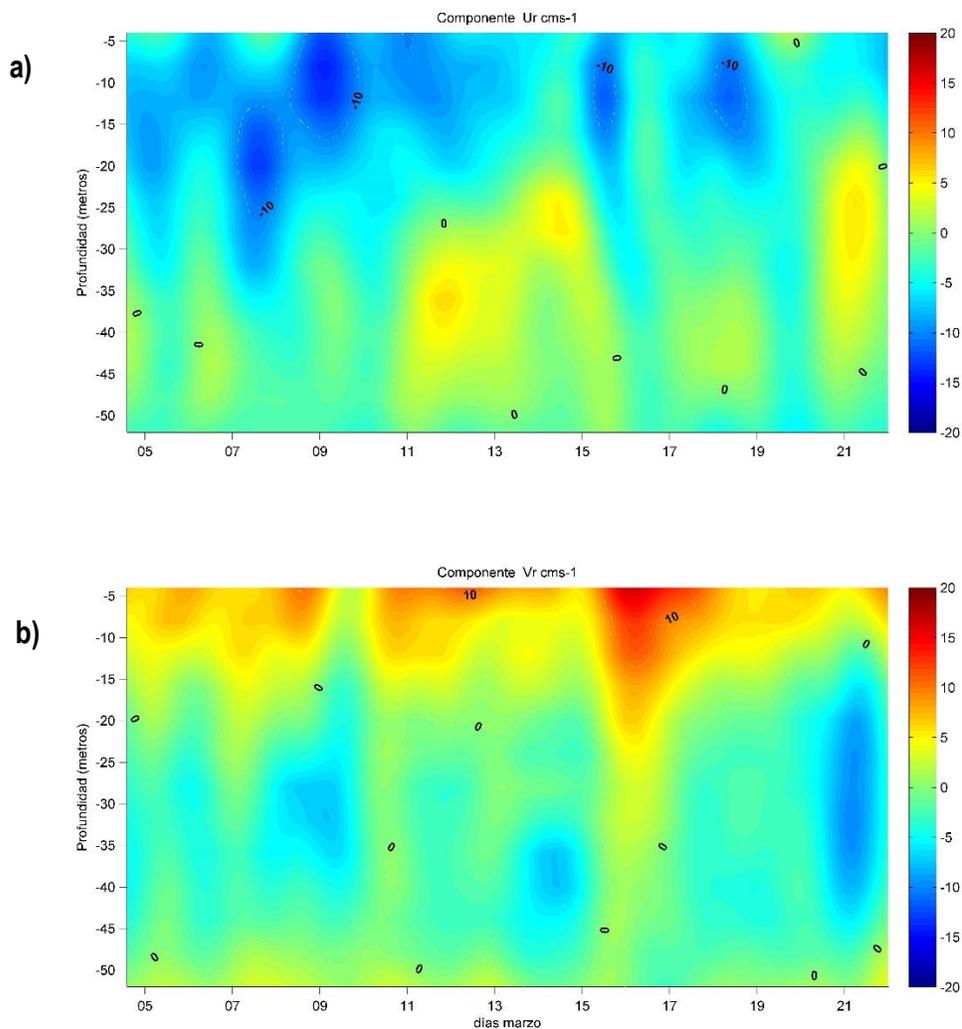
**Figura 120.** Elipses de máxima varianza en las capas de 4-12-20-32-40-52 m en canal Utauropa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



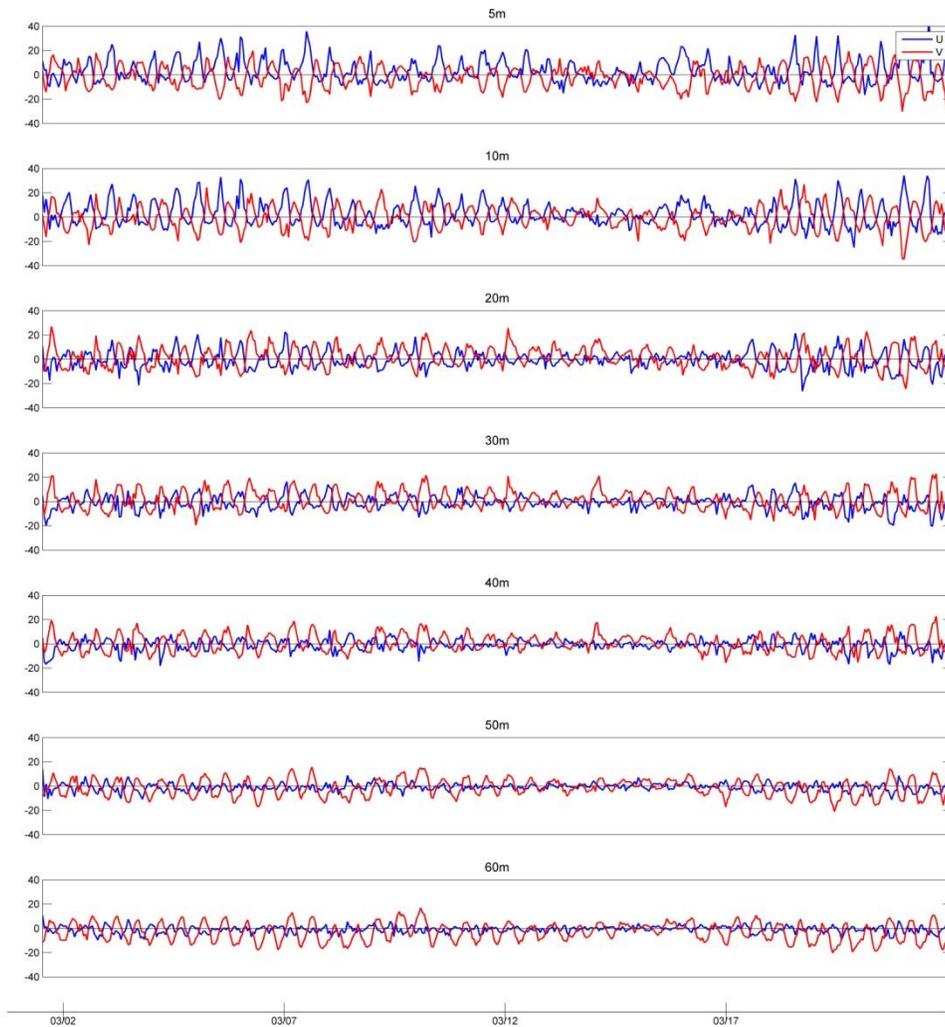
**Figura 121.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Utarupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



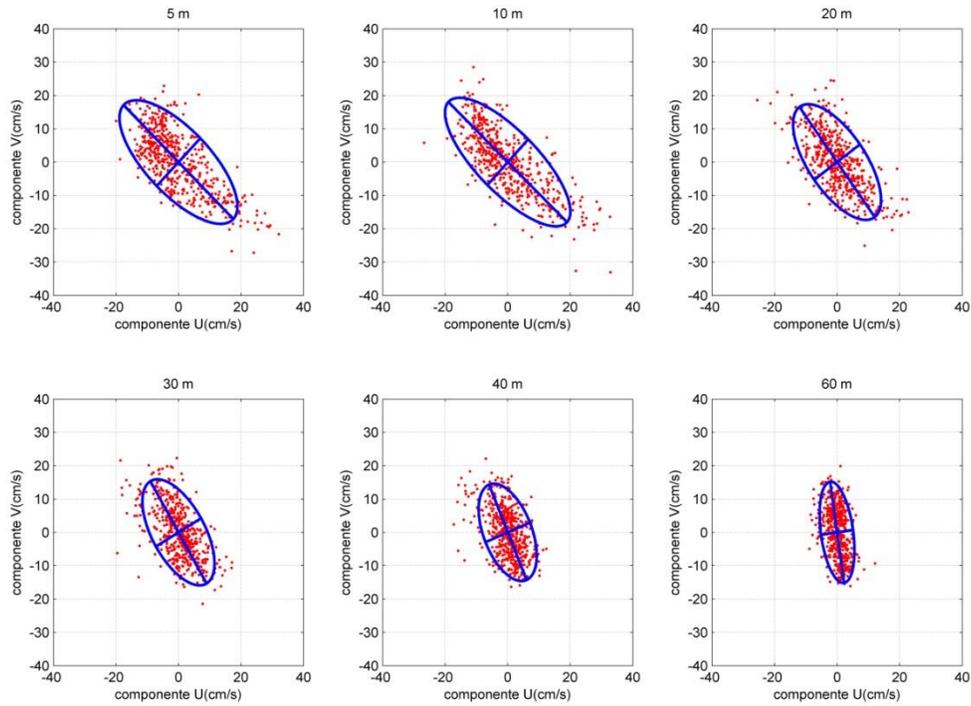
**Figura 122.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Utarupa durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



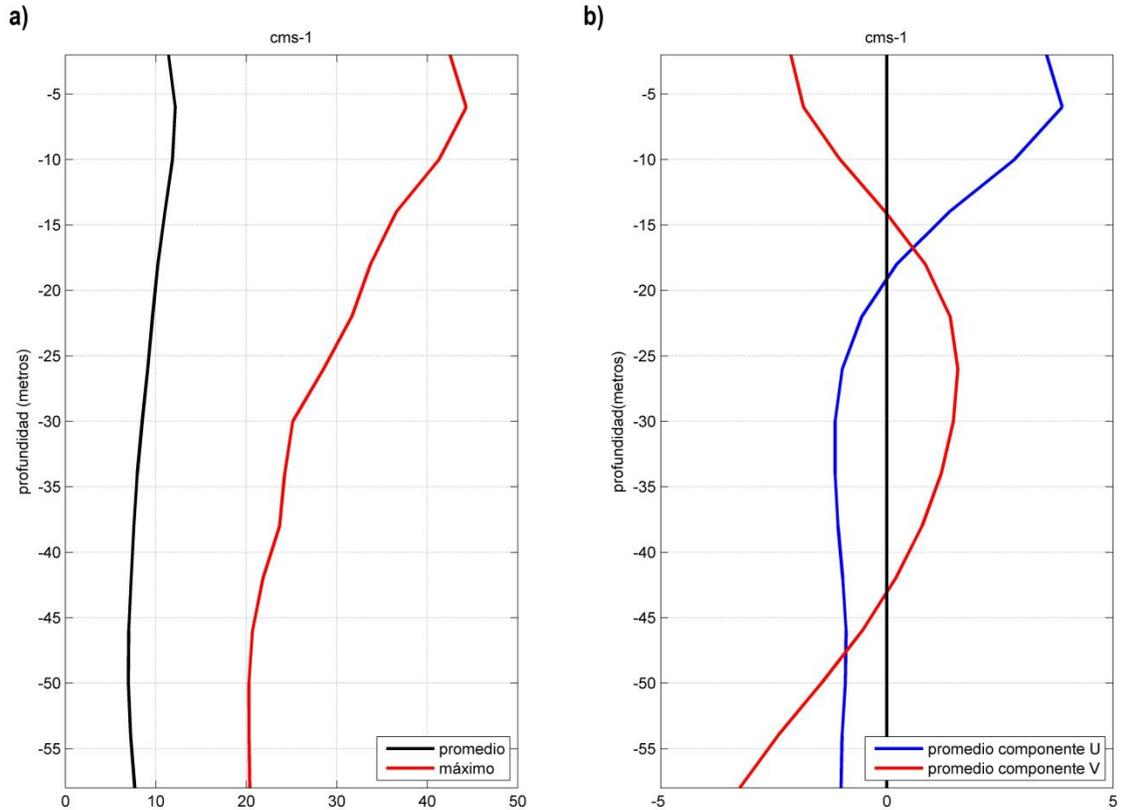
**Figura 123.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Utarupa durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



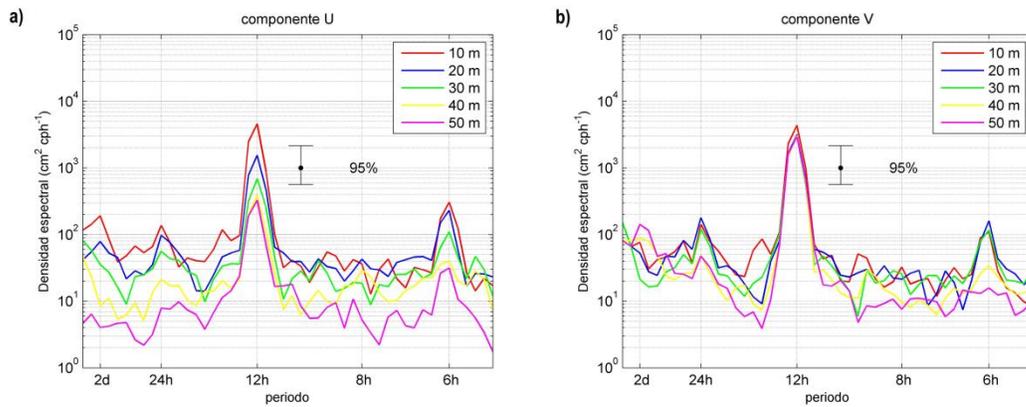
**Figura 124.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50-60 m en canal Pichirupa, durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



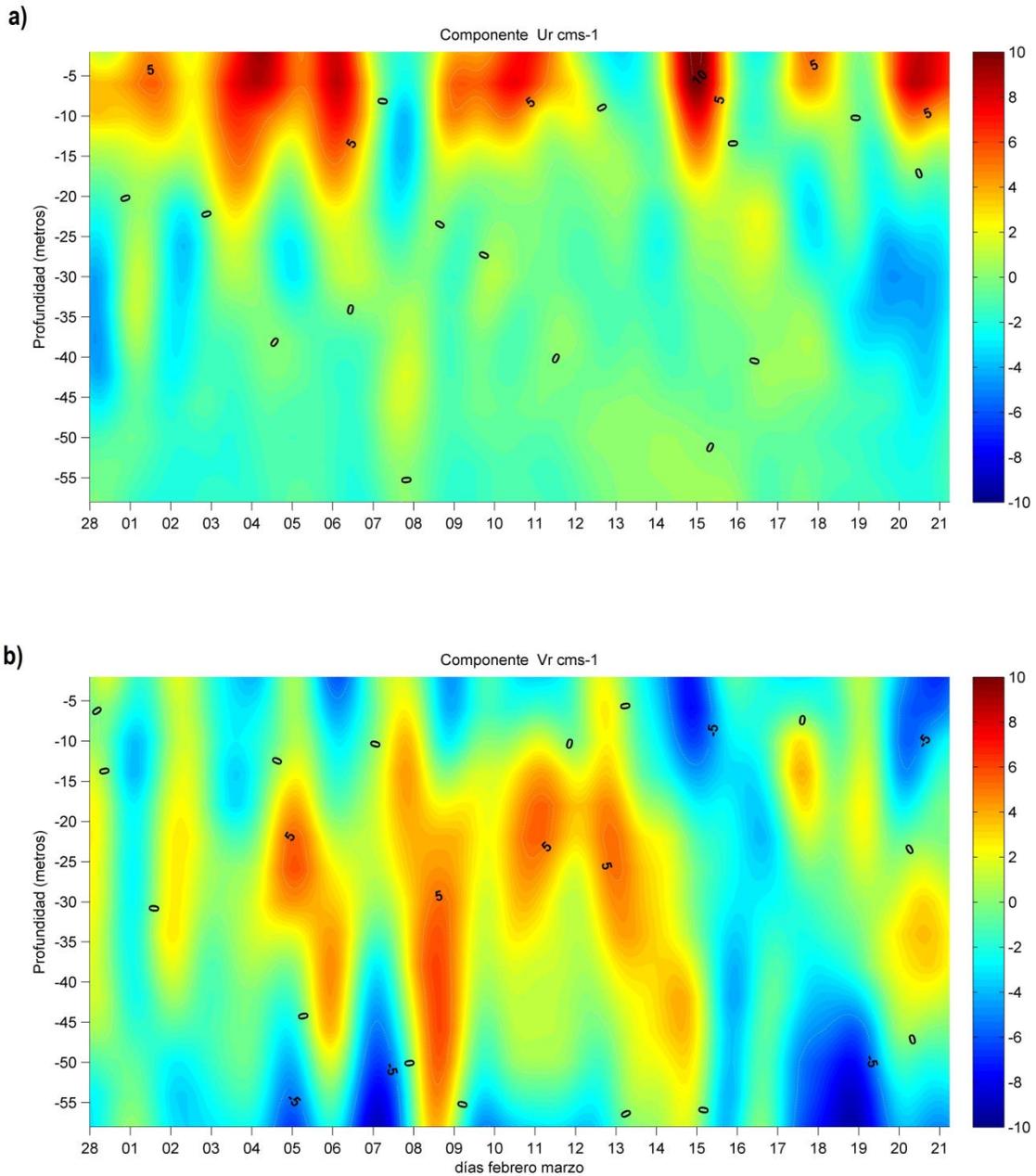
**Figura 125.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-60 m en canal Pichirupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Aysén.



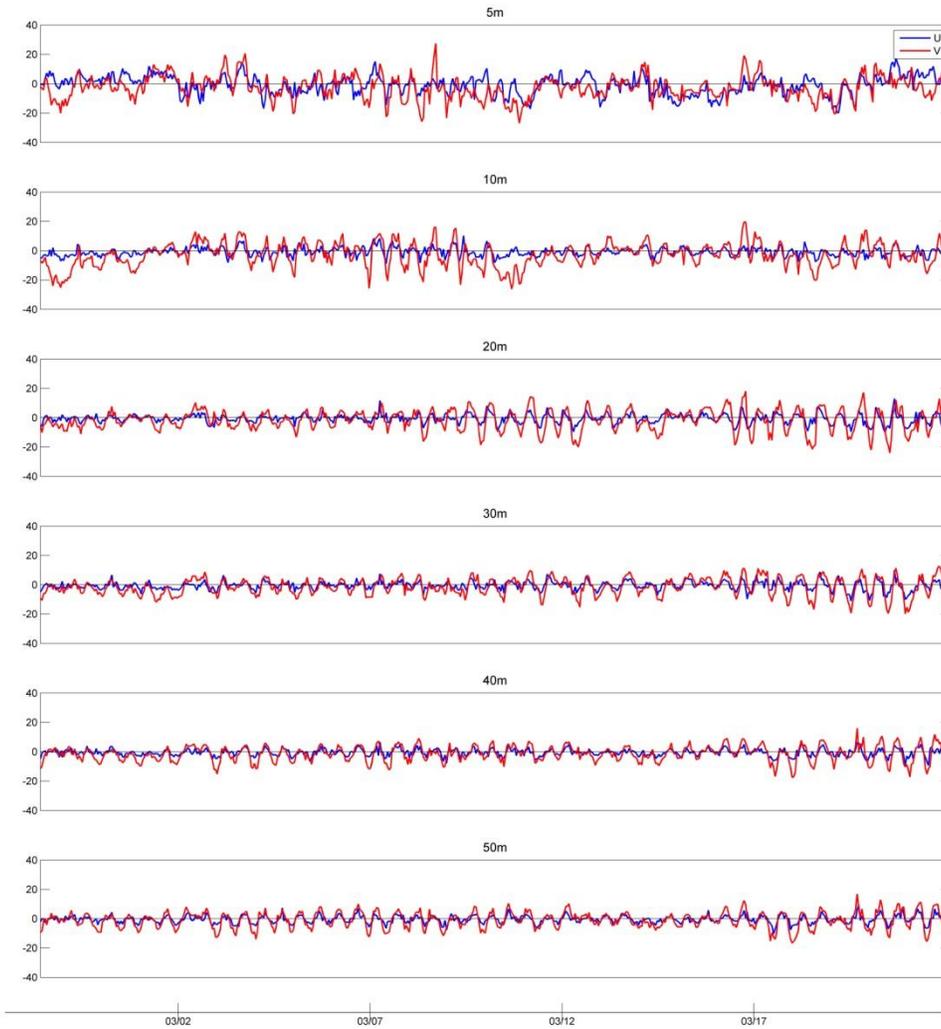
**Figura 126.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Pichirupa, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



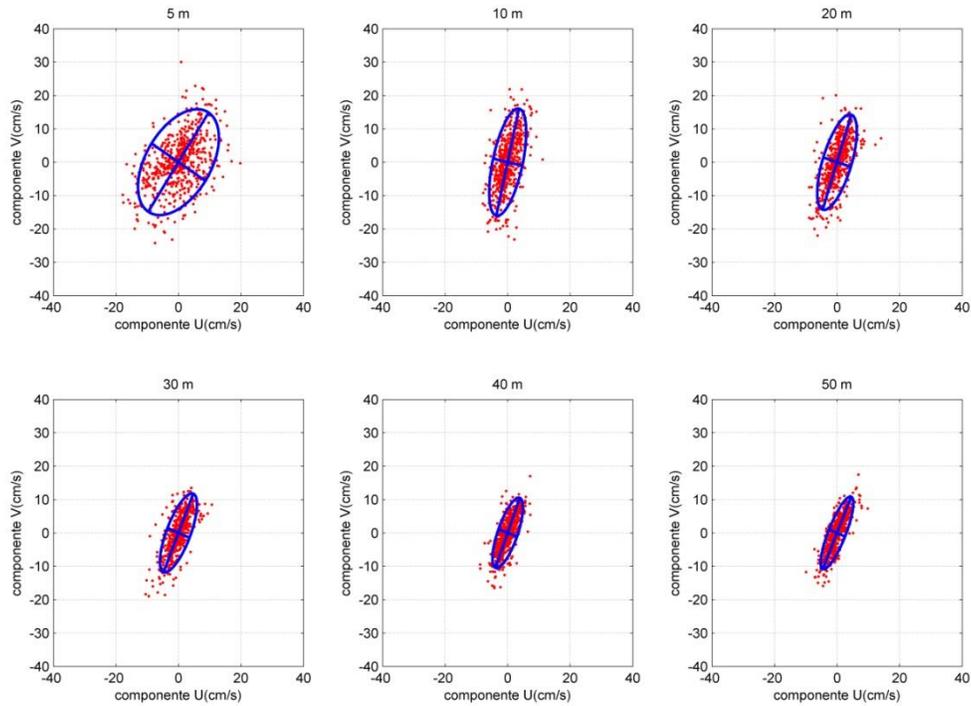
**Figura 127.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Pichirupa, durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



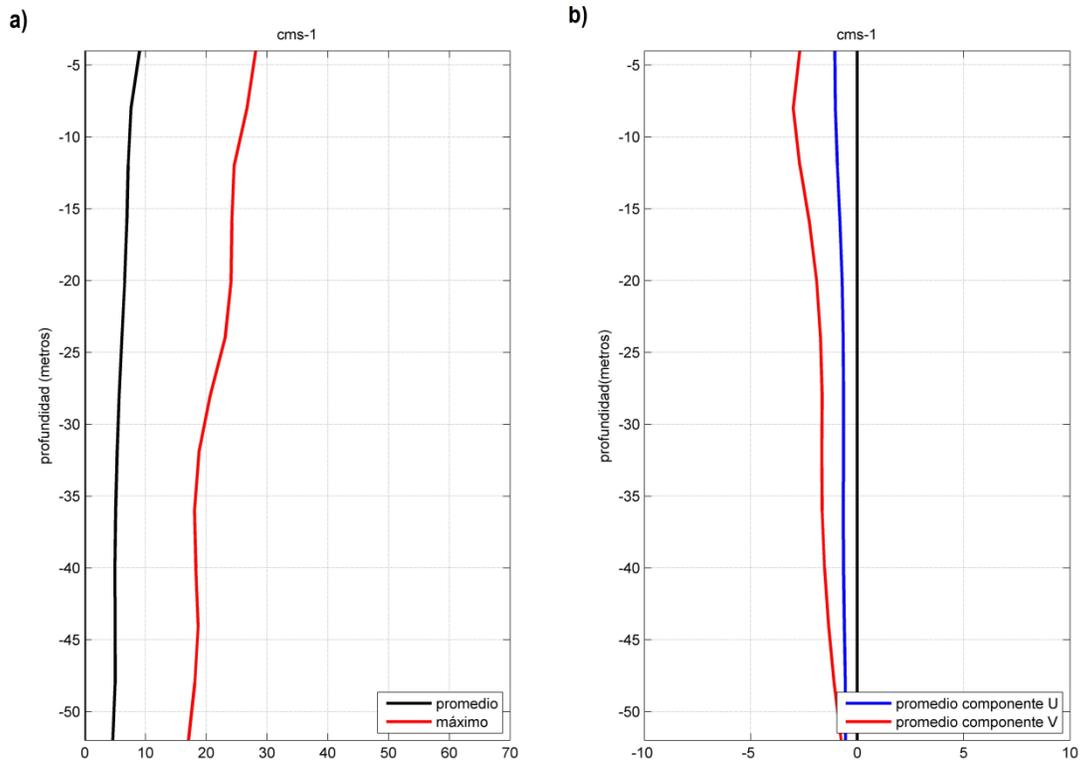
**Figura 128.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Pichirupa, durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



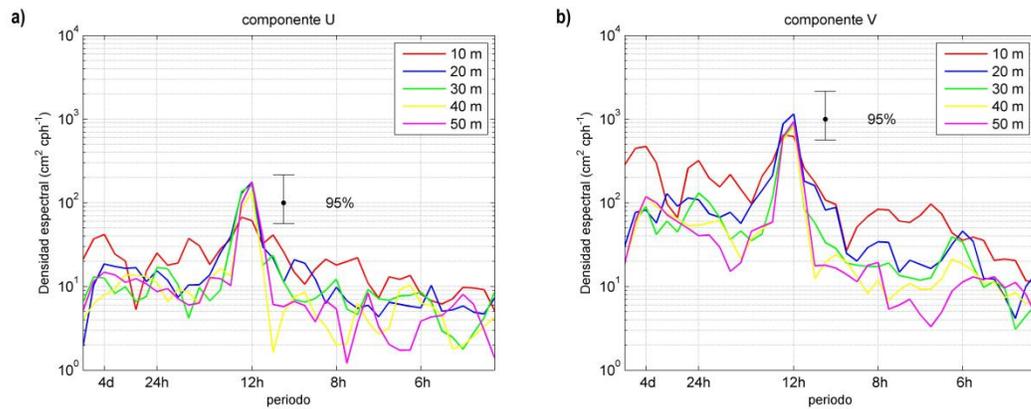
**Figura 129.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



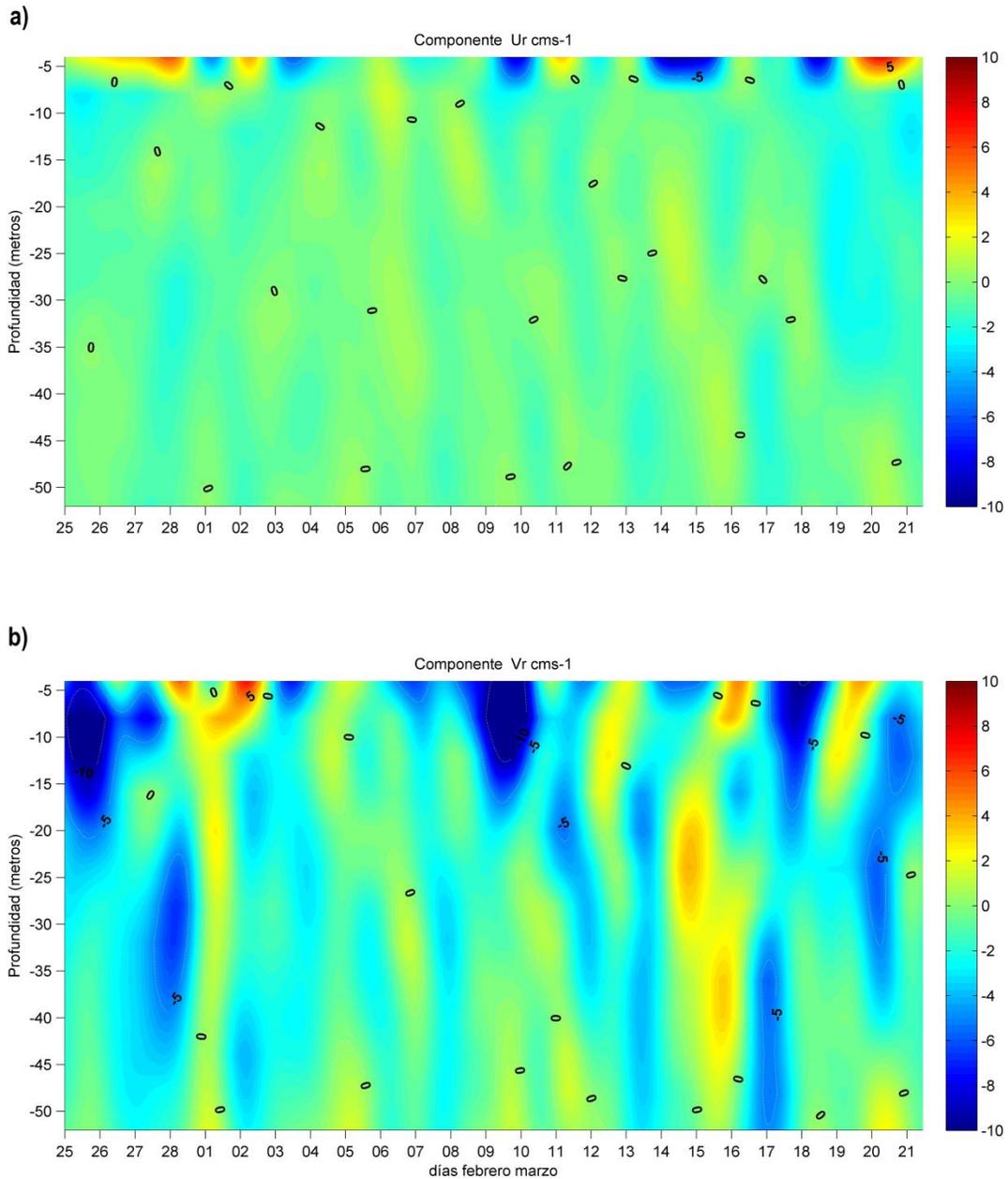
**Figura 130.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



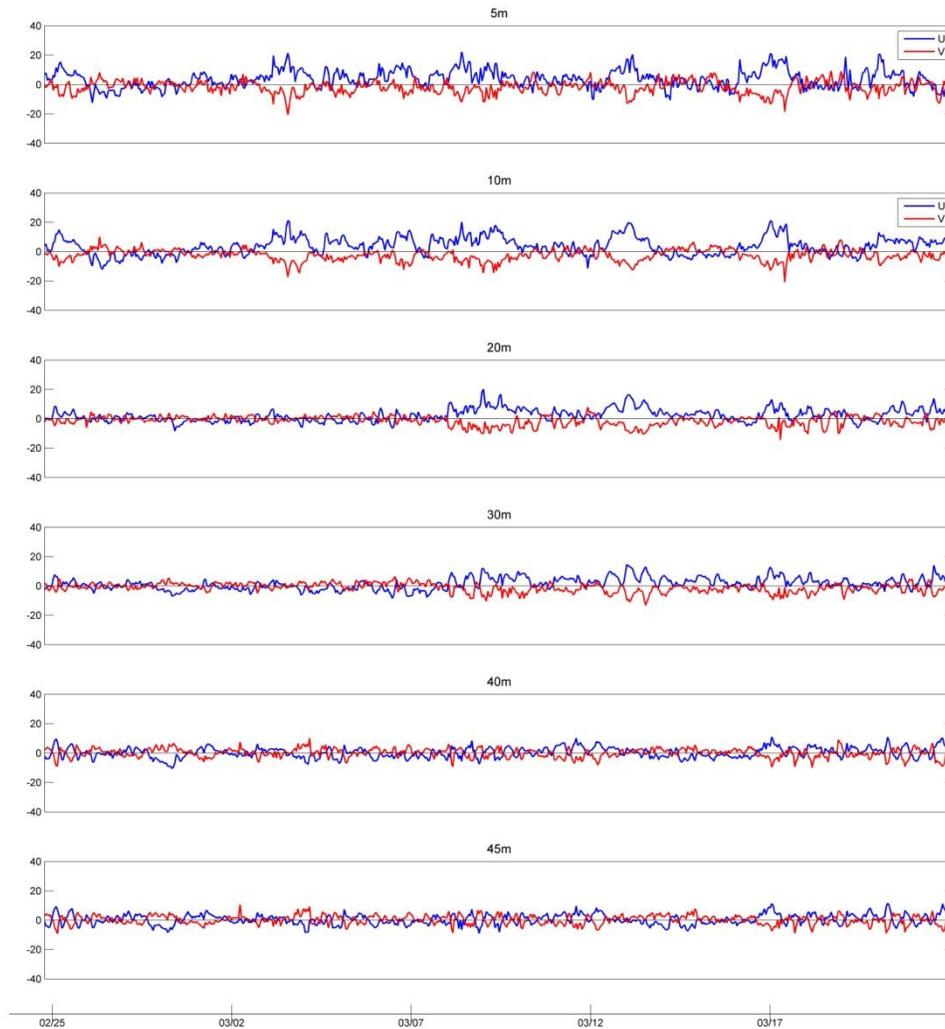
**Figura 131.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



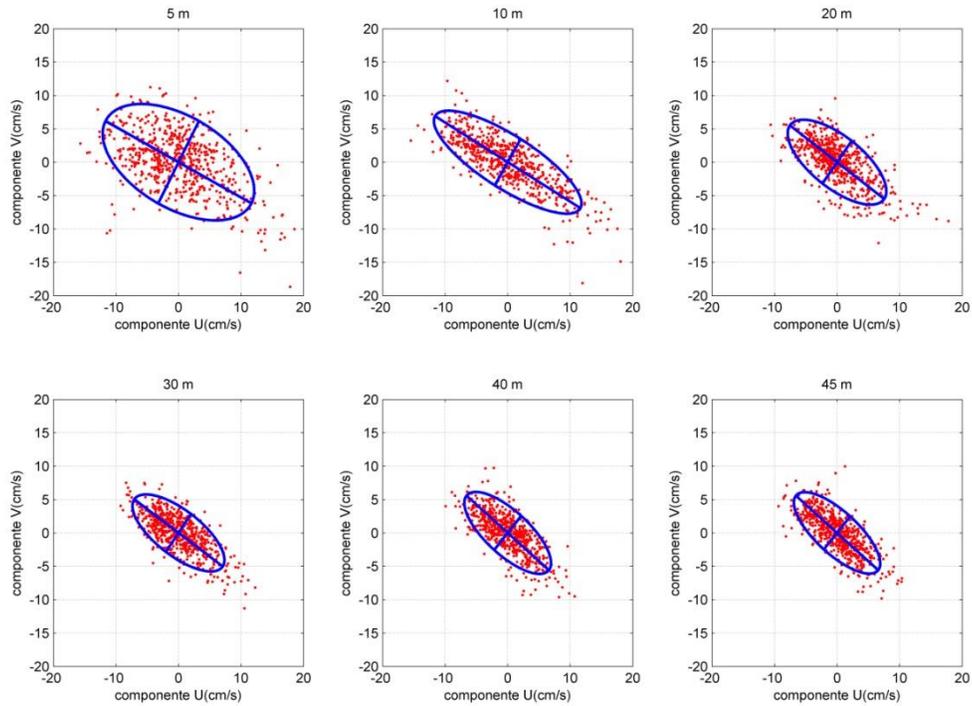
**Figura 132.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



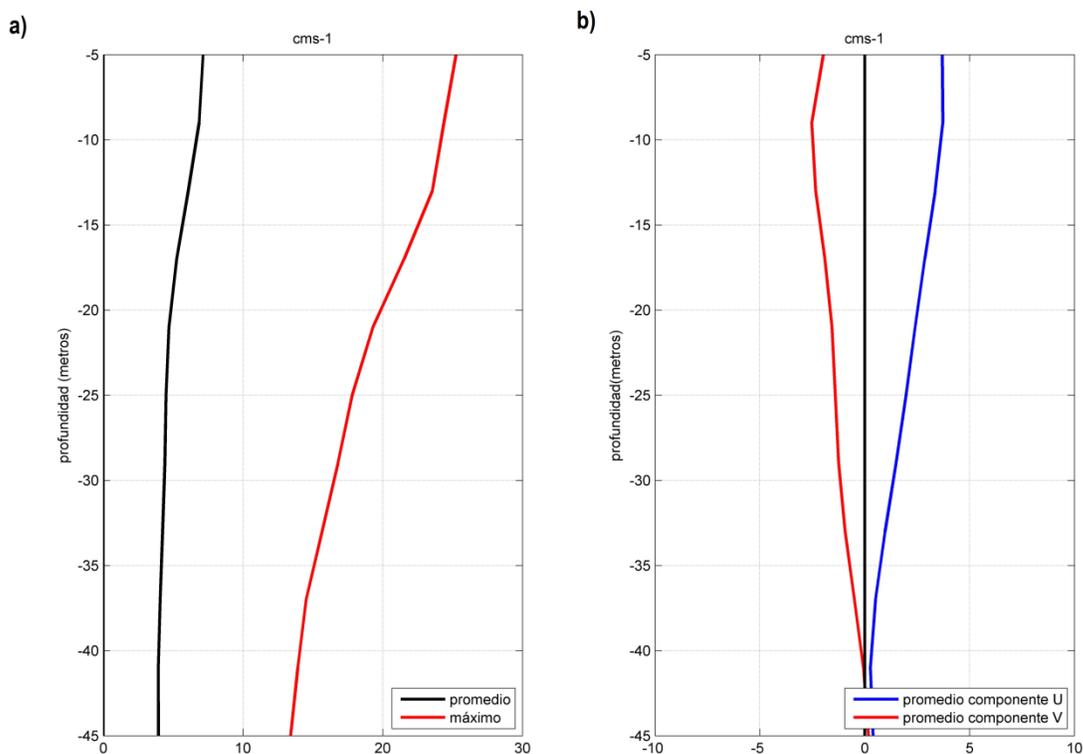
**Figura 133.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



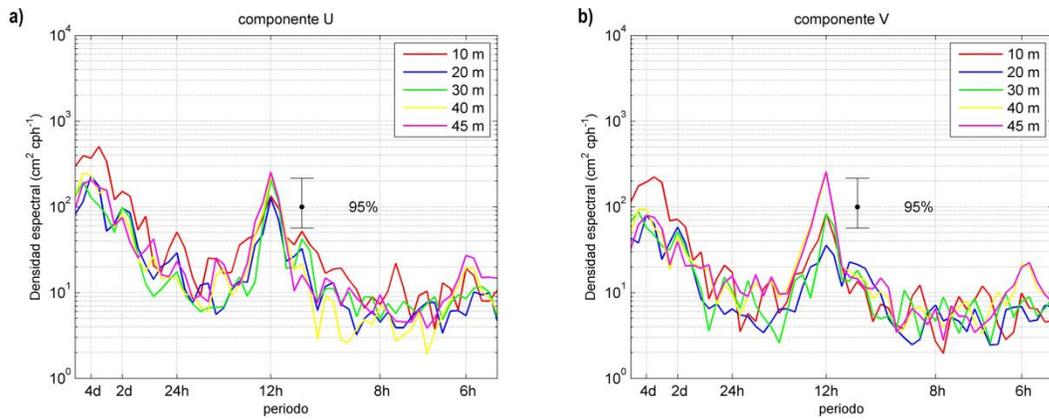
**Figura 134.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-45 m en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaa de verano Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



**Figura 135.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-45 m en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de verano Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



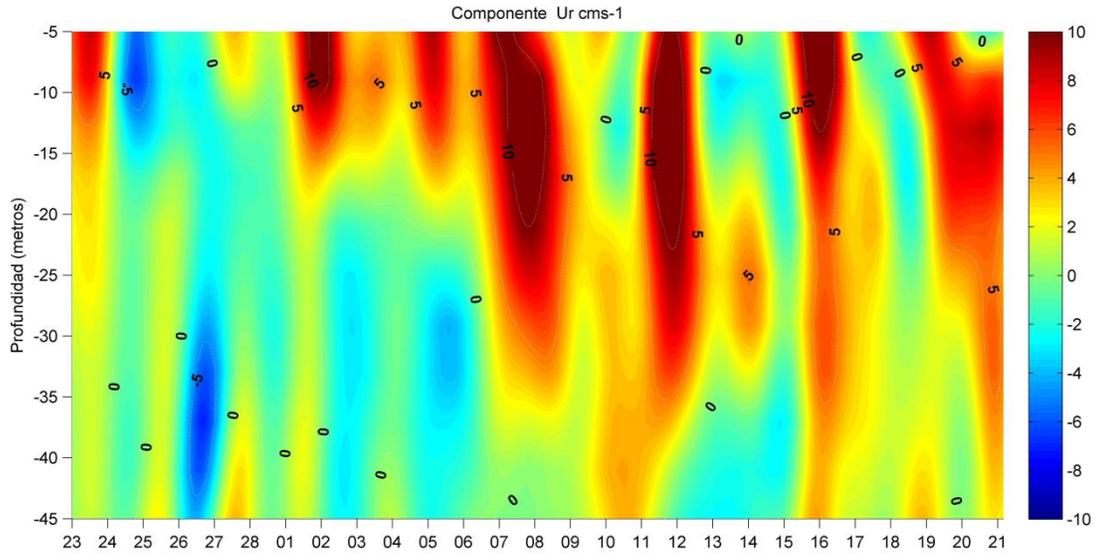
**Figura 136.** (a) Perfiles promedio y m3ximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campa1a de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



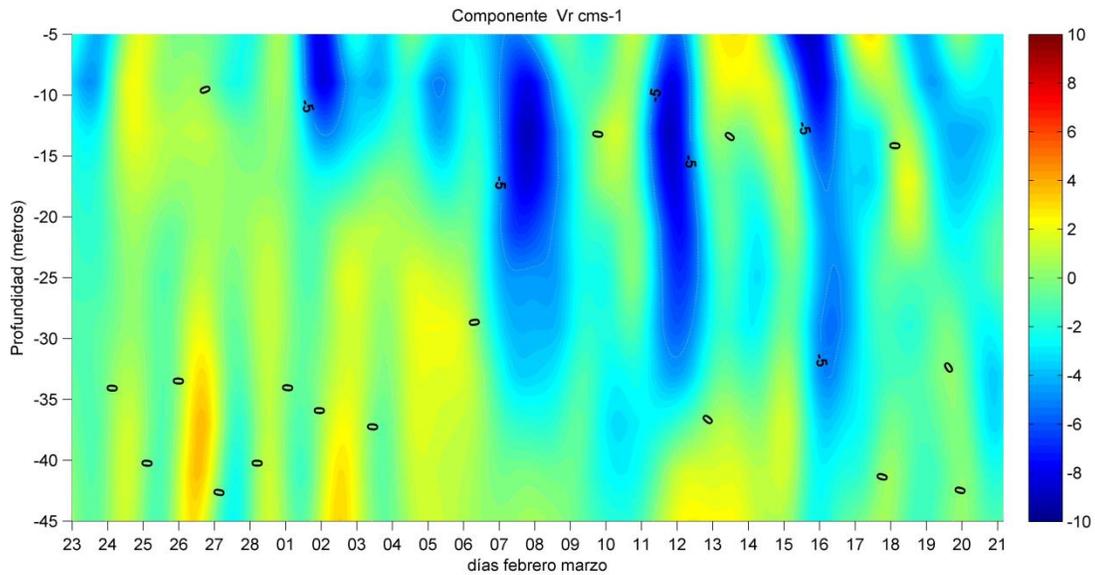
**Figura 137.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaa de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



a)



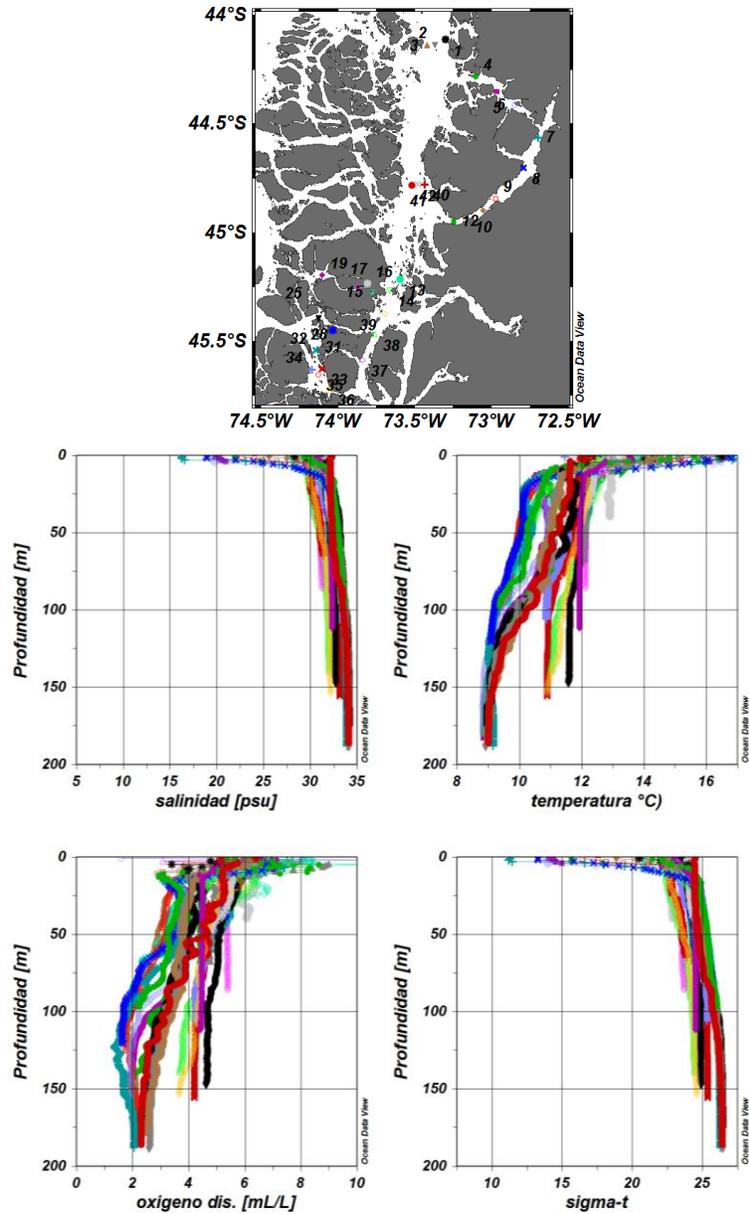
b)



**Figura 138.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaa de verano 2015 Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



Symbol	Station ID
●	42
■	12
◆	19
▲	3
▼	2
*	1
×	8
+	7
○	6
□	9
◇	39
△	17
▽	14
* (green)	13
×	41
+	40
● (green)	4
■ (purple)	5
◆ (brown)	10
▲ (grey)	25
▼ (black)	28
* (blue)	31
×	32
+	34
○ (red)	35
□ (yellow)	36
◇ (purple)	37
△ (green)	38
▽ (green)	15
*	16
×	33



**Figura 139.** Ubicaci3n y simbología estaciones de CDT-O. Distribuci3n vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y densidad. Campa±a Puyuguapi-Yacaf – ACHS verano 2015

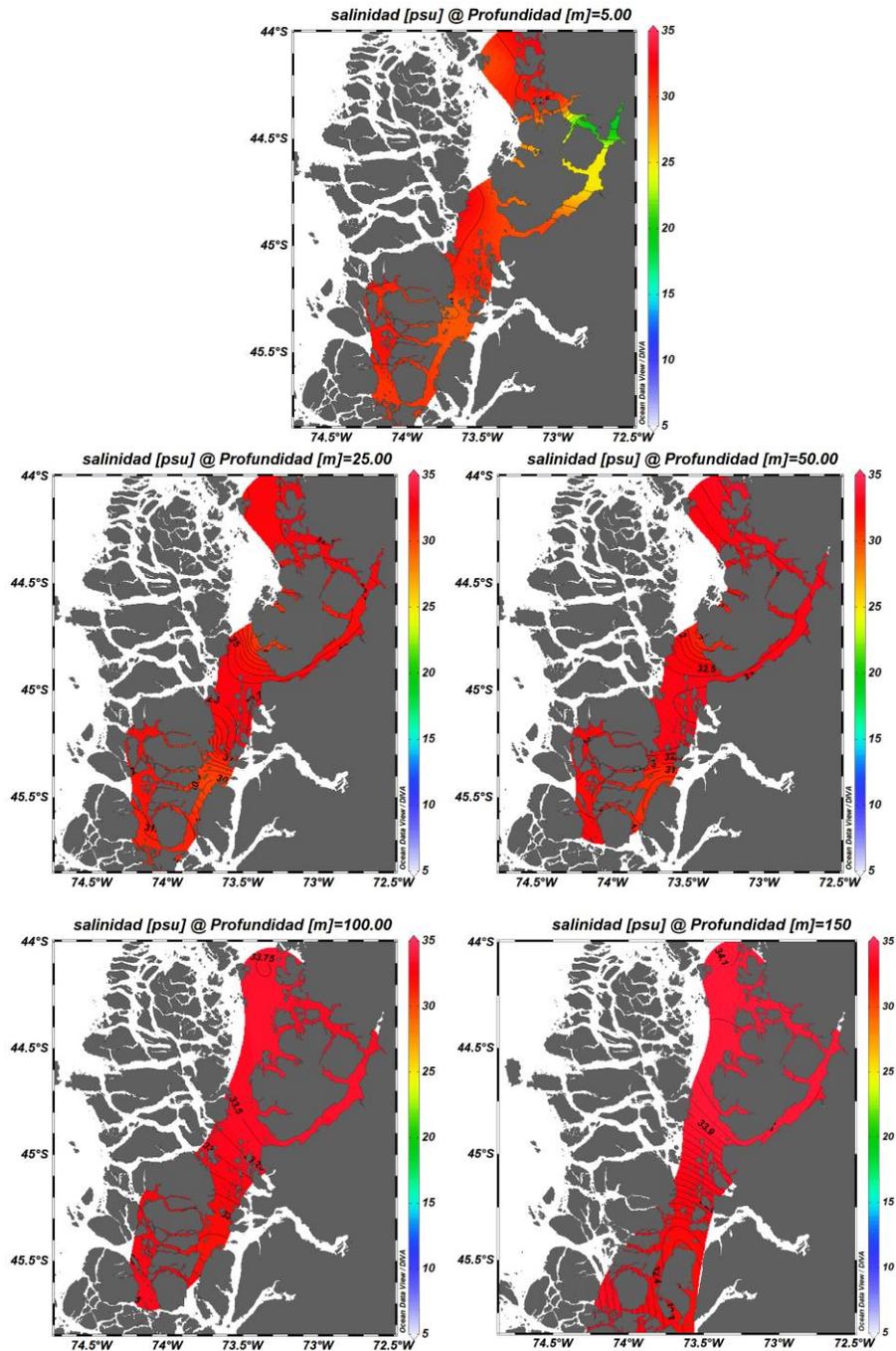
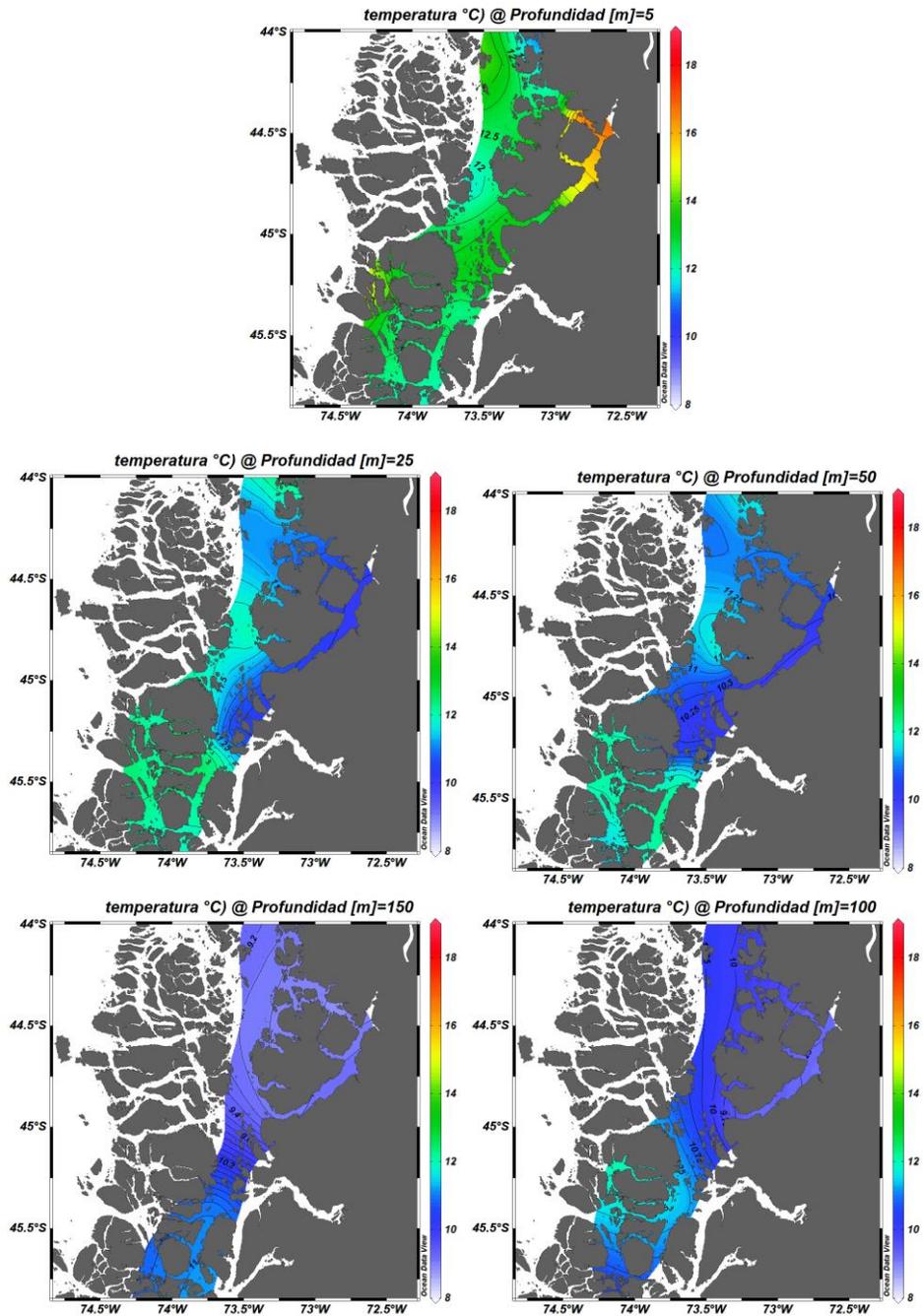
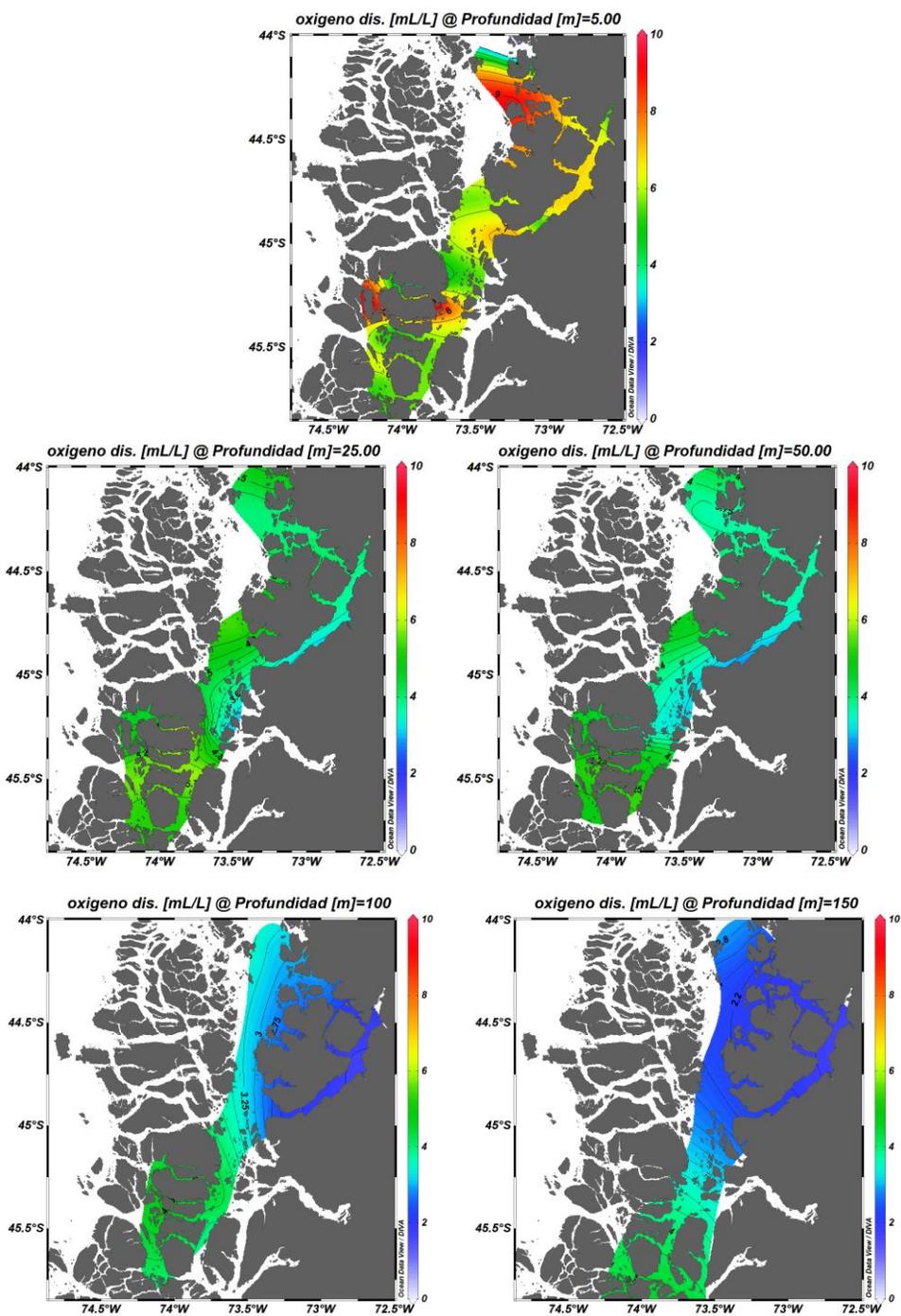


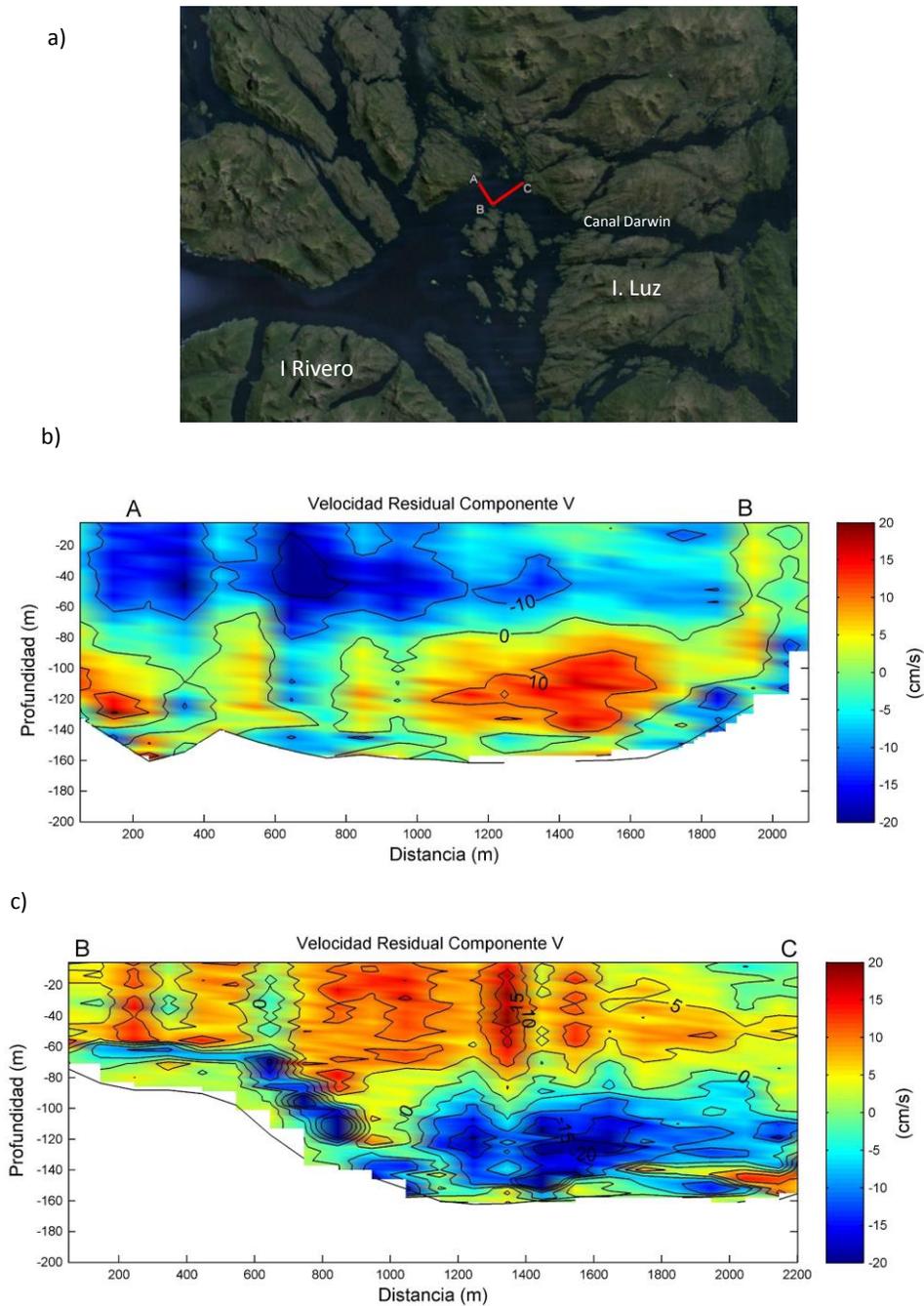
Figura 140. Distribuci3n horizontal de salinidad para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf (verano 2015).



**Figura 141.** Distribuci3n horizontal de temperatura (°C) para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf (verano 2015).



**Figura 142.** Distribuci3n horizontal de oxigeno disuelto (mL/L) para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf (verano 2015).



**Figura 143.** (a) Transectas efectuadas en canal Darwin a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta T1; (c) flujo residual de la componente V en la transecta T2. Durante la campaa Isla Magdalena y ACHS, en otoo 2015.

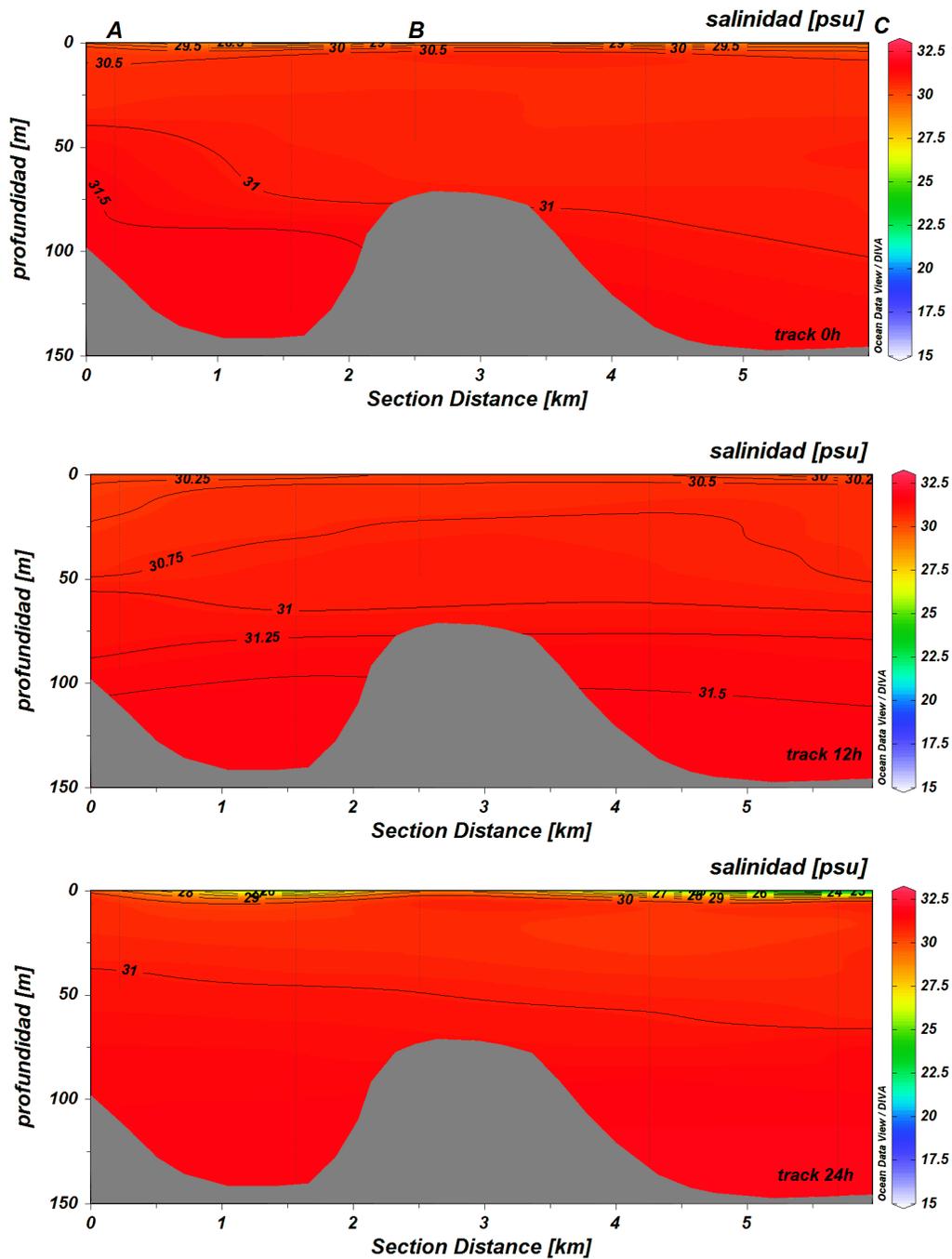
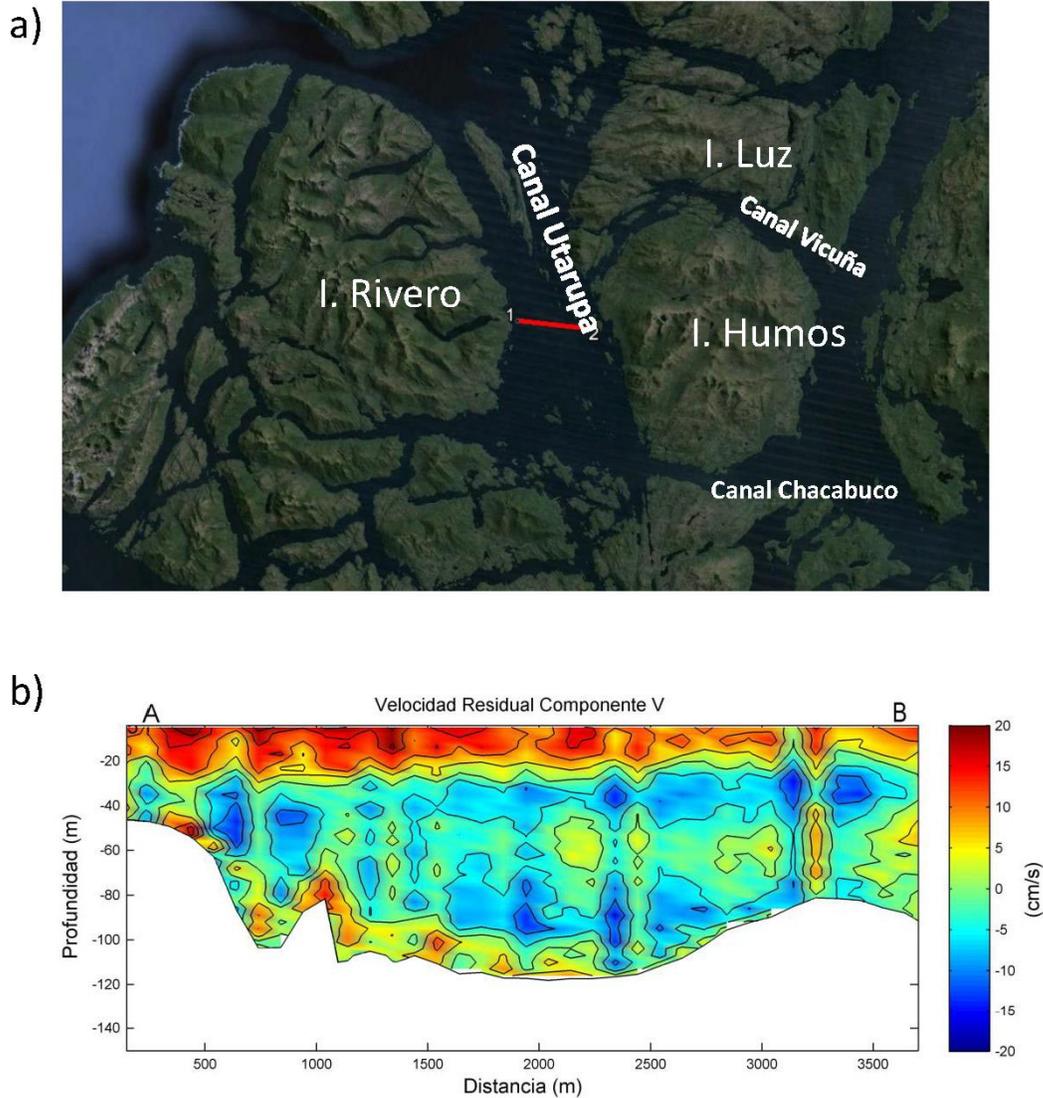
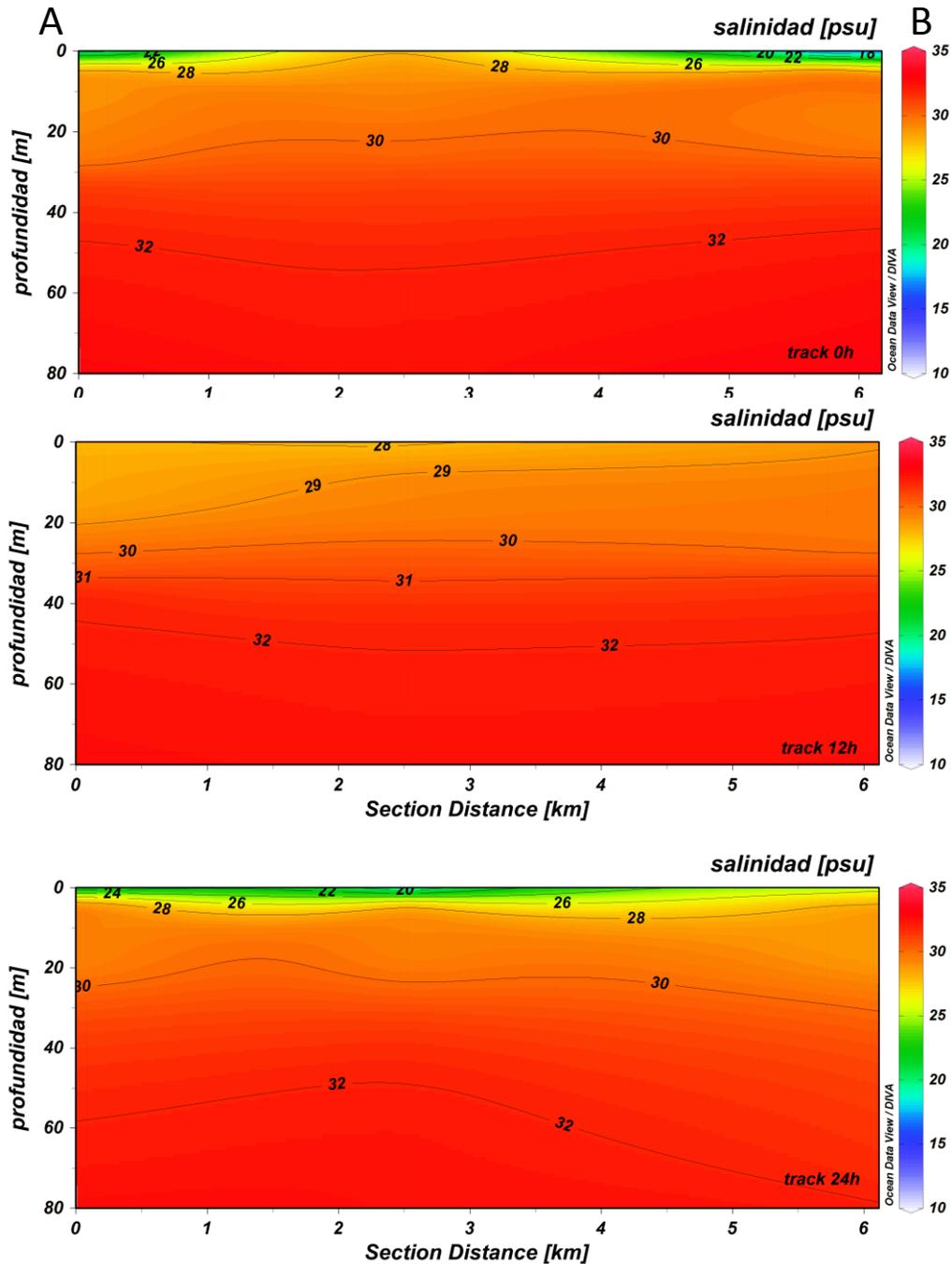


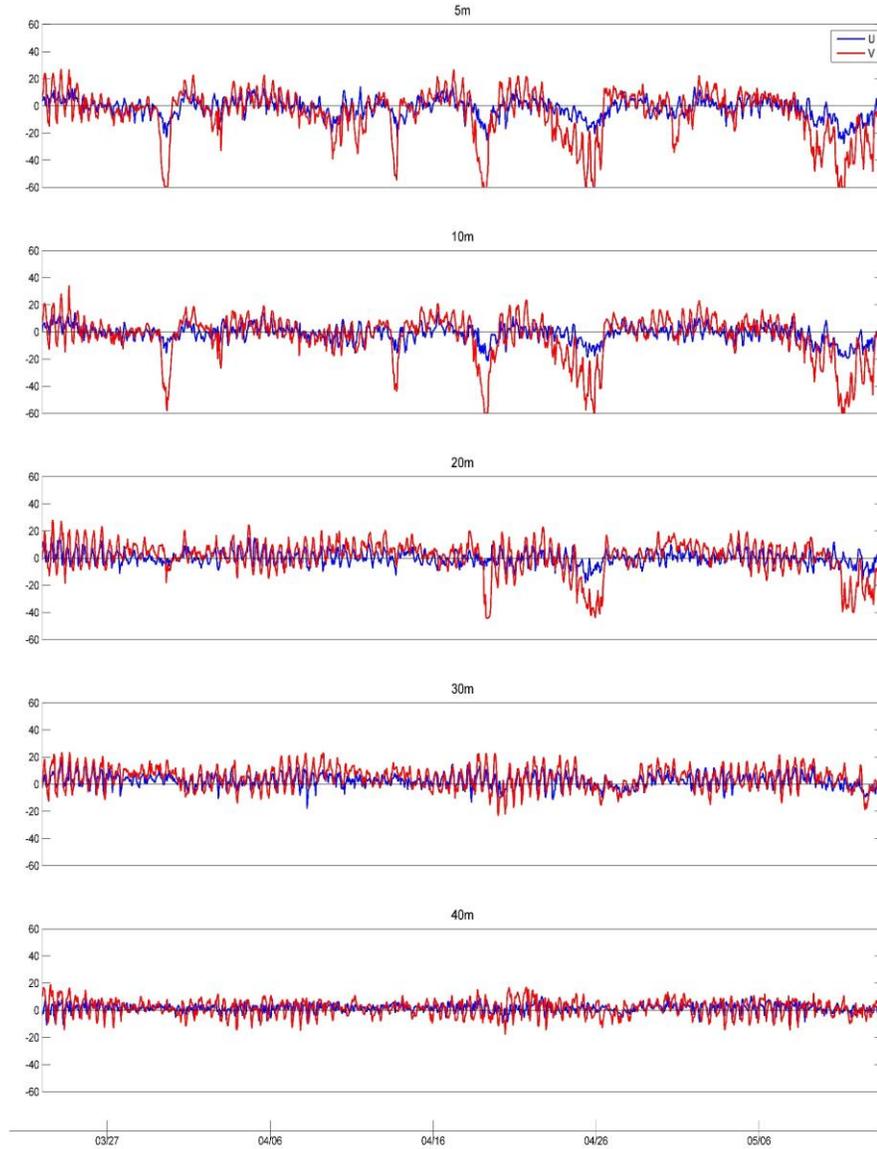
Figura 144. Distribuci3n vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Darwin. Durante la campaa Puyuguapi-Yacaf-ACHS otoo 2015.



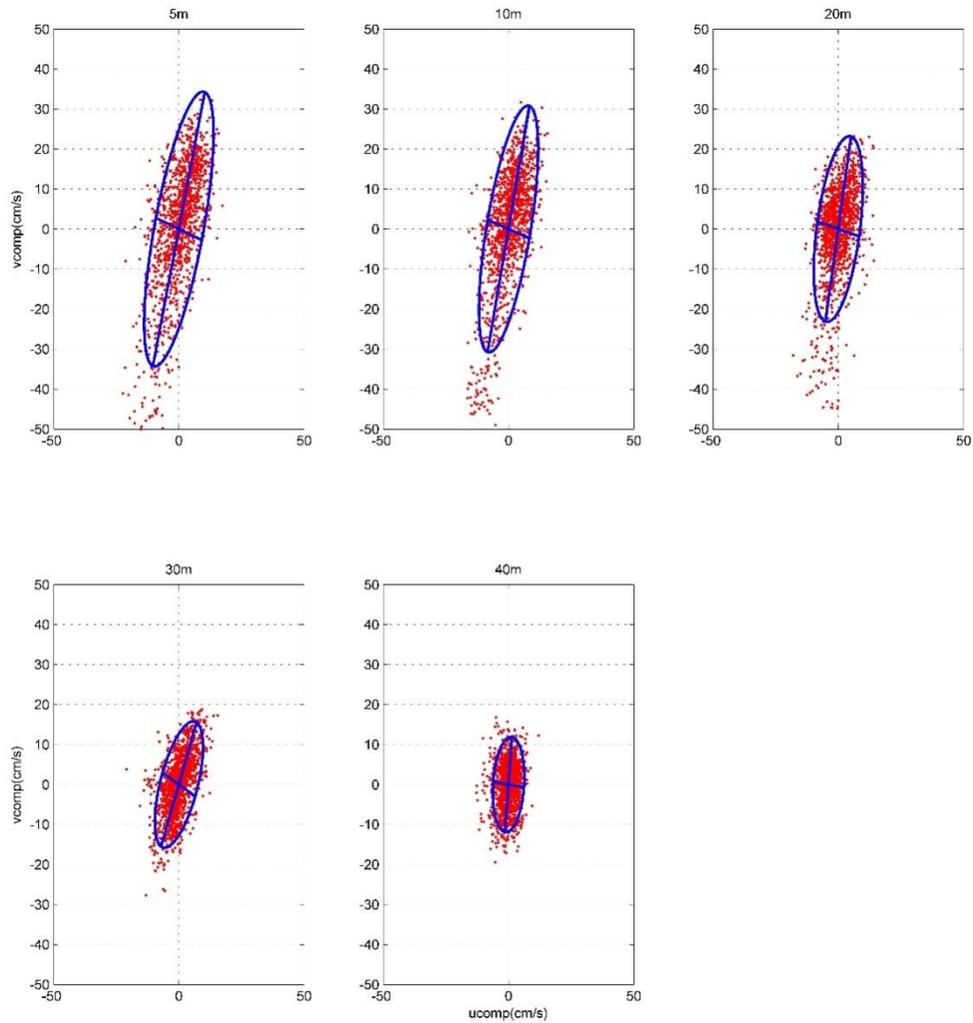
**Figura 145.** (a) Transecta efectuada en canal Utarupa a trav3s de ADCP remolcado; (b) flujo residual de la componente V en la transecta. Durante la campaa Isla Magdalena y ACHS, en otoo 2015.



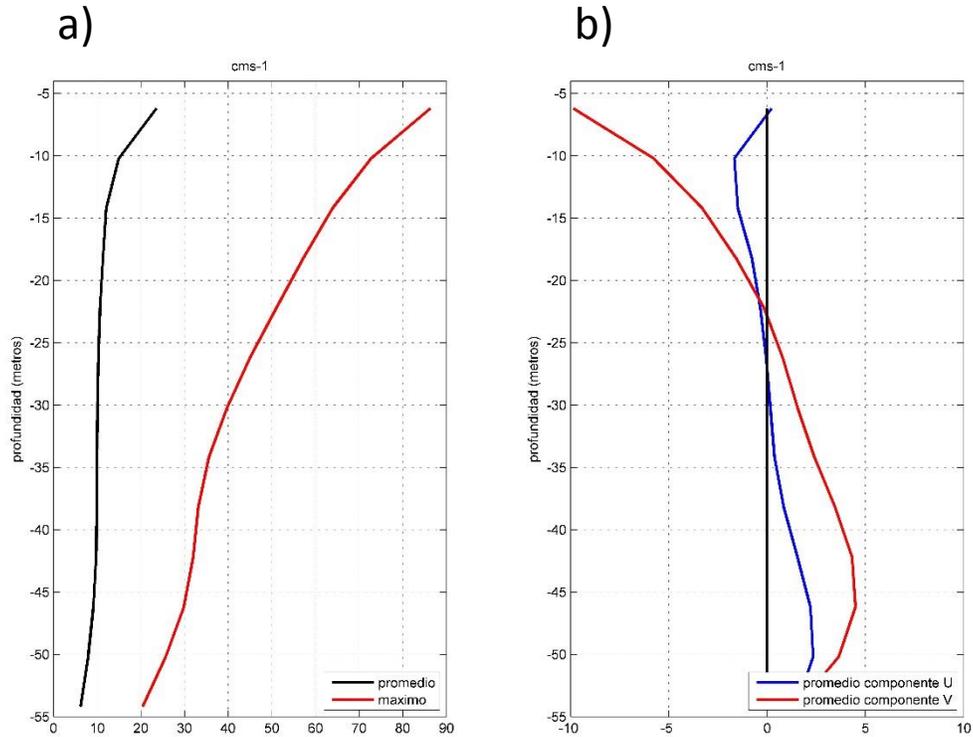
**Figura 146.** Distribuci3n vertical del campo de masas durante los transectos de ADCP remolcado en canal Utarupa. Durante la campaa Puyuguapi-Yacaf-ACHS otoo 2015.



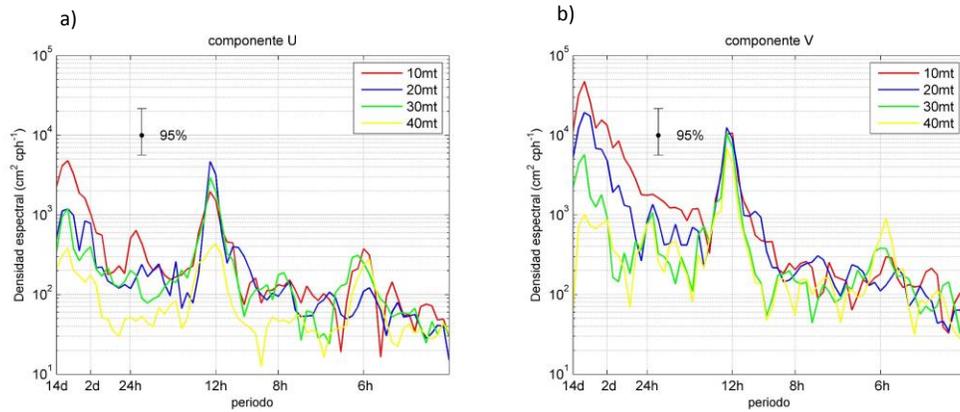
**Figura 147.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40 m en canal Err3zuriz, durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



**Figura 148.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40 m en canal Errázuriz, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



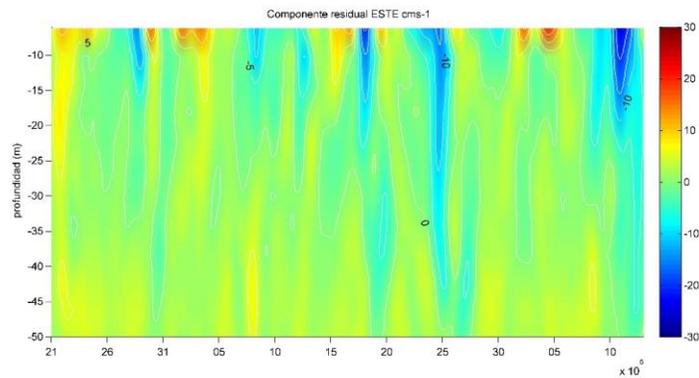
**Figura 149.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Errázuriz, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



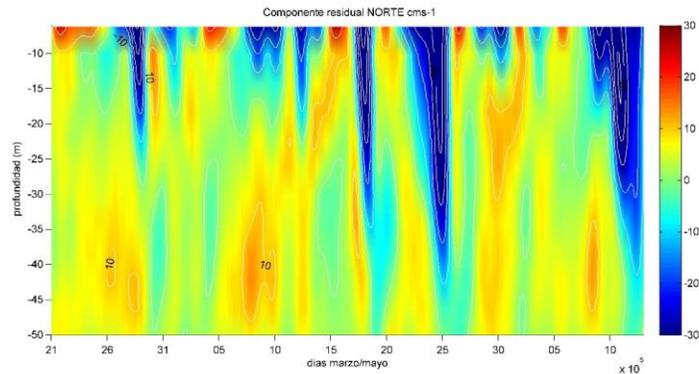
**Figura 150.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Errázuriz durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Aysén.



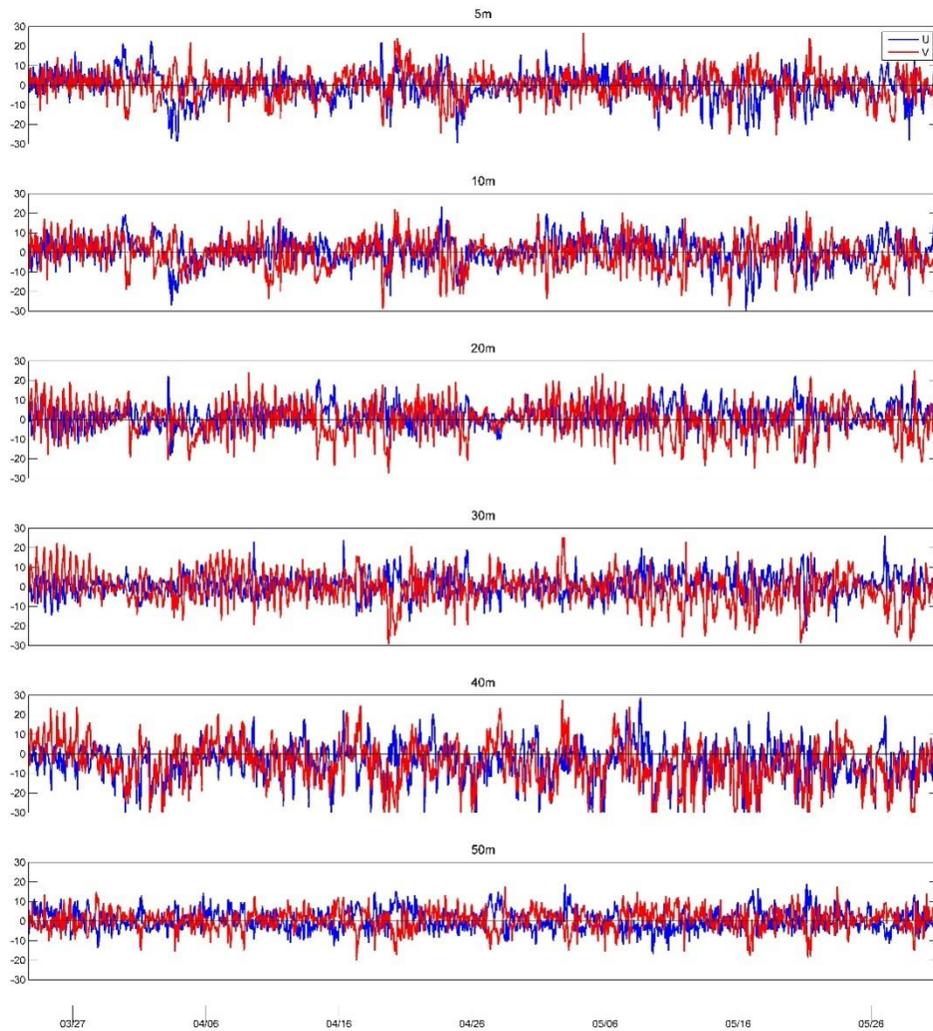
a)



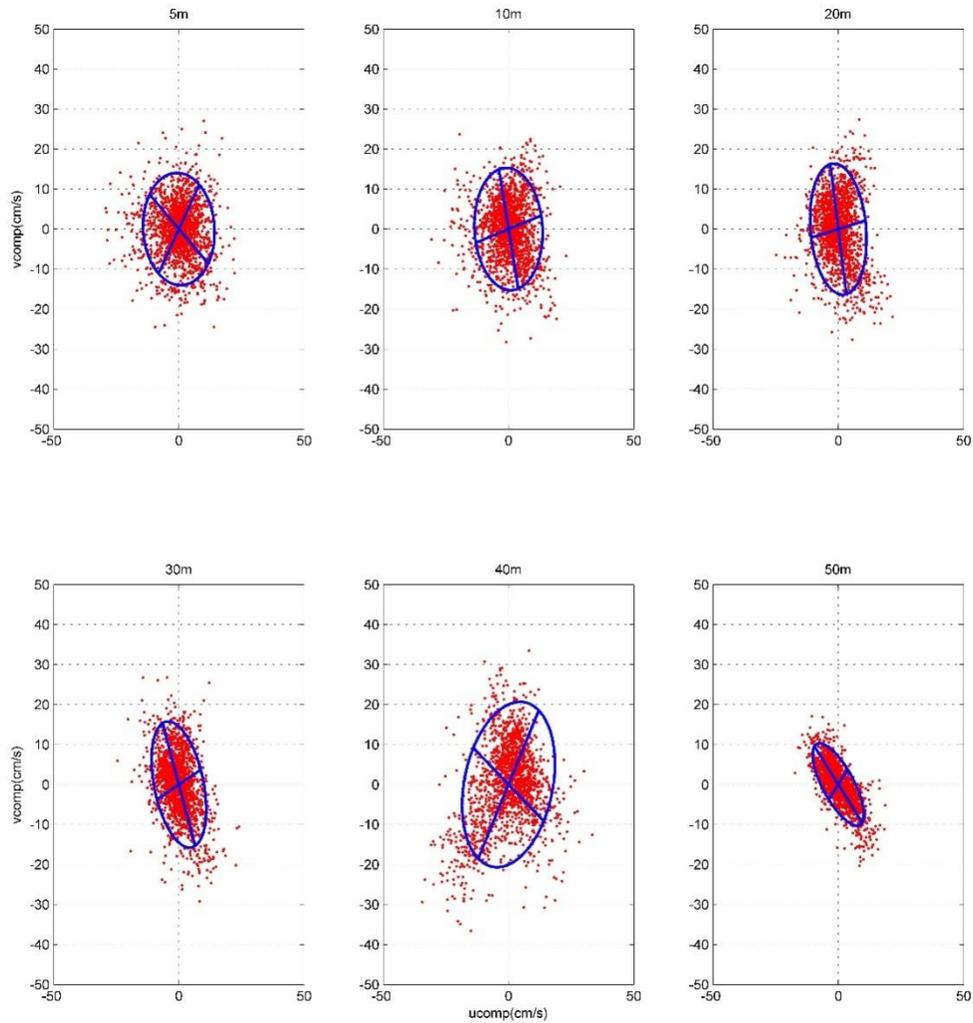
b)



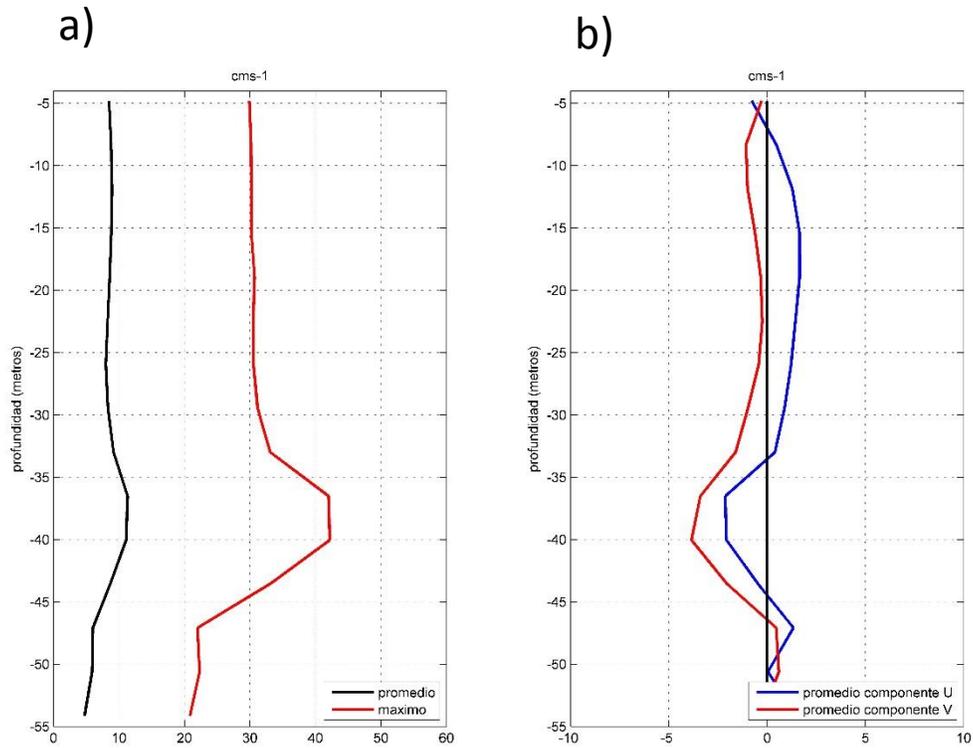
**Figura 151.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Errázuriz durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Aysén.



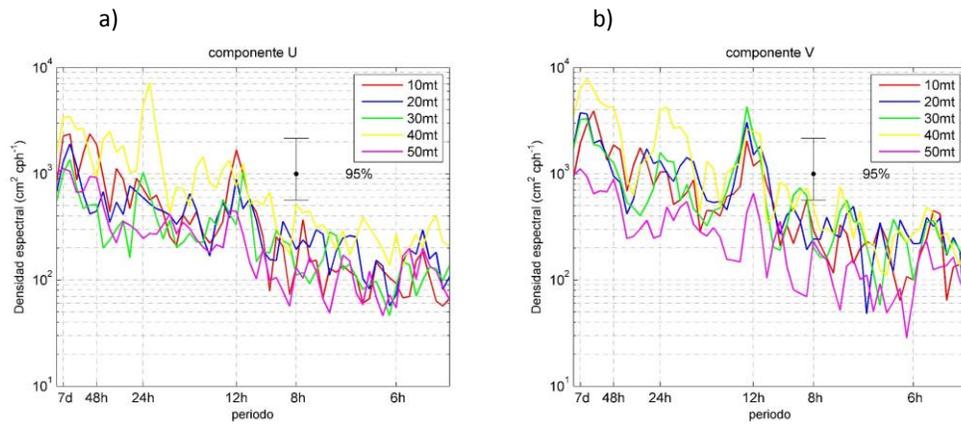
**Figura 152.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en estero Pangal, durante la campaa de otoaa 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de AYS3N.



**Figura 153.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en estero Pangal, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



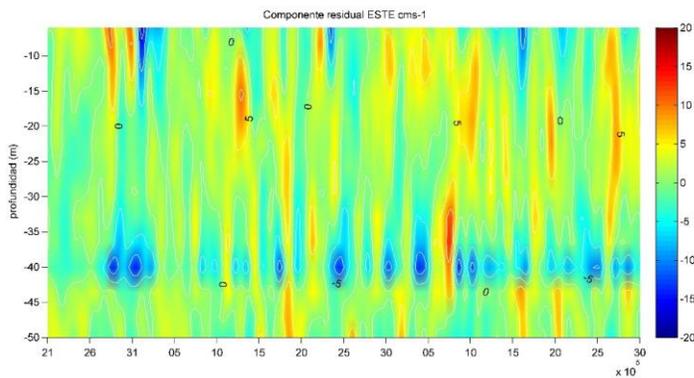
**Figura 154.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en estero Pangal, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



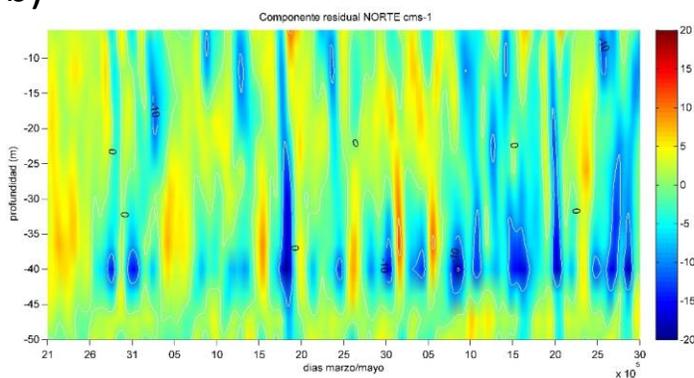
**Figura 155.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en estero Pangal durante la campa1a de oto1o 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



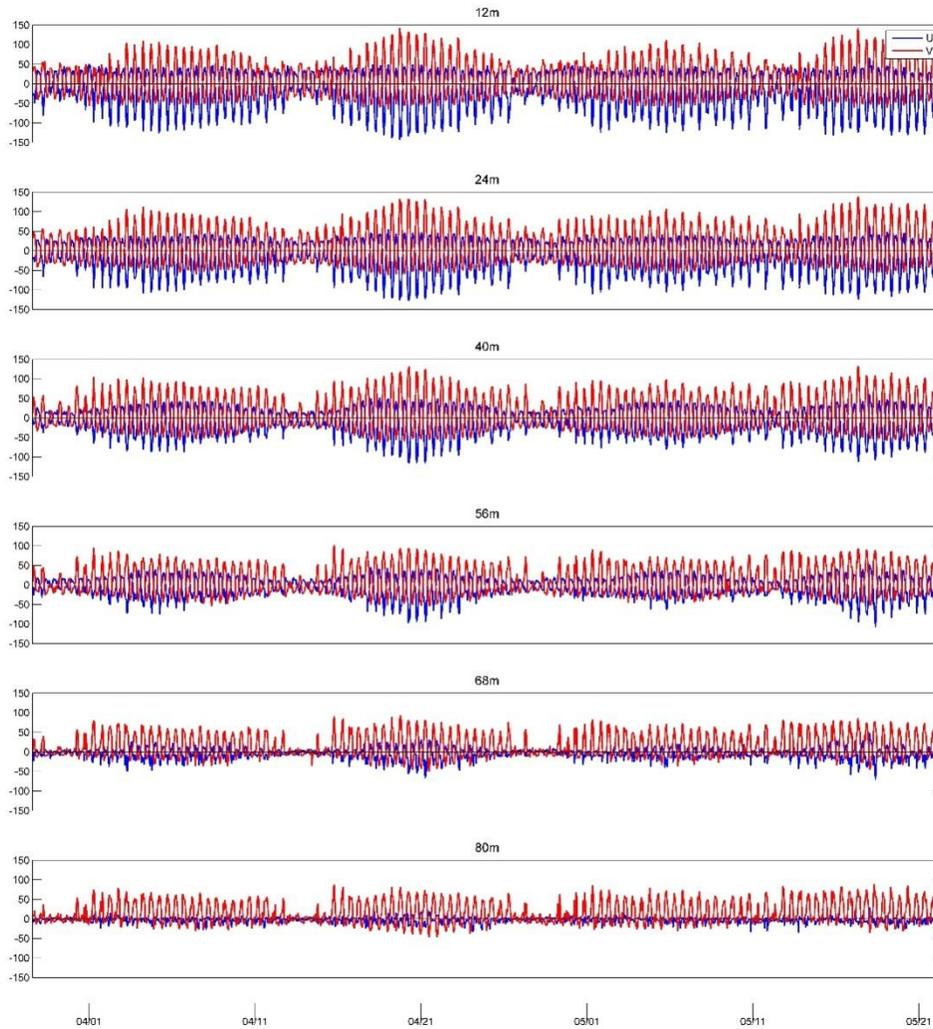
a)



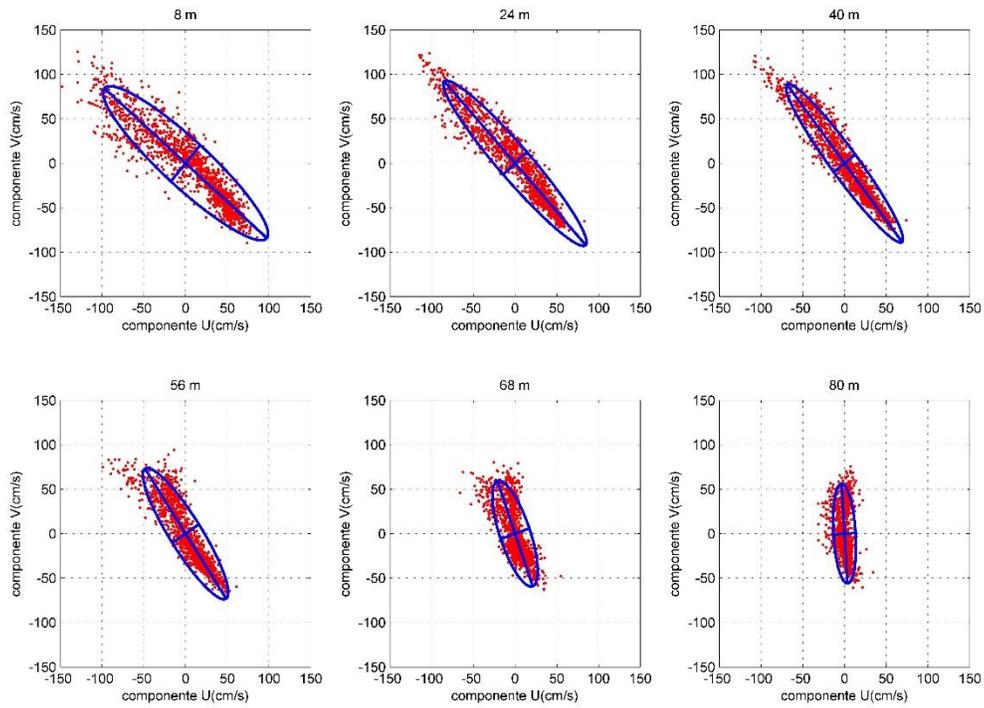
b)



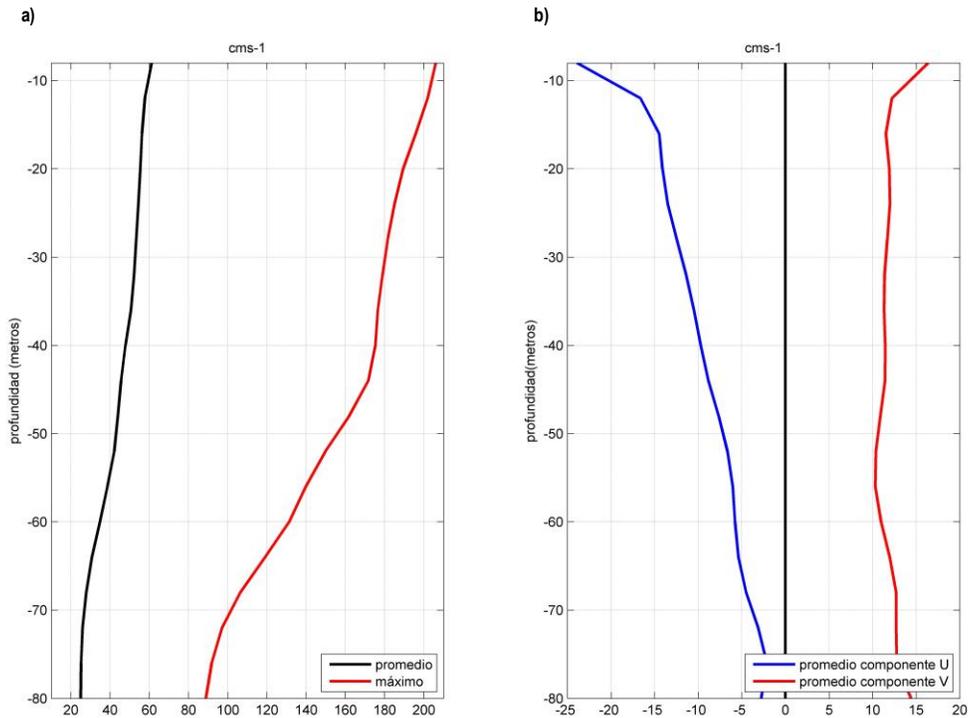
**Figura 156.** Superficies color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** Componente V (norte) en estero Pangal durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regin de Aysn.



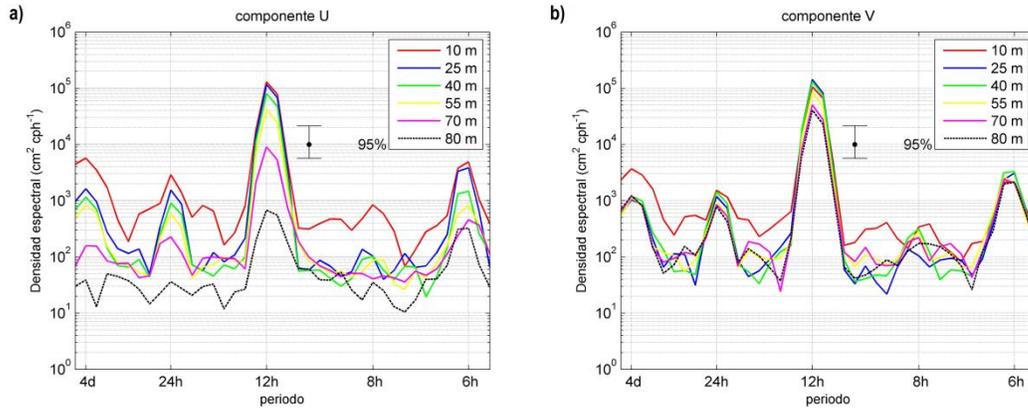
**Figura 157.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 12-24-40-56-68-80 m en canal Darwin, durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



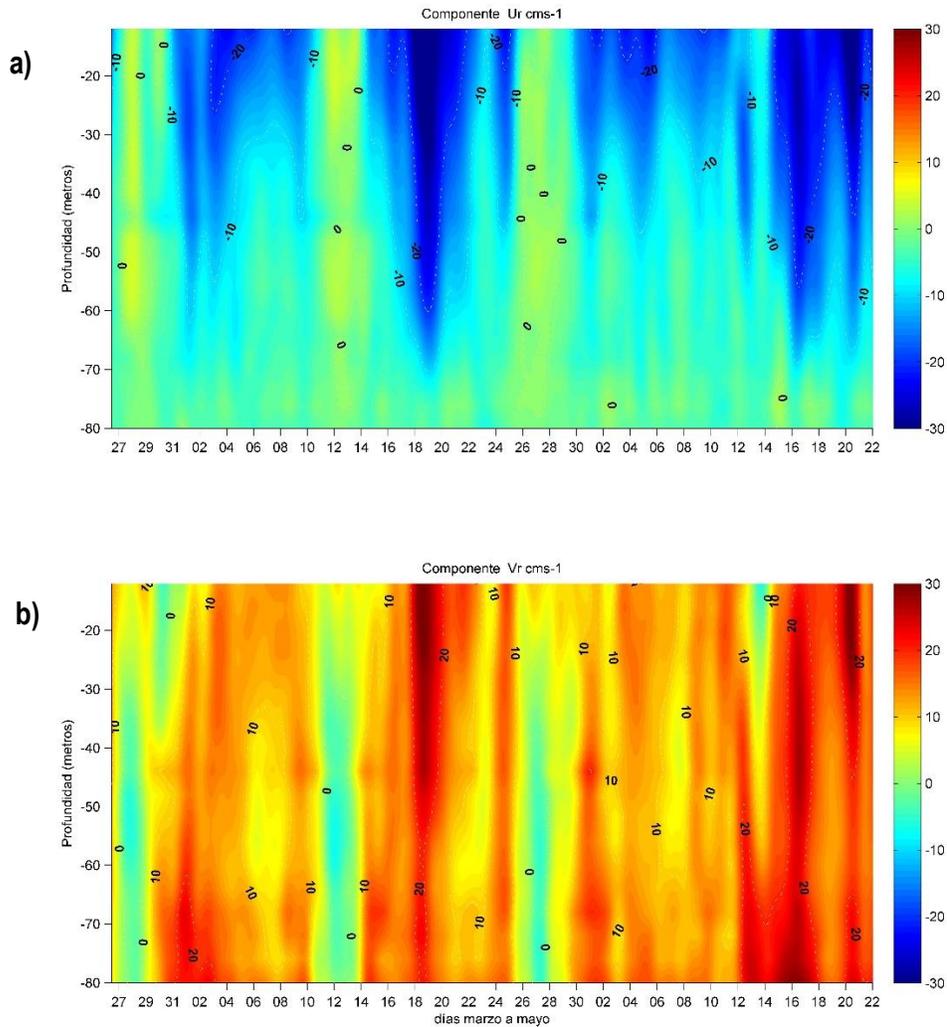
**Figura 158.** Elipses de máxima varianza en las capas de 12-24-40-56-68-80 m en canal Darwin, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Aysén.



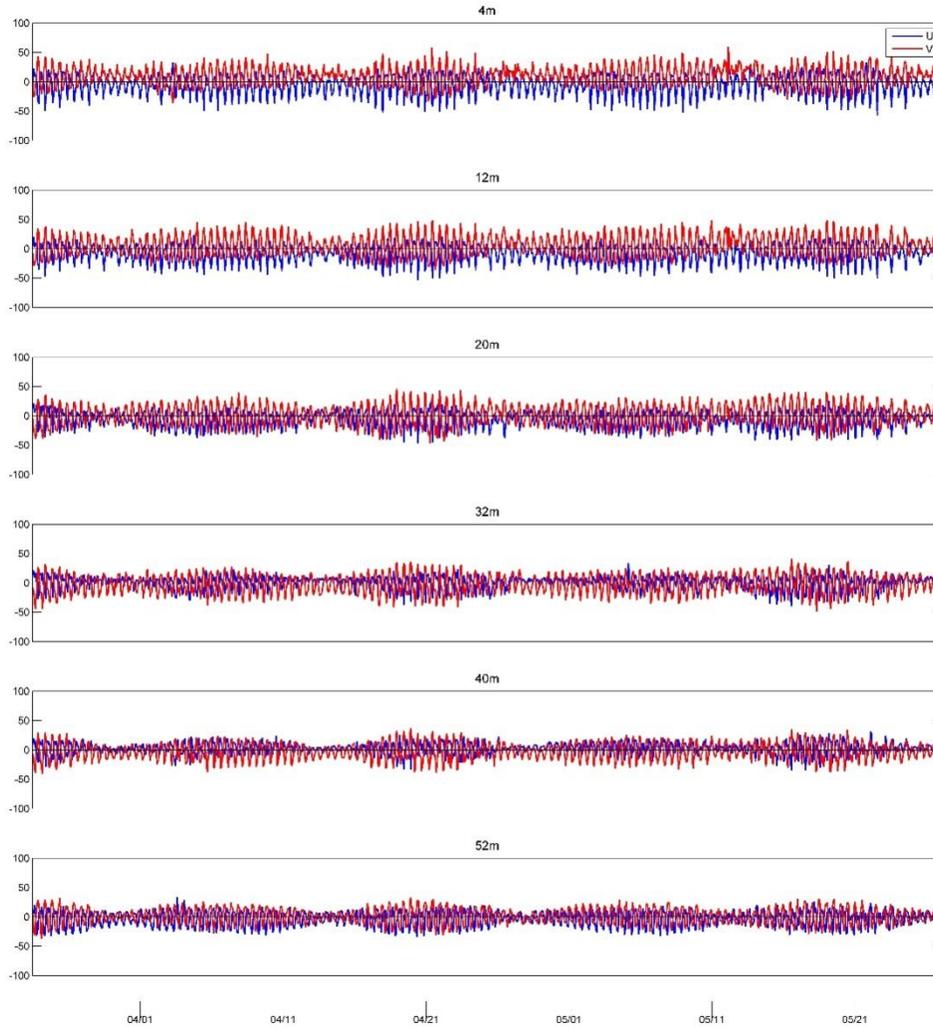
**Figura 159.** (a) Perfiles promedio y m3ximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Darwin, durante la campa1a de oto1o 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



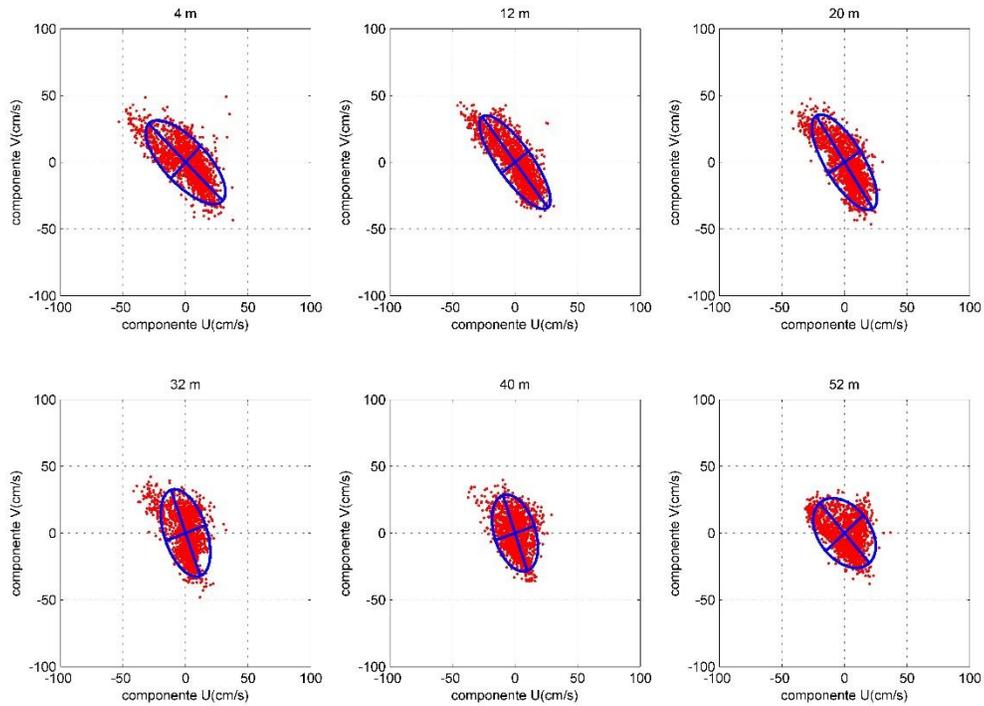
**Figura 160.** Densidad espectral de la corriente. (a) Espectro de la componente U; (b) espectro de la componente V, en canal Darwin durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regin de Aysn.



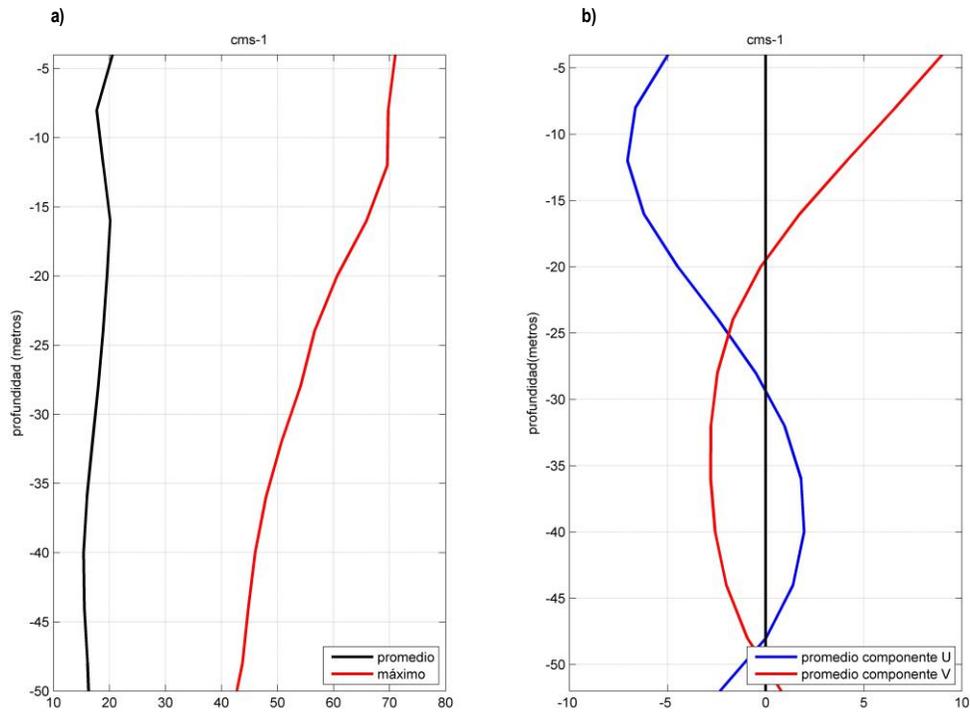
**Figura 161.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Darwin durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regin de Aysn.



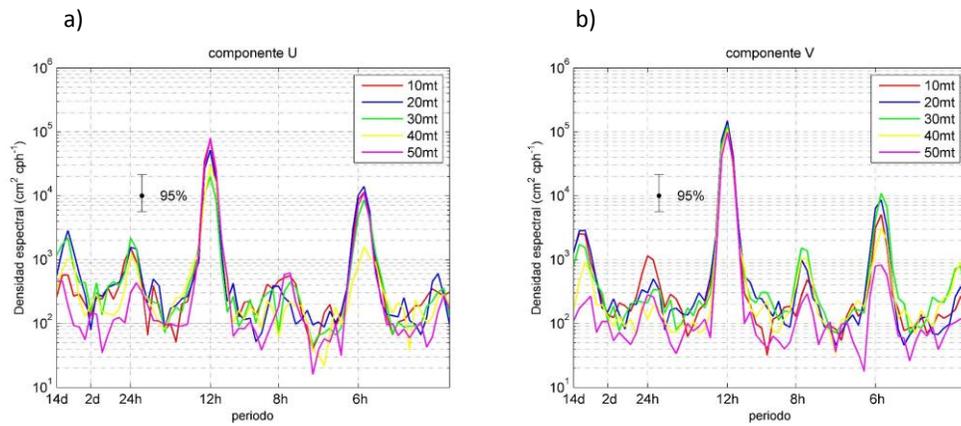
**Figura 162.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 4-12-20-32-40-52 m en canal Utarupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



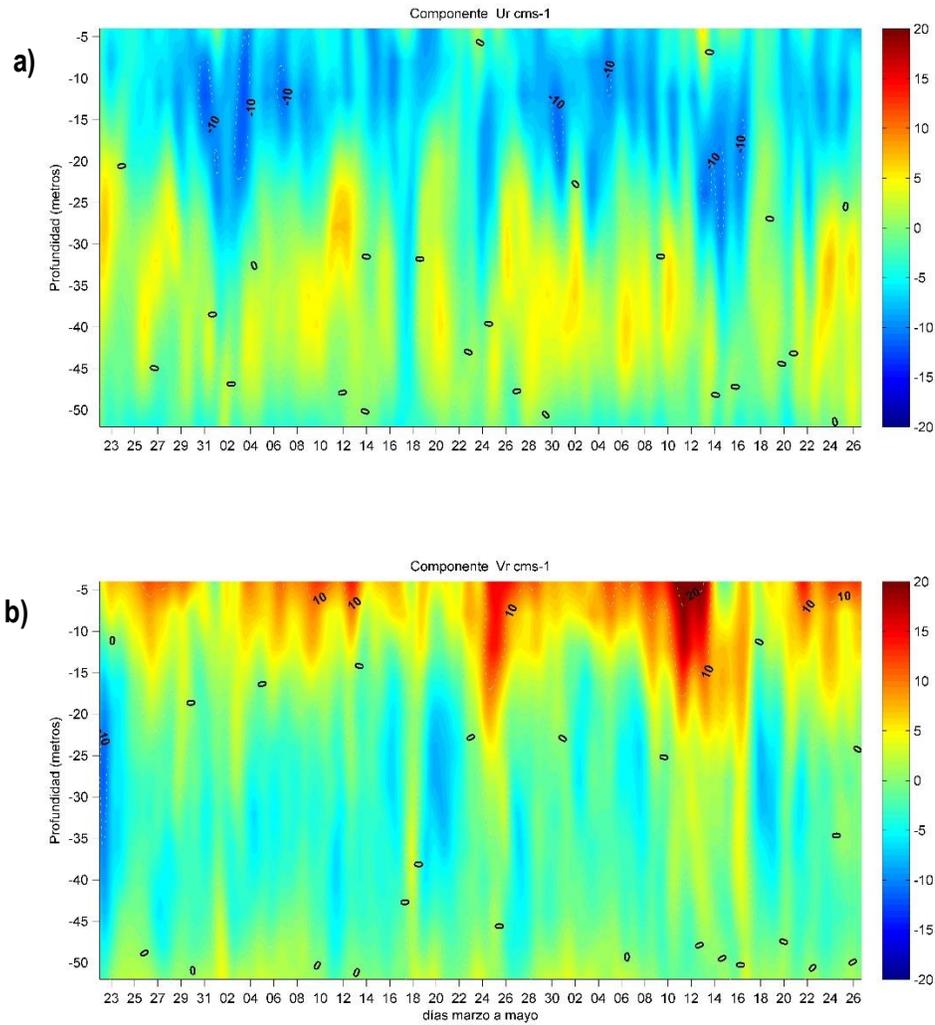
**Figura 163.** Elipses de máxima varianza en las capas de 4-12-20-32-40-52 m en canal Utarupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



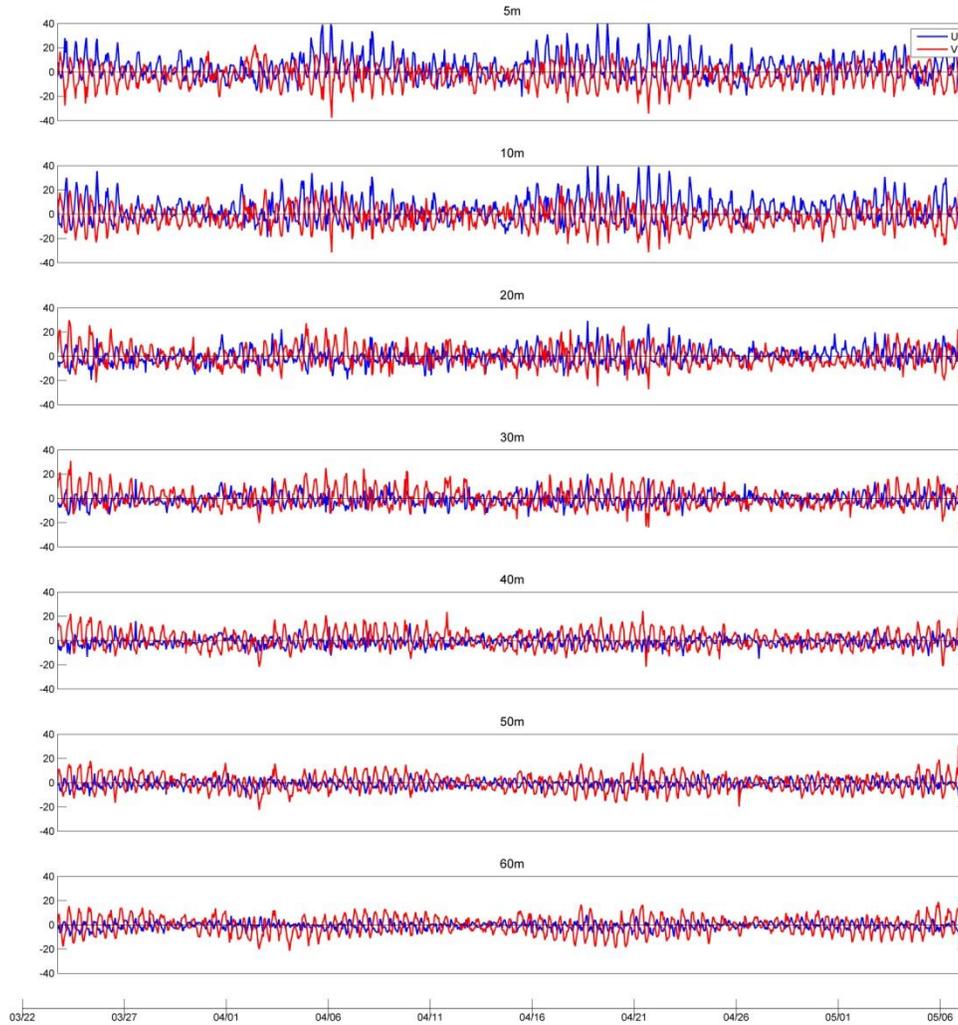
**Figura 164.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Utarupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



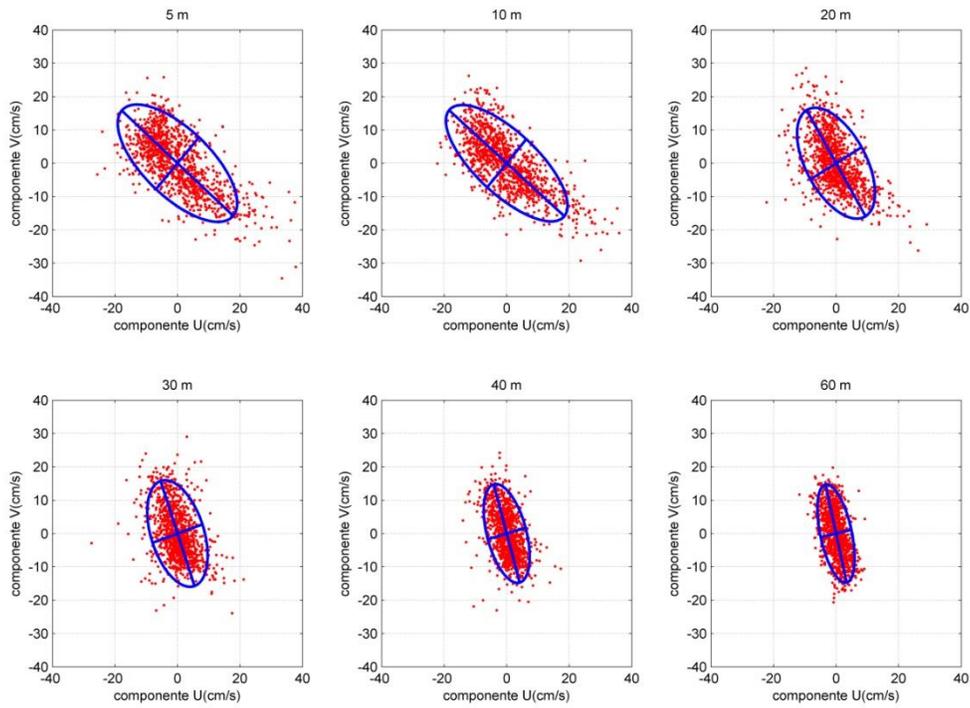
**Figura 165.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en canal Utarupa durante la campa1a de o1o1o 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



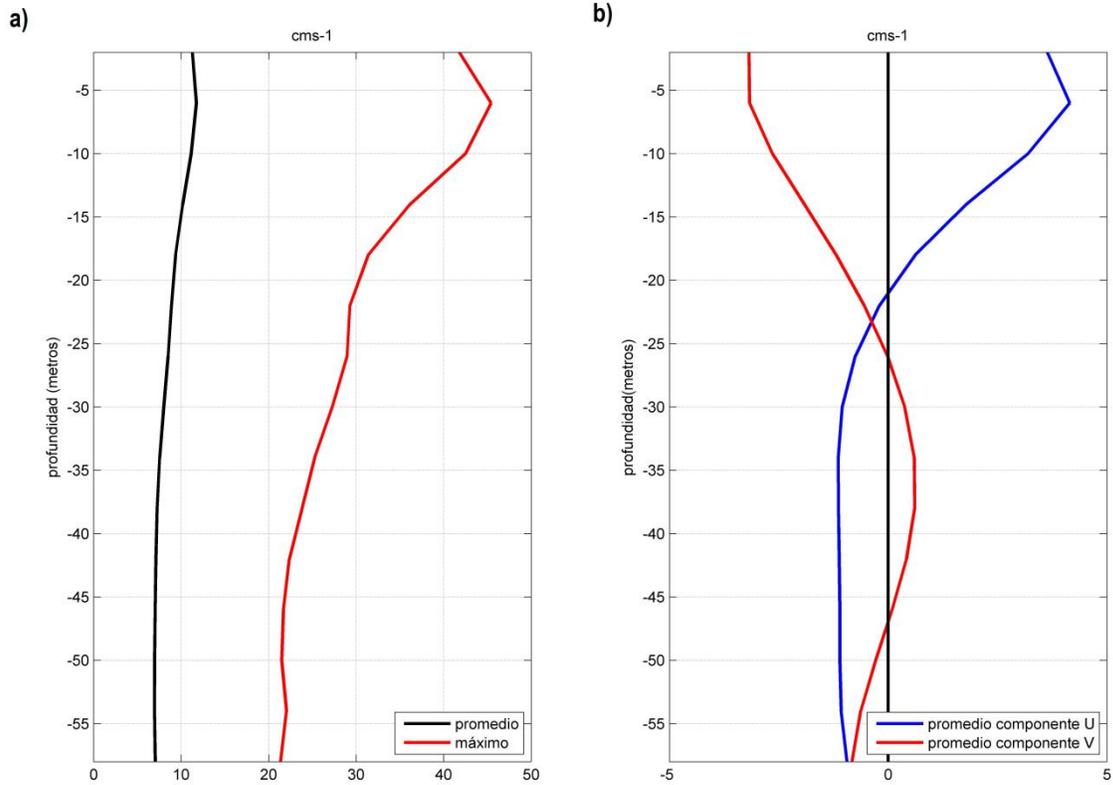
**Figura 166.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Utarupa durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



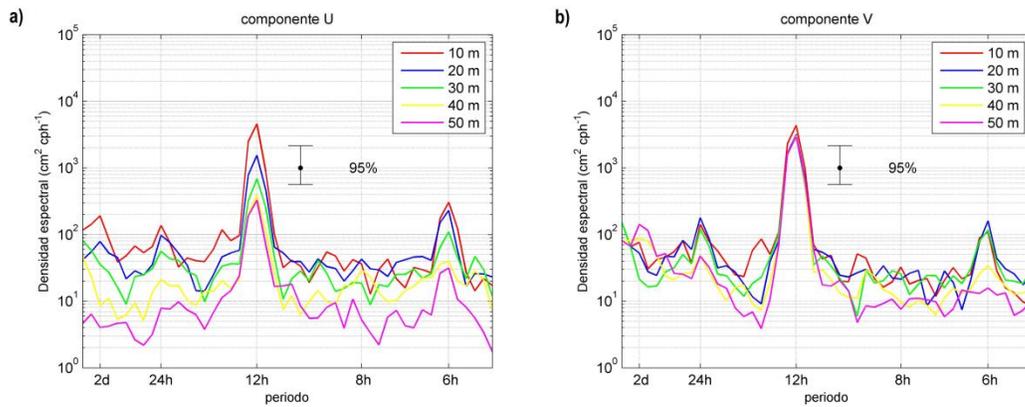
**Figura 167.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50-60 m en canal Pichirupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



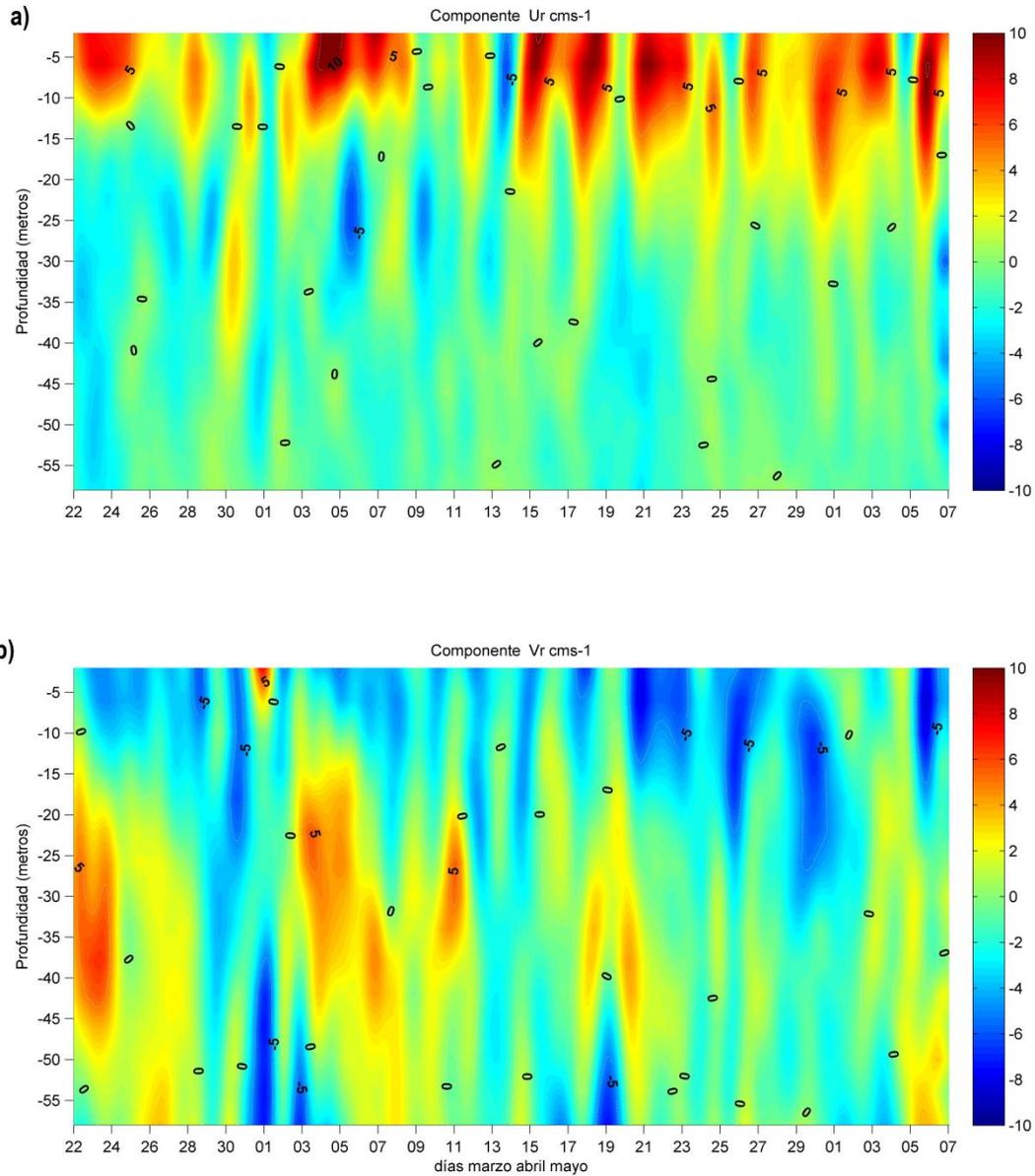
**Figura 168.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-60 m en canal Pichirupa, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



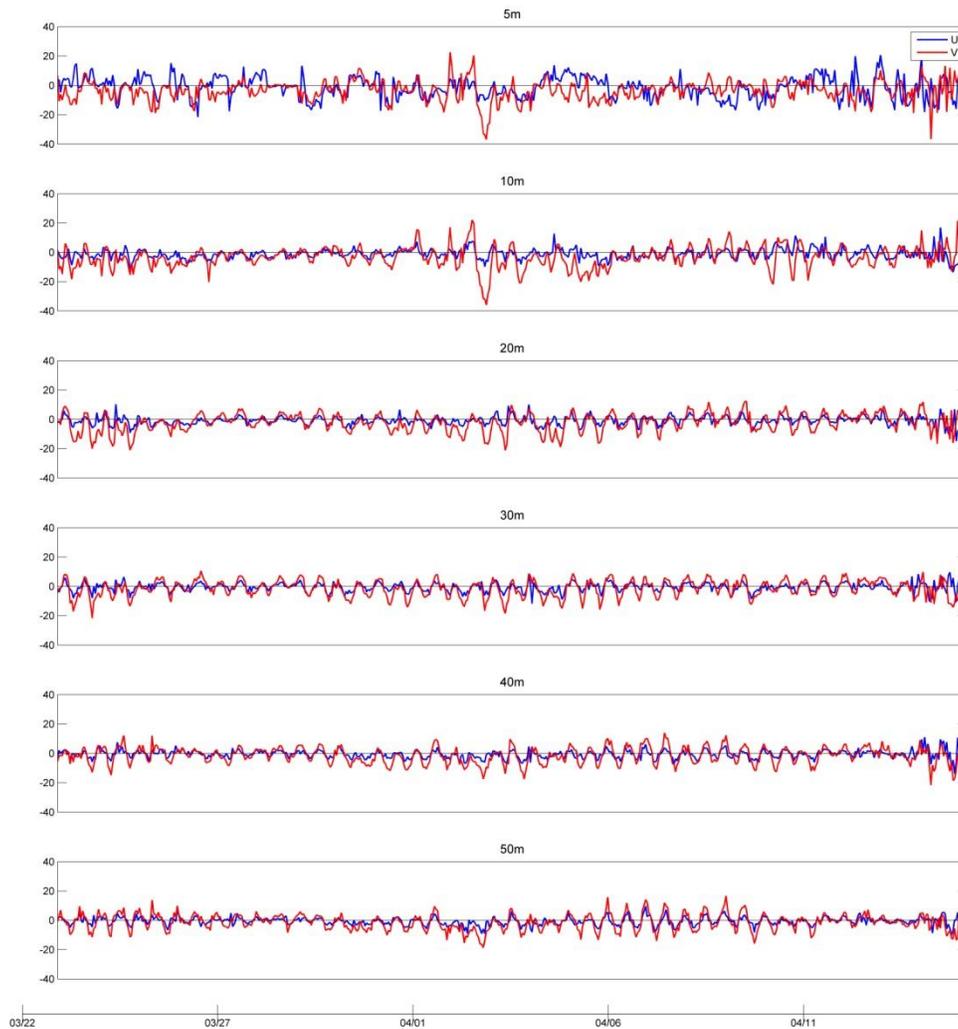
**Figura 169.** (a) Perfiles promedio y m3ximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en canal Pichirupa, durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



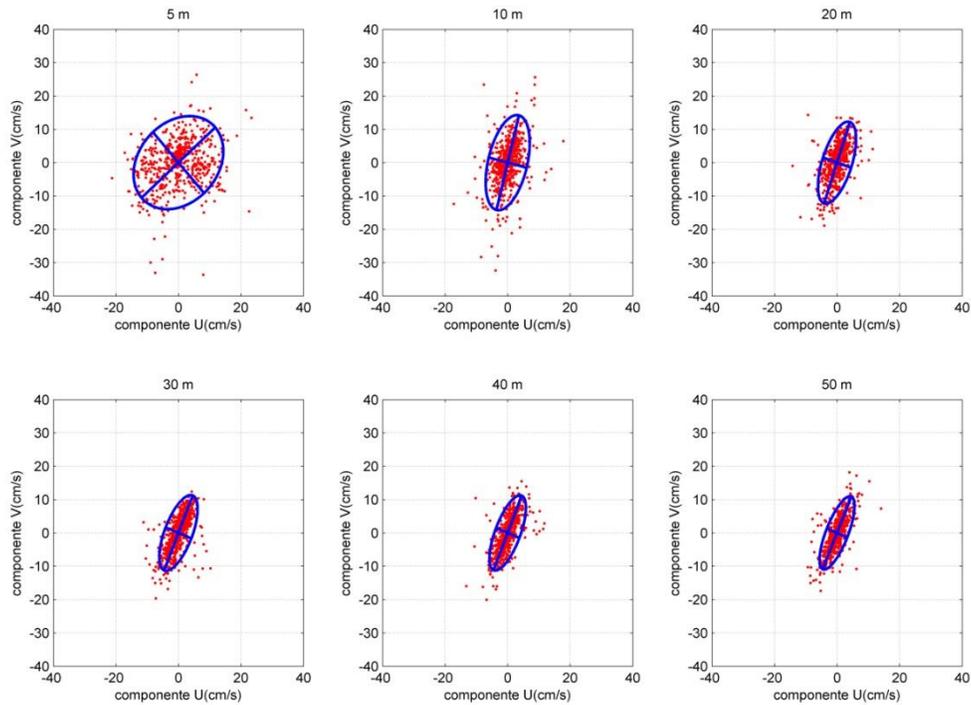
**Figura 170.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V en canal Pichirupa, durante la campa1a de oto1o 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



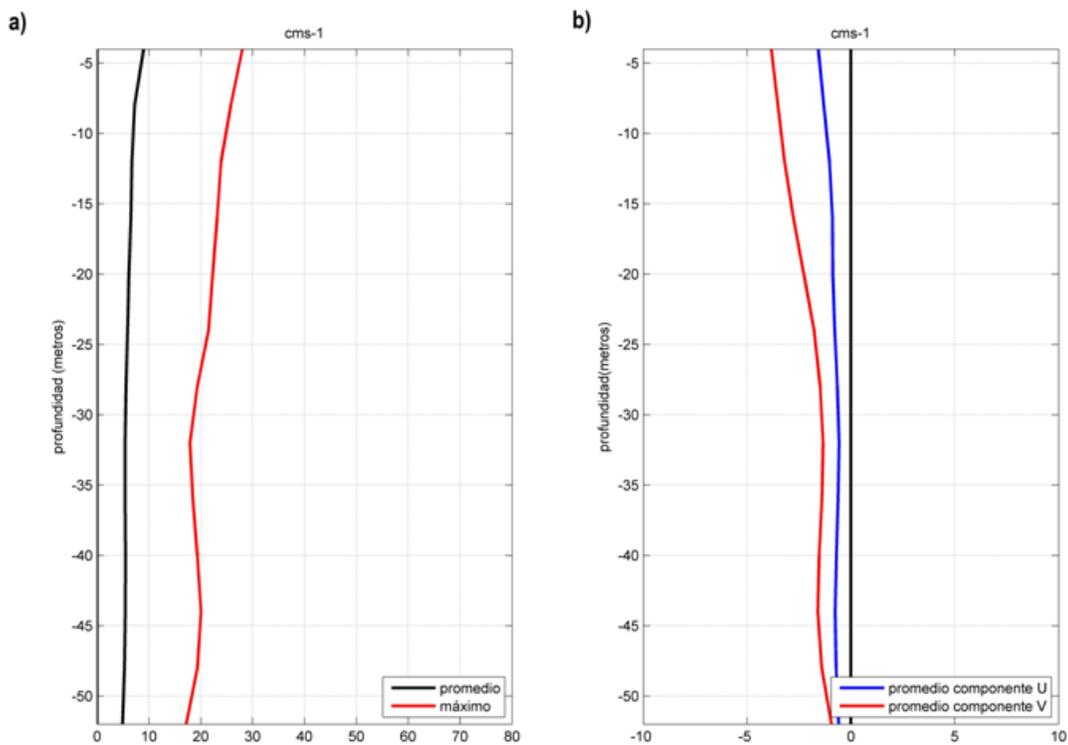
**Figura 171.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en canal Pichirupa, durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regin de Aysn.



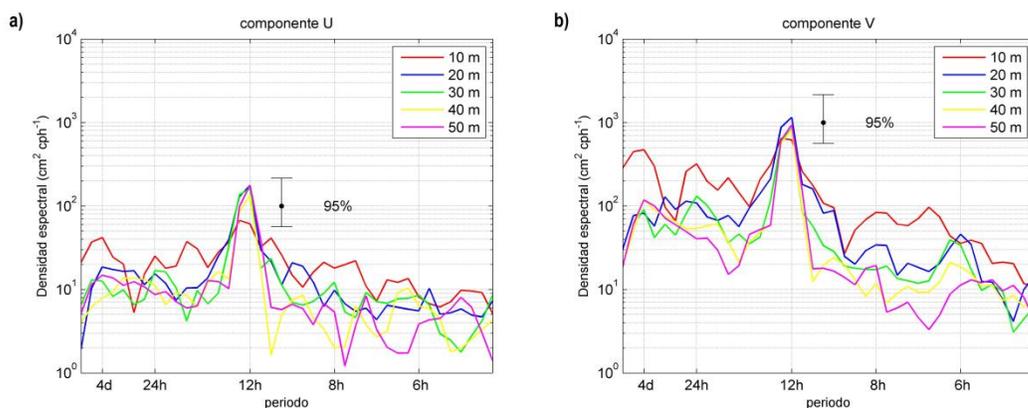
**Figura 172.** Serie horaria de la corriente obtenida a través de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-50 m en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



**Figura 173.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-50 m en valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaa de ooo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Aysén.



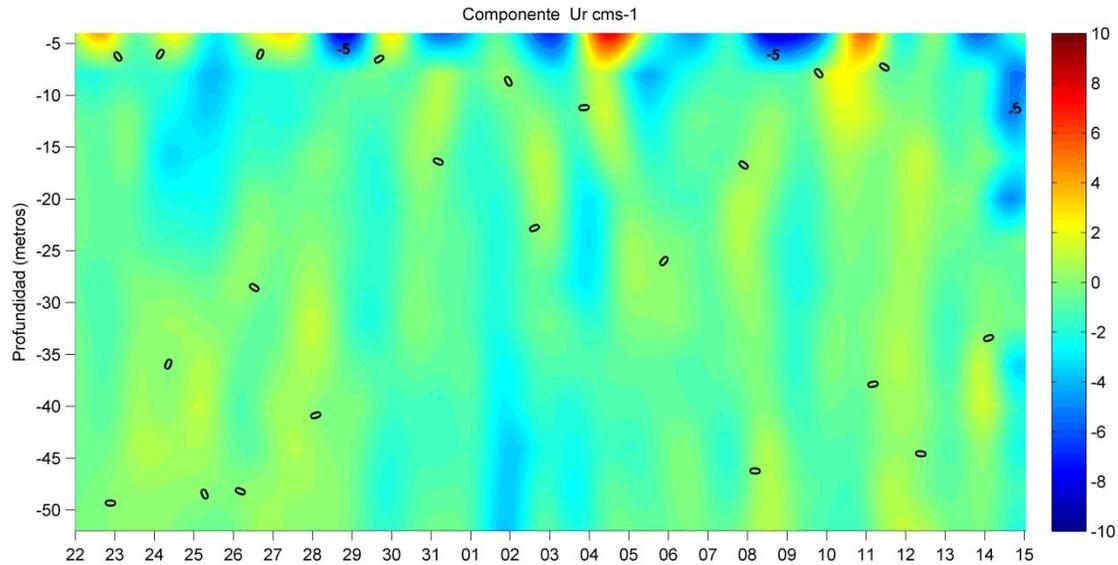
**Figura 174.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



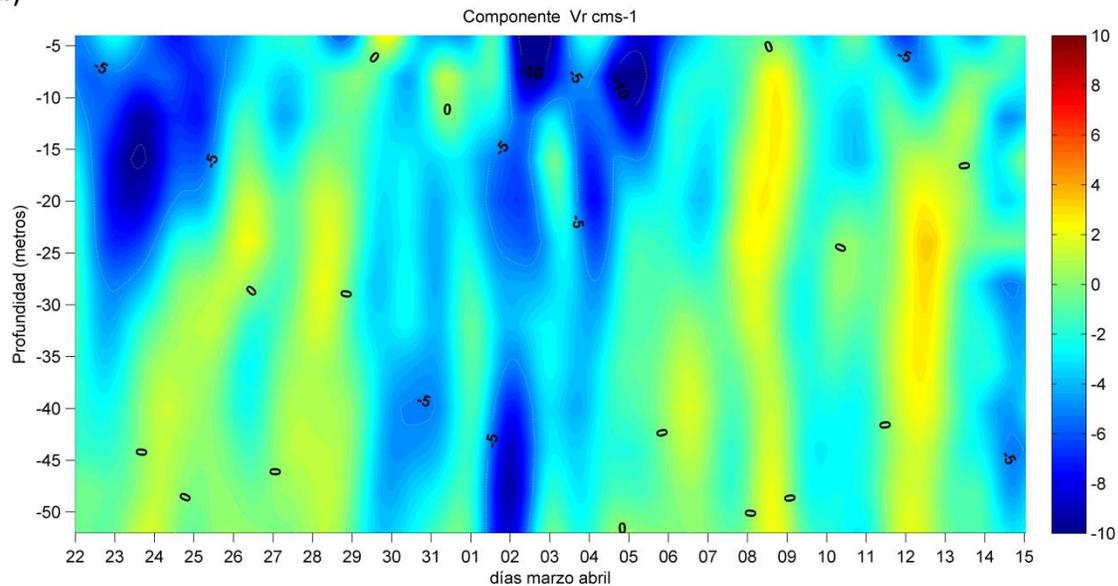
**Figura 175.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** espectro de la componente V, en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regin de Aysn.



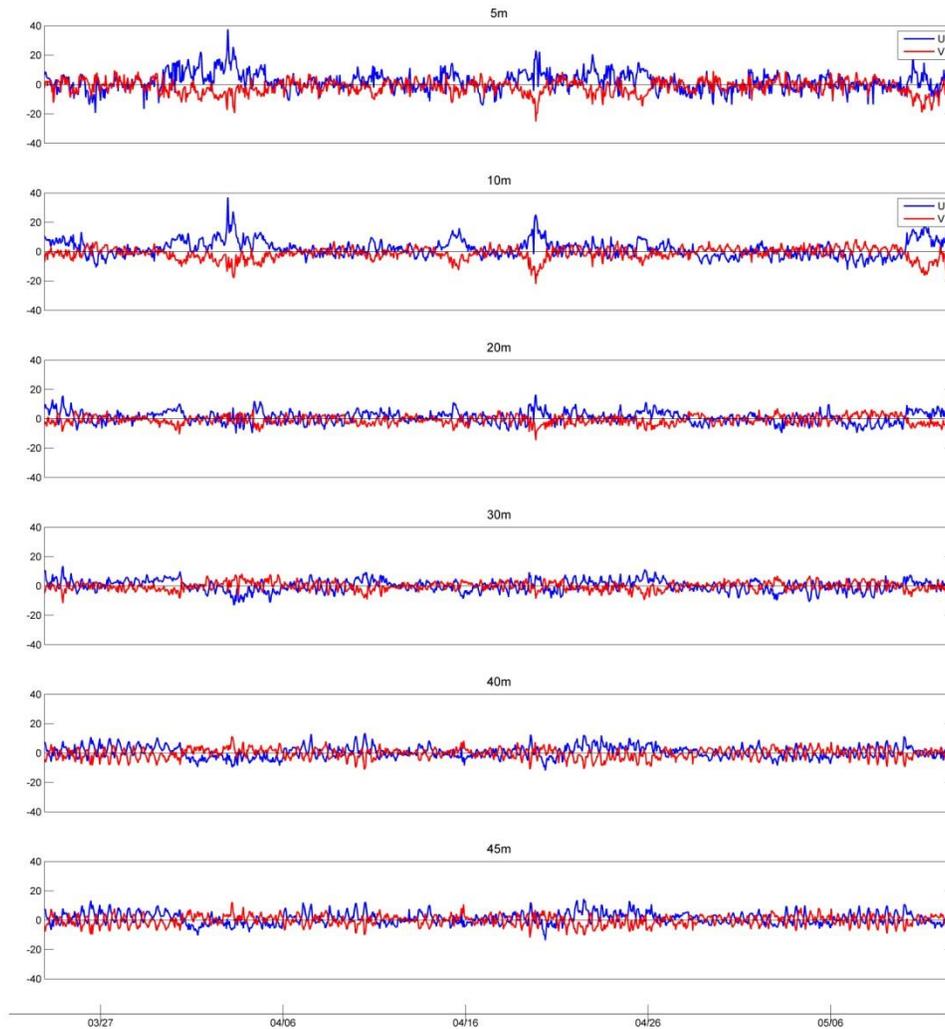
a)



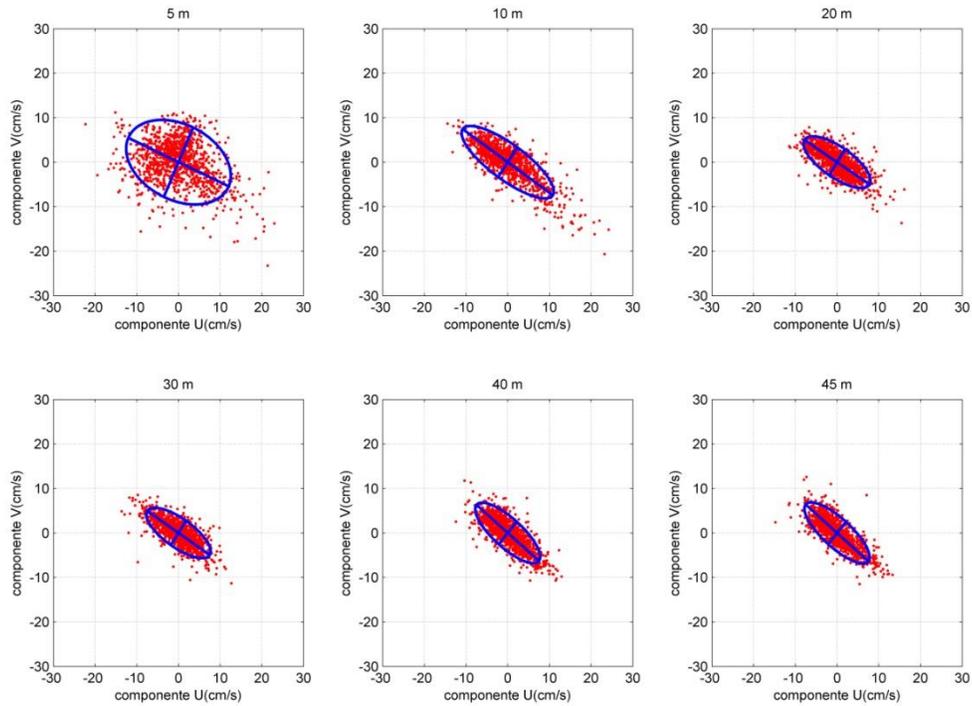
b)



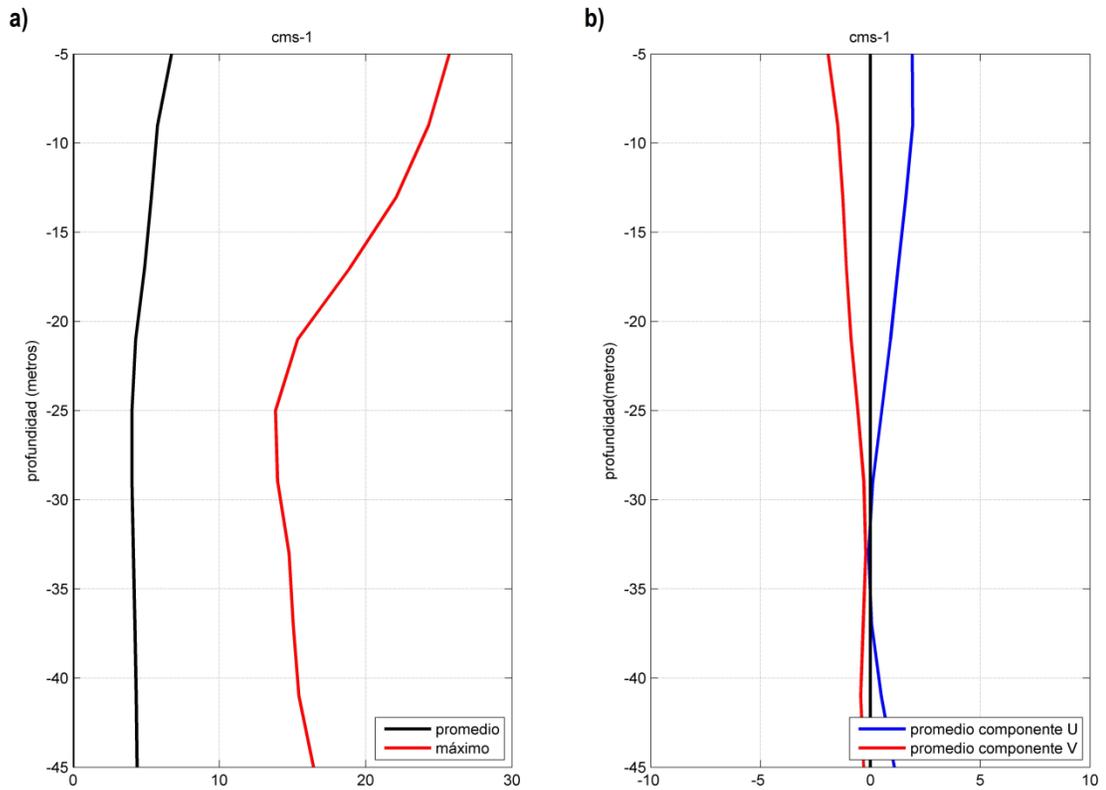
**Figura 176.** Superficies de color de las componentes residuales. **(a)** Componente U (este) y **(b)** componente V (norte) en el valle del Marta, canal Puyuguapi, durante la campa1a de o1o1o 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



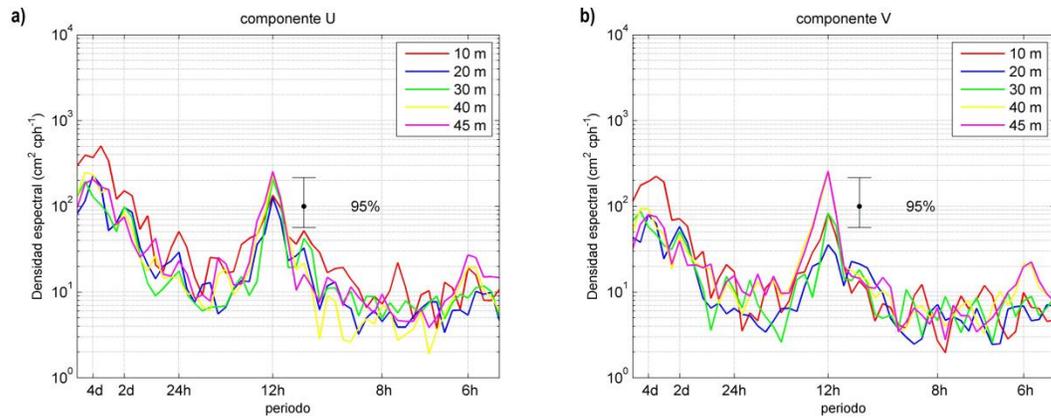
**Figura 177.** Serie horaria de la corriente obtenida a trav3s de ADCP anclado a 5-10-20-30-40-45 m en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaa de otoaa 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



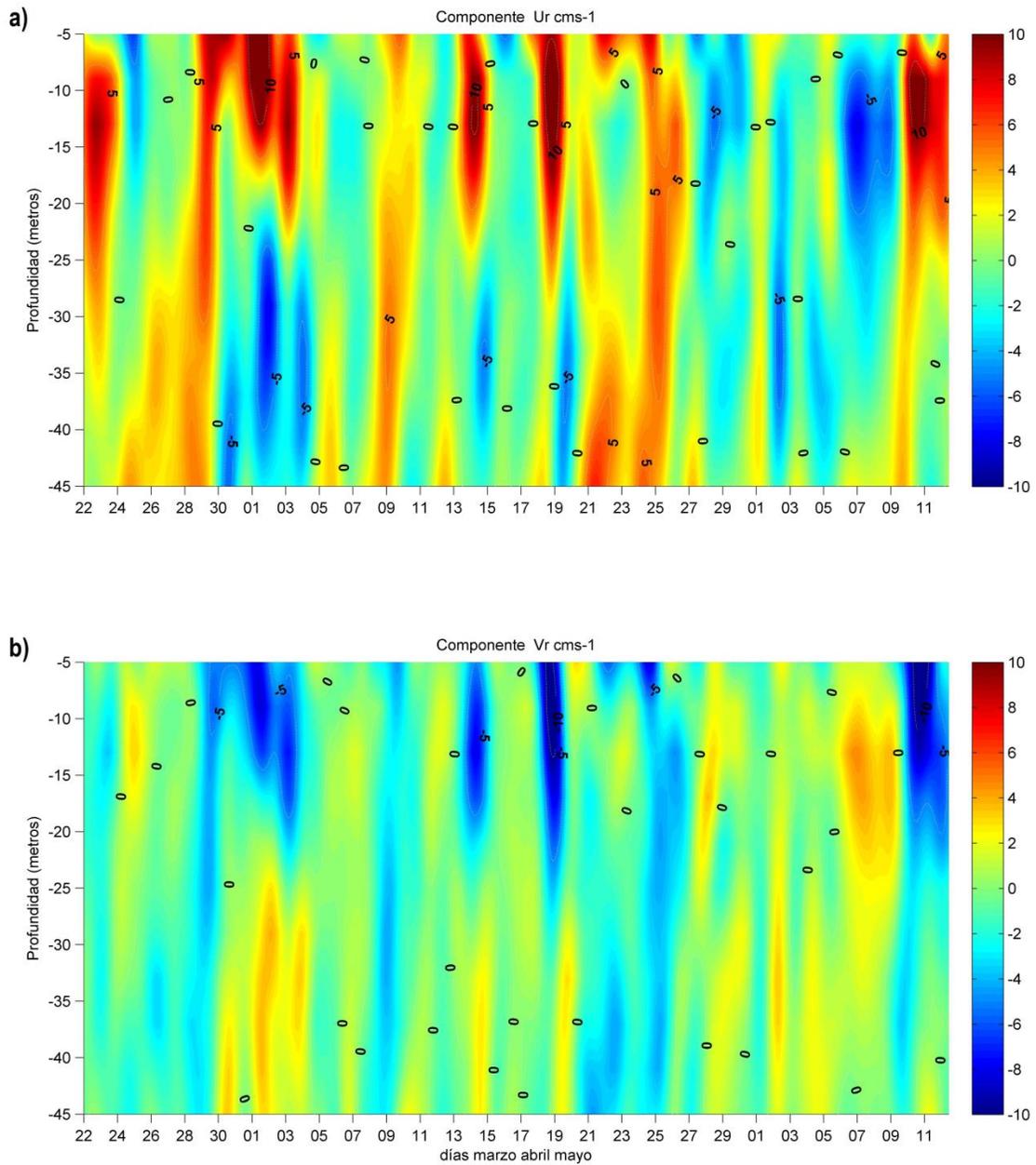
**Figura 178.** Elipses de máxima varianza en las capas de 5-10-20-30-40-45 m en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



**Figura 179.** (a) Perfiles promedio y máximo de la magnitud de la corriente; (b) perfiles promedio de las componentes ortogonales U (este) y V (norte) en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaña de otoño 2015 de Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.



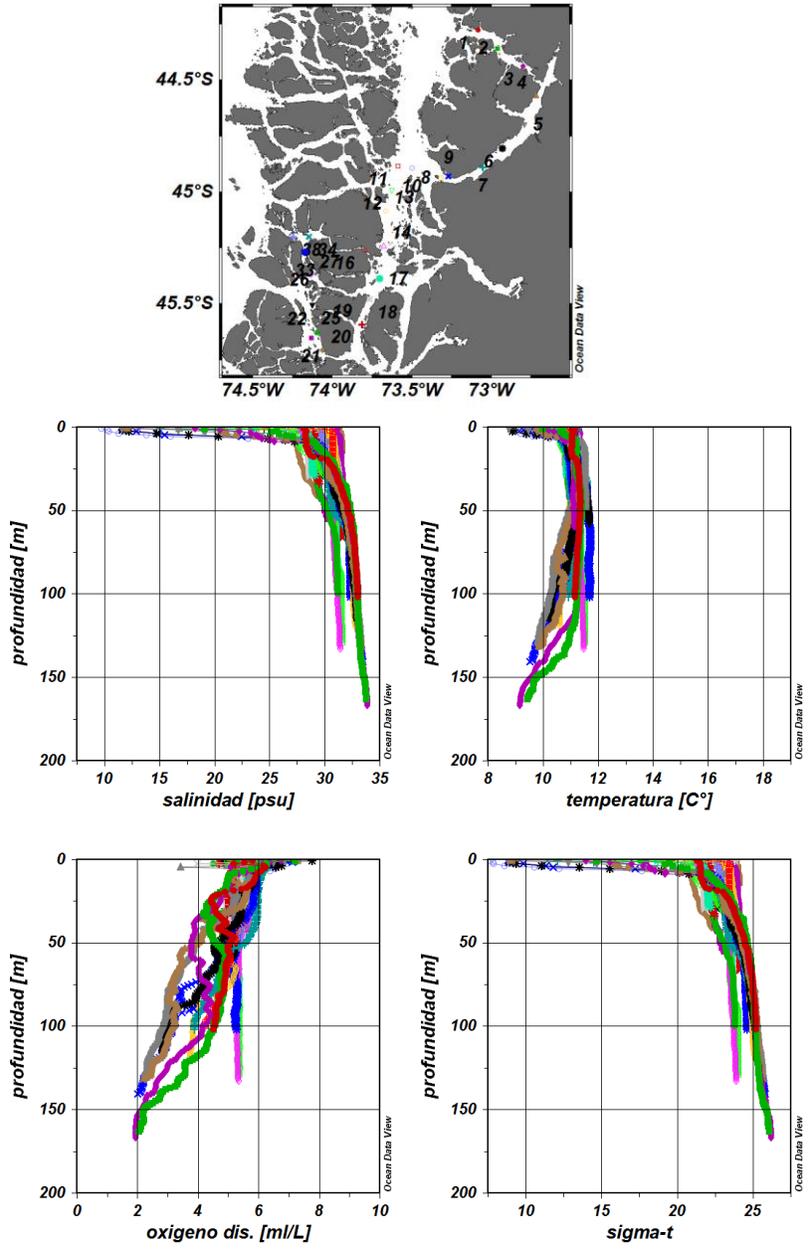
**Figura 180.** Densidad espectral de la corriente. **(a)** Espectro de la componente U; **(b)** Espectro de la componente V, en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regin de Aysn.



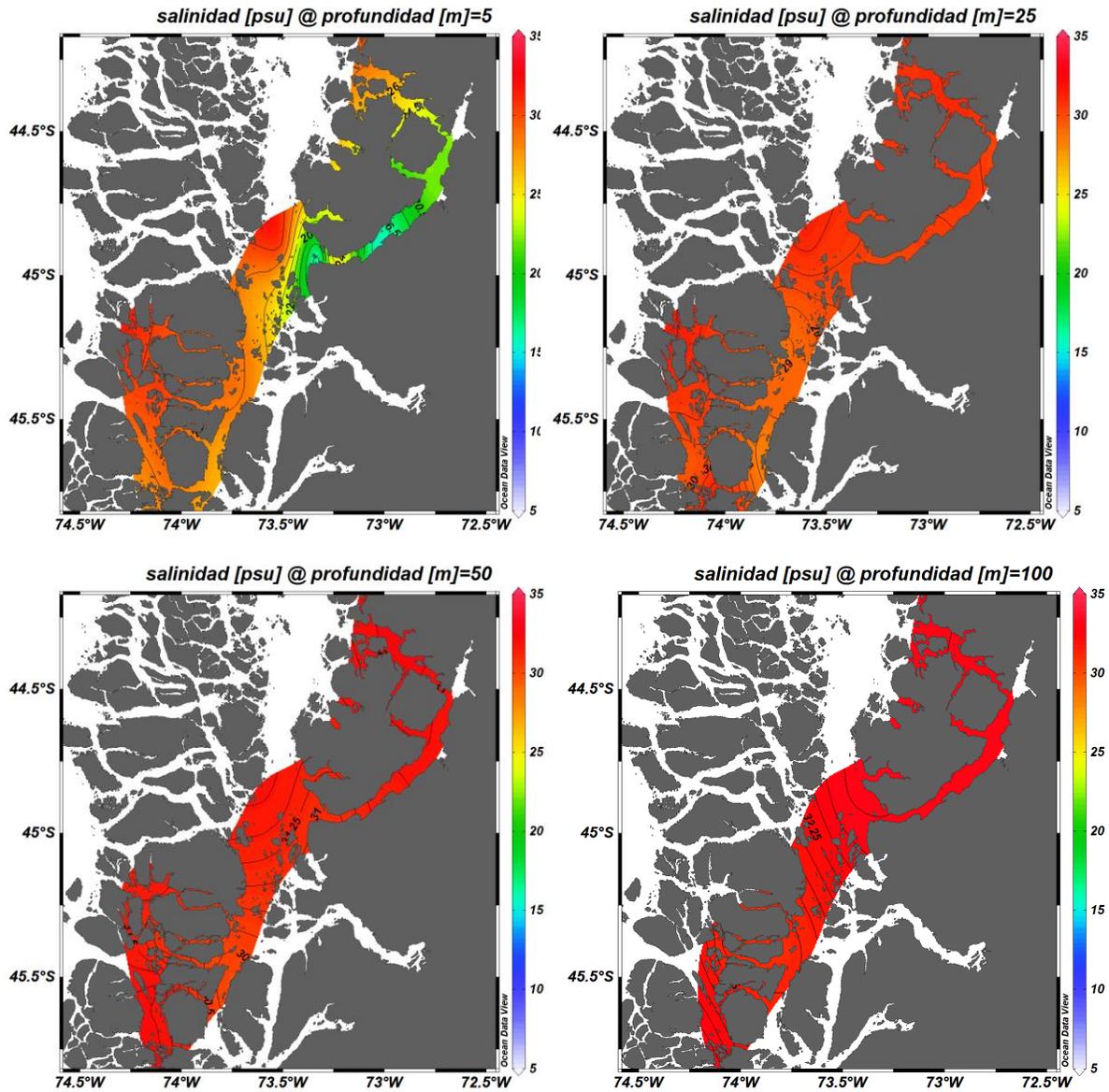
**Figura 181.** Superficies de color de las componentes residuales. (a) Componente U (este) y (b) componente V (norte) en punta Pearson, canal Puyuguapi, durante la campaa de otoo 2015 de Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n.



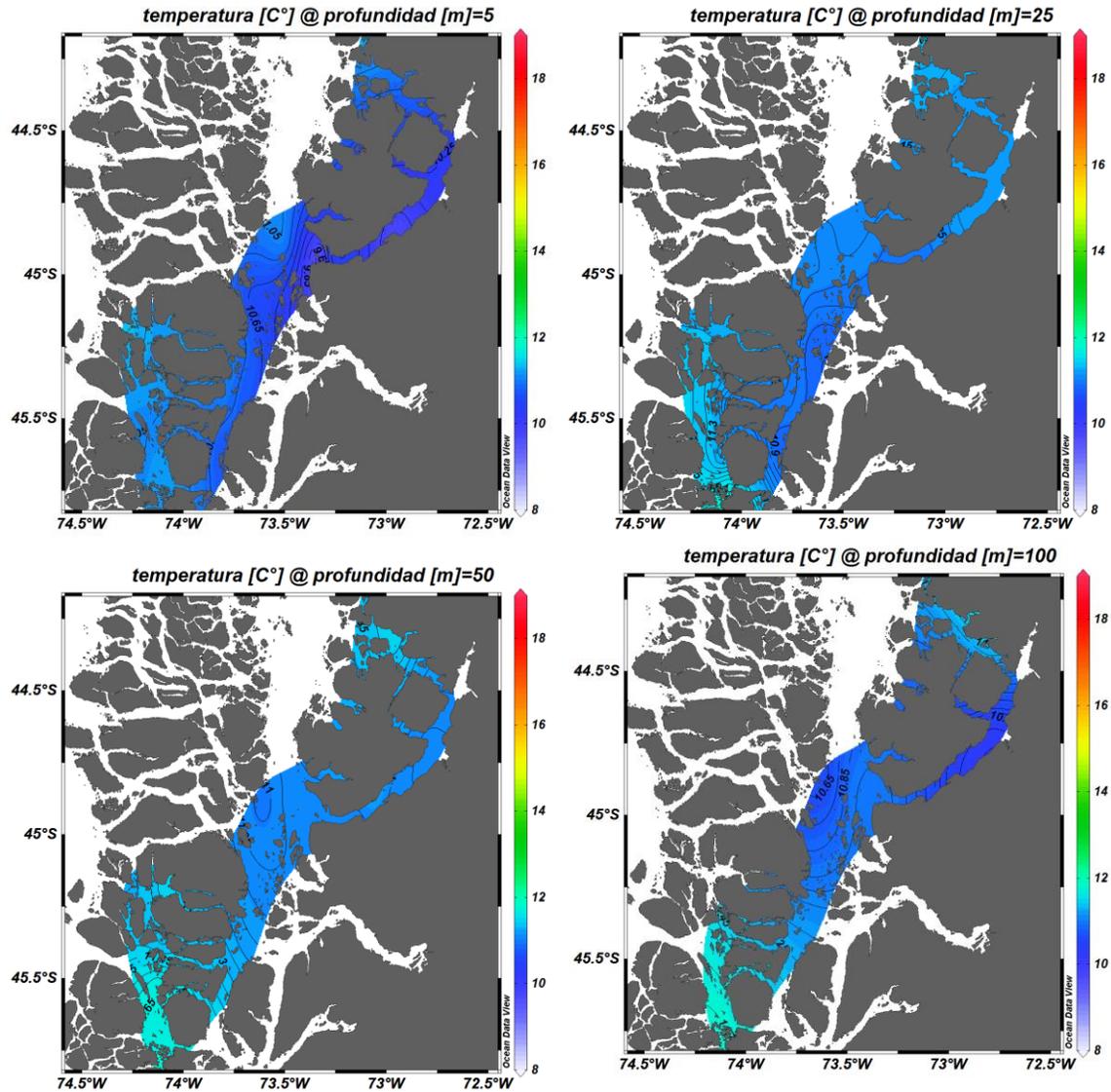
Symbol	Station ID
●	38
■	37
◆	36
▲	35
▼	34
*	33
×	30
+	32
○	29
□	28
◇	26
△	25
▽	27
*	22
×	21
+	20
●	17
■	18
◆	19
▲	13
▼	14
*	6
×	5
+	1
○	23
□	31
◇	12



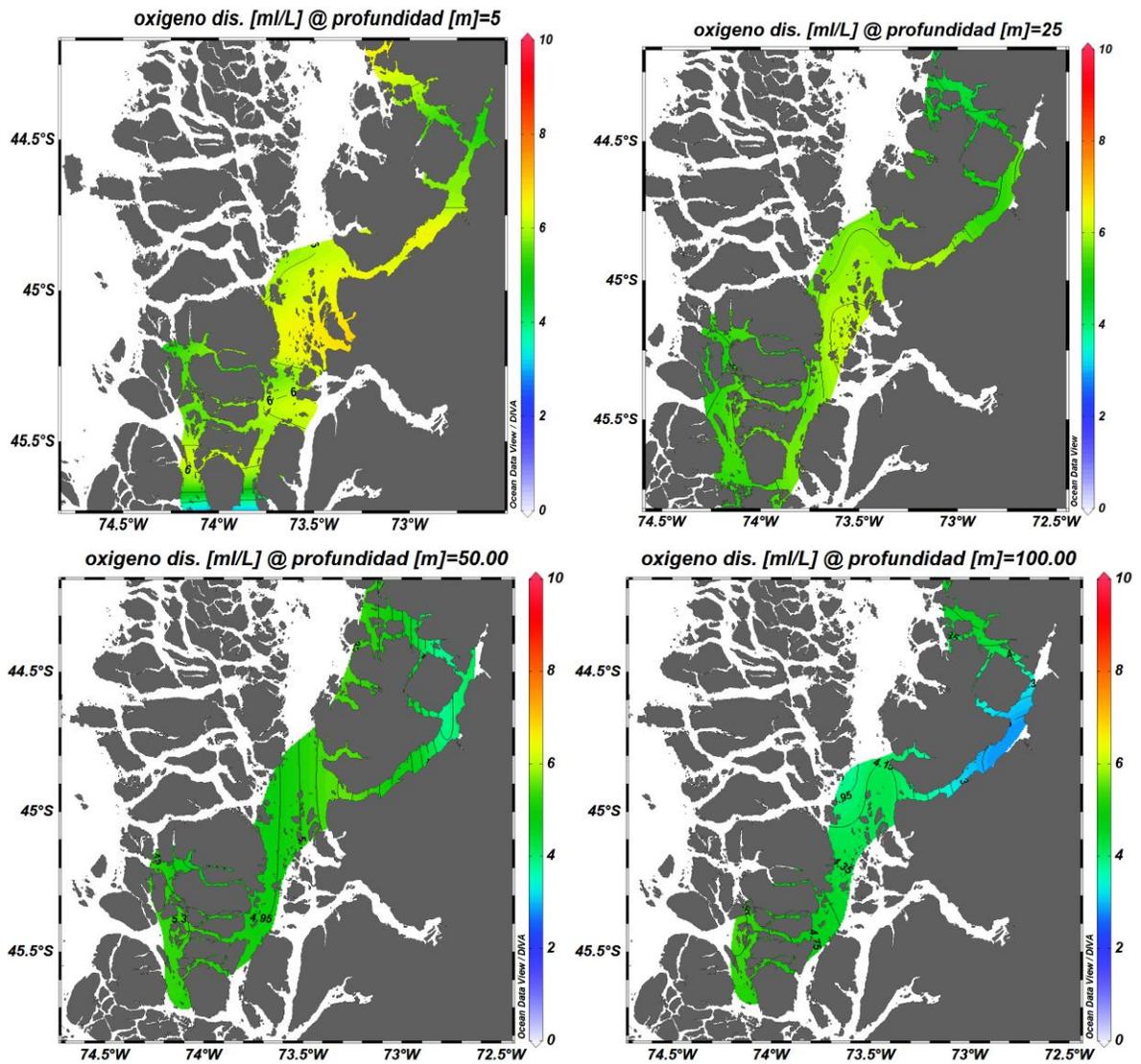
**Figura 182.** Ubicación y simbología estaciones de CDT-O. Distribución vertical de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto y densidad. Campaña Puyuguapi-Yacaf – ACHS otoño 2015.



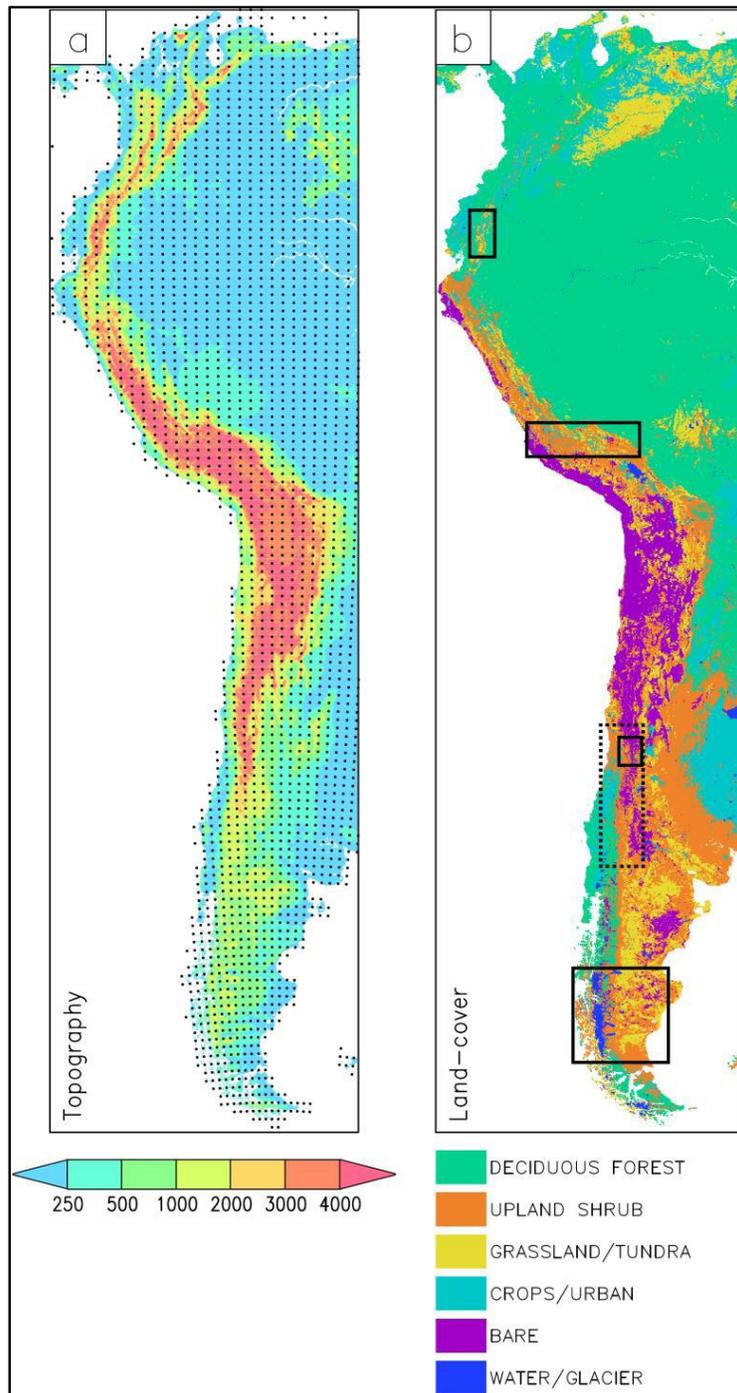
**Figura 183.** Distribuci3n horizontal de salinidad para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf- ACHS (otoño 2015).



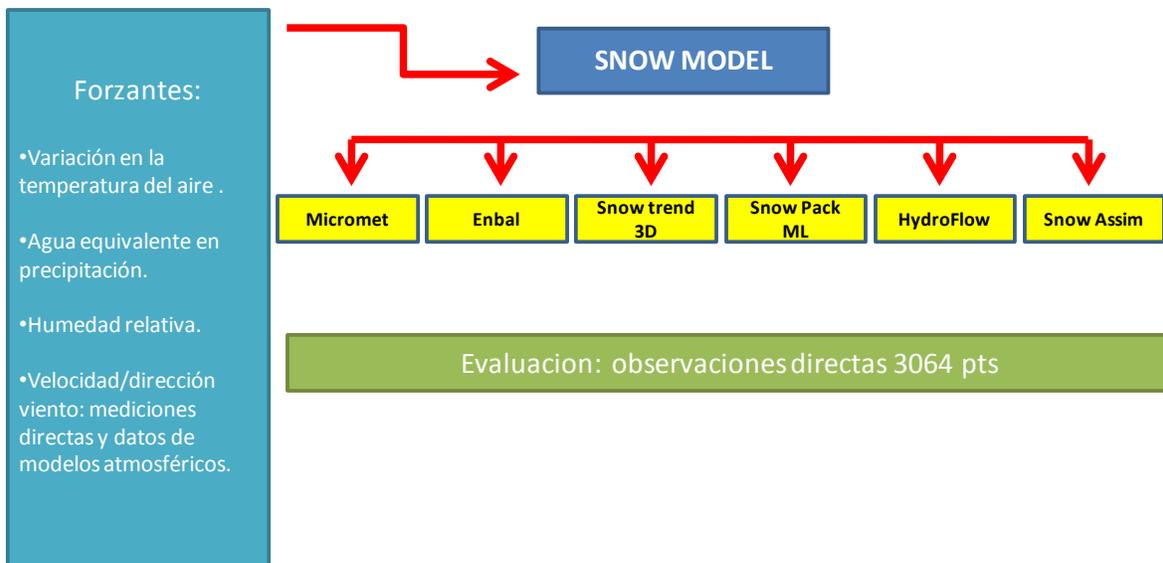
**Figura 184.** Distribuci3n horizontal de temperatura (C°) para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf- ACHS (otoño 2015).



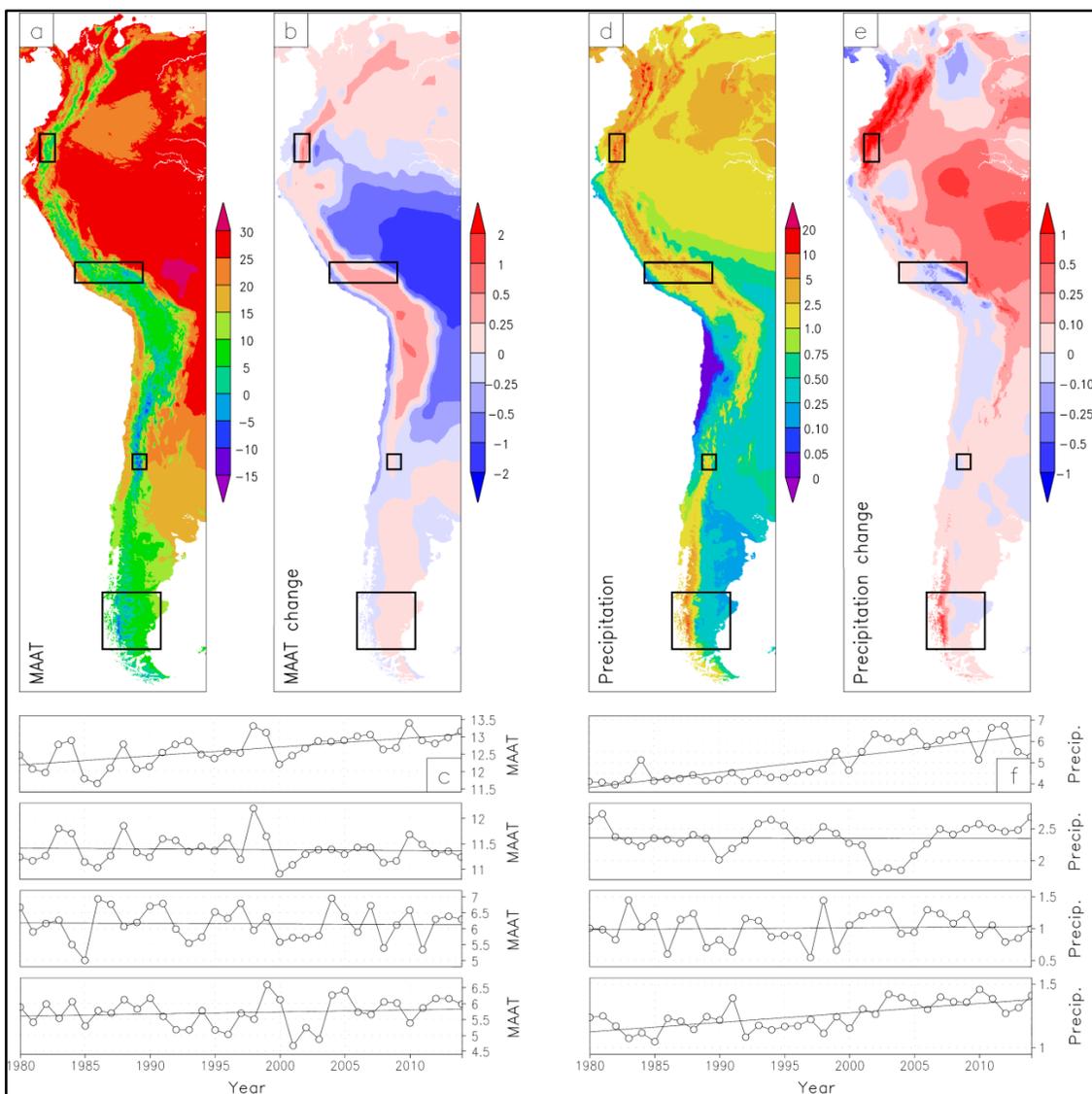
**Figura 185** Distribuci3n horizontal de oxigeno disuelto (mL/L) para diferentes estratos analizados, durante el crucero Puyuguapi-Yakaf- ACHS (otoño 2015).



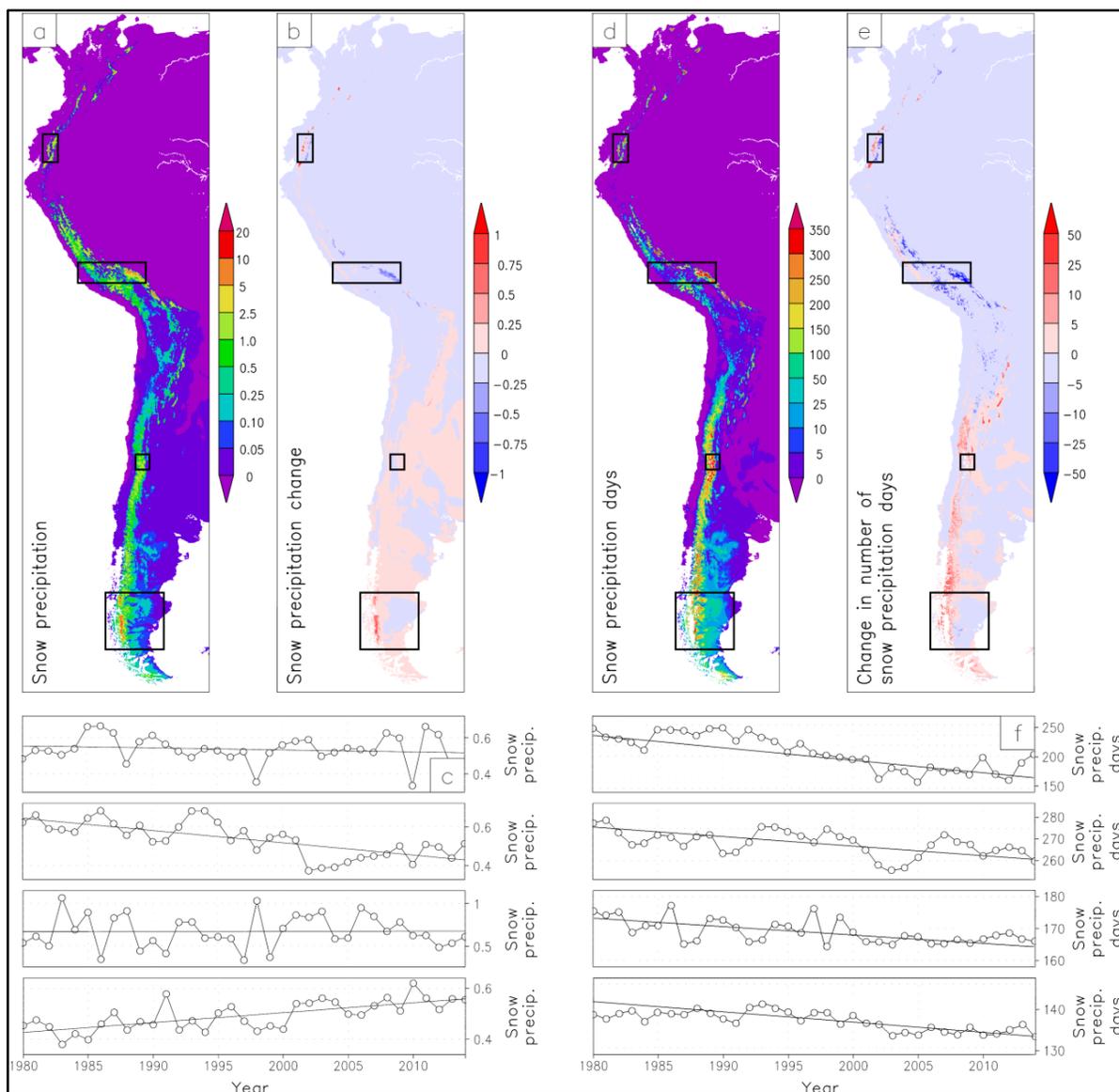
**Figura 186.** Topografía y cobertura superficial del dominio del modelo SnowModel-HydroFlow para Sudamérica.



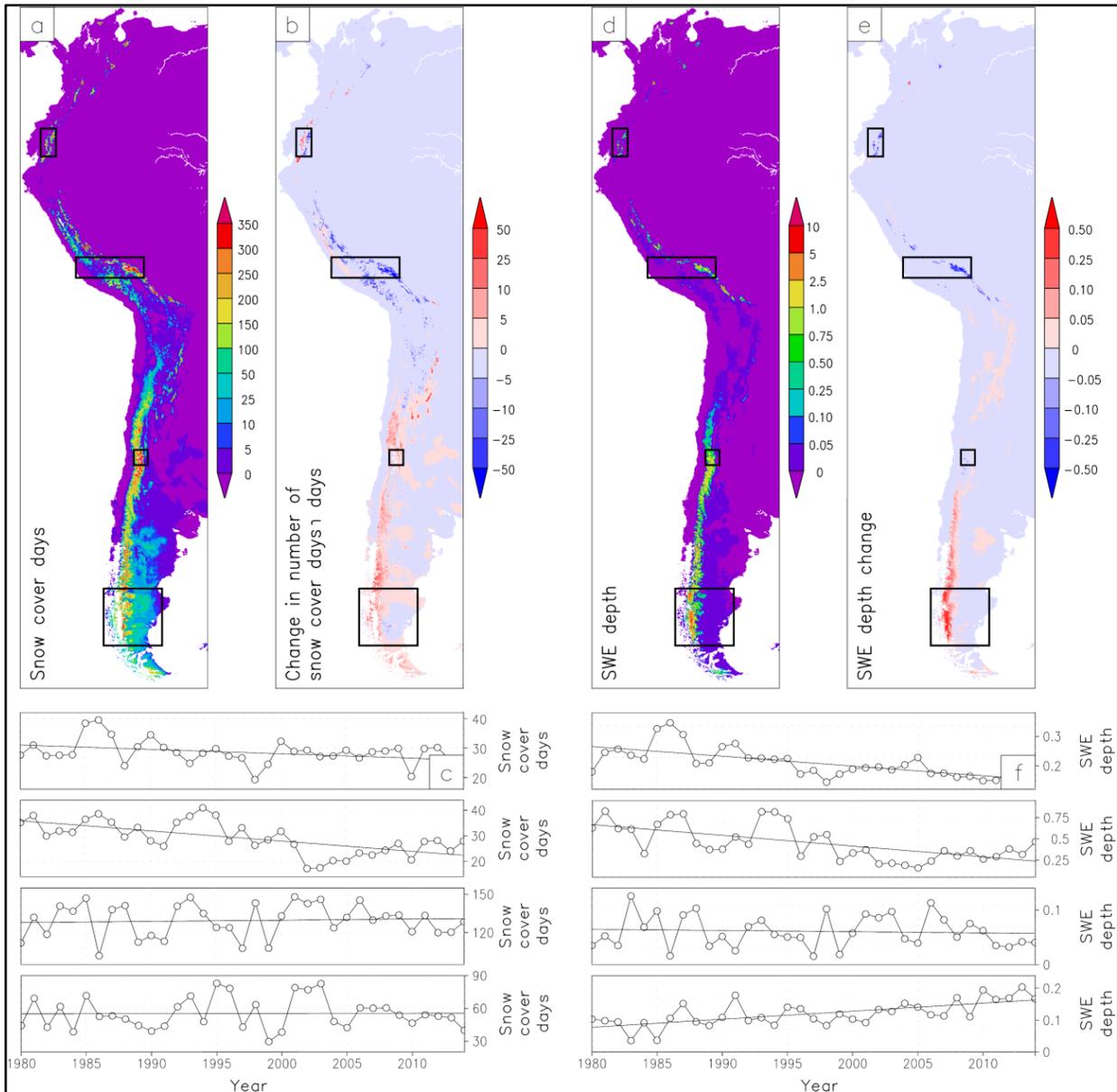
**Figura 187.** Esquema de operaci3n SnowModel, considerando sus diferentes sub-modelos.



**Figura 188.** Temperatura media anual del aire y precipitaci3n en Sudam3rica y gr3ficas para cada una de las zonas de evaluaci3n (recuadros).



**Figura 189.** Precipitaci3n s3lida (nieve) y n3mero de d3as anuales con precipitaci3n s3lida en Sudam3rica y gr3ficas para cada una de las zonas de evaluaci3n (recuadros).



**Figura 190.** N3mero de d3as con cobertura de nieve y espesor de la capa de nieve en Sudam3rica y gr3ficas para cada una de las zonas de evaluaci3n (recuadros).

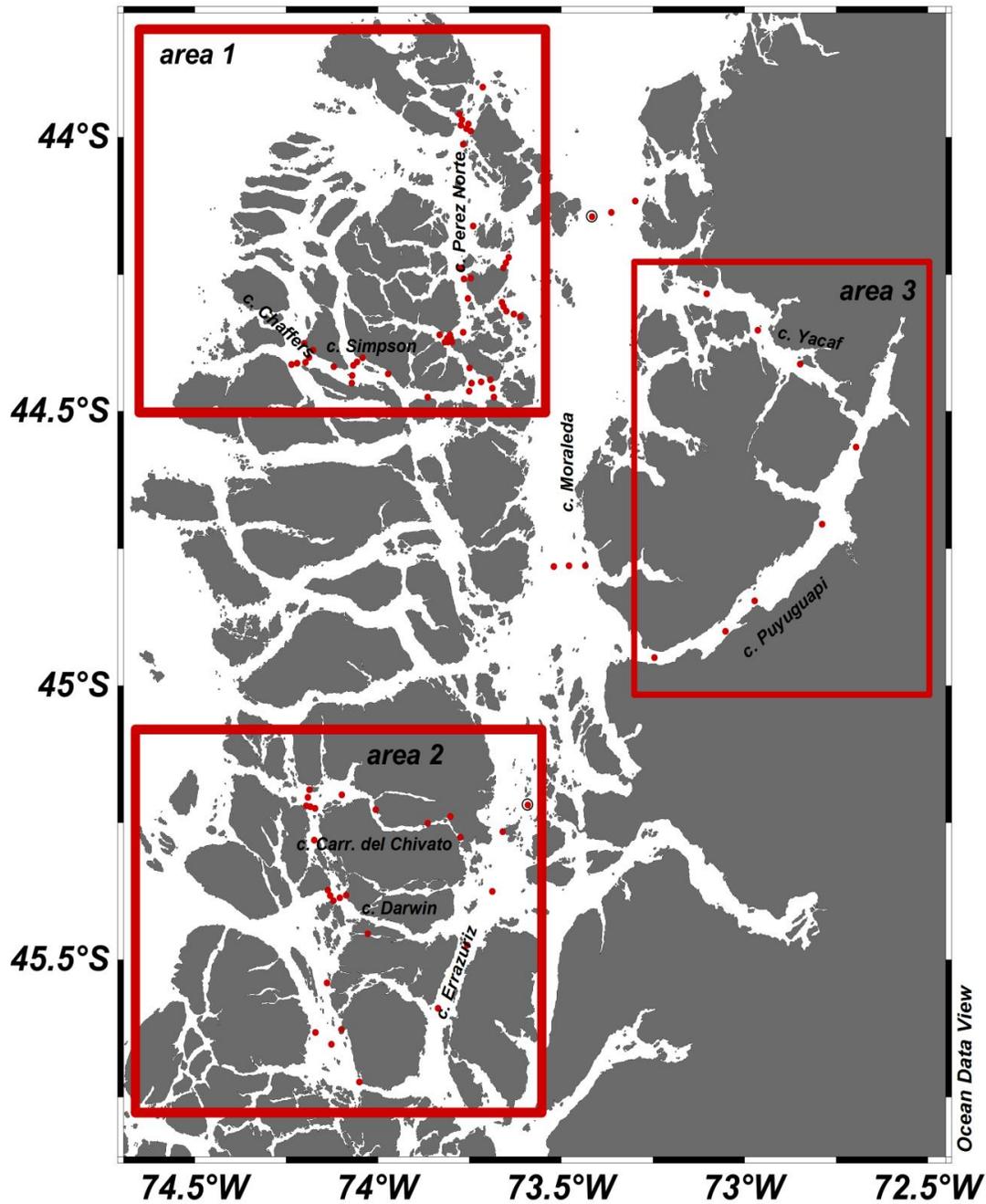
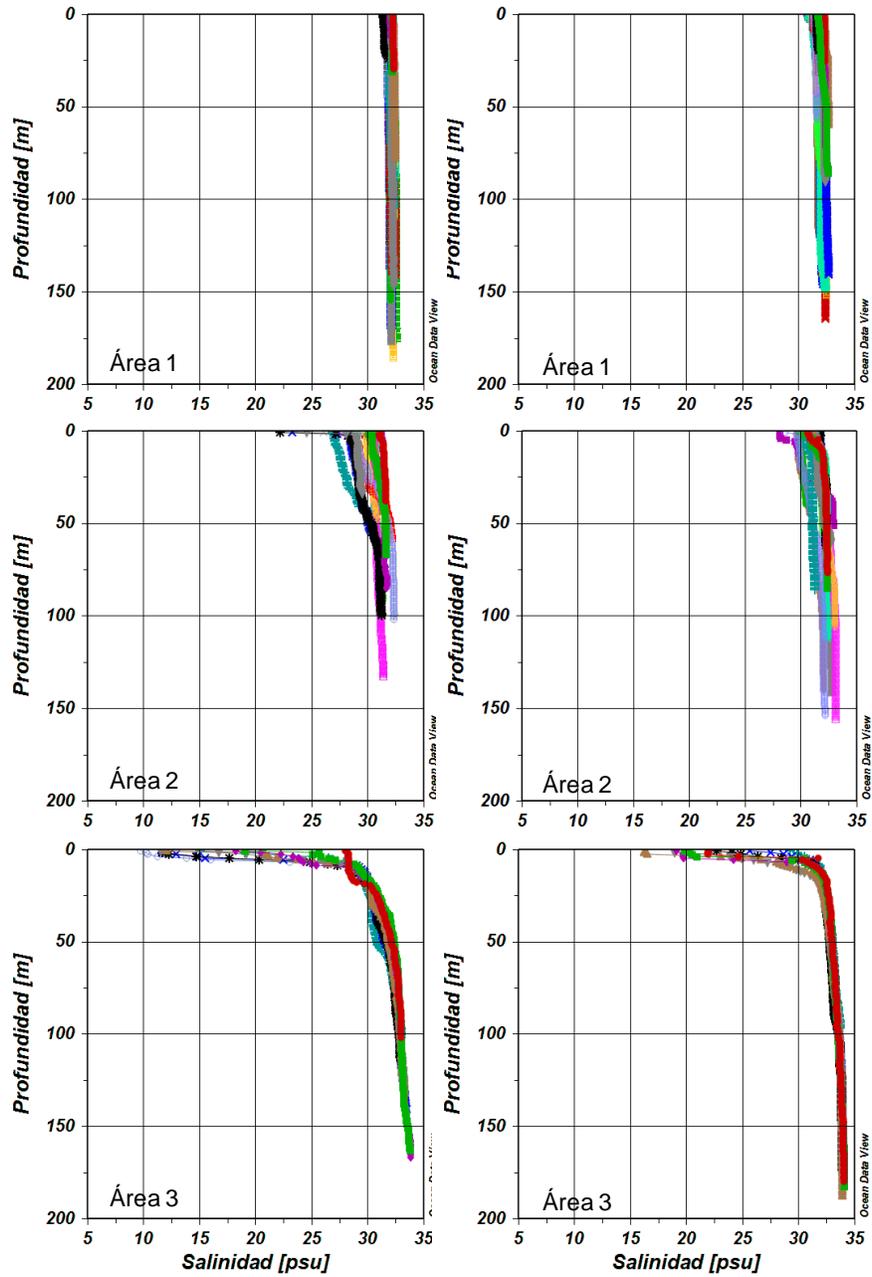
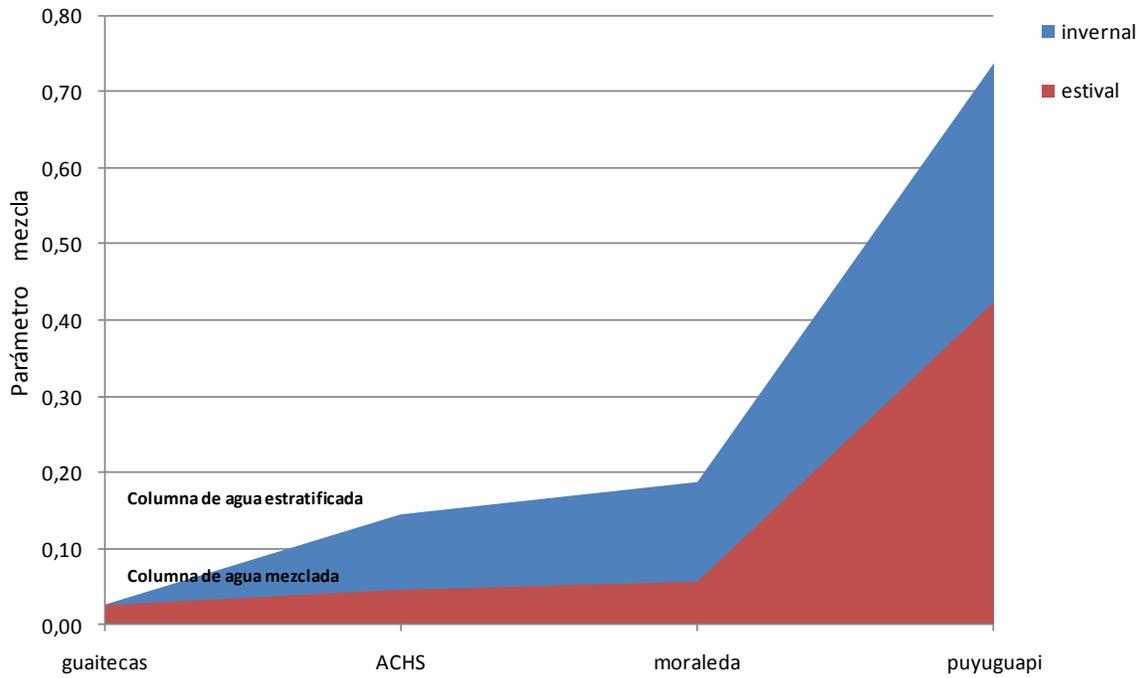


Figura 191. Esquema de las 3 áreas diferenciadas en cuanto las condiciones oceanográficas.



**Figura 192.** Perfiles de salinidad para las estaciones de cada área, las gráficas de la izquierda representan el periodo invernal, las gráficas de la derecha representan el periodo estival.



**Figura 193.** Representaci3n del parámetro de mezcla para las diferentes aéreas, incluyendo el canal Moraleda, considerando periodo invernal y estival.

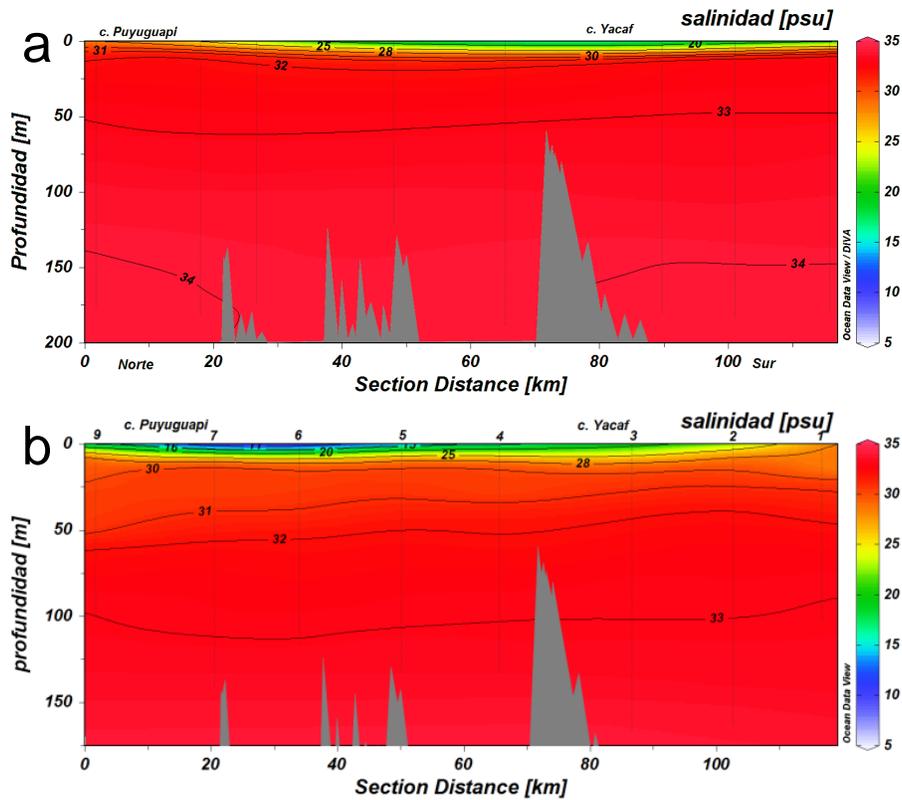
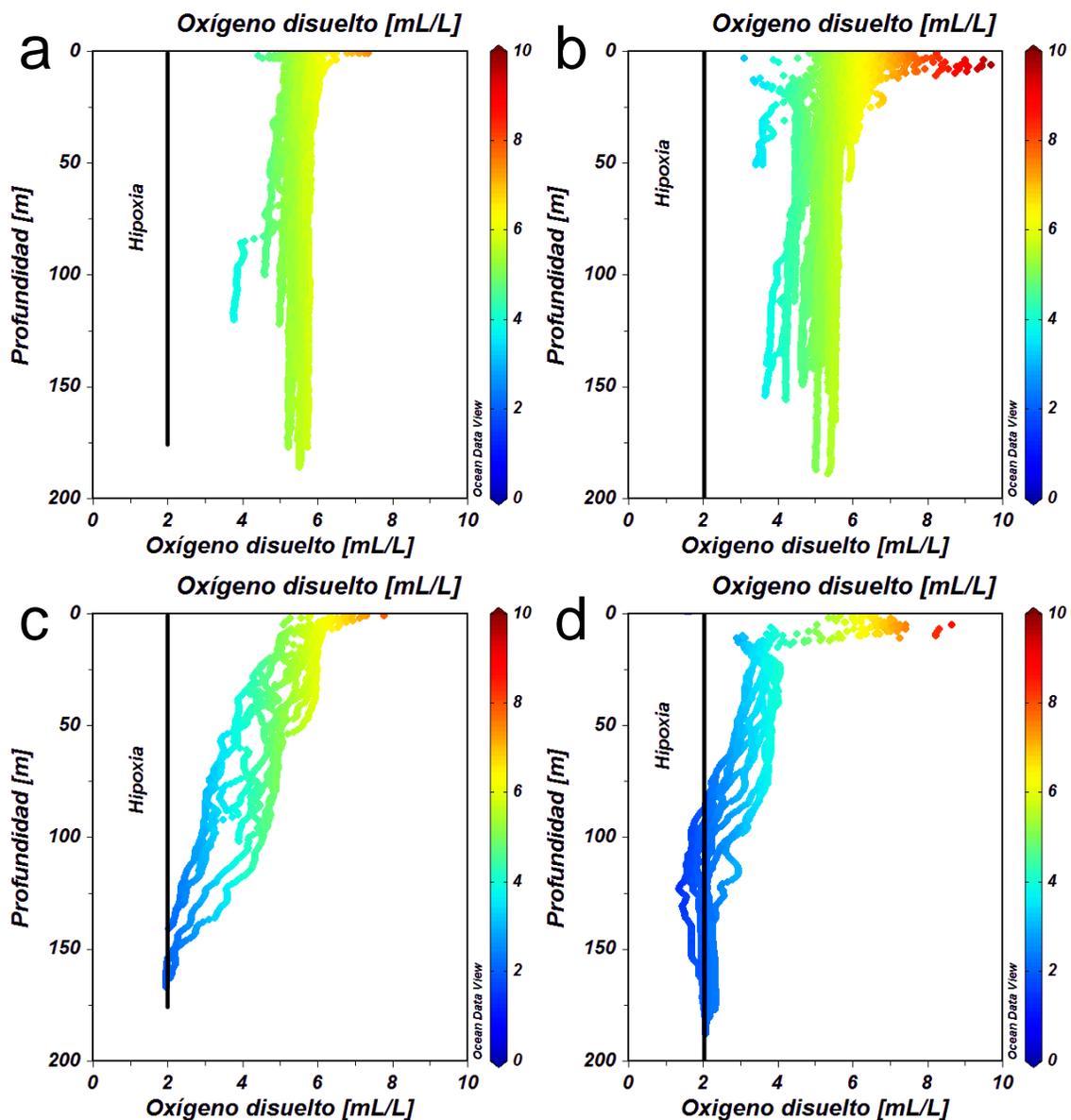


Figura 194. Distribución vertical de salinidad en columna de agua sistema Puyuguapi-Yacaf a) periodo estival, b) periodo invernal.



**Figura 195.** Scatter plot con Perfiles de oxígeno disuelto, a) perfiles estaciones, las Guaitecas (área1) y ACHS (área2), periodo invernal, b) perfiles estaciones, las Guaitecas (área1) y ACHS (área2), periodo estival, c) perfiles estaciones Puyuguapi-Yacaf, periodo invernal, c) perfiles estaciones Puyuguapi-Yacaf (área 3) periodo estival.



# **T A B L A S**

---





**Tabla I**  
Cantidad de mediciones a realizar en áreas 1 y 2 en región de Aysén.

Equipo	Área 1	Área 2	Total
<b>ADCP fondeado</b>	8 equipos	5 equipos	13 equipos
<b>ADCP bottom track</b>	8 mediciones	4 mediciones	12 mediciones
<b>Mareógrafos</b>	3 equipos	6 equipos	9 equipos
<b>E. Meteorológicas</b>	2 equipos	4 equipos	6 equipos
<b>E. CTD-O</b>	14 mediciones	27 mediciones	41 mediciones
<b>Derivadores</b>	7 mediciones	6 mediciones	13 mediciones



**Tabla II**

Sector donde se realizaron las transectas con ADCP remolcado en Melinka, archipiélago de las Guaitecas, región de Aysén, periodo invierno (a) y primavera (b).

a) ADCP Remolcado campaña Melinka invierno					Vértices					
sector	fecha	tiempo (h)	repeticiones	tamaño celda (m)	A: longitud	latitud	B: longitud	latitud	C: longitud	latitud
Canal Chaffers	04-07-2014	24	23	4	-74.23595	-44.41714	-74.19936	-44.41082	-74.18388	-44.38836
Canal Simpson	05-07-2014	17	17	4	-74.07522	-44.44545	-74.06710	-44.41486	-74.04208	-44.40062
Punta Garrao	06-07-2014	24	28	4	-73.81590	-44.37387	-73.80501	-44.35959	-73.79642	-44.37172
Canal Baeza	07-07-2014	24	19	4	-73.74524	-44.43799	-73.70244	-44.43736	-73.68226	-44.47325
Canal Piure	08-07-2014	24	25	4	-73.61003	-44.32571	-73.65171	-44.31726	-73.66535	-44.30059
C. Pérez Norte	10-07-2014	24	31	4	-73.74687	-44.25694	-73.77940	-44.26243	-73.79484	-44.24627
C. Pihuel	11-07-2014	16	35	4	-73.65822	-44.23854	-73.64771	-44.21563		
Isla Betecoi	11-07-2014	12	15	4	-73.74364	-43.98745	-73.77576	-43.97375	-73.77393	-43.95788

b) ADCP Remolcado campaña Melinka primavera					Vértices					
sector	fecha	tiempo (h)	repeticiones	tamaño celda (m)	A: longitud	latitud	B: longitud	latitud	C: longitud	latitud
Chaffers-Simpson	23-11-2014	24	26	2	-74,17751	-44,38754	-74,19801	-44,41015	-74,23653	-44,41379
Alanta-Simpson	22-11-2014	24	23	2	-74,04252	-44,40127	-74,06716	-44,41565	-74,07191	-44,44827
Punta Garrao	18-11-2014	24	27	2	-73,79863	-44,37288	-73,80350	-44,35958	-73,81757	-44,37323
Canal Baeza	20-11-2014	24	19	2	-73,74460	-44,44809	-73,89352	-44,44178	-73,68403	-44,47334
Canal Pihuel	13-11-2014	24	59	2	-73,64419	-44,21820	-73,65768	-44,23786		
C. Pérez Norte	14-11-2014	24	31	2	-73,74689	-44,25642	-73,78342	-44,26084	-73,79713	-44,24638
Canal piure	17-11-2014	9	10	2	-73,66215	-44,30061	-73,65057	-44,31687	-73,61244	-44,32670
Isla Betecoi	09-11-2014	24	31	2	-73,77791	-43,95759	-73,77422	-43,97709	-73,74718	-43,98805



**Tabla III**

Sector donde se realizaron las transectas con ADCP remolcado en el 1rea Isla Magdalena y ACHS, regi3n de Ays3n, periodo verano (a) y otoño (b).

a) ADCP Remolcado campaa archipi3lago de Chonos sur verano					V3rtices					
sector	fecha	tiempo (h)	repeticiones	tamao celda (m)	A: longitud	latitud	B: longitud	latitud	C: longitud	latitud
Canal Moraleda	08-03-2015	24	20	4	-73.5262	-44.7811	-73.4326	-44.7812		
Canal Darwin	01-03-2015	24	23	4	-74.1388	-45.3736	-74.1220	-45.3929	-74.0824	-45.3812
Canal Utarupa	03-03-2015	16	16	4	-74.1746	-45.6329	-74.1024	-45.6269		
Canal Pichirupa	27-02-2015	24	27	4	-74.1858	-45.1892	-74.1975	-45.2184	-74.1705	-45.2237

b) ADCP Remolcado campaa archipi3lago de Chonos sur otoo					V3rtices					
sector	fecha	tiempo (h)	repeticiones	tamao celda (m)	A: longitud	latitud	B: longitud	latitud	C: longitud	latitud
Canal Moraleda	11-07-2015	14	13	2	-73.5267	-44.7726	-73.4356	-44.7810		
Canal Darwin	22-05-2015	23	24	2	-74.1324	-45.3727	-74.1214	-45.3928	-74.0831	-45.3817
Canal Utarupa	25-05-2015	24	26	2	-74.1728	-45.6251	-74.0984	-45.6303		
Canal Pichirupa	20-05-2015	8	27	2	-74.2475	-45.2020	-74.2389	-45.1847		



**Tabla IV**

a) Fase lunar durante periodo de muestreo de ADCP remolcado en Archipiélago de las Guaitecas 2014.

FASES LUNARES				
Mes	 Luna Nueva	 Cuarto Creciente	 Luna Llena	 Cuarto Menguante
<b>Julio</b>	27	5	12	19
<b>Noviembre</b>	22	29	6	14

b) Fase lunar durante periodo de muestreo de ADCP remolcado, en el área Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén 2015.

FASES LUNARES				
mes	 Luna Nueva	 Cuarto Creciente	 Luna Llena	 Cuarto Menguante
<b>febrero</b>	18	25	3	12
<b>marzo</b>	20	27	5	13
<b>mayo</b>	18	25	4	11
<b>julio</b>	15	24	1	8

**Tabla V**

Posición geográfica de equipos instalados en campaña de invierno (a) y primavera (b) en el archipiélago de las Guaitecas.

**a)**

Equipo	Lugar	Latitud	Longitud	Fecha instalación	Fecha retiro
Mareógrafo	I.Leucayec	-44.00785	-73.72624	12-07-2014	29-08-2014
Mareógrafo	I.Verdugo	-44.13206	-73.65770	11-07-2014	26-08-2014
Mareógrafos	C.Chaffers	-44.41112	-74.19222	04-07-2014	28-08-2014
Mareógrafo	C.Chipana	-44.43516	-73.65364	01-07-2014	27-08-2014
E. Meteorológica	C.King	-44.55557	-74.17838	04-07-2014	28-08-2014
E. Meteorológica	I.Leucayec	-44.0080	-73.72596	12-07-2014	29-08-2014
ADCP RDI 300 kHz	C.Baeza	-44.47642	-73.88456	06-07-2014	27-08-2014
ADCP RDI 300 kHz	Pta. Garrao	-44.3873	-73.78856	07-07-2014	27-08-2014
ADCP RDI 300 kHz	C.Pérez Norte	-44.24183	-73.75942	11-07-2014	26-08-2014
ADCP Sontek khz	I.Verdugo	-44.12987	-73.67335	11-07-2014	26-08-2014
ADCP RDI 150 kHz	I.Betecoi	-43.97475	-73.75019	12-07-2014	sin retiro

**b)**

Equipo	Lugar	Latitud	Longitud	Fecha instalación	Fecha retiro
Mareógrafo	I. verdugo	-44.13214	-73.65772	26-08-2014	12-11-2014
Mareógrafo	C. Chipana	-44.43505	-73.65367	27-08-2014	21-11-2014
Mareógrafo	C Chaffers	-44.41173	-74.19193	28-08-2014	23-11-2014
Mareógrafo	Leucayec	-43.99895	-73.85781	29-08-2014	26-11-2014
E. Meteorológica	C Chaffers	-44.41745	-74.18916	28-08-2014	23-11-2014
E. Meteorológica	Ite. Pochas	-43.99869	-73.85852	29-08-2014	26-11-2014
ADCP RDI 300 kHz	Ite. Pochas	-44.01416	-73.85443	29-08-2014	26-11-2014
ADCP RDI 300 kHz	C. Pérez Norte	-44.24108	-73.75928	26-08-2014	15-11-2014
ADCP RDI 300 kHz	Pta. Garrao	-44.38733	-73.78822	27-08-2014	19-11-2014
ADCP Flowquest 600 kHz	C Baeza	-44.47866	-73.88450	27-08-2014	22-11-2014
ADP Sontek 500 kHz	I. verdugo	-44.13046	-73.67637	26-08-2014	12-11-2014



**Tabla VI**

Posición geográfica de equipos instalados en campaña de verano y otoño en el área Isla Magdalena y ACHS, región de Aysén.

Equipo	Lugar	Latitud	Longitud	Fecha instalación	Fecha retiro
Mareógrafo	C. Jacaf	-44.26067	-73.1208	12-02-2015	02-06-2015
Mareógrafo	Pta. Pearson	-44.67965	-72.79281	23-02-2015	01-06-2015
Mareógrafo	Pto. Gaviota	-44.93055	-73.25955	25-02-2015	29-05-2015
Mareógrafo	C. Pichirupa	-45.21703	-74.22337	27-02-2015	21-05-2015
Mareógrafo	C. Darwin	-45.39327	-74.06455	02-03-2015	24-05-2015
Mareógrafo	C. Utarupa	-45.57013	-74.14833	04-03-2015	25-05-2015
E. Meteorológica	Pta. Pearson	-44.6811	-72.7902	23-02-2015	01-06-2015
E. Meteorológica	Pta. Gaviota	-44.89761	-73.3031	25-02-2015	29-05-2015
E. Meteorológica	C. Pichirupa	-45.21297	-74.22266	27-02-2015	21-05-2015
E. Meteorológica	C. Utarupa	-45.57016	-74.15015	04-03-2015	25-05-2015
ADCP Flowquest 600 kHz	Pta. Pearson	-44.70394	-72.79569	23-02-2015	01-06-2015
ADCP Flowquest 600 kHz	Ite. Marta	-44.85395	-72.9642	25-02-2015	31-05-2015
ADCP Flowquest 300 kHz	C. Pichirupa	-45.21236	-74.18382	28-02-2015	22-05-2015
ADCP RDI 300 kHz	C. Darwin	-45.40685	-74.08039	02-03-2015	12-06-2015
ADCP RDI 300 kHz	C. Utarupa	-45.65268	-74.12807	04-03-2015	26-05-2015
ADCP RDI 300 kHz	C. Errazuriz	-45.59506	-73.81159	05-03-2015	28-05-2015
ADP Sontek 500 kHz	E. Pangal	-44.80926	-73.40613	08-03-2015	30-05-2015



**Tabla VII**

Rangos de parámetros hidrográficos y estadística básica para el crucero Archipiélago las Guaitecas (invierno 2014).

Parámetro	Min	Max	Media
Salinidad (psu)	31.3	32.6	32.2 ± 0.2
Temperatura (°C)	8.9	10.4	9.9 ± 0.2
Oxígeno (mg/L)	5.2	10.4	7.9 ± -0.002
Densidad (sigma-t)	24.2	25.2	24.7 ± 0.12

**Tabla VIII**

Rangos de parámetros hidrográficos y estadística básica para el crucero Archipiélago las Guaitecas (primavera 2014).

Parámetro	Min	Max	Media
Salinidad (psu)	30.8	32.8	30.06 ± 0.3
Temperatura (°C)	10.03	12.01	10.07 ± 0.2
Oxígeno (mg/L)	6.4	11.8	7.8 ± -0.5
Densidad (sigma-t)	23.4	25.15	24.5 ± 0.27

**Tabla IX**

Rangos de parámetros hidrográficos y estadística básica para el crucero Puyuguapi ACHS (verano 2015).

Parámetro	Min	Max	Media
Salinidad (psu)	16.25	34.17	32.54 ± 1.5
Temperatura (°C)	8.9	10.4	9.9 ± 1.4
Oxígeno (mL/L)	1.95	10.98	5.37 ± -1.9
Densidad (sigma-t)	11.2	26.48	24.87 ± 1.4

**Tabla X**

Rangos de parámetros hidrográficos y estadística básica para el crucero Puyuguapi ACHS (otoño 2015).

Parámetro	Min	Max	Media
Salinidad (psu)	9.79	33.9	30.9 ± 2.4
Temperatura (°C)	9.03	11.75	10.9 ± 0.4
Oxígeno (mL/L)	1.95	7.78	4.9 ± -0.96
Densidad (sigma-t)	7.66	26.2	22.8 ± 1.9



**A N E X O S**

---



# **A N E X O I**

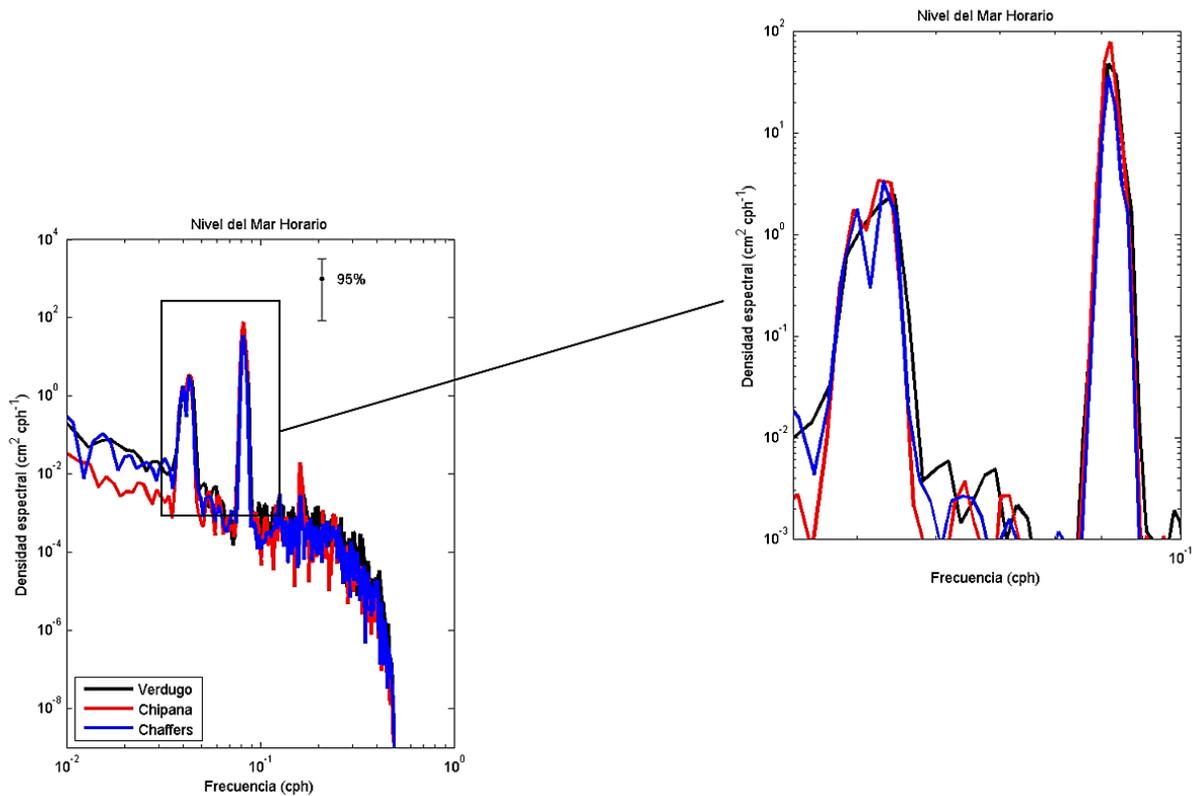
---

Mareas





## Campaña otoño-invierno archipiélago de las Guaitecas



**Figura 1.** Densidad espectral en mareógrafos del archipiélago de las Guaitecas, campaña de otoño-invierno. Isla Verdugo (negro), canal Chipana (rojo), canal Chaffers (azul).



**Tabla I**  
Constituyentes armónicos de la marea en isla Verdugo (-44.13206°, -73.65770°).

Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
*MM	0.0015	0.096	0.041	230.74	26.12	5.5
*MSF	0.0028	0.118	0.039	129.66	18.23	9
ALP1	0.0344	0.013	0.013	140.59	71.45	0.94
2Q1	0.0357	0.011	0.013	83.93	67.54	0.75
*Q1	0.0372	0.036	0.015	204.68	23.87	5.8
*O1	0.0387	0.144	0.014	214.27	7.34	100
NO1	0.0403	0.008	0.012	265.95	108.58	0.4
*P1	0.0416	0.067	0.013	252.97	12.26	28
*K1	0.0418	0.204	0.013	245.9	4.48	240
*J1	0.0433	0.016	0.012	229.42	45.74	1.8
OO1	0.0448	0.014	0.021	2.76	102.84	0.43
UPS1	0.0463	0.009	0.018	233.36	138.46	0.26
EPS2	0.0762	0.009	0.011	106.54	85.3	0.58
*MU2	0.0777	0.043	0.015	117.49	19.31	7.9
*N2	0.0790	0.222	0.014	131.92	3.62	250
*M2	0.0805	0.737	0.017	151.09	1.24	1900
*L2	0.0820	0.039	0.016	140.41	21.9	5.9
*S2	0.0833	0.288	0.014	153.34	3.06	410
*K2	0.0836	0.079	0.02	175.74	14.83	15
*ETA2	0.0851	0.024	0.022	231.94	53.69	1.2
MO3	0.1192	0.005	0.006	17.83	99.68	0.6
M3	0.1208	0.003	0.005	169.65	119.77	0.27
MK3	0.1223	0.005	0.006	351.86	95.23	0.49
*SK3	0.1251	0.007	0.007	62.71	48.73	1.1
MN4	0.1595	0.004	0.008	198.89	143.94	0.22
M4	0.1610	0.004	0.008	337.2	131.82	0.29
SN4	0.1623	0.005	0.007	238.91	112.13	0.47
MS4	0.1638	0.002	0.007	351.95	180.02	0.09
S4	0.1667	0.002	0.007	0.18	189.73	0.08
2MK5	0.2028	0.000	0.004	259.1	249.54	0.01
2SK5	0.2084	0.001	0.004	130.58	257.85	0.01
2MN6	0.2400	0.003	0.005	176.59	87.38	0.46
M6	0.2415	0.004	0.004	118.31	64.79	0.97
2MS6	0.2444	0.003	0.005	191.18	98.92	0.36
2SM6	0.2472	0.001	0.003	35.16	205.83	0.07
3MK7	0.2833	0.002	0.004	144.07	136.63	0.21
M8	0.3220	0.001	0.004	154.82	199.52	0.06
M10	0.4026	0.002	0.004	18.23	122.99	0.35

Predicción del porcentaje de variación = 96.7 % (solo constituyentes significativas)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los asteriscos indican los componentes utilizados en la predicción de la corriente de marea SNR>=1. Estimación de la amplitud y fase de la marea con un intervalo de confianza del 95%.



**Tabla II**  
Constituyentes armónicos de la marea en canal Chaffers (-44.41112°, -74.19222°).

Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
MM	0.0015	0.052	0.075	241.02	108.76	0.49
*MSF	0.0028	0.114	0.098	122.12	47.78	1.3
ALP1	0.0344	0.004	0.012	87.98	178.14	0.1
2Q1	0.0357	0.006	0.012	136.7	167.21	0.22
*Q1	0.0372	0.036	0.017	193.66	28.44	4.5
*O1	0.0387	0.134	0.021	216.39	7.23	41
NO1	0.0403	0.010	0.014	302.83	83.18	0.58
*P1	0.0416	0.064	0.014	252.02	12.99	20
*K1	0.0418	0.192	0.016	244.95	5.57	150
J1	0.0433	0.014	0.017	211.56	78.78	0.73
OO1	0.0448	0.016	0.024	333.63	87.1	0.43
UPS1	0.0463	0.011	0.021	243.19	134.57	0.28
*EPS2	0.0762	0.011	0.009	61.73	47.57	1.4
*MU2	0.0777	0.033	0.011	92.88	16.01	9
*N2	0.0790	0.157	0.009	125.59	3.8	330
*M2	0.0805	0.533	0.011	142.99	1.02	2400
*L2	0.0820	0.026	0.011	162.24	25.01	5.2
*S2	0.0833	0.205	0.011	140.56	2.81	330
*K2	0.0836	0.056	0.015	162.96	13.79	14
ETA2	0.0851	0.012	0.012	189.56	68.54	0.99
*MO3	0.1192	0.003	0.003	60.44	79.06	1
M3	0.1208	0.002	0.003	262.8	107.6	0.51
MK3	0.1223	0.002	0.003	69.47	99.78	0.4
*SK3	0.1251	0.006	0.004	64.81	37.4	2.2
*MN4	0.1595	0.004	0.002	12.52	31.66	4
*M4	0.1610	0.004	0.002	61.46	34.01	5
SN4	0.1623	0.002	0.002	174.6	78.06	0.81
*MS4	0.1638	0.004	0.002	66.31	33.52	2.9
S4	0.1667	0.001	0.002	291.65	95.66	0.39
2MK5	0.2028	0.002	0.002	291.15	76.41	0.84
*2SK5	0.2084	0.004	0.003	176.65	45.59	1.5
2MN6	0.2400	0.002	0.002	202.72	72.36	0.74
M6	0.2415	0.002	0.002	228.03	71.08	0.84
2MS6	0.2444	0.001	0.002	208.26	127.35	0.34
2SM6	0.2472	0.000	0.002	97.9	226.15	0.04
3MK7	0.2833	0.002	0.002	311.04	68.44	0.74
M8	0.3220	0.001	0.002	236.14	141.84	0.36
M10	0.4026	0.001	0.002	202.93	86.02	0.48

Predicción del porcentaje de variación = 93.2 % (solo constituyentes significativas)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los asteriscos indican los componentes utilizados en la predicción de la corriente de marea SNR>=1. Estimación de la amplitud y fase de la marea con un intervalo del confianza del 95%.



**Tabla III**  
Constituyentes armónicos de la marea en canal Chipana (-44.43156°, -73.65364°).

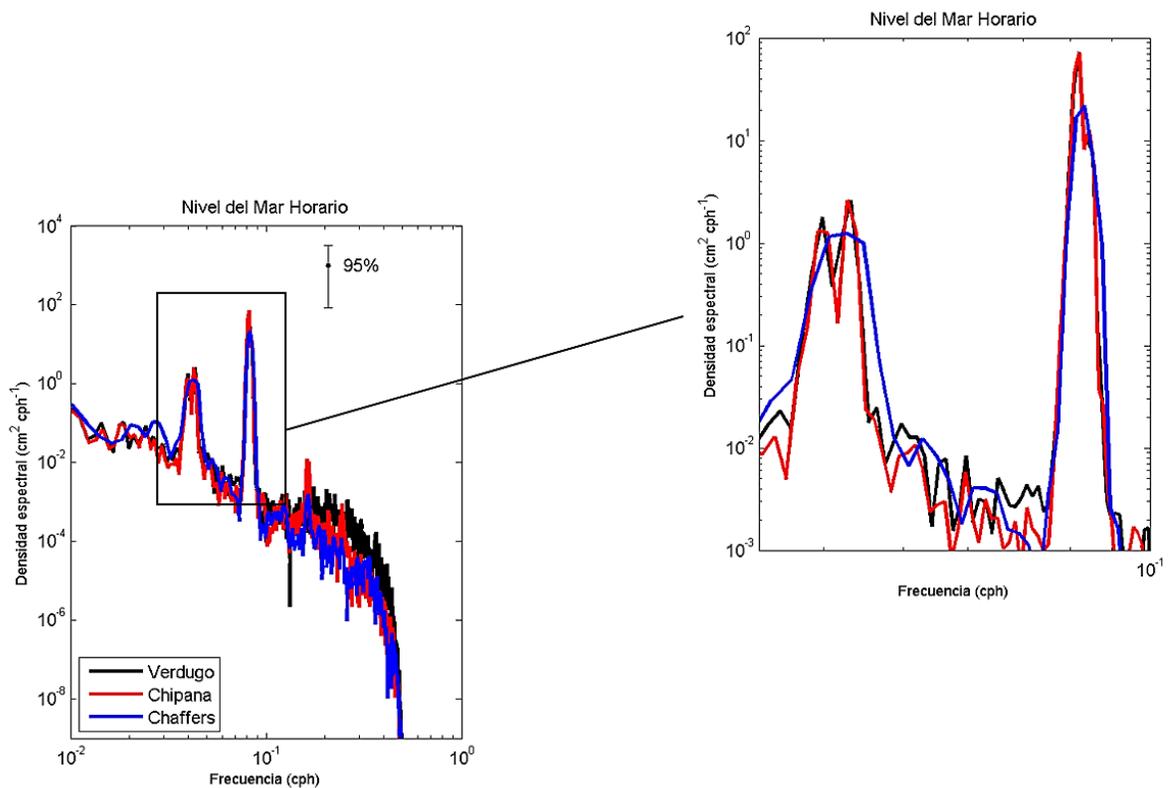
Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
*MM	0.0015	0.037	0.028	198.38	49	1.7
*MSF	0.0028	0.053	0.03	131.94	36.29	3.2
ALP1	0.0344	0.004	0.012	71.94	167.6	0.14
2Q1	0.0357	0.004	0.011	162.04	153.62	0.13
*Q1	0.0372	0.037	0.015	196.34	24.21	6.4
*O1	0.0387	0.135	0.019	218.18	6.61	50
NO1	0.0403	0.012	0.014	308.47	67.05	0.68
*P1	0.0416	0.068	0.013	252.56	10.96	30
*K1	0.0418	0.206	0.016	245.49	4.06	160
J1	0.0433	0.012	0.015	210.35	70.93	0.69
OO1	0.0448	0.013	0.017	328.25	99.87	0.56
UPS1	0.0463	0.003	0.018	208.48	195.08	0.03
*EPS2	0.0762	0.013	0.013	96.49	60.21	1
*MU2	0.0777	0.041	0.015	109.98	19.36	8
*N2	0.0790	0.224	0.014	135.87	3.4	260
*M2	0.0805	0.781	0.013	154.27	1.15	3600
*L2	0.0820	0.041	0.016	167.6	23.31	6.8
*S2	0.0833	0.302	0.014	158.04	2.93	490
*K2	0.0836	0.082	0.018	180.44	14.63	20
ETA2	0.0851	0.016	0.016	215.21	69.06	0.97
*MO3	0.1192	0.004	0.002	40.86	30.6	3.2
M3	0.1208	0.001	0.001	323.4	67.47	0.92
*MK3	0.1223	0.003	0.002	36.69	29.95	3.5
*SK3	0.1251	0.006	0.002	62.69	15.49	15
*MN4	0.1595	0.009	0.003	339.5	21.54	7.5
*M4	0.1610	0.010	0.003	11.16	19.48	11
SN4	0.1623	0.001	0.002	284.46	214.85	0.04
*MS4	0.1638	0.009	0.003	30.07	21.26	8
S4	0.1667	0.001	0.002	70.11	194.2	0.06
2MK5	0.2028	0.002	0.002	262.37	73.92	0.71
*2SK5	0.2084	0.005	0.002	202.82	26.73	5
*2MN6	0.2400	0.003	0.002	221.99	52.72	1.3
M6	0.2415	0.002	0.002	230.26	73.63	0.9
*2MS6	0.2444	0.003	0.002	263.84	55.82	1.3
2SM6	0.2472	0.000	0.002	201.24	236.32	0.01
3MK7	0.2833	0.000	0.001	159.99	180.46	0.07
M8	0.3220	0.001	0.001	335.52	86.5	0.53
*M10	0.4026	0.002	0.001	224.43	49.86	1.7

Predicción del porcentaje de variación = 99.8 % (solo constituyentes significativas)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los asteriscos indican los componentes utilizados en la predicción de la corriente de marea SNR>=1. Estimación de la amplitud y fase de la marea con un intervalo de confianza del 95%.



## Campaña primavera-verano archipiélago de las Guaitecas



**Figura 2.** Densidad espectral en mareógrafos del archipiélago de las Guaitecas, campaña de primavera-verano. Isla Verdugo (negro), canal Chipana (rojo), canal Chaffers (azul).



**Tabla IV**  
Constituyentes armónicos de la marea en isla Verdugo (-44.13214°, -73.65772°).

Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
MM	0.0015	0.043	0.049	60.43	68.81	0.77
MSF	0.0028	0.043	0.045	225.1	69.55	0.91
ALP1	0.0344	0.007	0.008	268.27	72.65	0.82
*2Q1	0.0357	0.008	0.008	320.72	50.19	1
*Q1	0.0372	0.025	0.009	215.65	21.4	7.4
*O1	0.0387	0.090	0.01	68.27	5.31	89
NO1	0.0403	0.002	0.008	223.7	191.1	0.08
*P1	0.0416	0.047	0.011	76.48	14.03	19
*K1	0.0418	0.142	0.01	69.41	3.96	190
J1	0.0433	0.005	0.007	242.76	88.8	0.55
OO1	0.0448	0.005	0.005	91.68	83.05	0.98
UPS1	0.0463	0.001	0.004	229.43	259.6	0.01
EPS2	0.0762	0.002	0.008	68.21	199.07	0.04
*MU2	0.0777	0.031	0.012	221.96	22.9	6.2
*N2	0.0790	0.199	0.013	320.38	3.71	250
*M2	0.0805	0.791	0.012	178.2	0.83	4100
*L2	0.0820	0.031	0.01	38.07	20.11	9.7
*S2	0.0833	0.239	0.012	145.71	3.02	390
*K2	0.0836	0.065	0.01	168.11	7.85	46
ETA2	0.0851	0.005	0.005	293.78	87.43	0.94
MO3	0.1192	0.001	0.002	170.53	91.33	0.51
M3	0.1208	0.002	0.002	9.67	102.1	0.7
*MK3	0.1223	0.002	0.002	243.8	68.27	1.4
*SK3	0.1251	0.003	0.002	262.31	43.31	2
MN4	0.1595	0.002	0.003	159.52	138.54	0.26
*M4	0.1610	0.005	0.004	3.21	49.85	1.5
SN4	0.1623	0.001	0.003	225.7	134.42	0.22
*MS4	0.1638	0.006	0.004	342.21	38.51	1.9
S4	0.1667	0.002	0.003	170.07	111.57	0.43
2MK5	0.2028	0.001	0.003	96.62	130.87	0.24
*2SK5	0.2084	0.005	0.003	40.96	32.8	3.4
*2MN6	0.2400	0.004	0.004	357.75	56.27	1.1
M6	0.2415	0.002	0.003	196.96	114.71	0.4
2MS6	0.2444	0.002	0.003	198.47	84.67	0.48
2SM6	0.2472	0.000	0.002	28.39	224.36	0.04
3MK7	0.2833	0.002	0.003	302.44	127.16	0.33
M8	0.3220	0.000	0.003	118.31	245.46	0.01
M10	0.4026	0.001	0.003	2.46	162.05	0.2

Predicción del porcentaje de variación = 97.3 % (solo constituyentes significativas)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los asteriscos indican los componentes utilizados en la predicción de la corriente de marea SNR>=1. Estimación de la amplitud y fase de la marea con un intervalo de confianza del 95%.



**Tabla V**  
Constituyentes armónicos de la marea en canal Chaffers (-44.41173°, -74.19193°).

Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
*MM	0.0015	0.050	0.04	82.47	48.11	1.5
*MSF	0.0028	0.044	0.04	254.21	50.55	1.2
ALP1	0.0344	0.006	0.008	284.09	102.01	0.43
2Q1	0.0357	0.008	0.009	323.66	68.87	0.7
*Q1	0.0372	0.024	0.011	213.33	20.69	4.9
*O1	0.0387	0.083	0.01	66.98	6.99	66
NO1	0.0403	0.006	0.011	240.53	111.55	0.33
*P1	0.0416	0.048	0.013	82.11	16.27	13
*K1	0.0418	0.145	0.01	75.04	4.63	190
J1	0.0433	0.005	0.008	241.12	115.78	0.4
OO1	0.0448	0.003	0.005	72.6	116.99	0.39
UPS1	0.0463	0.001	0.005	267.86	200.97	0.07
*EPS2	0.0762	0.009	0.007	302.46	45.8	1.6
*MU2	0.0777	0.036	0.008	197.89	14.41	23
*N2	0.0790	0.166	0.008	313.34	3.29	390
*M2	0.0805	0.576	0.008	171.04	0.83	5100
*L2	0.0820	0.020	0.007	32.25	19.72	8.3
*S2	0.0833	0.175	0.008	130.5	2.78	440
*K2	0.0836	0.048	0.006	152.9	7.3	61
ETA2	0.0851	0.003	0.005	246.9	81.34	0.57
MO3	0.1192	0.001	0.002	219.91	116.6	0.48
*M3	0.1208	0.003	0.002	329.33	57.35	1.6
*MK3	0.1223	0.002	0.002	261.83	60.27	1.3
*SK3	0.1251	0.003	0.002	278.71	46.16	1.5
*MN4	0.1595	0.003	0.003	212.33	46.5	1.2
*M4	0.1610	0.005	0.002	125.94	28.29	4.3
SN4	0.1623	0.002	0.002	217.98	83.92	0.71
*MS4	0.1638	0.005	0.002	60.58	28.65	5.3
S4	0.1667	0.002	0.002	90.53	73.85	0.66
2MK5	0.2028	0.001	0.001	193.47	165.89	0.21
2SK5	0.2084	0.001	0.001	351.22	66.99	0.96
2MN6	0.2400	0.001	0.002	144.01	134.37	0.3
*M6	0.2415	0.002	0.002	227.67	63.87	1.1
2MS6	0.2444	0.001	0.002	261.24	114.39	0.45
2SM6	0.2472	0.000	0.001	173.88	234.38	0.01
3MK7	0.2833	0.001	0.001	148.63	88.67	0.5
M8	0.3220	0.001	0.002	21.4	130.37	0.2
M10	0.4026	0.001	0.002	323.27	185.57	0.1

Predicción del porcentaje de variación = 97.0 % (solo constituyentes significativas)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los asteriscos indican los componentes utilizados en la predicción de la corriente de marea SNR>=1. Estimación de la amplitud y fase de la marea con un intervalo del confianza del 95%.



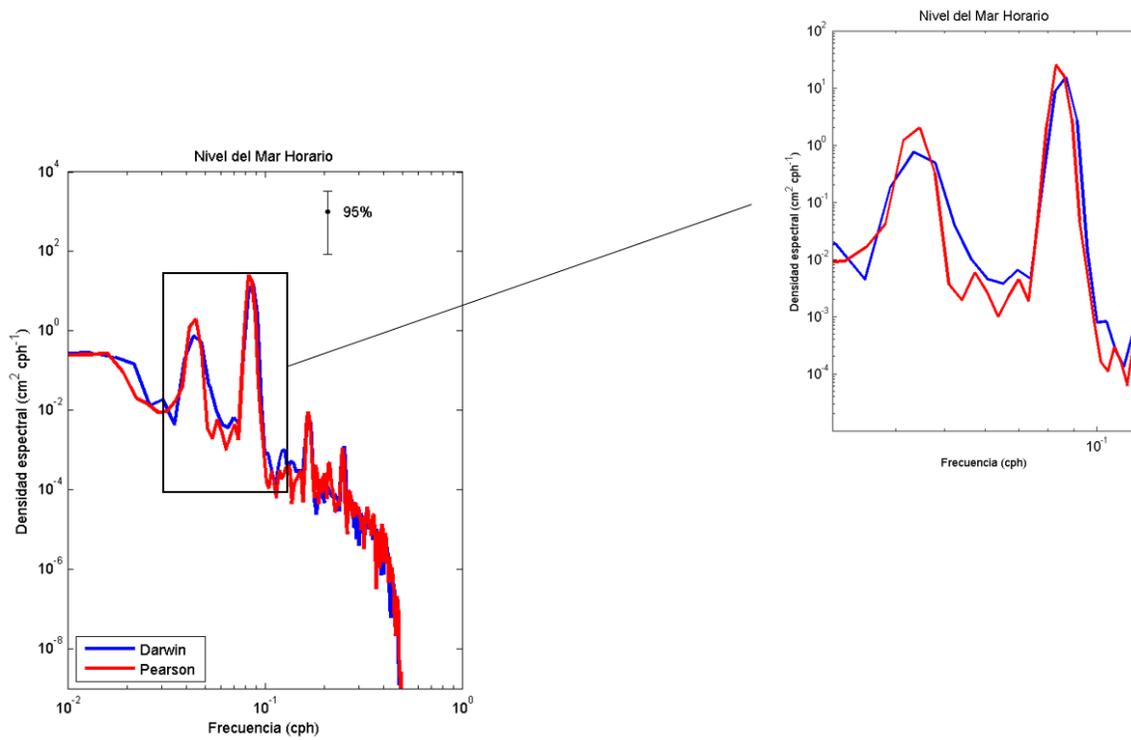
**Tabla VI**  
Constituyentes arm3nicos de la marea en canal Chipana (-44.43505°, -73.6530°).

Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
MM	0.0015	0.048	0.049	236.86	58.11	0.96
MSF	0.0028	0.040	0.044	244.12	72.19	0.81
ALP1	0.0344	0.005	0.009	206.44	131.39	0.3
*2Q1	0.0357	0.011	0.01	121	64.56	1.3
*Q1	0.0372	0.034	0.013	189.37	22.06	6.7
*O1	0.0387	0.132	0.014	216.33	6.13	93
NO1	0.0403	0.004	0.009	231.29	152.85	0.17
*P1	0.0416	0.063	0.012	265.25	9.26	28
*K1	0.0418	0.190	0.012	258.18	3.98	250
J1	0.0433	0.010	0.011	247.96	65.79	0.78
OO1	0.0448	0.012	0.017	311.53	90.62	0.53
UPS1	0.0463	0.002	0.012	323.38	250.08	0.029
EPS2	0.0762	0.002	0.006	105.91	189.91	0.12
*MU2	0.0777	0.035	0.012	163.53	16.98	9.1
*N2	0.0790	0.190	0.01	124.72	2.89	350
*M2	0.0805	0.768	0.012	154.67	0.91	4300
*L2	0.0820	0.035	0.013	178.47	17.87	7.5
*S2	0.0833	0.279	0.012	149.56	2.2	590
*K2	0.0836	0.076	0.016	171.96	11.55	24
ETA2	0.0851	0.010	0.014	130.33	99.67	0.46
*MO3	0.1192	0.003	0.002	4.65	48.24	1.60
M3	0.1208	0.001	0.001	346.45	152.77	0.19
*MK3	0.1223	0.002	0.002	45.19	60.09	1
*SK3	0.1251	0.003	0.002	85.14	31.67	2.2
*MN4	0.1595	0.005	0.002	327.8	36.3	4.1
*M4	0.1610	0.010	0.002	16.96	15.54	17
*SN4	0.1623	0.005	0.003	1.29	29.85	3.2
*MS4	0.1638	0.011	0.003	11.38	13.53	18
S4	0.1667	0.002	0.002	269.2	105.34	0.49
2MK5	0.2028	0.001	0.001	191.71	97.19	0.69
*2SK5	0.2084	0.004	0.002	238.61	27.97	4.5
*2MN6	0.2400	0.002	0.002	222.38	46.01	1.7
*M6	0.2415	0.003	0.002	289.86	30.45	2.8
*2MS6	0.2444	0.005	0.002	269.72	19.55	10
*2SM6	0.2472	0.002	0.002	220.69	48.08	1.7
3MK7	0.2833	0.000	0.001	177.08	154.23	0.11
M8	0.3220	0.001	0.001	24.35	81.12	0.97
M10	0.4026	0.001	0.001	33.32	123.54	0.35

Predicci3n del porcentaje de variaci3n = 97.5 % (solo constituyentes significativas)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los asteriscos indican los componentes utilizados en la predicci3n de la corriente de marea SNR>=1. Estimaci3n de la amplitud y fase de la marea con un intervalo del confianza del 95%.

## Campaña verano isla Magdalena y ACHS



**Figura 3.** Densidad espectral de la marea en canal Darwin (azul) y en la zona de punta Pearson (rojo), dentro del canal Puyuguapi, campa#na de verano.



**Tabla VII**  
Constituyentes armónicos de la marea en canal Darwin (-45.39327°, -74.06455°).

Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
*MSF	0,0028	0,089	0,019	318,44	12,58	22
*O1	0,0387	0,130	0,024	15,95	10,68	30
*P1	0,0416	0,060	0,02	75,95	18	9,4
*K1	0,0418	0,182	0,024	68,88	7,13	55
*M2	0,0805	0,582	0,071	129,98	7,33	67
*S2	0,0833	0,256	0,067	146,22	16,93	15
K2	0,0836	0,070	0,087	168,62	82,57	0,65
M3	0,1208	0,001	0,003	208,21	175,97	0,18
SK3	0,1251	0,005	0,005	206,3	76,52	0,86
*M4	0,1610	0,010	0,006	58,75	36,64	2,9
*MS4	0,1638	0,012	0,007	66,3	34,94	2,8
S4	0,1667	0,006	0,006	136,56	78,21	0,84
2MK5	0,2028	0,002	0,003	201,22	84,9	0,45
2SK5	0,2084	0,001	0,003	144,62	146,94	0,18
*M6	0,2415	0,004	0,003	230,85	42,34	2,5
*2MS6	0,2444	0,008	0,003	252,03	20,3	6,1
*2SM6	0,2472	0,005	0,003	274,67	38,81	2,5
3MK7	0,2833	0,001	0,002	94,87	95,62	0,43
M8	0,3220	0,001	0,002	33,19	118,96	0,23
M10	0,4026	0,002	0,002	230,58	70,5	0,99

Predicción del porcentaje de variación = 88.0 % (solo constituyentes significantes)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los asteriscos indican los componentes utilizados en la predicción de la corriente de marea  $SNR >= 1$ . Estimación de la amplitud y fase de la marea con un intervalo de confianza del 95%



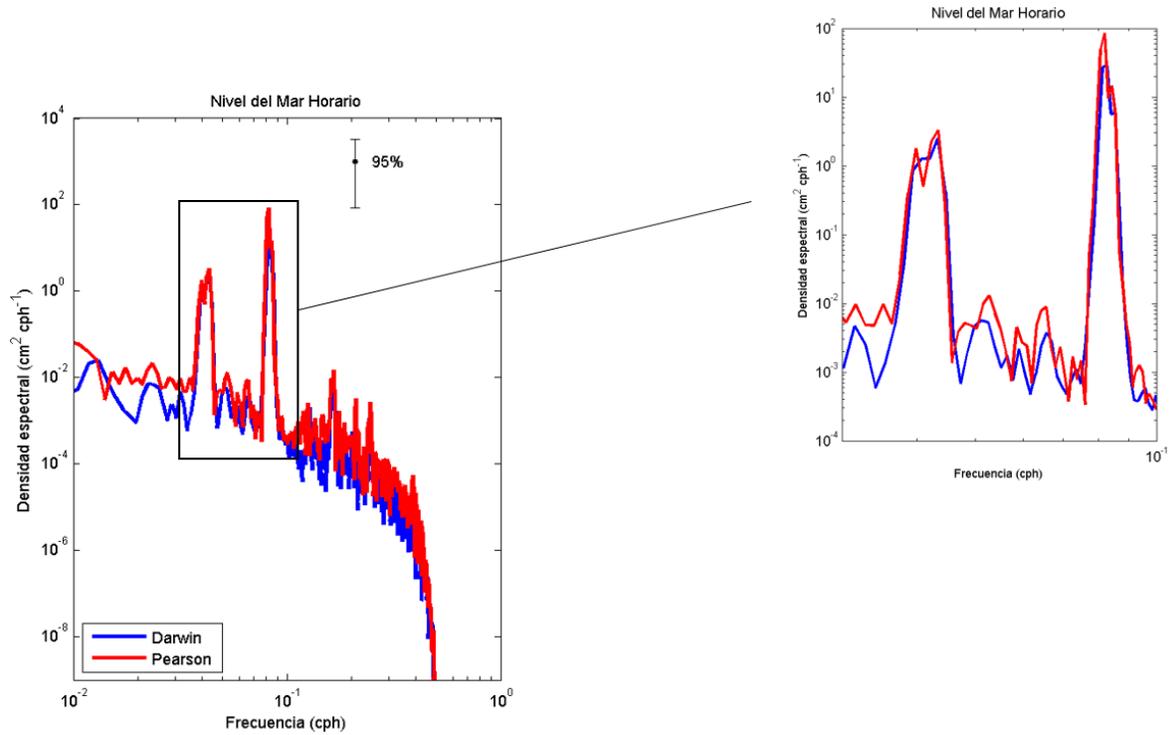
**Tabla VIII**  
Constituyentes armónicos de la marea en punta Pearson, canal Puyuguapi (-44.67965°, -72.79281°).

Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
*MSF	0,0028	0,048	0,039	317,56	52,34	1,5
*O1	0,0387	0,132	0,025	28,23	11,11	28
*P1	0,0416	0,077	0,02	75,1	15,06	14
*K1	0,0418	0,231	0,027	68,03	5,91	75
*M2	0,0805	0,809	0,146	146,9	11,13	31
*S2	0,0833	0,343	0,142	156,6	28,25	5,8
K2	0,0836	0,093	0,143	179	115,91	0,42
M3	0,1208	0,001	0,002	203,8	158,85	0,17
SK3	0,1251	0,003	0,003	76,95	81,71	0,76
*M4	0,1610	0,015	0,008	56,2	30,5	3,6
*MS4	0,1638	0,019	0,009	70,24	26,44	4,5
*S4	0,1667	0,008	0,007	94,17	61,14	1,1
2MK5	0,2028	0,001	0,003	36,76	153,07	0,13
*2SK5	0,2084	0,006	0,004	252,21	42,3	2
*M6	0,2415	0,004	0,003	288,92	45,69	2,4
*2MS6	0,2444	0,009	0,003	317,18	20,65	7,5
*2SM6	0,2472	0,006	0,003	341,47	36,88	2,7
3MK7	0,2833	0,002	0,002	49,18	67,67	0,81
M8	0,3220	0,001	0,002	220,34	120,23	0,31
M10	0,4026	0,001	0,002	345,17	127,14	0,44

Predicción del porcentaje de variación = 88.5 % (solo constituyentes significantes)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los asteriscos indican los componentes utilizados en la predicción de la corriente de marea SNR>=1. Estimación de la amplitud y fase de la marea con un intervalo del confianza del 95%

## Campaña otoño isla Magdalena y ACHS



**Figura 4.** Densidad espectral de la marea en canal Darwin (azul) y en la zona de punta Pearson (rojo), dentro del canal Puyuguapi, campaña de invierno.



**Tabla IX**  
Constituyentes armónicos de la marea en canal Darwin (-45.39327°, -74.06455°).

Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
MM	0,002	0,073	0,074	71,39	61,24	0,97
MSF	0,003	0,014	0,051	124,68	188,6	0,07
ALP1	0,034	0,004	0,009	248,79	162,81	0,15
2Q1	0,036	0,002	0,009	227,11	201,63	0,04
*Q1	0,037	0,024	0,012	341,23	26,5	3,7
*O1	0,039	0,136	0,011	24,5	6,05	160
*NO1	0,040	0,016	0,009	51,46	33,81	3,1
*P1	0,042	0,057	0,011	68,88	9,53	26
*K1	0,042	0,174	0,012	61,81	3,32	210
J1	0,043	0,008	0,009	89,98	72,92	0,81
OO1	0,045	0,002	0,011	220,07	215,77	0,03
UPS1	0,046	0,004	0,012	79,81	178,47	0,1
EPS2	0,076	0,005	0,008	3,32	113,66	0,37
*MU2	0,078	0,031	0,011	97,02	20,89	7,1
*N2	0,079	0,166	0,01	102,3	3,49	260
*M2	0,081	0,593	0,01	138,49	1,22	3700
*L2	0,082	0,029	0,013	194,49	26,56	4,9
*S2	0,083	0,214	0,011	142,19	3,04	410
*K2	0,084	0,058	0,014	164,59	15,63	18
ETA2	0,085	0,005	0,013	176,14	171,08	0,13
*MO3	0,119	0,002	0,001	170,69	37,56	2,6
*M3	0,121	0,001	0,001	140,78	48,38	1,4
*MK3	0,122	0,002	0,001	219,5	33,43	3,2
*SK3	0,125	0,005	0,001	182,58	13,76	15
*MN4	0,160	0,006	0,002	3,55	17,43	6,6
*M4	0,161	0,010	0,002	61,41	12,28	20
SN4	0,162	0,002	0,002	179,44	78,74	0,71
*MS4	0,164	0,007	0,002	64,97	19,07	9,7
S4	0,167	0,002	0,002	185,06	82,36	0,71
2MK5	0,203	0,002	0,002	113,65	83,55	0,73
2SK5	0,208	0,002	0,002	333,06	87,33	0,73
*2MN6	0,240	0,006	0,001	204,15	17,8	15
*M6	0,242	0,007	0,001	236,91	13,42	21
*2MS6	0,244	0,007	0,002	251,3	15,57	14
*2SM6	0,247	0,003	0,002	242,12	39,04	1,6
3MK7	0,283	0,001	0,001	3,29	125,65	0,39
*M8	0,322	0,001	0,001	121,17	54,83	1,4
M10	0,403	0,001	0,001	312,03	96,74	0,64

Predicción del porcentaje de variación = 97.01% (solo constituyentes significantes)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los



**Tabla X**

Constituyentes armónicos de la marea en punta Pearson, canal Puyuguapi (-44.67965°, -72.79281°).

Constituyentes de marea	Freq. (cph)	Amp. (m)	Error (m)	Fase (°)	Error (°)	SNR
MM	0,0015	0,040	0,076	86,4	121,92	0,28
MSF	0,0028	0,036	0,074	312,44	120,21	0,23
ALP1	0,0344	0,006	0,011	313,56	112,97	0,34
2Q1	0,0357	0,006	0,011	100,43	131,46	0,29
*Q1	0,0372	0,026	0,012	346,02	28,68	4,4
*O1	0,0387	0,134	0,012	27,78	6,45	120
*NO1	0,0403	0,012	0,011	37,12	44,12	1,2
*P1	0,0416	0,063	0,01	74,7	9,89	40
*K1	0,0418	0,190	0,012	67,63	3,98	230
J1	0,0433	0,003	0,009	126,94	205,13	0,08
OO1	0,0448	0,007	0,014	190,74	118,06	0,22
UPS1	0,0463	0,001	0,014	307,4	230,46	0,01
EPS2	0,0762	0,005	0,009	100,78	137,45	0,24
*MU2	0,0777	0,031	0,012	150,12	27,37	6,4
*N2	0,0790	0,214	0,012	112,75	3,61	330
*M2	0,0805	0,836	0,014	146,45	0,85	3400
*L2	0,0820	0,055	0,015	166,58	17,66	14
*S2	0,0833	0,293	0,013	161,82	2,82	510
*K2	0,0836	0,080	0,02	184,22	11,95	15
ETA2	0,0851	0,011	0,017	335,37	94,08	0,41
*MO3	0,1192	0,003	0,002	108,96	47,77	1,5
M3	0,1208	0,002	0,002	93,94	69,17	0,8
*MK3	0,1223	0,002	0,002	219,26	50,36	1,5
*SK3	0,1251	0,003	0,002	192,2	34,86	2,9
*MN4	0,1595	0,008	0,004	9,23	29,19	4,1
*M4	0,1610	0,013	0,004	58,07	15,61	8,8
*SN4	0,1623	0,006	0,004	95,36	36	1,8
*MS4	0,1638	0,013	0,004	66,85	15,98	12
*S4	0,1667	0,004	0,004	181,06	52,31	1,1
2MK5	0,2028	0,001	0,001	299,85	127,38	0,37
*2SK5	0,2084	0,008	0,002	261,22	17,46	12
*2MN6	0,2400	0,003	0,002	288,85	49,27	1,5
*M6	0,2415	0,005	0,002	311,87	31,91	3,4
*2MS6	0,2444	0,007	0,003	315,59	18,81	7,7
2SM6	0,2472	0,002	0,003	312,42	110,23	0,36
3MK7	0,2833	0,001	0,002	230,03	76,79	0,55
M8	0,3220	0,000	0,001	335,06	213,94	0,1
M10	0,4026	0,001	0,001	275,43	104,09	0,44

Predicción del porcentaje de variación = 96.2 % (solo constituyentes significantes)

Constituyentes, frecuencia, amplitud, fase de marea (grados relativos a Greenwich) y SNR (signal to noise ratio). Los

# **A N E X O II**

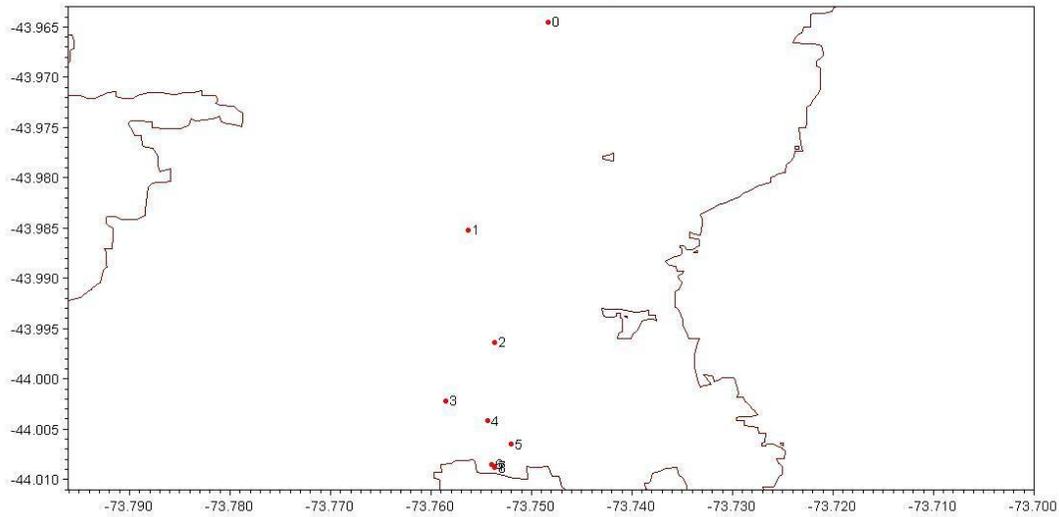
---

Correntometría Lagrangiana

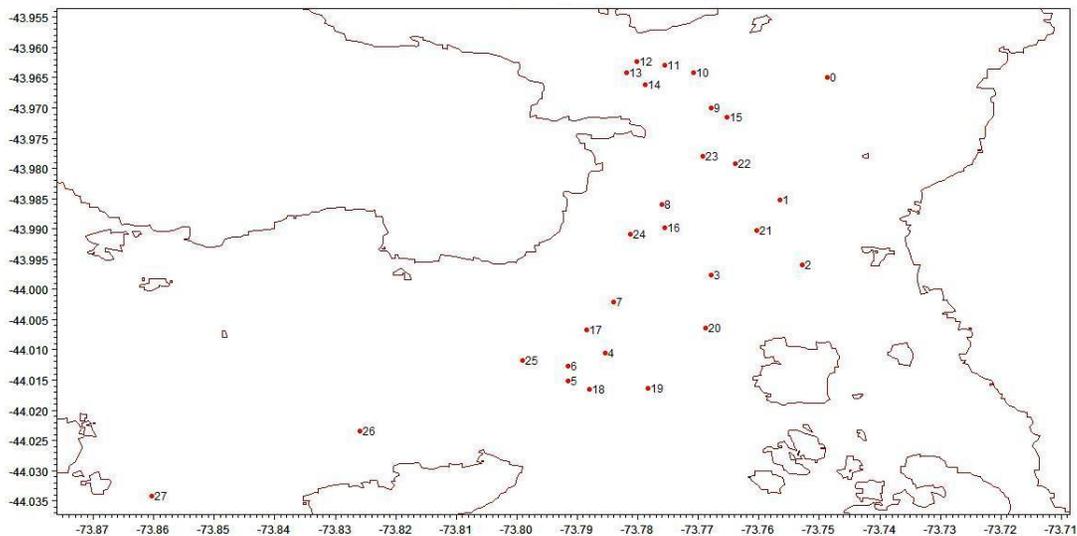




## Campa1a oto1o-invierno archipi3lago de las Guaitecas



**Figura 1.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de isla Betecoi a 4 metros en archipi3lago de Guaitecas, julio 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



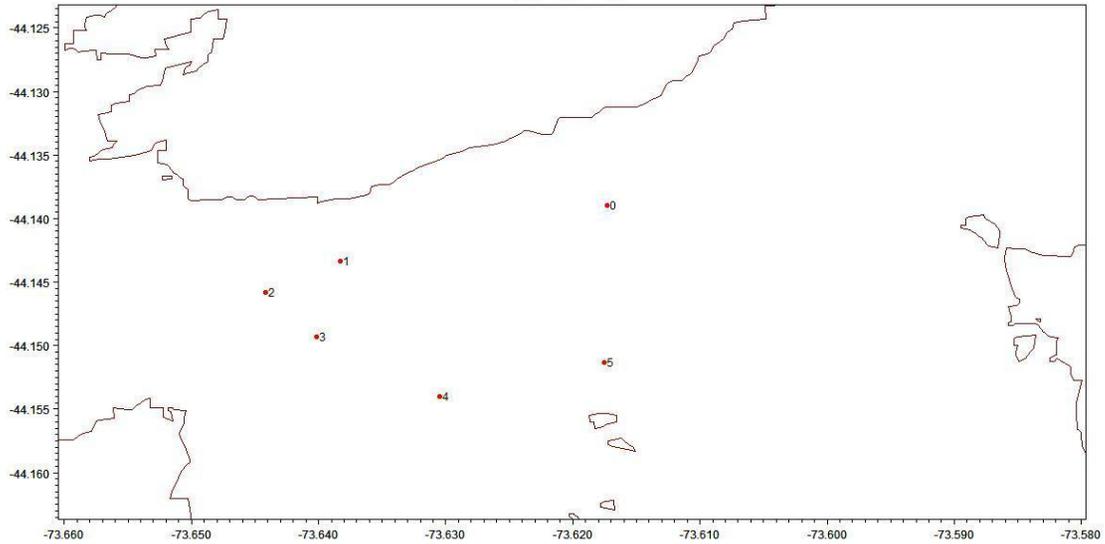
**Figura 2.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de isla Betecoi a 8 metros en archipi3lago de Guaitecas, julio 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



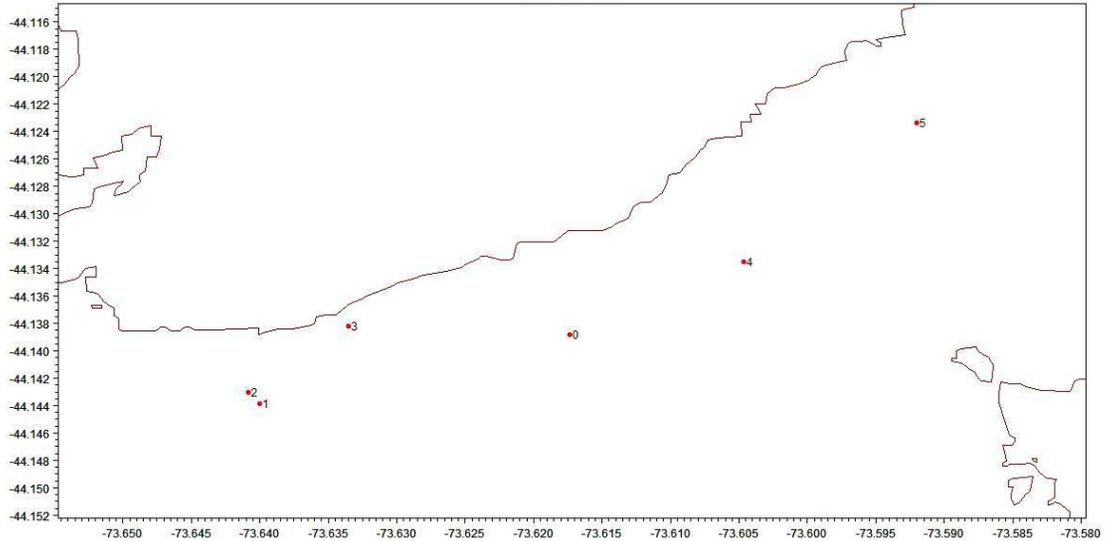
**Tabla I**

Descripci3n derivador observado a 4 y 8 m en isla Betecoi, archipi3lago Guaitecas, campaa julio 2014.

	<b>DERIVADOR OBSERVADO 4m</b>	<b>DERIVADOR OBSERVADO 8m</b>
<b>DISTANCIA RECORRIDA (Km)</b>	5.44	37.31
<b>DISTANCIA NETA (Km)</b>	4.95	11.79
<b>TIEMPO (horas)</b>	8.00	27.50
<b>VELOCIDAD MEDIA(cm/s)</b>	18.90	4.33



**Figura 3.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de isla Verdugo a 4 metros en archipi3lago de Guaitecas, julio 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

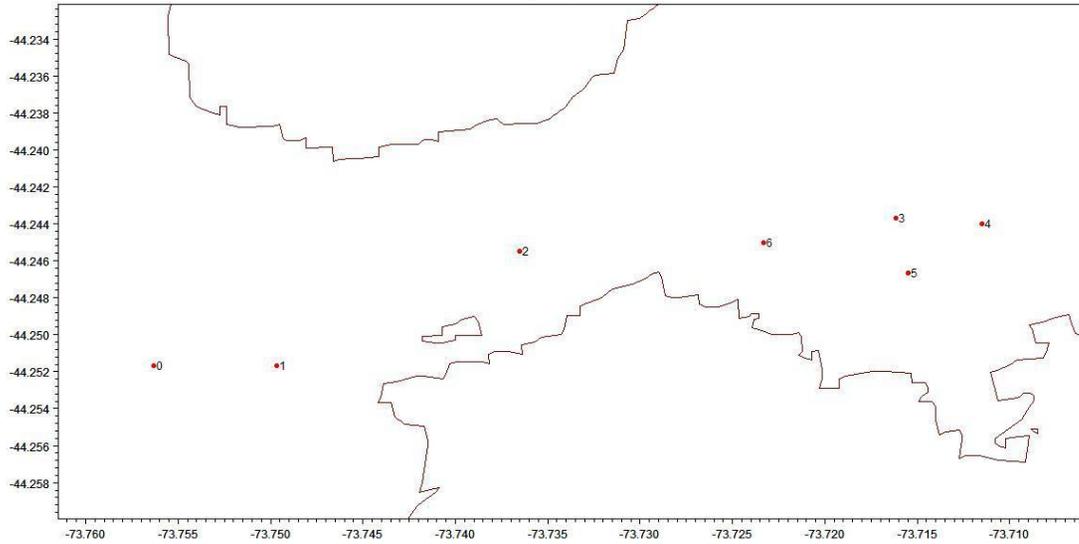


**Figura 4.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de isla Verdugo a 4 metros en archipi3lago de Guaitecas, julio 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

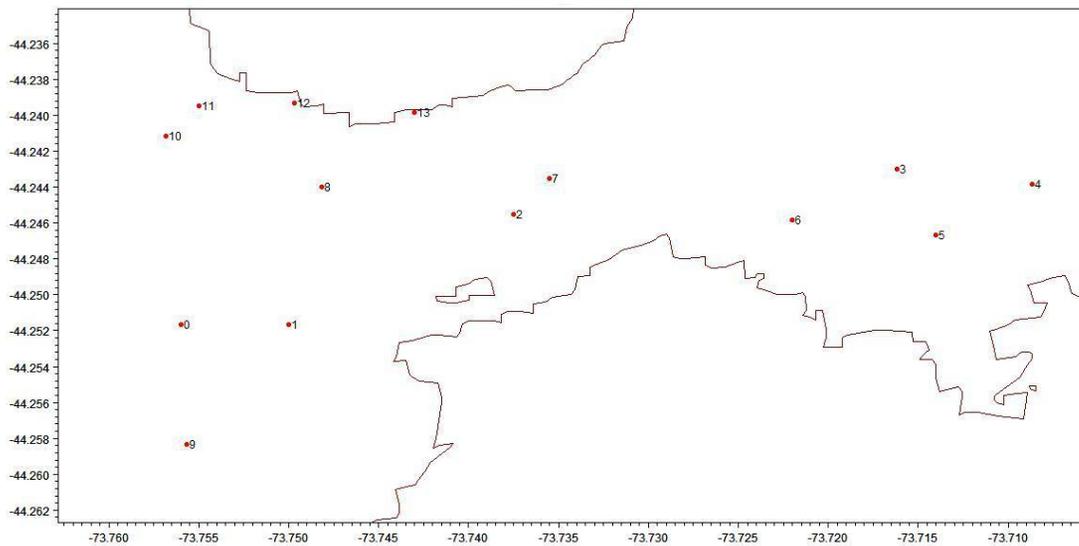


**Tabla II**  
Descripción derivador observado a 4 y 8 m en isla Verdugo, archipiélago Guaitecas, campaña julio 2014.

	DERIVADOR OBSERVADO 4m	DERIVADOR OBSERVADO 8m
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	4.88	12.11
DISTANCIA NETA (Km)	2.73	1.68
TIEMPO (horas)	5.50	4.50
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	24.65	74.75



**Figura 5.** Trayectoria del derivador liberado en canal Pérez Norte a 4 metros en archipiélago de Guaitecas, julio 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



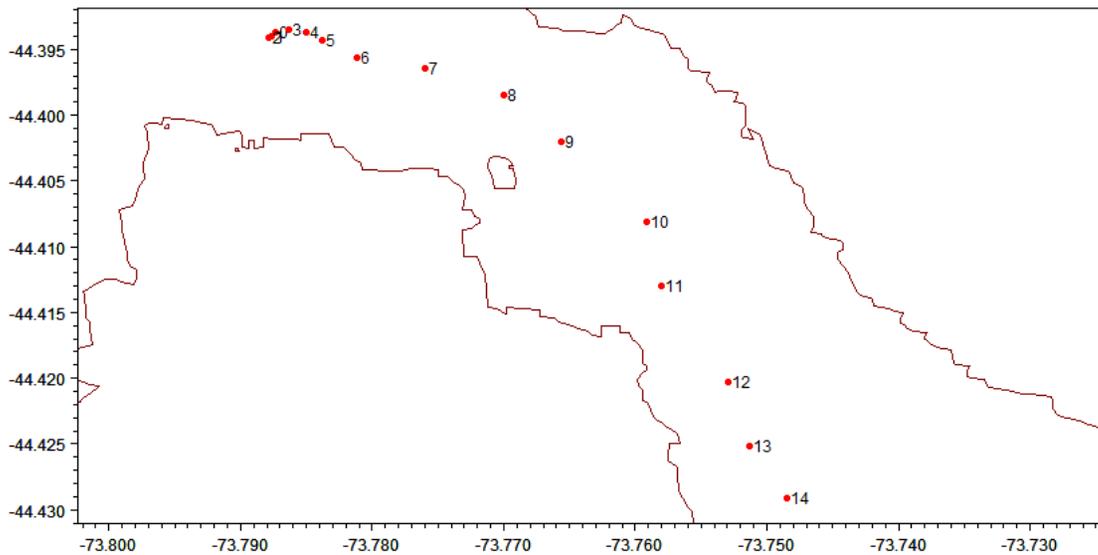
**Figura 6.** Trayectoria del derivador liberado en canal Pérez Norte a 8 metros en archipiélago de Guaitecas, julio 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



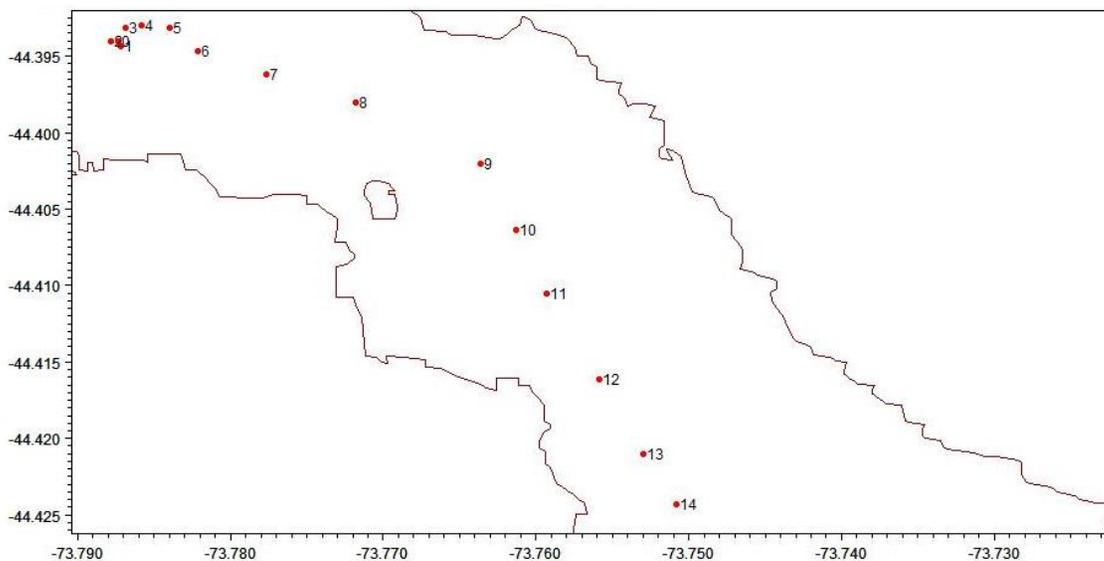
**Tabla III**

Descripción derivador observado a 4 y 8 m en canal Pérez Norte, campaña Guaitecas, julio 2014.

	DERIVADOR OBSERVADO 4m	DERIVADOR OBSERVADO 8m
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	4.88	12.11
DISTANCIA NETA (Km)	2.73	1.68
TIEMPO (horas)	6.50	13.00
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	20.85	25.87



**Figura 7.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de Pta. Garrao a 4 metros en archipiélago de Guaitecas, julio 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

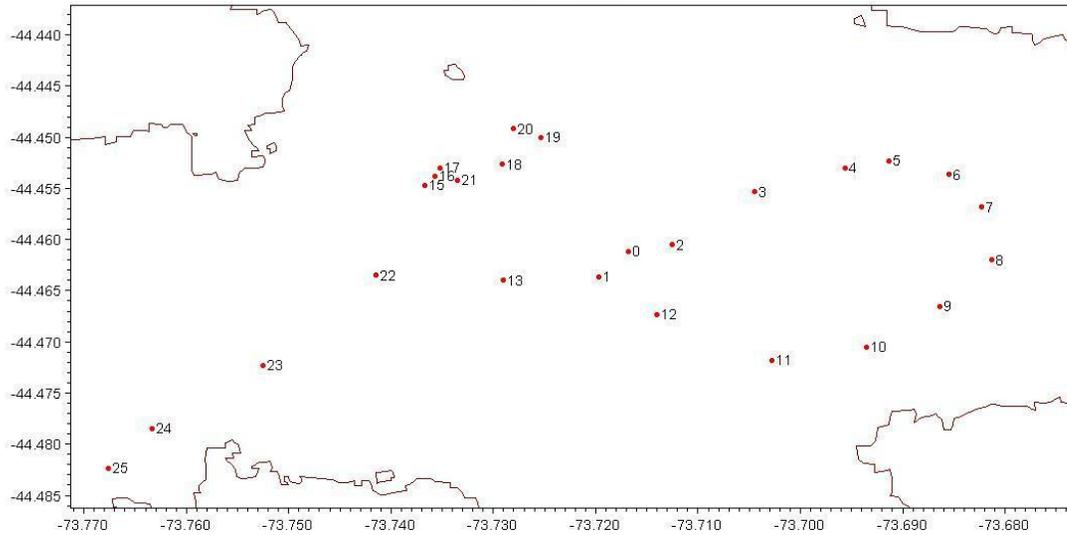


**Figura 8.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de Pta. Garrao a 8 metros en archipiélago de Guaitecas, julio 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

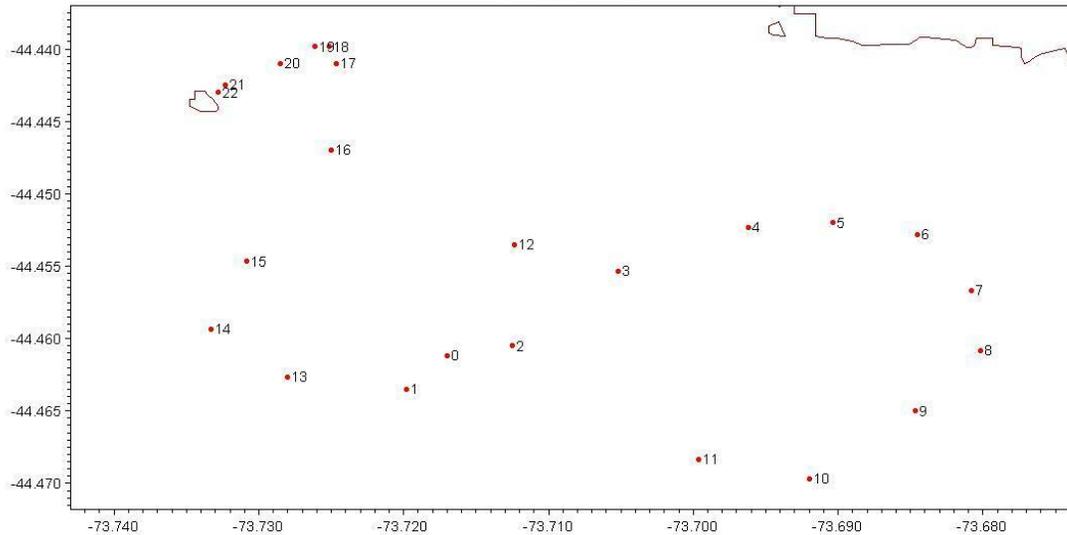


**Tabla IV**  
Descripción derivador observado a 4 y 8 m en Pta. Garrao, campaña Guaitecas, julio 2014.

	DERIVADOR OBSERVADO 4m	DERIVADOR OBSERVADO 8m
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	5.52	5.05
DISTANCIA NETA (Km)	5.01	4.45
TIEMPO (horas)	14.50	14.50
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	10.57	9.67



**Figura 9.** Trayectoria del derivador liberado en canal Baeza a 4 metros en archipiélago de Guaitecas, julio 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



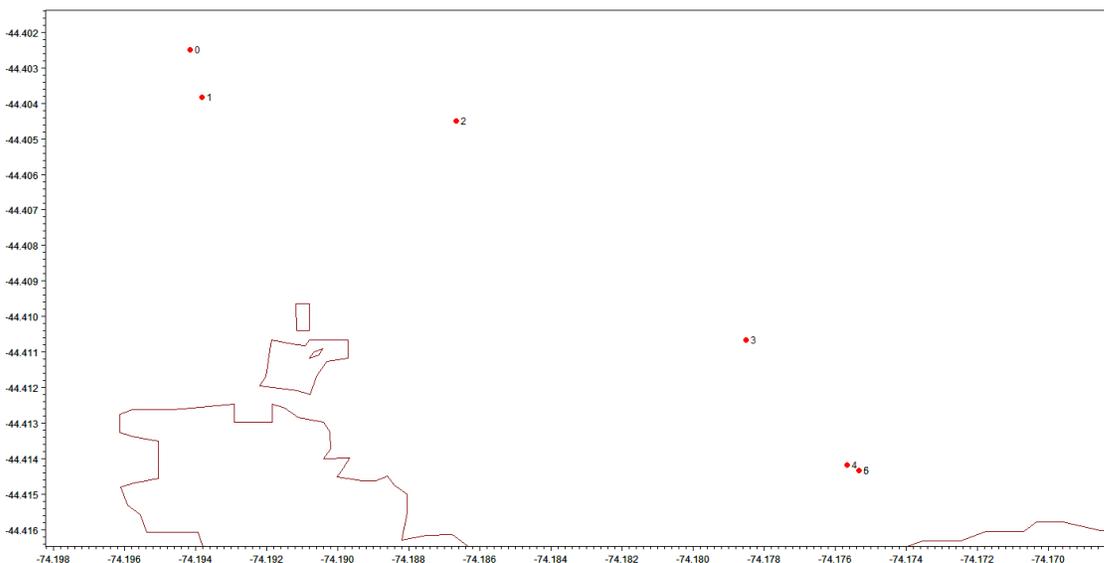
**Figura 10.** Trayectoria del derivador liberado en canal Baeza a 8 metros en archipiélago de Guaitecas, julio 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



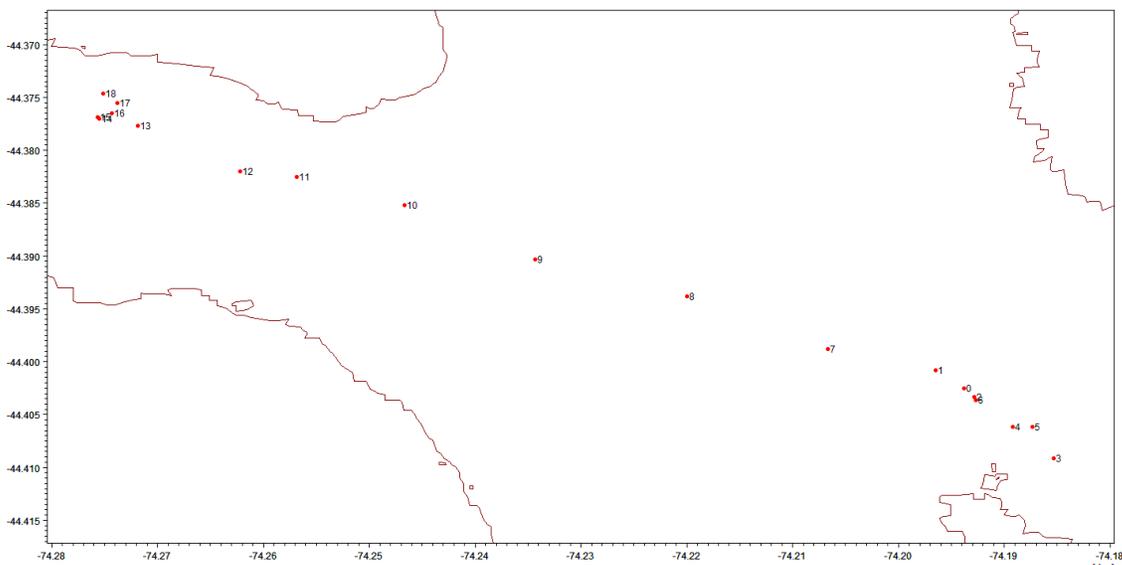
**Tabla V**

Descripción derivador observado a 4 y 8 m en canal Baeza, campaña Guaitecas, julio 2014.

	DERIVADOR OBSERVADO 4m	DERIVADOR OBSERVADO 8m
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	16.31	13.68
DISTANCIA NETA (Km)	4.67	2.38
TIEMPO (horas)	25.00	22.00
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	18.12	17.27



**Figura 11.** Trayectoria del derivador liberado en canal Simpson a 4 metros en archipiélago de Guaitecas, agosto 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

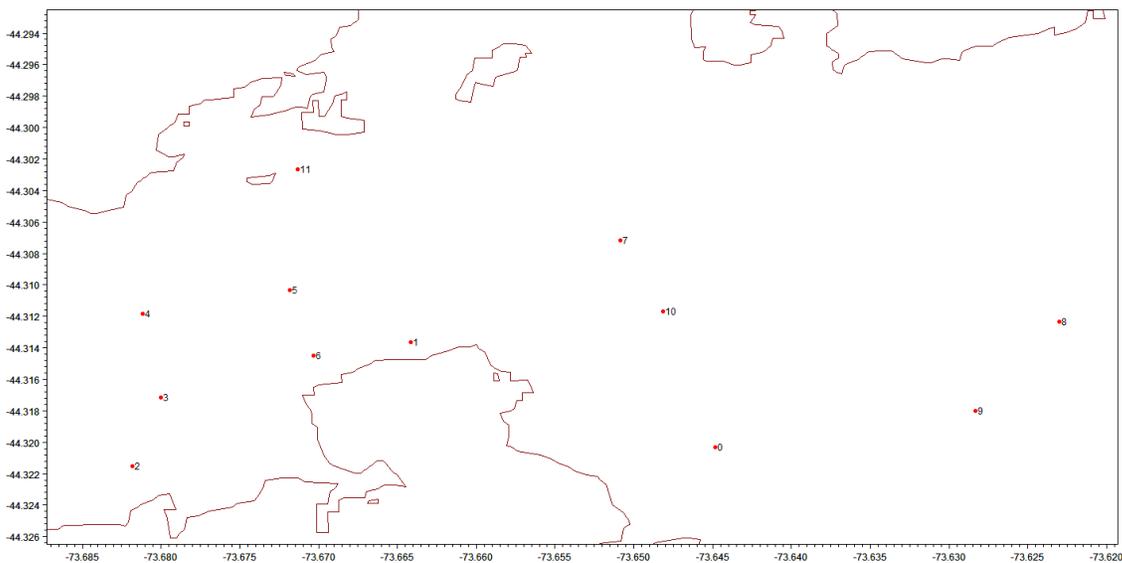


**Figura 12.** Trayectoria del derivador liberado en canal Simpson a 8 metros en archipiélago de Guaitecas, agosto 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

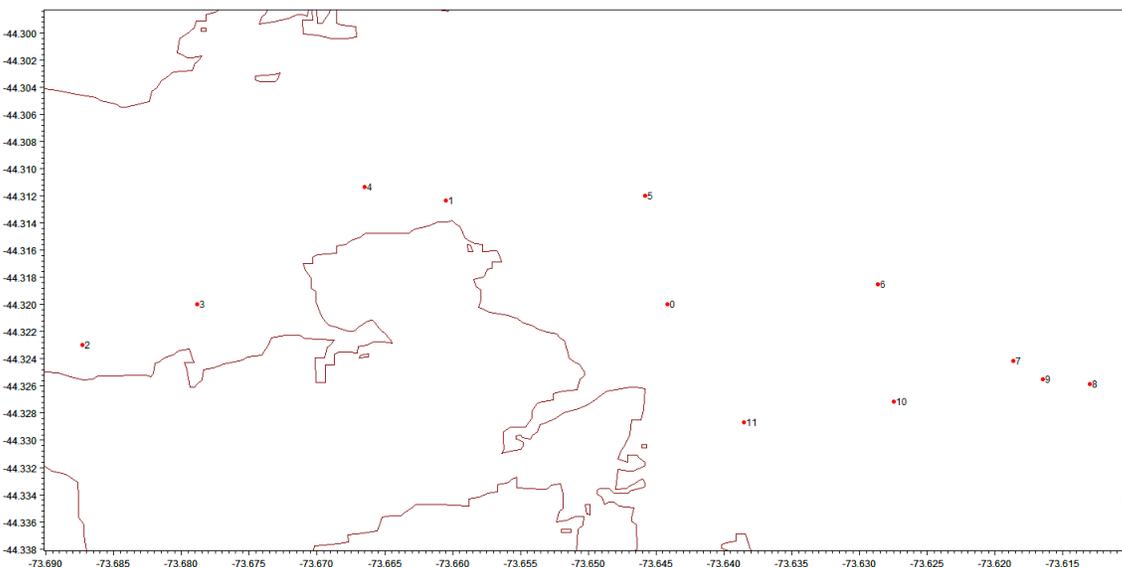


**Tabla VI**  
Descripci3n derivador observado a 4 y 8 m en canal Simpson, campa1a Guaitecas, agosto 2014.

	DERIVADOR OBSERVADO 4m	DERIVADOR OBSERVADO 8m
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	2.15	12.44
DISTANCIA NETA (Km)	1.99	7.17
TIEMPO (horas)	6	18
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	9.95	19.19



**Figura 13.** Trayectoria del derivador liberado en canal Piure a 4 metros en archipiélago de Guaitecas, agosto 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



**Figura 14.** Trayectoria del derivador liberado en canal Piure a 8 metros en archipiélago de Guaitecas, agosto 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

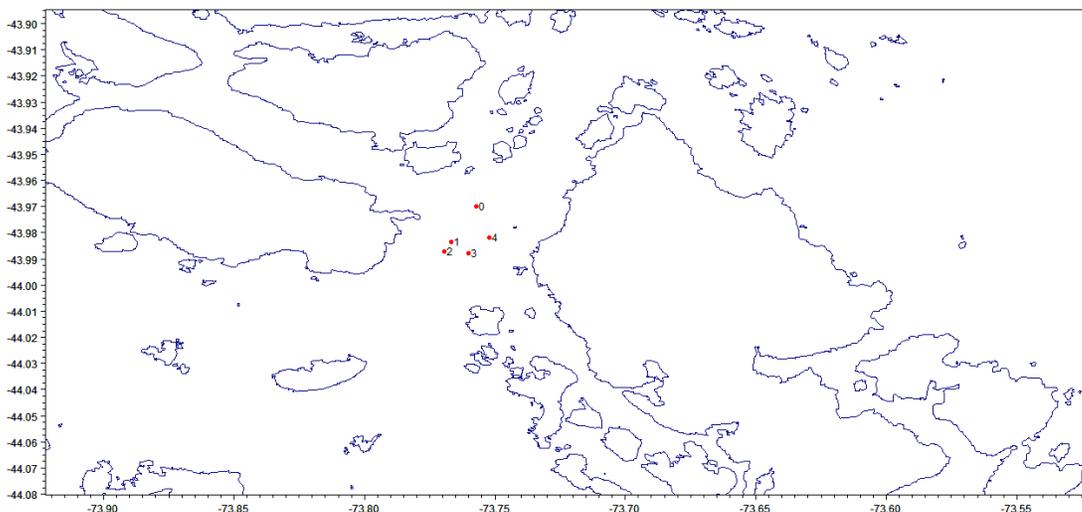


**Tabla VII**

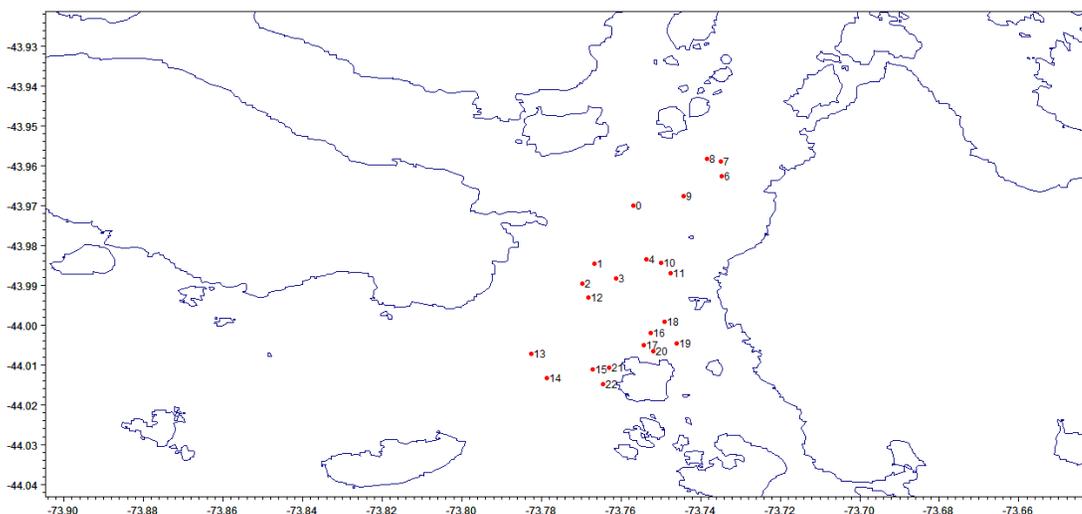
Descripci3n derivador observado a 4 y 8 m en canal Piure, campaa Guaitecas, agosto 2014.

	DERIVADOR OBSERVADO 4m	DERIVADOR OBSERVADO 8m
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	16.55	15.99
DISTANCIA NETA (Km)	2.88	1.06
TIEMPO (horas)	11	11
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	41.79	40.39

## Campa1a de primavera-verano archipi3lago de las Guaitecas



**Figura 15.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de isla Betecoi a 4 metros en archipi3lago de Guaitecas, noviembre 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



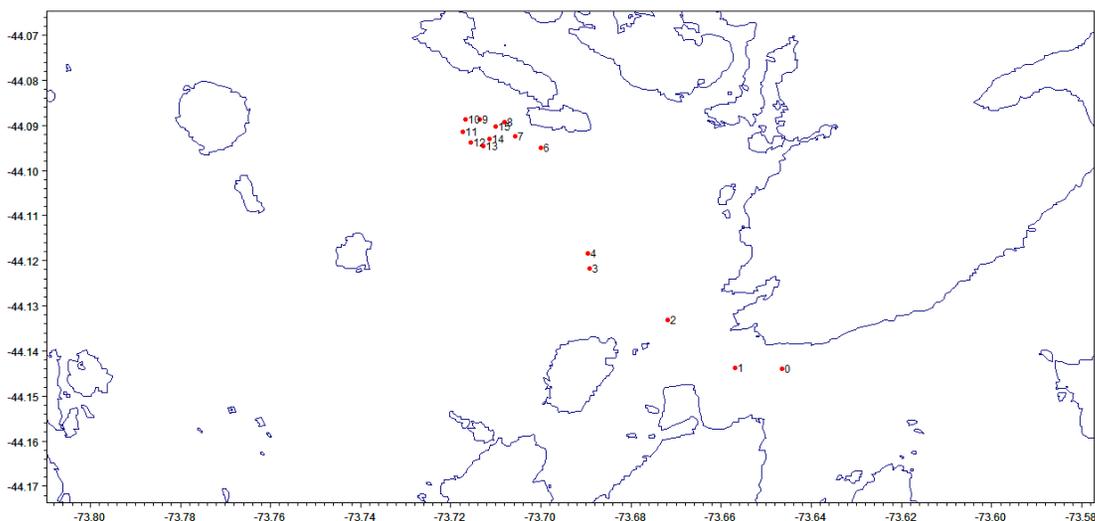
**Figura 16.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de isla Betecoi a 8 metros en archipi3lago de Guaitecas, noviembre 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



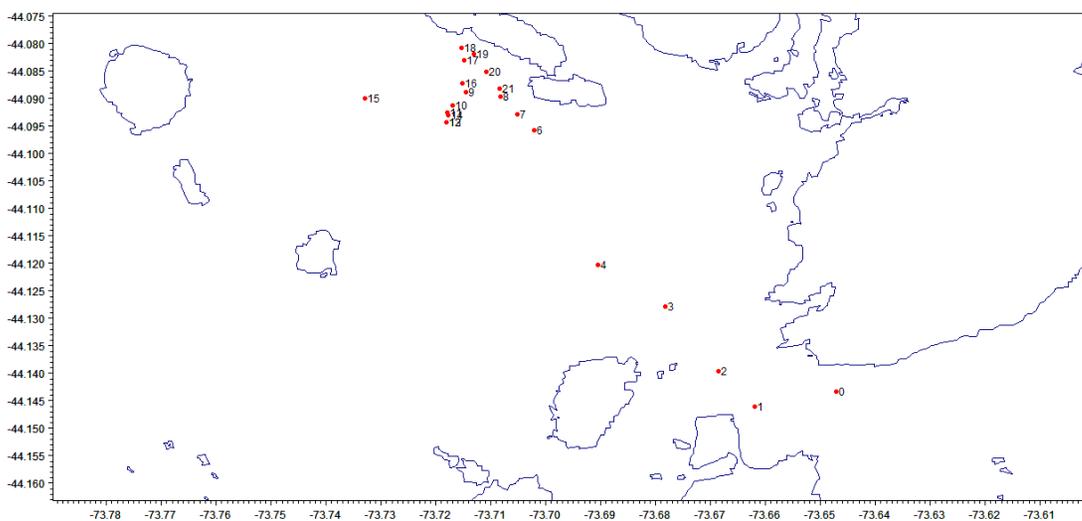
**Tabla VIII**

Descripción derivador observado a 4 y 8 m en isla Betecoi, archipiélago Guaitecas, campaña noviembre 2014.

	<b>DERIVADOR OBSERVADO 4 m</b>	<b>DERIVADOR OBSERVADO 8m</b>
<b>DISTANCIA RECORRIDA (km)</b>	3.81	21.54
<b>DISTANCIA NETA (km)</b>	1.40	5.01
<b>TIEMPO (horas)</b>	4	22
<b>VELOCIDAD MEDIA(cm/s)</b>	26.45	27,19



**Figura 17.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de isla Verdugo a 4 metros en archipi3lago de GUAITECAS, noviembre 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

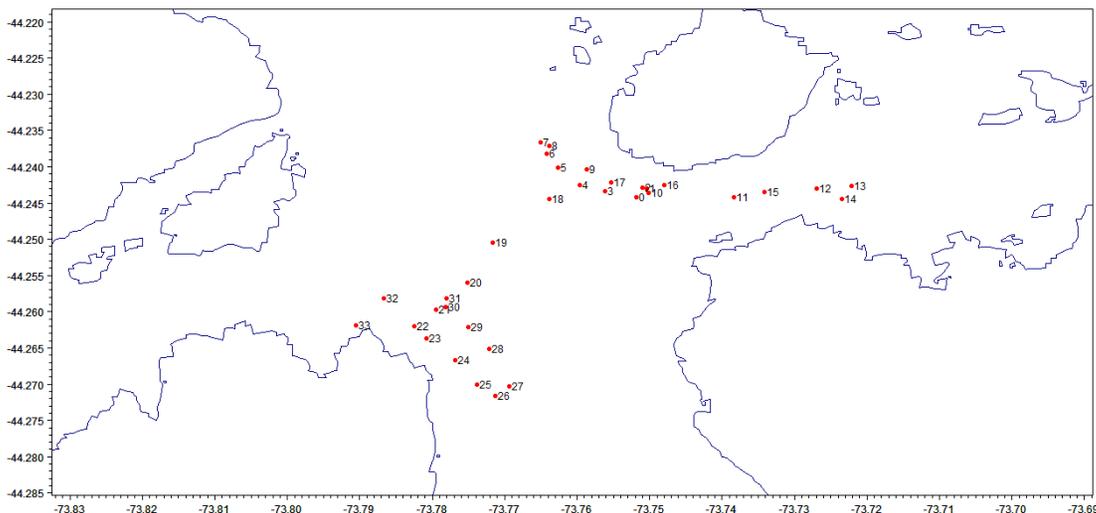


**Figura 18.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de isla Verdugo a 8 metros en archipi3lago de GUAITECAS, noviembre 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

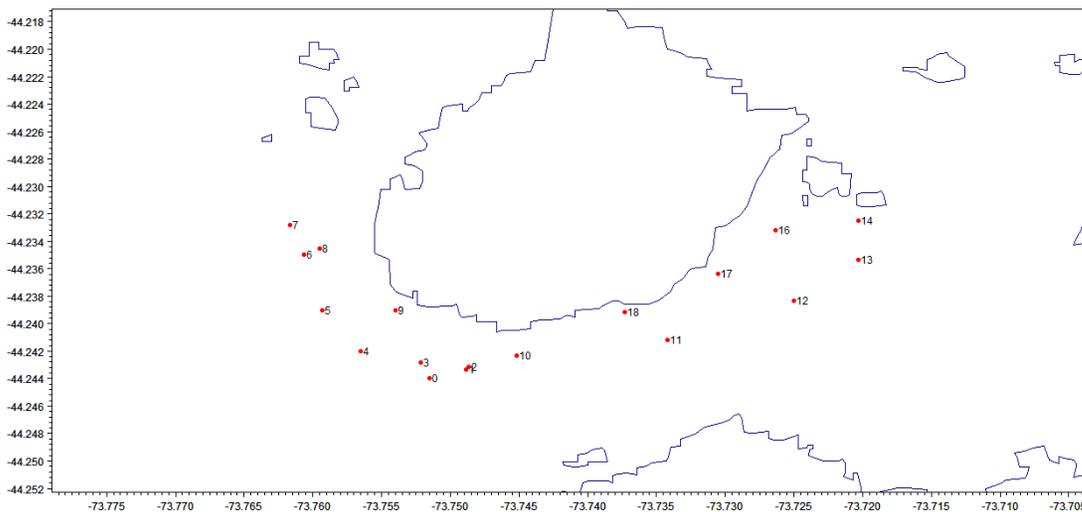


**Tabla IX**  
Descripci3n derivador observado a 4 y 8 m en isla Verdugo archipi3lago Guaitecas,  
campana noviembre 2014.

	<b>DERIVADOR OBSERVADO (4 m)</b>	<b>DERIVADOR OBSERVADO 8m</b>
<b>DISTANCIA RECORRIDA (km)</b>	10.51	14.43
<b>DISTANCIA NETA (km)</b>	7.83	7.84
<b>TIEMPO (horas)</b>	15	21
<b>VELOCIDAD MEDIA(cm/s)</b>	19.46	19.08



**Figura 19.** Trayectoria del derivador liberado en el canal P3rez Norte a 4 metros en archipi3lago de Gaitecas, noviembre 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



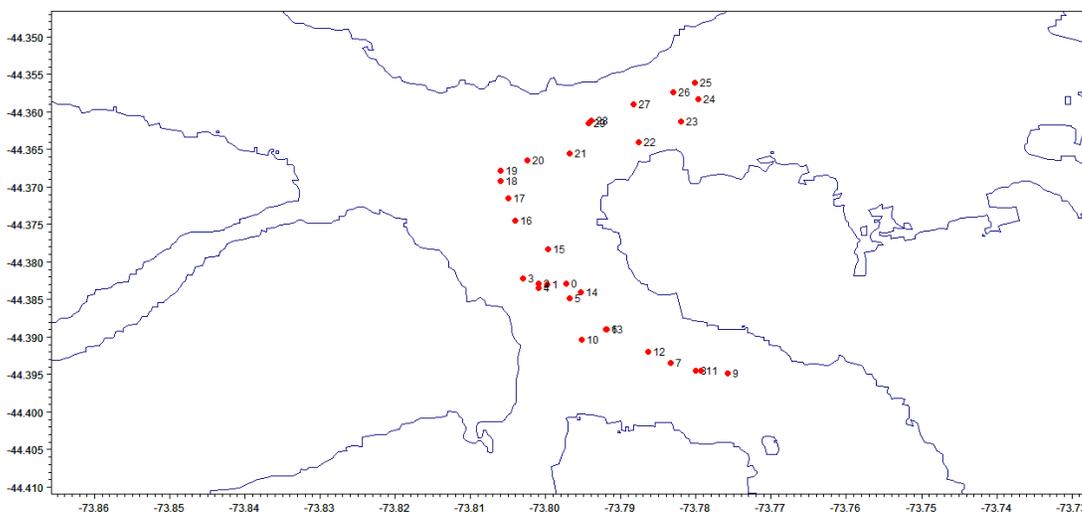
**Figura 20.** Trayectoria del derivador liberado en canal P3rez Norte a 8 metros en archipi3lago de Gaitecas, noviembre 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



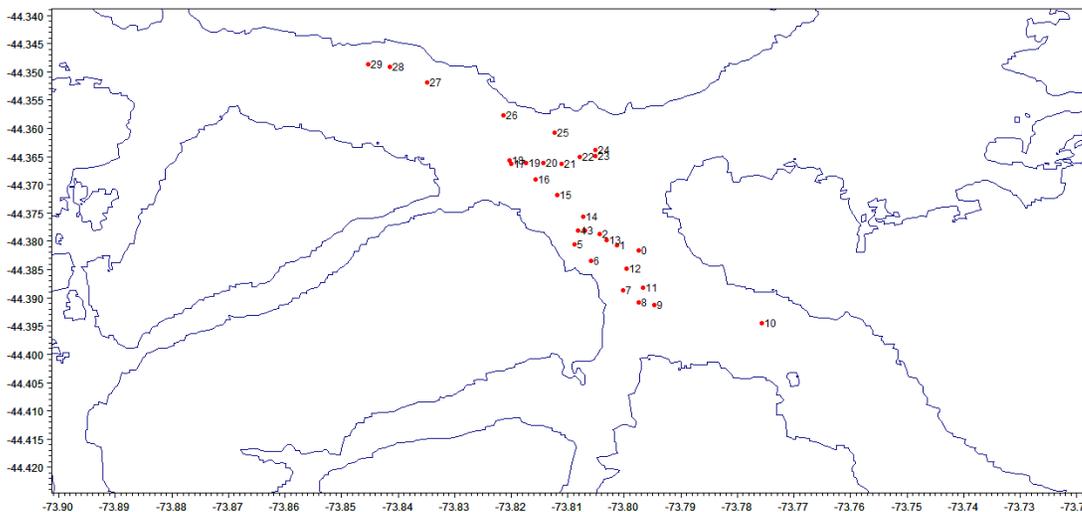
**Tabla X**

Descripción derivador observado a 4 y 8 m en isla canal Pérez Norte archipiélago Guaitecas, campaña noviembre 2014.

	<b>DERIVADOR OBSERVADO (4 m)</b>	<b>DERIVADOR OBSERVADO 8m</b>
<b>DISTANCIA RECORRIDA (km)</b>	15.73	7.80
<b>DISTANCIA NETA (km)</b>	3.65	1.24
<b>TIEMPO (horas)</b>	33	18
<b>VELOCIDAD MEDIA(cm/s)</b>	13.24	12.03



**Figura 21.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de Pta. Garrao a 4metros en archipiélago de Guaitecas, noviembre 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



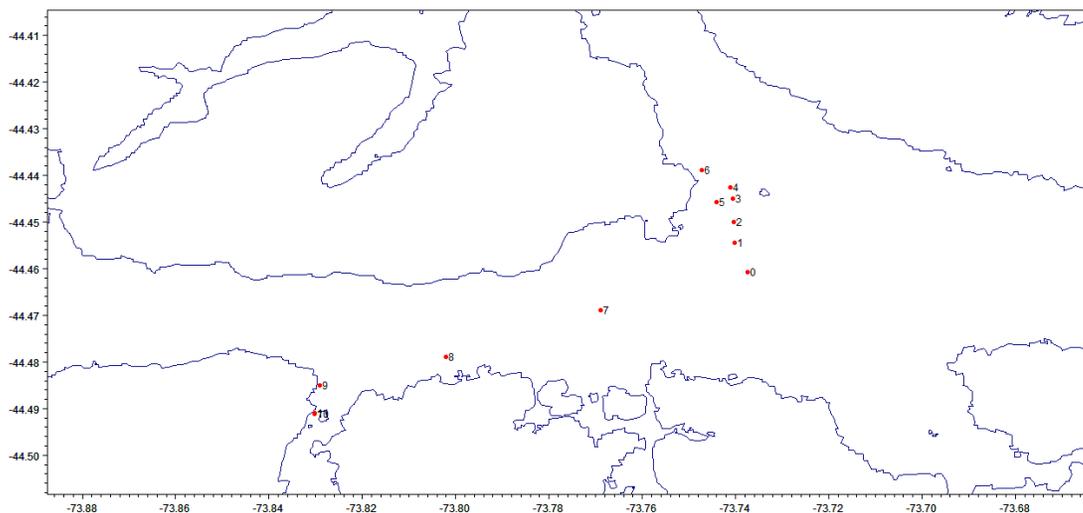
**Figura 22.** Trayectoria del derivador liberado en el sector de Pta. Garrao a 8 metros en archipiélago de Guaitecas, noviembre 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



**Tabla XI**

Descripci3n derivador observado a 4 y 8 m en Pta. Garrao archipi3lago Guaitecas, campaa noviembre 2014.

	<b>DERIVADOR OBSERVADO 4 m</b>	<b>DERIVADOR OBSERVADO 8m</b>
<b>DISTANCIA RECORRIDA (km)</b>	13.86	14.42
<b>DISTANCIA NETA (km)</b>	2.38	5.28
<b>TIEMPO (horas)</b>	29	29
<b>VELOCIDAD MEDIA(cm/s)</b>	13.28	13.81

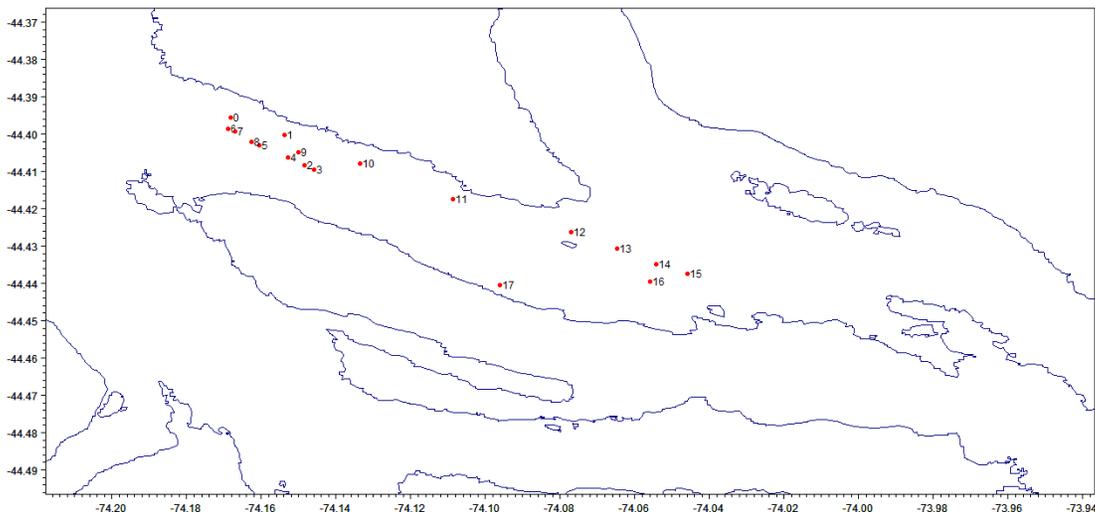


**Figura 23.** Trayectoria del derivador liberado en canal Baeza a 8 metros en archipi3lago de Guaitecas, noviembre 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

**Tabla XII**

Descripci3n derivador observado a 8 m en canal Baeza archipi3lago Guaitecas, campaa noviembre 2014.

DERIVADOR OBSERVADO 8 m	
DISTANCIA RECORRIDA (km)	12.84
DISTANCIA NETA (km)	8.09
TIEMPO (horas)	10
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	35.66

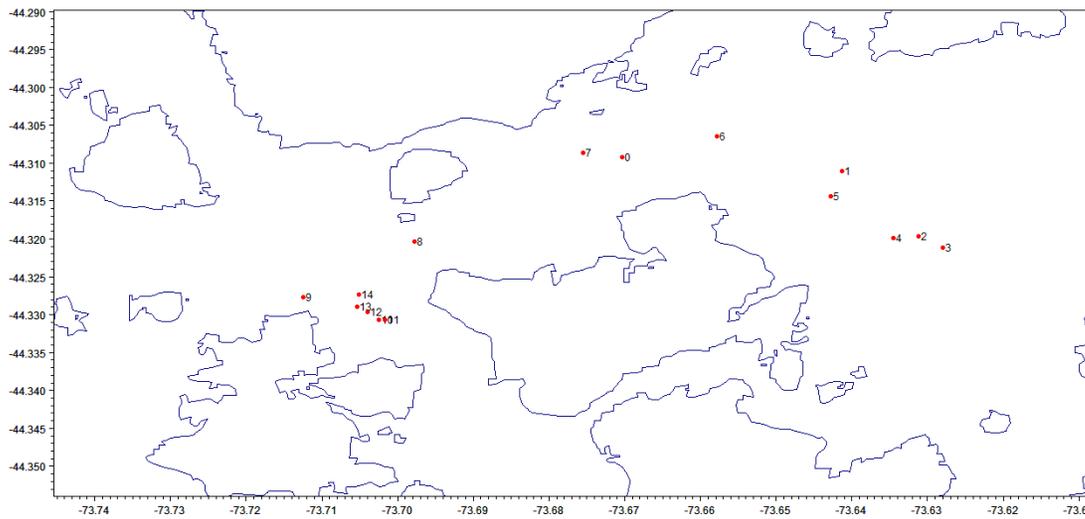


**Figura 24.** Trayectoria del derivador liberado en canal Simpson a 8 metros en archipiélago de Guaitecas, noviembre 2014. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

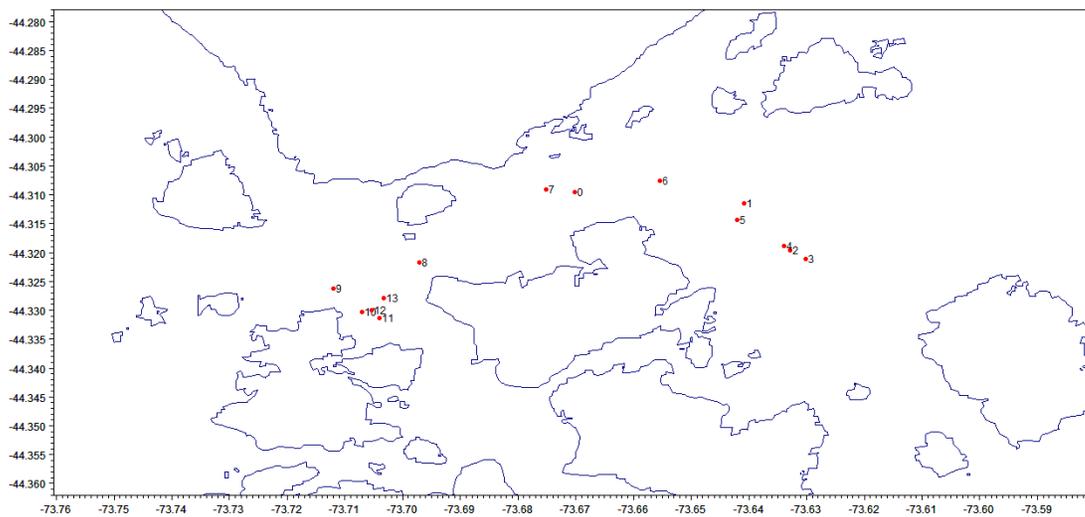
**Tabla XIII**

Descripci3n derivador observado a 8 m en canal Simpson archipiélago Guaitecas, campaa noviembre 2014.

DERIVADOR OBSERVADO (8 m)	
DISTANCIA RECORRIDA (km)	19.41
DISTANCIA NETA (km)	7.58
TIEMPO (horas)	17
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	31.71



**Figura 25.** Trayectoria del derivador liberado en canal Piure a 4 metros en archipi3lago de Gaitecas, noviembre 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



**Figura 26.** Trayectoria del derivador liberado en canal Piure a 8 metros en archipi3lago de Gaitecas, noviembre 2014. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

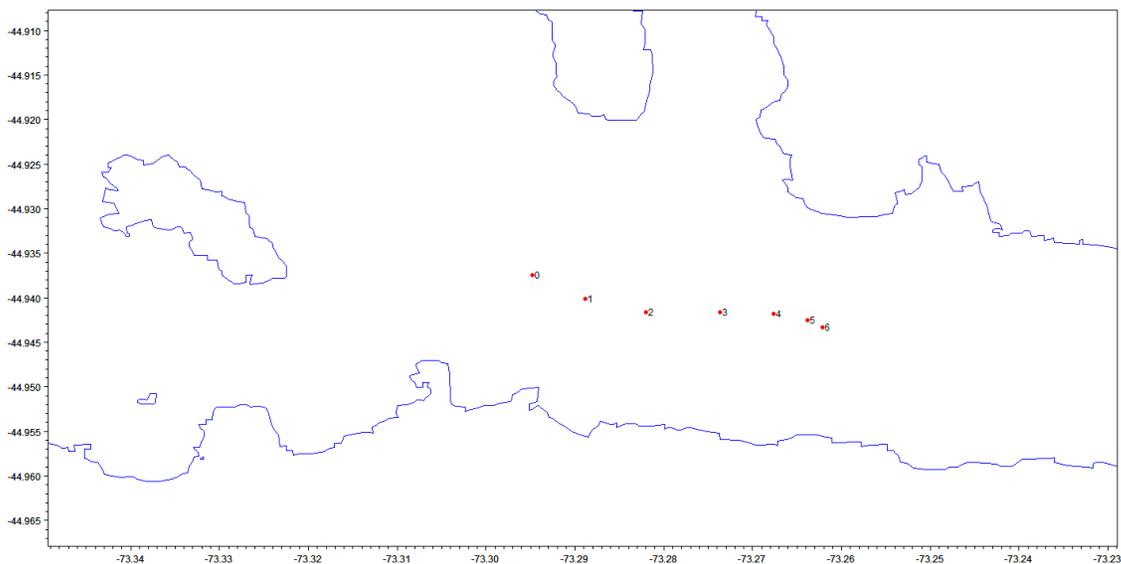


**Tabla XIV**  
Descripci3n derivador observado a 4 y 8 m en canal Piure archipi3lago Guaitecas,  
campa1a noviembre 2014.

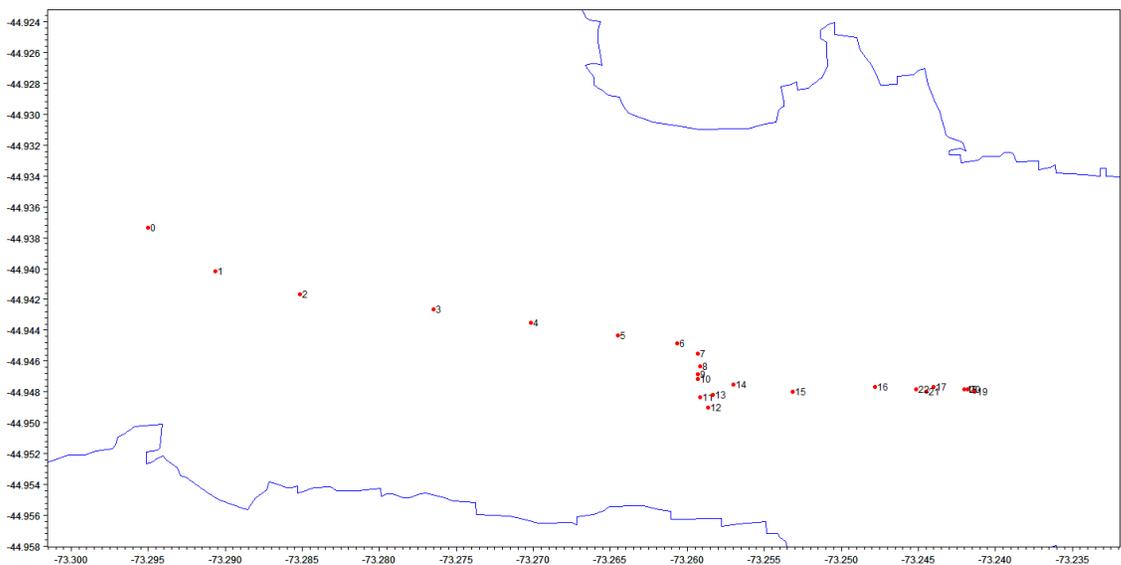
	DERIVADOR OBSERVADO (4 m)	DERIVADOR OBSERVADO 8m
DISTANCIA RECORRIDA (km)	13,29	12.68
DISTANCIA NETA (km)	3.427	3.33
TIEMPO (horas)	14	13
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	26.36	27.09



## Campa1a verano Puyuguapi-Jacaf y ACHS



**Figura 27.** Trayectoria del derivador liberado en canal Puyuguapi, frente a Puerto Gaviota, a 4 metros, febrero 2015. Los n1meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



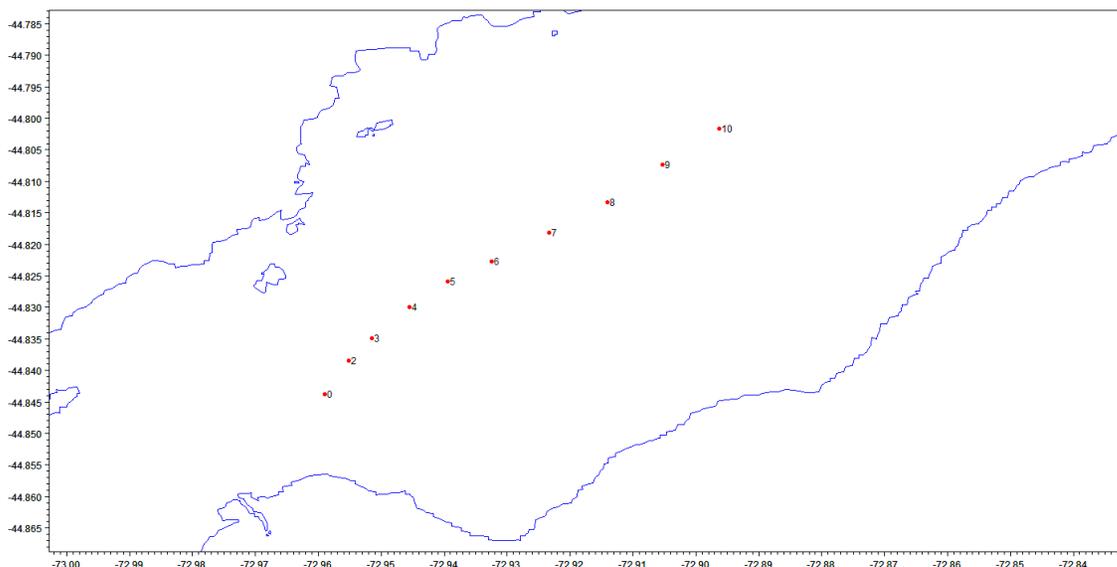
**Figura 28.** Trayectoria del derivador liberado en canal Puyuguapi, frente a Puerto Gaviota, a 8 metros, febrero 2015. Los n1meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



**Tabla XV**

Descripción derivador observado a 4 y 8 m en canal Puyuguapi, frente a Puerto Gaviota, febrero 2015.

	<b>DERIVADOR OBSERVADO 4m</b>	<b>DERIVADOR OBSERVADO 8m</b>
<b>DISTANCIA RECORRIDA (Km)</b>	3.64	6.51
<b>DISTANCIA NETA (Km)</b>	2.65	4.09
<b>TIEMPO (horas)</b>	6	22
<b>VELOCIDAD MEDIA(cm/s)</b>	16.86	8.22

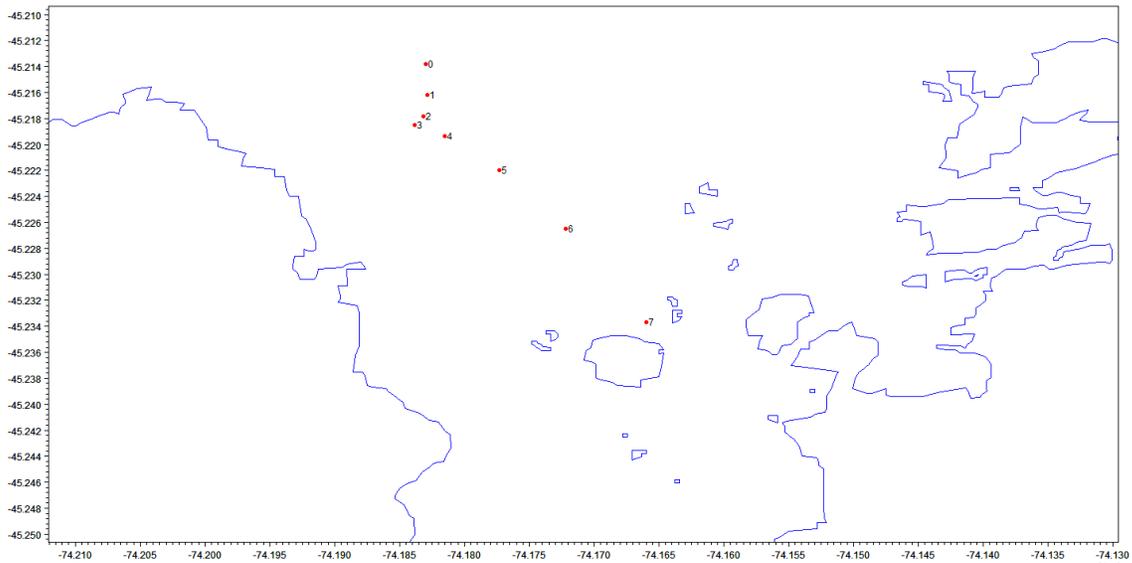


**Figura 29.** Trayectoria del derivador liberado en canal Puyuguapi, en el 1rea del Valle del Marta, a 8 metros, febrero 2015. Los n1meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

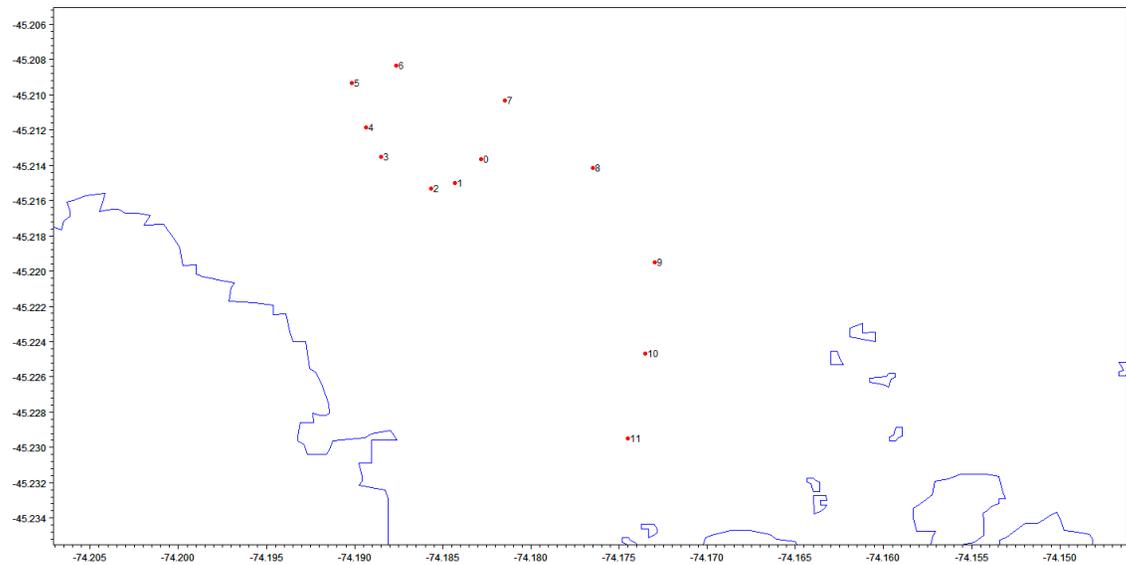
**Tabla XVI**

Descripci3n derivador observado a 8 m en canal Puyuguapi, en el 1rea del Valle del Marta, febrero 2015.

DERIVADOR OBSERVADO 8m	
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	7.12
DISTANCIA NETA (Km)	6.81
TIEMPO (horas)	10
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	19.77



**Figura 30.** Trayectoria del derivador liberado en canal Pichirupa a 4 metros, febrero 2015. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



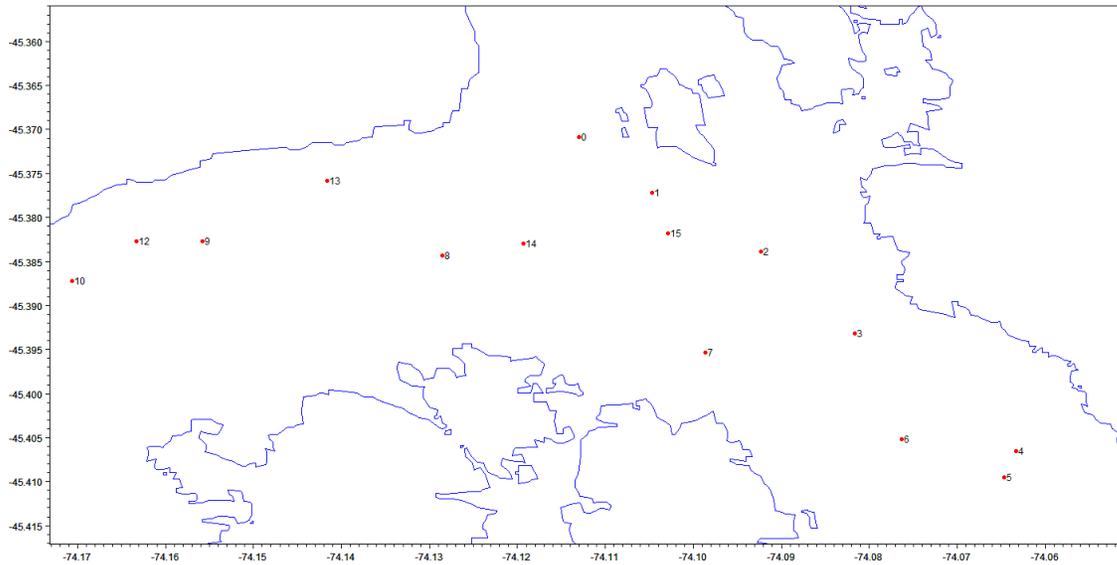
**Figura 31.** Trayectoria del derivador liberado en canal Pichirupa a 8 metros, febrero 2015. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



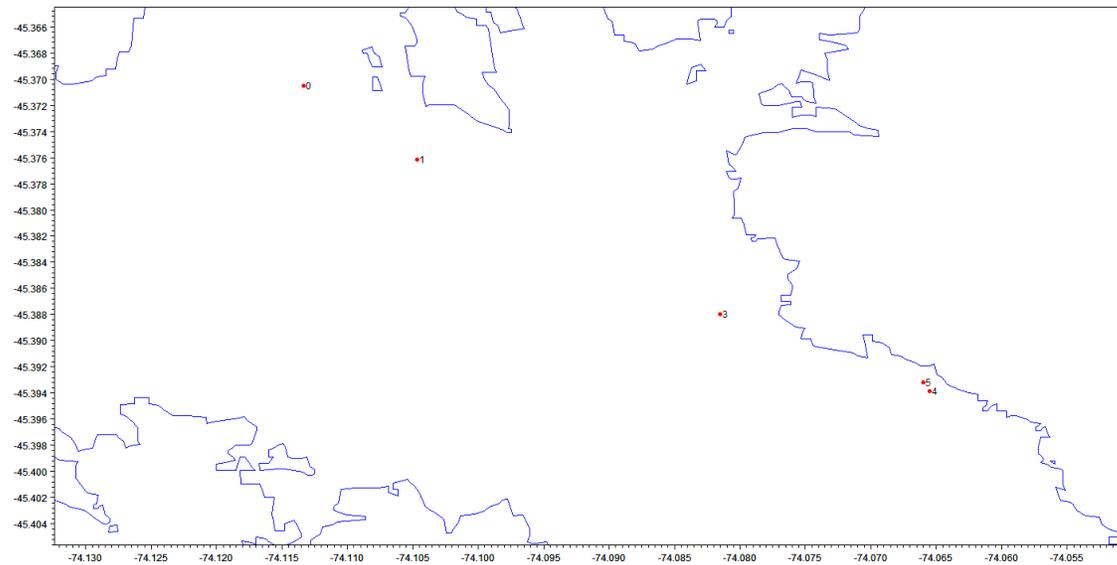
**Tabla XVII**

Descripción derivador observado a 4 y 8 m en canal Pichirupa, febrero 2015.

	<b>DERIVADOR OBSERVADO 4m</b>	<b>DERIVADOR OBSERVADO 8m</b>
<b>DISTANCIA RECORRIDA (Km)</b>	2.25	3.17
<b>DISTANCIA NETA (Km)</b>	2.58	1.88
<b>TIEMPO (horas)</b>	7	11
<b>VELOCIDAD MEDIA(cm/s)</b>	8.94	8.01



**Figura 32.** Trayectoria del derivador liberado en canal Darwin a 4 metros, marzo 2015. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



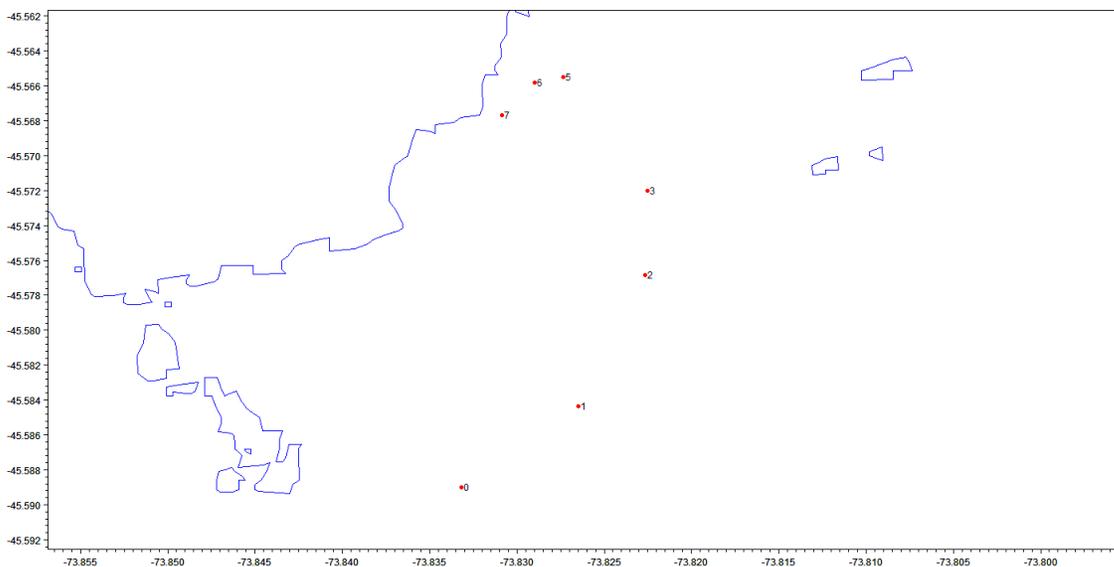
**Figura 33.** Trayectoria del derivador liberado en canal Darwin a 8 metros, marzo 2015. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



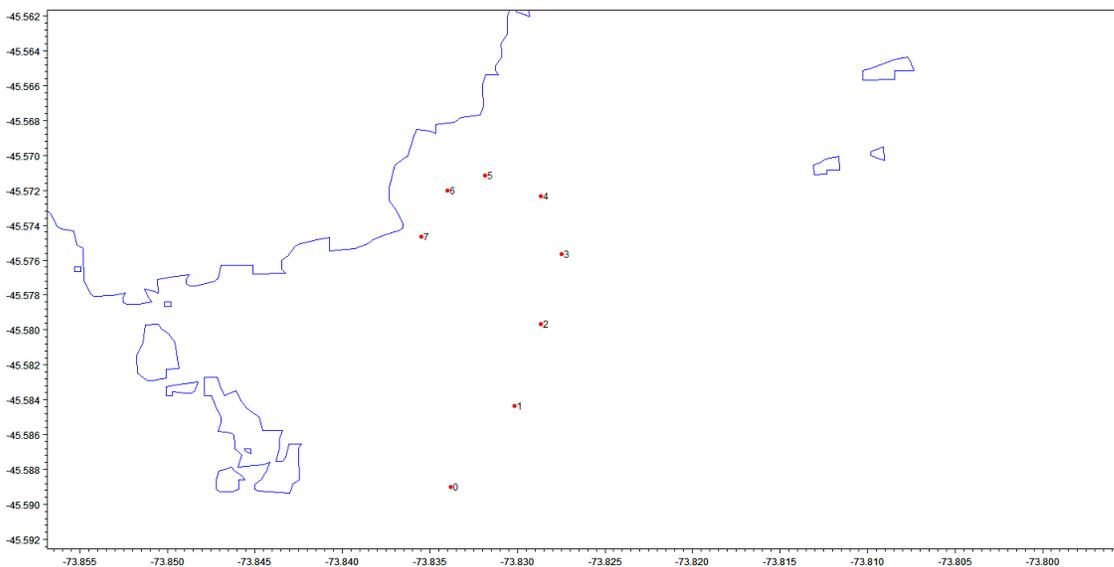
**Tabla XVIII**

Descripción derivador observado a 4 y 8 m en canal Darwin, marzo 2015.

	<b>DERIVADOR OBSERVADO 4m</b>	<b>DERIVADOR OBSERVADO 8m</b>
<b>DISTANCIA RECORRIDA (Km)</b>	26.70	5.43
<b>DISTANCIA NETA (Km)</b>	1.46	4.47
<b>TIEMPO (horas)</b>	15	5
<b>VELOCIDAD MEDIA(cm/s)</b>	49.44	30.15



**Figura 34.** Trayectoria del derivador liberado en canal Errázuriz a 4 metros, marzo 2015. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

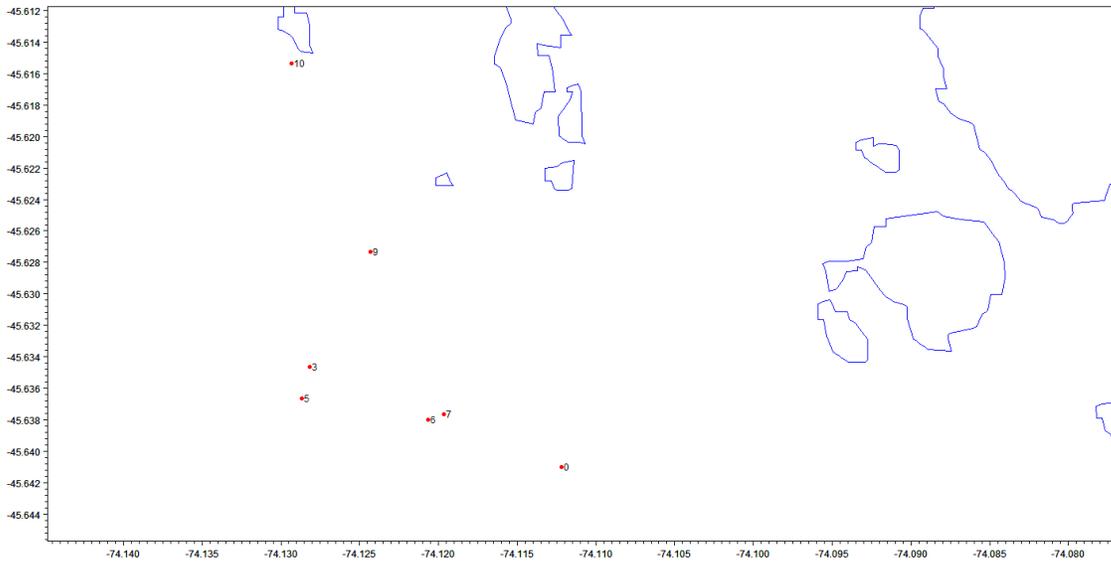


**Figura 35.** Trayectoria del derivador liberado en canal Errázuriz a 8 metros, marzo 2015. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

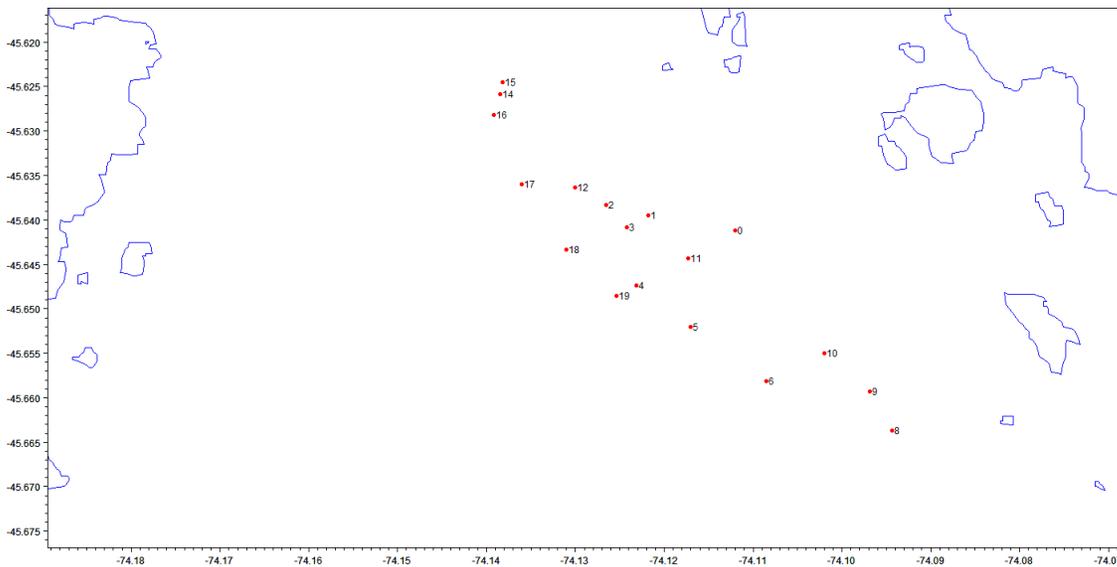


**Tabla XIX**  
Descripción derivador observado a 4 y 8 m en canal Errázuriz, marzo 2015.

	DERIVADOR OBSERVADO 4m	DERIVADOR OBSERVADO 8m
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	2.36	1.78
DISTANCIA NETA (Km)	2.38	1.60
TIEMPO (horas)	7	7
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	9.38	7.07



**Figura 36.** Trayectoria del derivador liberado en canal Vicuña a 4 metros, marzo 2015. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



**Figura 37.** Trayectoria del derivador liberado en canal Vicuña a 8 metros, marzo 2015. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.



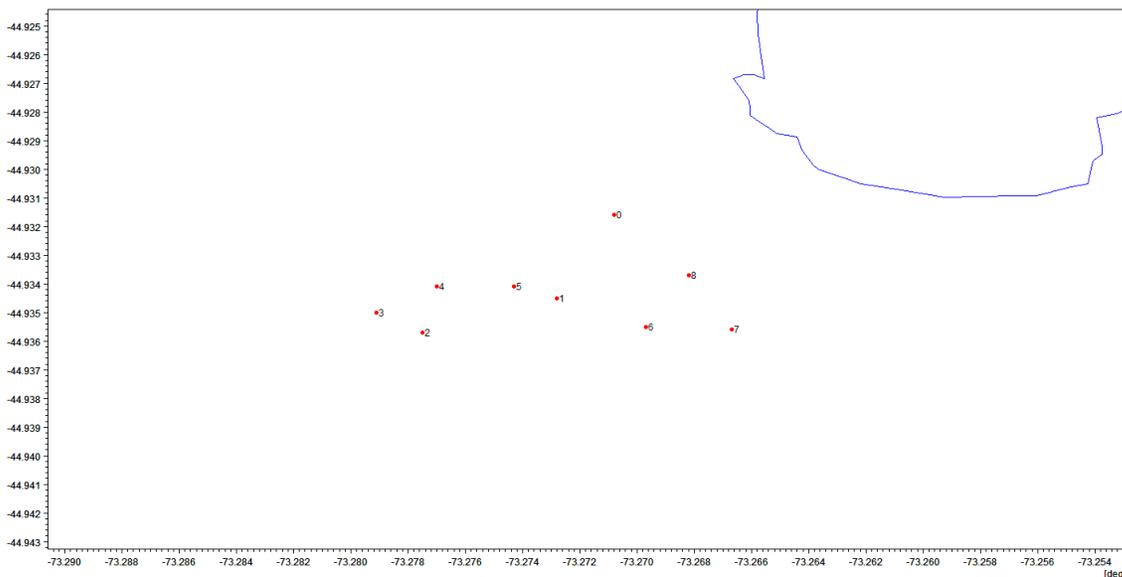
**Tabla XX**

Descripci3n derivador observado a 4 y 8 m en canal Vicu1a, marzo 2015.

	DERIVADOR OBSERVADO 4m	DERIVADOR OBSERVADO 8m
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	4.15	12.31
DISTANCIA NETA (Km)	3.15	1.32
TIEMPO (horas)	10	19
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	11.52	17.99



## Campaña otoño Puyuguapi-Jacaf y ACHS

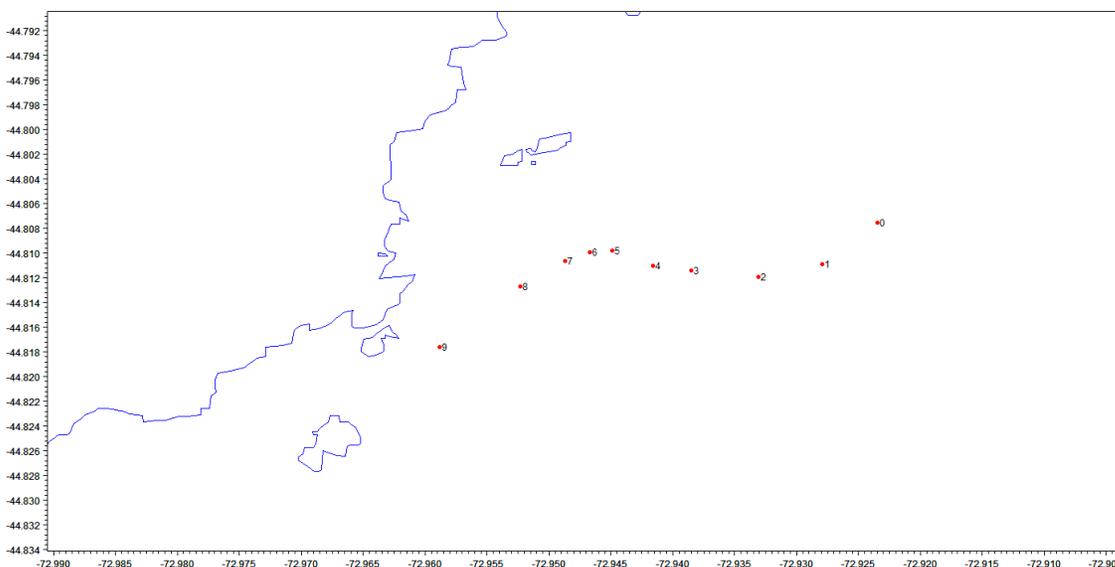


**Figura 38.** Trayectoria del derivador liberado en canal Puyuguapi, frente a Puerto Gaviota, a 6 metros, mayo 2015. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

**Tabla XXI**

Descripción derivador observado a 6 m en canal Puyuguapi, frente a Puerto Gaviota, mayo 2015.

DERIVADOR OBSERVADO 6m	
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	2,61
DISTANCIA NETA (Km)	0,303
TIEMPO (horas)	8
VELOCIDAD MEDIA (cm/s)	9,06

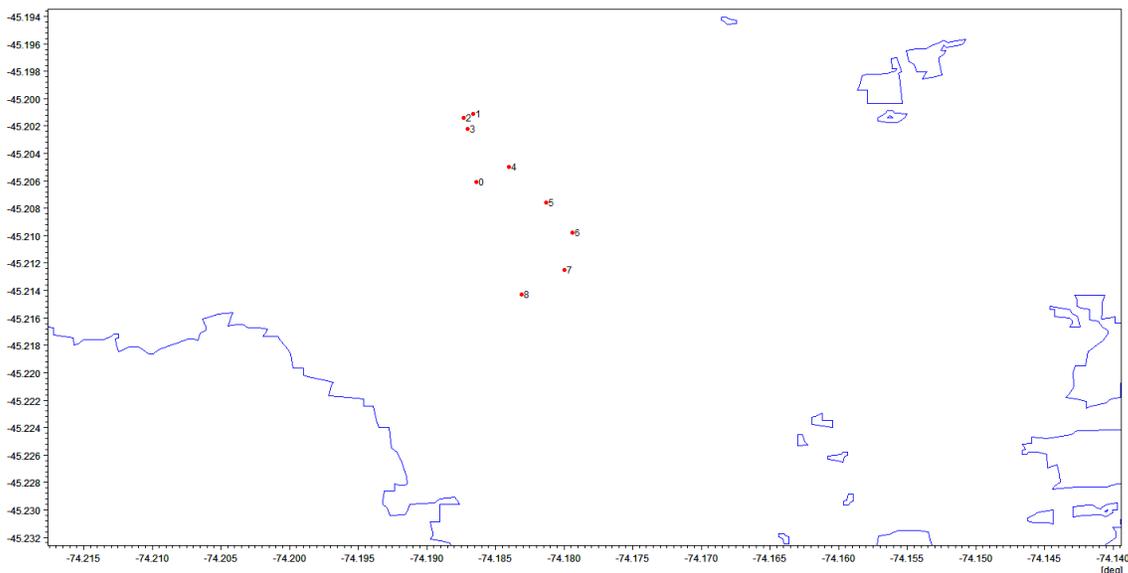


**Figura 39.** Trayectoria del derivador liberado en canal Puyuguapi, en el 1rea del Valle del Marta, a 6 metros, mayo 2015. Los n1meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

**Tabla XXII**

Descripci3n derivador observado a 6 m en canal Puyuguapi, en el 1rea del Valle del Marta, mayo 2015.

DERIVADOR OBSERVADO 6m	
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	4,1639
DISTANCIA NETA (Km)	3,6681
TIEMPO (horas)	9
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	12,85

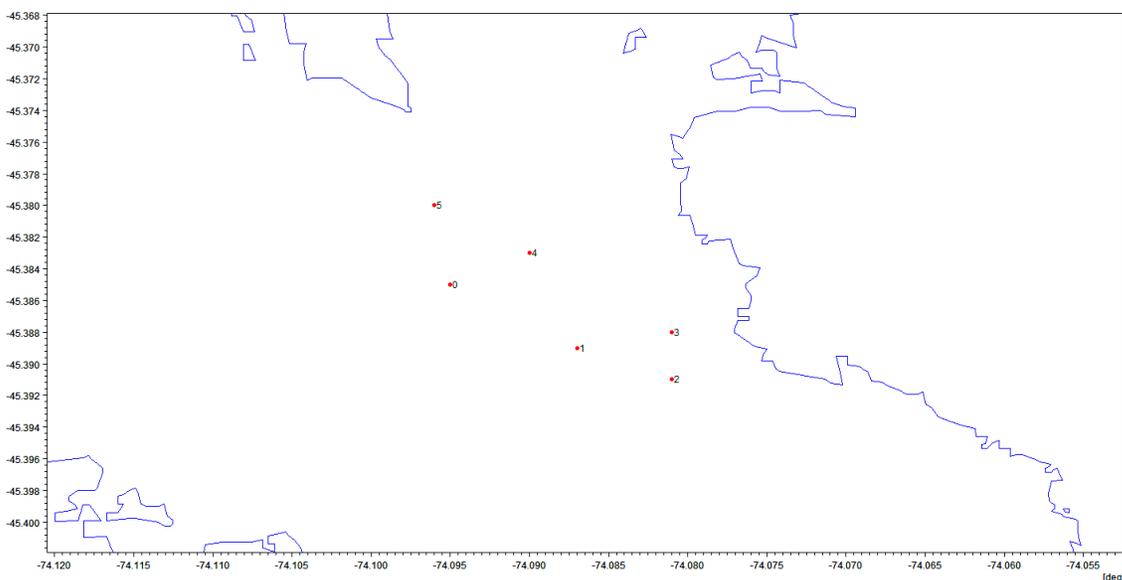


**Figura 40.** Trayectoria del derivador liberado en canal Pichirupa a 6 metros, mayo 2015. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

**Tabla XXIII**

Descripci3n derivador observado a 6 m en canal Pichirupa, mayo 2015.

DERIVADOR OBSERVADO 6m	
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	2,3611
DISTANCIA NETA (Km)	0,9519
TIEMPO (horas)	8
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	8,20

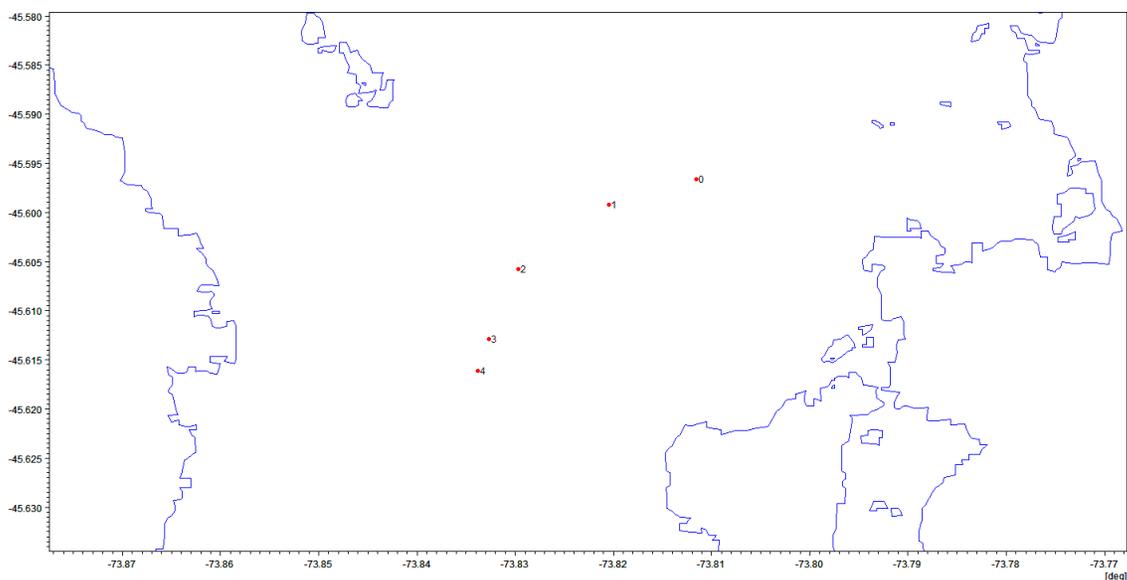


**Figura 41.** Trayectoria del derivador liberado en canal Darwin a 6 metros, mayo 2015. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

**Tabla XXIV**

Descripci3n derivador observado a 6 m en canal Darwin, mayo 2015.

DERIVADOR OBSERVADO 6m	
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	3,088
DISTANCIA NETA (Km)	0,5611
TIEMPO (horas)	5
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	17,15

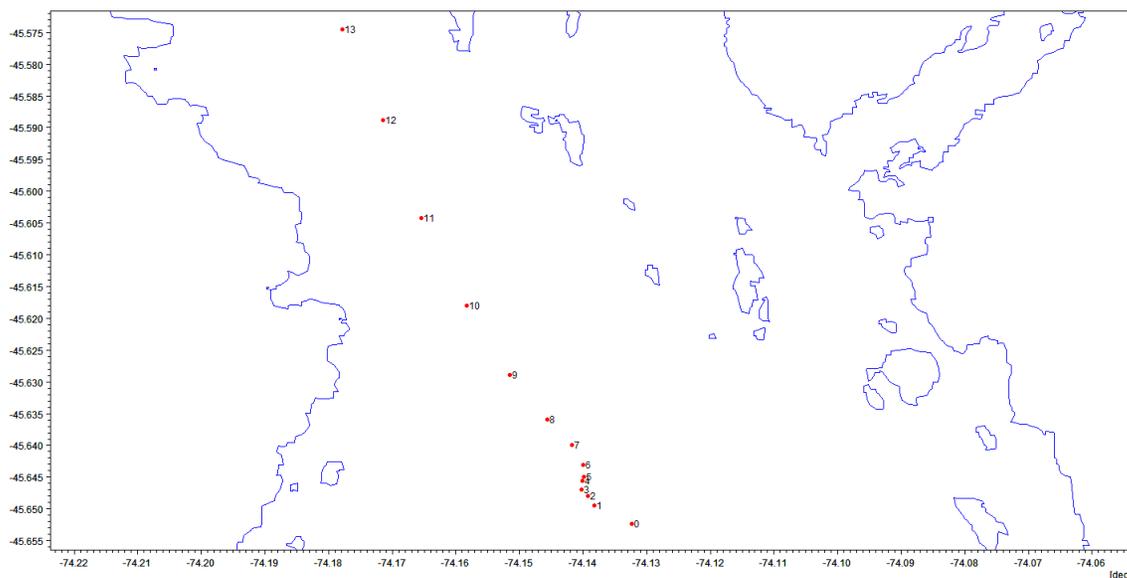


**Figura 42.** Trayectoria del derivador liberado en canal Errázuriz a 6 metros, mayo 2015. Los números de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

**Tabla XXV**

Descripci3n derivador observado a 6 m en canal Errázuriz, mayo 2015.

DERIVADOR OBSERVADO 6m	
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	2,97
DISTANCIA NETA (Km)	2,78
TIEMPO (horas)	4
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	20,63



**Figura 43.** Trayectoria del derivador liberado en canal Utrupa a 6 metros, mayo 2015. Los n3meros de menor a mayor indican las posiciones desde el inicio al final.

**Tabla XXVI**

Descripci3n derivador observado a 6 m en canal Utrupa, mayo 2015.

DERIVADOR OBSERVADO 6m	
DISTANCIA RECORRIDA (Km)	10,142
DISTANCIA NETA (Km)	9,6944
TIEMPO (horas)	13
VELOCIDAD MEDIA(cm/s)	21,67



# **A N E X O III**

---

Desarrollo objetivo 2.2.2:  
Metodología y resultados





### 3. METODOLOGÍA

---

#### 3.2 **Objetivo específico 2.2.2** *Efectuar re-análisis de todos los resultados establecidos hasta la fecha para el área de estudio, focalizando el trabajo de re-análisis en aquellas zonas o sectores en los cuales se ha establecido un bajo ajuste entre las mediciones de terreno así como también en aquellos de importancia que cuenten con baja cobertura o resolución.*

En el presente objetivo se ha puesto énfasis en la aplicación de una nueva metodología para los modelos hidrodinámicos en la región de Aysén, desarrollada a partir de anteriores modelaciones en el área. En esta zona se cuenta con resultados procedentes de dos modelos hidrodinámicos de escala regional enmarcados dentro del proyecto ASIPA-2011 “Diseño y estudio técnico de macrozonas de agrupaciones de concesiones en la Zona Sur Austral” (Pinilla, 2011) y ASIPA-2013 “Determinación de los patrones de circulación en los mares interiores de la región de Magallanes” (Pinilla, 2014). Dada la intrincada complejidad y especial morfología de la línea de costa de la mitad Norte de la XI región de Aysén, y basándonos en anteriores experiencias, a la hora de implementar la modelación hidrodinámica más allá de la escala local de un canal y/o fiordo a implementar una escala sub-regional (como puede ser el archipiélago de Guaitecas o Chonos) se aconseja afrontar la modelación desde una escala regional. Esto es debido al elevado número de bordes o fronteras que se generarían para englobar dichas áreas sub-regionales. Si bien las condiciones de borde de tales bordes se pueden obtener a través de modelaciones anteriores (esquema de modelos anidados), los errores y faltas de certidumbre de un modelo regional se propagarían al siguiente modelo sub-regional a través de los numerosos bordes, lo que aumenta el error. Las condiciones de borde se podrían generar a partir de mediciones de terreno, pero a la fecha aún no se dispone de la cobertura espacial y temporal necesaria para cubrir las condiciones de borde que demandarían todos los bordes de las presentes áreas de estudio. Así pues, el diseño de la modelación hidrodinámica se afronta desde una escala regional que engloba todas aquellas otras zonas donde se han efectuado mediciones y se implementarán los modelos de alta resolución del objetivo 2.2.4.

La evaluación de los resultados de la modelación se hizo frente a mediciones propias de IFOP y determinó el periodo en el cual se ejecutó el modelo. Debido al diseño de las campañas oceanográficas de medición, sus plazos de ejecución y disponibilidad de la data tras el correspondiente post-procesamiento y filtro de calidad, a la fecha de comienzo de la modelación se decidió emplear datos procedentes de una anterior campaña como blanco de validación del presente modelo hidrodinámico. Estos datos corresponden a la campaña que denominaremos “Chonos Centro Otoño-Invierno 2014” que extendió las mediciones entre los meses de Mayo, Junio y Julio de 2014 entre el canal King por el norte y el canal Ninualac por el sur. De esta manera con este modelo, más los modelos de alta resolución del objetivo 2.2.4 se da cobertura total a la evaluación de los resultados de modelación del área insular de la XI Región de Aysén.



La modelación se dividió en 2 simulaciones de iguales características, pero llevadas a cabo en periodos distintos con el propósito de solapar en la mayor medida posible los registros de todos los tipos de mediciones. La primera simulación se extiende del 07/06/14 al 13/06/14, periodo en el cual los ADCP anclados y mareógrafos de la campaña “Chonos Centro Otoño-Invierno 2014” ya estaban instalados y midiendo. La segunda simulación va desde el 19/05/14 al 04/06/14, periodo que comprende las mediciones de *bottomtrack* con ADCP remolcado y correntometría lagrangiana con derivadores de la campaña “Chonos Centro Otoño 2014”. Las posiciones y tiempo de registro de estos equipos se detallan en las **Tabla I, II, III y IV – Anexo III** y sus ubicaciones se muestran en la **Figura 1 – Anexo III**.

Si la primera simulación es de un periodo posterior a la segunda es por cómo las campañas de medición son llevadas a cabo y por cómo la modelación se ideó en etapas de desarrollo. En la campaña oceanográfica de terreno “Chonos Centro Otoño-Invierno 2014” se realizaron primero las mediciones de *bottomtrack* con ADCP remolcado y correntometría lagrangiana con derivadores y una vez terminadas estas mediciones se procedió a instalar aquellos equipos de registro de largo plazo que son los ADCP fondeado y mareógrafos. En la modelación, sin embargo, y para minimizar los tiempos de cómputo, se realizan simulaciones cortas (5-7 días aproximadamente) cuyos resultados puedan ser evaluados frente a mediciones que permitan cuantificar y distinguir cuál de las sucesivas pruebas de simulación (etapa de calibración) es la que mejor representa el comportamiento de la hidrodinámica. Las evaluaciones que mejor se adaptan a estos requerimientos son las que registran series temporales (ADCP anclado y mareógrafo), de manera que se pueda ver la evolución en el tiempo y respuesta del sistema-modelo a posibles eventos significativos entre las diferentes simulaciones. Además las mediciones de estos equipos se solapan en buena parte de sus registros (al contrario que los ADCP remolcados y derivadores que se registran uno por uno), lo que nos permite evaluar en un periodo corto un mayor número de mediciones. Posterior a la calibración del modelo en las pruebas de sensibilidad frente a mediciones de correntometría euleriana con ADCP fondeado y nivel del mar, y una vez determinado cual es el modelo que mejor representa la hidrodinámica, se procede a implementar dicho modelo en las fechas correspondientes al periodo de medición con ADCP remolcado y derivadores.

La condición inicial de flujo es denominada “arranque en frío”, la cual es un campo de flujo nulo al comenzar la simulación que se estabilizará luego de ciertos pasos de tiempo hasta alcanzar un equilibrio asociado a los forzantes; generalmente esto tarda menos de 24 horas, por lo cual estos resultados son descartados de los análisis

### Dominio

Habiendo definido la escala del modelo como regional, éste se va a extender por todo el margen oceánico de la X región de Los Lagos y la mitad Norte de la XI región de Aysén, delimitado por el margen continental al Este, el meridiano 77°E por el Oeste, y los paralelos 40.5°S y 47°S al Norte y Sur respectivamente (**Figura 2 – Anexo III**). Para la construcción del dominio dentro del dominio se



hizo uso de una línea de costa de alta resolución proporcionada por la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) basada en imágenes satelitales sobre la cual se perfilan los límites en el interfaz agua-tierra del modelo. Sin embargo a efectos prácticos la definición de la línea de costa del modelo no es tan detallada como la original de la NOAA (**Figura 3 – Anexo III**) pues una morfología costera de mucha mayor resolución del modelo implicaría alteraciones en la malla flexible (ver siguiente) que daría lugar a inestabilidades y ralentización de los procesos computacionales.

### Resolución Horizontal

La malla flexible de este modelo regional de Chiloé-Aysén es irregular y compuesta por cerca de 60000 elementos triangulares y rectangulares con resoluciones distintas acorde a la morfología de la línea de costa, la batimetría y nuestros requerimientos (**Figura 4 – Anexo III**). La nueva introducción de elementos rectangulares en canales supone un ahorro en el número de elementos, ahorro computacional y una mayor estabilidad numérica que se traduce en una mayor fiabilidad de los resultados del modelo. Posee una resolución promedio cercana a 10km cerca de los bordes en océano abierto (**Figura 2 – Anexo III**), zona donde no interesa el detalle del cálculo y se ahorra el gasto de cómputo. Esta resolución aumenta hasta ~350m en zonas internas y canales, lugar donde la batimetría y la configuración de la línea de costa juegan un rol más protagónico en la dispersión de ondas y fluctuaciones barotrópicas. Sobre estos modelos regionales se podrán construir nuevas mallas de alta resolución, como se verá en el objetivo 2.2.4 para el modelo de alta resolución de Puyuhuapi-Jacaf. Estos modelos de alta resolución son “alimentados” y forzados en los bordes por las condiciones físicas generadas en los modelos regionales de mayor escala, dentro de cuyos dominios se encuentran alojados estos modelos locales. Esta técnica es conocida como anidamiento (“nesting” en inglés) y es de gran utilidad para economizar recursos computacionales (se reduce el área de simulación y se puede prestar mayor énfasis en zonas de objetivos específicos) y generar información en áreas en las cuáles se carece de datos. Esto último es de gran interés para la Región de Aysén, pues debido a la complejidad de la topografía costera (decenas de conexiones mar interior – océano) es muy complicado y costoso el disponer de la información oceanográfica necesaria para construir las condiciones de borde de los modelos locales de alta resolución.

Estos 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). En los modelos locales de alta resolución y áreas de alta resolución insertas dentro de modelos regionales se ha establecido el criterio de garantizar un mínimo de 5 elementos triangulares de lado a lado de los canales y zonas clave para la circulación, conexión y transporte entre áreas (**Figura 5 – Anexo III**). De esta manera la escala espacial es variable en función del ancho del canal bajo modelación, pero llegando a escalas por debajo de los 100 metros en canales muy estrechos (<500 metros de ancho).



### Resolución Vertical

En cuanto a la discretización del espacio en la vertical se impusieron capas de tipo sigma que se caracterizan por seguir el contorno del fondo marino. Se hicieron diferentes pruebas de sensibilidad respecto al número de ellas, resultando 20 una cantidad que cumple con una alta resolución vertical sin comprometer los tiempos de cómputo. Estas 20 capas se distribuyeron con alta densidad en la superficie y el fondo para poder representar los importantes fenómenos de escala que tiene lugar en estas interfases (fricción y cizalles), dejando la parte central de la columna de agua, donde los fenómenos relevantes ocurren a mayor escala, con capas de mayor espesor (**Figura 6 – Anexo III**).

### 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 integrada junto a la batimetría obtenida de sondas de cartas batimétricas del SHOA (Servicio Hidrográfico de la Armada) de Chile, previamente digitalizadas. A este fin se ha utilizado información de las siguientes cartas del SHOA: 8100, 8400, 8500, 8610, 8620, 8630, 8640, 8640, 8650 y 8660.

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. El resultado es una batimetría continua del dominio usado en la modelación regional (**Figura 2 – Anexo III**).

### Temperatura y Salinidad

Los modelos deben ser definidos en sus condiciones iniciales de temperatura y salinidad para constituir el campo de masas sobre los cuales tengan lugar los flujos baroclínicos. Para el modelo regional Chiloé-Aysén tales datos se obtuvieron del modelo global *MercatorOcean* que da una cobertura total al dominio (**Figuras 7 y 8 – Anexo III**) e interpola los valores ingresados a todos y cada uno de los nodos de la malla flexible. *MercatorOcean* proporciona información a una resolución de  $1/12^\circ$  en la horizontal y variable en la vertical, con valores de máxima resolución un poco mayores a 1 metro y concentrados en superficie. Allí donde la cobertura es insuficiente por parte de los datos de *MercatorOcean*, como son los modelos locales de alta resolución, esta información será ensamblado



junto a los datos obtenidos de los cruceros realizados por IFOP durante distintas etapas de las campañas y complementados por datos de cruceros anteriores (CIMAR o IFOP).

Se hicieron pruebas con condiciones iniciales del campo de masas derivado de técnicas de interpolación/extrapolación sobre un número finito de mediciones irregularmente distribuidas. Las mediciones utilizadas en este caso corresponden al Crucero CIMAR 1 (**Figura 9 – Anexo III**) por ser el de mayor cobertura espacial de sus mediciones en una única campaña. Sin embargo dicho crucero (y los demás CIMAR de la XI región) tuvo lugar en Octubre de 1995, o sea en Primavera, cuando el modelo fue construido para reproducir condiciones de Otoño. Este hecho junto a que la información de los cruceros CIMAR es por sí sola aún escasa e insuficiente (dada la gran extensión del dominio) originó un campo de masas inicial con valores y gradientes anómalos de temperatura y salinidad en nuestra zona de interés (**Figura 10 – Anexo III**).

A su vez los modelos son forzados por el campo de masa que responde a regímenes baroclínicos desde los 3 bordes del dominio, Norte, Oeste y Sur (**Figura 2 – Anexo III**). 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 (**Figuras 11 y 12 – Anexo III**). Estas condiciones de borde proceden también del modelo global de *MercatorOcean* y se obtienen de modelos previos idénticos en los cuales las condiciones iniciales de temperatura y salinidad son las mismas que aquellas que utilizamos como condiciones iniciales, simulándose un paso de tiempo y extrayendo secciones verticales que corresponden con cada uno de los bordes del dominio.

#### 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 de MIKE 3 es una herramienta de gran utilidad en el ahorro de recursos y tiempo. Si bien tiene limitaciones que aconsejan su uso en determinadas situaciones. Está basado en el modelo global Topex-Poseidon a una resolución horizontal de  $0.5^\circ$  y con frecuencia horaria.

La mayor utilidad de este modelo es para crear las condiciones de borde en modelos de escala regional (**Figura 13 – Anexo III**), cuyos bordes se encuentran bien alejados de la costa y donde 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

La gran superficie que supone el dominio del modelo demanda de información meteorológica que proporcione una cobertura regional total, y esto se consigue a partir de modelos globales. De entre todos los disponibles buscamos aquellos que no sólo ofrezcan una mayor resolución espacial, sino también cobertura temporal. Esto es así porque una vez el modelo regional Chiloé-Aysén sea validado los posteriores modelos que se implementen con la misma metodología pero en distintos periodos (los modelos de alta resolución) también deberán contar con los mismos componentes, y entre ellos el viento.

Para el presente modelo regional Chiloé-Aysén y en los periodos correspondientes a las campañas de “Chonos Centro Otoño 2014” y para los modelos de alta resolución de “Guaitecas Invierno 2014” y “Chonos Sur Invierno 2015” a la fecha de comienzo de actividades sólo se disponía de 2 fuentes de viento de modelos globales de re-análisis: NCEP/NCAR de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) con 1.875° de resolución horizontal (**Figuras 14 y 15**) y ERA-Interim de la ECMWF (European Centre for Medium-range Weather Forecast) de 0.75° de resolución horizontal. Desafortunadamente el servicio de la NOAA que administra el modelo GFS (Global Forecast System) de 0.5° de resolución estuvo suspendido no pudiéndose obtener toda la información requerida. Del modelo WRF (Weather Research and Forecast) con resoluciones anidadas de hasta 3km tan sólo se contaba con información del año 2014.

Tras las pruebas de sensibilidad y calibración del modelo hidrodinámico la información meteorológica del modelo ERA-Interim a 0.75° de resolución horizontal y con datos cada 6 horas resultó la más conveniente. Los forzantes atmosféricos ingresan al modelo con su resolución propia que luego es interpolada bi-linealmente a cada uno de los nodos de la malla flexible y linealmente en el caso de diferencias en la resolución temporal. Las **Figuras 16, 17 y 18 – Anexo III** muestran los forzantes meteorológicos del viento del modelo ERA-Interim descompuesto en sus componentes ortogonales U (Este) y V (Norte) y de la presión atmosférica reducida a nivel del mar respectivamente. El modelo NCEP/NCAR de la NOAA al ser de menor resolución no resuelve igual de bien la circulación atmosférica de menor escala dada por condiciones locales y orográficas que el modelo ERA-Interim.

### 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 boyantez y por tanto, en la circulación termohalina dentro de un sistema baroclínico.



La caracterización y definición de las fuentes de agua dulce (ríos y glaciares) a lo largo del dominio comprendido entre las regiones X, XI es de gran complejidad debido a la gran extensión del propio dominio en sí mismo, la intrincada orografía y la enorme variabilidad espacial y temporal de dichas fuentes. La determinación de la entrada de agua dulce al sistema marino, dentro de su variabilidad espacial e inter-anual e intra-anual se encargó por asesoría externa a un experto en el área de hidrología, Sebastian Mernild. Sin embargo, y cómo se explica en el objetivo 2.2.1, debido a las reducidas opciones a nivel global de expertos en esta área y menor aún en Chile, esta asesoría quedó sujeta a las condiciones del experto y la compatibilidad de tiempos de la asesoría IFOP con su carga de trabajo en investigación (CEC Valdivia), terreno (Groenlandia, Alaska), conferencias (Abu Dabhi, Dinamarca) y modelación (EEUU) ha retrasado la obtención de la data hasta fechas posteriores a la entrega del presente proyecto.

El método de aproximación llevado a cabo trata de mejorar las escalas espaciales y temporales de la información hidrológica recogida en *Balance Hídrico de Chile, 1987*, incrementando sus resoluciones. Para aumentar la resolución espacial, esto es definir los principales puntos/fuentes de descarga de agua dulce al medio marino de cada una de las cuencas hídricas dadas por la DGA (Dirección General de Aguas) en su *Balance Hídrico de Chile, 1987*, se optó por identificar dentro de cada una de esas sub-cuencas de escala sub-regional todas las cuencas hídricas individuales de relevancia. Así en zonas insulares, donde la superficie de las cuencas es sustancialmente menor en extensión a las que se pueden encontrar en el continente, el umbral a partir del cual una cuenca individual se considera de relevancia es menor que en su homólogo continental. Este criterio umbral es proporcional a la extensión promedio de todas las cuencas de una sub-cuenca de escala sub-regional. Para poder hacer esta discretización, se contó con archivos de capas SIG derivados de modelos de elevación digital topográficos. Estos DEM engloban las áreas que se encuentran dentro de una misma divisoria de aguas común que desalojan a cota cero. El criterio a utilizar para determinar el umbral de relevancia de cada una de estas áreas es expresado en la metadata en unidades de superficie (**Figura 19 – Anexo III**). De esta manera se extrapolan los caudales conocidos de una cuenca a las cuencas cercanas de las cuáles no se dispone información, siendo la relación que guardan las superficies de ambas cuencas la que determine cuál será el caudal estimado de la cuenca de la que no tenemos información de descarga. Una metodología similar fue utilizada por Meruane *et al.* (2013) en la misma latitud. Para resolver el problema planteado por una baja resolución temporal de promedios anuales, se tomaron como referencia estaciones de aforo de la DGA con promedios diarios durante todo un año. Allí donde no había información (no superiores a un mes) se interpoló linealmente para completar la serie temporal. De estas series temporales con promedios diarios durante un año se extrajo el porcentaje que supone cada día en la descarga total anual y tal porcentaje se aplicó a los ríos/sub-cuencas de la cuenca hídrica en la cual se encuentra dicho río con registro de promedio diario. De esta manera, las sub-cuencas presentan una curva de distribución de la descarga diaria durante un año de distinta magnitud pero que siguen el mismo patrón de distribución.



## Pruebas de sensibilidad y calibración del modelo

Mediante las pruebas de sensibilidad determinamos la calidad de los resultados del modelo en función del grado de error y acierto de los resultados del modelo respecto de los parámetros medidos en terreno. El modelo ha sido testado con una variedad de componentes, forzantes, diferentes parametrizaciones y constantes en sucesivas simulaciones. Tras cada una de estas simulaciones los resultados han sido evaluados frente a las observaciones para determinar cuán certero es el modelo a la hora de reproducir fenómenos, estructuras y tendencias de las distintas variables y qué grado de magnitud es atribuible a cada uno de estos componentes en el comportamiento y respuesta del modelo. Partiendo de un modelo inicial las modificaciones que empeoran los resultados se descartan y las modificaciones que mejoran los resultados se añaden al anterior modelo.

En la **Tabla V– Anexo III** se detallan las diferentes simulaciones llevadas a cabo. Comenzamos partiendo del modelo más elemental, en el cual tan sólo la batimetría y la variación periódica del nivel del mar por la marea participan de la hidrodinámica. A éste modelo se le van añadiendo en simulaciones independientes los otros forzantes uno a uno, primero el viento, luego el agua dulce y dado el carácter baroclínico de este forzante, el campo de masas dado por las condiciones iniciales de temperatura y salinidad. De esta manera podemos atribuir a cada forzante el efecto que tiene sobre la hidrodinámica. Así mismo también se prueban distintos tipos de batimetrías, modelos de forzantes atmosféricos y condiciones iniciales de temperatura y salinidad para ver cual se ajusta mejor. Por último realizamos una simulación con todos los forzantes juntos, esto es, la marea, viento, agua dulce y flujos baroclínicos desde los bordes. A partir de esta simulación realizamos las distintas pruebas de sensibilidad en las que se modularon los siguientes parámetros y coeficientes:

- Coeficiente de arrastre del viento
- Coeficiente de fricción del fondo
- Flujos de agua dulce
- Parametrización de alto orden en la solución técnica de la hidrodinámica, flujos baroclínicos y turbulencia.
- Resolución vertical
- Parametrización de la viscosidad de *eddies*: en la horizontal las aproximaciones son resueltas a través de las formulaciones de *Smagorinsky*, la formulación constante de *eddies* o sin formulación de *eddies* en la horizontal; en la vertical las aproximaciones vienen dadas por la formulación *k-epsilon*, la formulación *Log-law*, formulación constante de *eddies* y sin formulación de *eddies* en la vertical.

La formulación de Smagorinsky resuelve el transporte a una sub-escala por debajo de la empleada en la malla flexible, por una escala de efectiva viscosidad de Eddy. La sub-escala es dada por:



$A = c_s^2 l^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$ , donde  $c_s$  es una constante,  $l$  es una longitud característica y el radio de deformación es expresado por:

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

La viscosidad de eddy derivada de la formulación Log-law es calculada por:

$v_t = U_t h + \left( c_1 \frac{z+d}{h} + c_2 \left( \frac{z+d}{h} \right)^2 \right)$ , donde  $U_t = \max(U_{ts}, U_{tb})$ ,  $c_1$  y  $c_2$  son constantes,  $d$  es la profundidad de la columna de agua en reposo y  $h$  es la profundidad total de la columna de agua, mientras  $c_1$  y  $c_2$  son las constantes que definen el perfil parabólico standard.  $U_{ts}$  y  $U_{tb}$  son velocidades de fricción asociadas a estreses de superficie y fondo.

En la formulación *k-epsilon* la viscosidad de Eddy es derivada de los parámetros de turbulencia  $k$  y  $\varepsilon$  en:

$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ , donde  $k$  es la energía cinética turbulenta por unidad de masa (TKE),  $\varepsilon$  es la disipación de TKE y  $C_\mu$  es una constante empírica.

## Índices estadísticos

Estos índices nos dan medida de la calidad de los resultados obtenidos por el modelo, todos ellos aplicables a resultados representados por una variable que varía en el tiempo. En estos análisis se comparan series de tiempo del modelo frente a series de tiempo de las observaciones registradas en terreno. En el presente estudio se utilizan en la evaluación de resultados de correntometría euleriana de ADCP fondeado y nivel del mar.

### Error Medio Cuadrático (RMSE)

Es una medida cuadrática que mide la media de la magnitud del error, no muestra la dirección de las desviaciones.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

En donde,

- $x$  = dato del pronostico
- $y$  = dato de la observación
- $n$  = número de datos.



### Error medio cuadrático normalizado:

Forma no-dimensional del RMSE, está normalizado al rango de datos observados.

$$NRMSE = \frac{RMSE}{X_{obs,max} - X_{obs,min}} * 100$$

### Coefficiente de Correlación

Es una medida estadística que trata de medir la relación entre dos variables, oscila entre -1 y 1, siendo el signo, la dirección de la relación (proporcional o inversamente proporcional) y la cifra, la magnitud de la relación. Indicador del ajuste en fase entre dos series de tiempo de una variable.

$$R = \frac{Cov_{xy}}{S_x S_y}$$

$Cov_{xy}$  = covarianza entre el modelo y la observación,

$S_x$  = desviación estándar del modelo

$S_y$  = desviación estándar de la observación.

Estos índices no deben ser tratados en exclusiva a la hora de juzgar el grado de acierto y error de un modelo, sino que deben ser tomados en cuenta junto con la observación y análisis por parte del investigador. La estricta objetividad de la estadística no da cuenta de fenómenos difícilmente cuantificables todos ellos en conjunto, pero sí perceptibles (aunque no cuantificables) al análisis visual y juicio del investigador. Así por ejemplo los resultados de *bottomtrack* son representados por planos verticales de los flujos residuales de la componente más energética del flujo. El análisis estadístico de estos resultados penaliza en exceso la capacidad del modelo de reproducir estructuras espaciales como formación de capas o procesos de mezcla, geostrofia, *eddies*, etc, fenómenos difícilmente cuantificables por índices estadísticos. Lo mismo podría decirse del análisis de los equipos derivadores. Para este último tipo de instrumentación se ponderan otros parámetros como son la distancia recorrida y la posición final de los derivadores respecto de su posición inicial.



## 5. RESULTADOS

**5.2 Objetivo 2.2.2.** *Efectuar re-análisis de todos los resultados establecidos hasta la fecha para el área de estudio, focalizando el trabajo de re-análisis en aquellas zonas o sectores en los cuales se ha establecido un bajo ajuste entre las mediciones de terreno así como también en aquellos de importancia que cuenten con baja cobertura o resolución.*

Los resultados del modelo regional Aysén Chiloé fueron evaluados en 2 simulaciones frente a las mediciones correspondientes a la campaña “Chonos Centro Otoño 2014” (**Tablas I, II, III y IV – Anexo III, Figura 1 – Anexo III**).

La primera simulación entre el 7 y el 13 de Junio de 2014 sirvió para calibrar el modelo a través de la evaluación de la anomalía del nivel del mar y de la correntometría euleriana con ADCP fondeado. A continuación se presentan las evaluaciones de resultados correspondientes a estos 2 tipos de mediciones.

### NIVEL DEL MAR

En la **Figura 1 – Anexo III** y **Tabla I – Anexo III** localizaciones y tiempos de registro de las series de tiempo del nivel del mar empleadas en la evaluación de los resultados del modelo en esta primera simulación entre el 7 y el 13 de Junio del año 2014. Con el sentido de querer dar una mayor y amplia cobertura a la evaluación del modelo se tomaron observaciones de Norte a Sur del dominio. Tan sólo una de ellas (canal King) es coetánea al periodo de esta primera simulación y fue registrada durante la campaña “Chonos Centro Otoño 2014”. Las otras 4 mediciones (canal de Chacao, estero Palvidad, Melinka y canal Costa) no fueron utilizadas directamente en la evaluación del modelo por no coincidir en el tiempo, por lo que fueron sometidas a análisis para extraer sus constituyentes armónicos diurnos y semi-diurnos principales y a partir de ellos construir una serie pronóstico del nivel del mar para el mismo periodo de nuestras simulaciones. El análisis armónico se realizó siguiendo la metodología de Pawlowicz *et al.* (2002).

Dado el carácter barotrópico de la onda de marea las pruebas para testar la capacidad del modelo para reproducir la oscilación de la superficie libre del mar en su anomalía respecto de su nivel medio fueron llevadas a cabo con simulaciones donde tan sólo forzantes atmosféricos estuvieran operativos para evaluar el efecto de arrastre del viento y de empuje de la presión atmosférica.

Para cada uno de los lugares de evaluación primeramente se compararon resultados de simulaciones donde, además de la marea a través de los bordes del dominio (modelo Topex-Poseidon), participaron los 2 tipos de vientos disponibles, NCEP/NCAR (de 1.875° de resolución) y ERA-interim (de 0.75°) junto a una simulación sin forzante atmosférico, como blanco del modelo. A continuación se hace otra comparación de las alturas de los resultados de 3 simulaciones con un mismo tipo de viento (ERA-



interim): standard, con presión atmosférica constante (1013 hPa) y con coeficiente de fricción del viento aumentado el doble.

Referirse a la **Tabla V– Anexo III** para obtener información acerca de las características de cada simulación y sus códigos referentes en las figuras.

### **Canal de Chacao**

Las **Figuras 20 y 21 – Anexo III** muestran la anomalía del nivel del mar en el canal de Chacao para las distintas pruebas de calibración. Los índices estadísticos hacen referencia a la corrida **08 (Tabla V – Anexo III)**.

NRMSE = 4.2% y Coeficiente de Correlación = 98.73%.

### **Estero Palvitad**

Las **Figuras 22 y 23 – Anexo III** muestran la anomalía del nivel del mar en el estero Palvitad para las distintas pruebas de calibración. Los índices estadísticos hacen referencia a la corrida **08 (Tabla V – Anexo III)**.

NRMSE = 4.33% y Coeficiente de Correlación = 98.68%.

### **Melinka**

Las **Figuras 24 y 25 – Anexo III** muestran la anomalía del nivel del mar en Melinka para las distintas pruebas de calibración. Los índices estadísticos hacen referencia a la corrida **08**.

NRMSE = 4.64% y Coeficiente de Correlación = 98.42%.

### **Canal King**

Las **Figuras 26 y 27** muestran la anomalía del nivel del mar en el canal King para las distintas pruebas de calibración. Los índices estadísticos hacen referencia a la corrida **08**.

NRMSE = 4.95% y Coeficiente de Correlación = 98.17%.

### **Canal Costa**

Las **Figuras 28 y 29** muestran la anomalía del nivel del mar en el canal de Chacao para las distintas pruebas de calibración. Los índices estadísticos hacen referencia a la corrida **08**.

NRMSE = 5.93% y Coeficiente de Correlación = 97.94%.



## **CORRENTOMETRÍA EULERIANA con ADCP FONDEADO**

En la **Figura 1 – Anexo III** y **Tabla II – Anexo III** se muestran las posiciones y tiempos de registro de los equipos perfiladores acústicos (o ADCP) durante la campaña “Chonos Centro Otoño 2014”. Para evaluar este tipo de mediciones se emplearon los resultados de la primera simulación entre el 7 y el 13 de Junio de 2014, periodo que se solapa completamente con parte del registro de todos los equipos ADCP fondeados.

Los datos de velocidad de la corriente se presentan descompuestos en los ejes cartesianos ortogonales U y V. Debido a la orientación de los canales podemos ver que hay una componente más energética que otra y que nos describe mejor la dinámica de dichos canales. Nos centraremos en esta componente entonces, que además debido al carácter mareal de la dinámica del archipiélago de Chonos es la mejor representada por el modelo y donde se pueden apreciar mejor los aciertos y falencias del modelo. A las componentes U y V de la velocidad de la corriente se les aplicó un filtro de paso bajo Lanczos de 121 pesos con un periodo de corte de 40 horas para separar la señal diurna y semi-diurna de la marea de aquellas otras señales de menor frecuencia y obtener los flujos residuales de la corriente asociados a forzantes, como ya se utilizara previamente en la zona por Fierro *et al.* (2003).

Han sido este tipo de evaluaciones las utilizadas en mayor medida para calibrar el modelo a través de sucesivas corridas enfrentando a comparación simulaciones con diversos parámetros y componentes. En el proceso de calibración se ha tenido en cuenta la respuesta del modelo a las calibraciones allí donde se manifiestan en mayor grado. A continuación se exponen las evaluaciones de los resultados por ubicación.

### **Canal Goñi**

Es en este canal donde se han testado mayor número de corridas del modelo por ser donde más claramente se han marcado diferencias entre ellas. Durante el tiempo de instalación de los equipos no se registró ningún evento extremo debido a tormentas o lluvias torrenciales que sirviera de indicador de la respuesta del modelo a estos forzantes. Sin embargo, el ADCP fondeado de canal Goñi es un buen blanco de validación porque en su componente U (la más energética) tiene marcados residuales y de sentido cambiante y variable, lo que servirá para evaluar la capacidad del modelo en la respuesta frente a estos cambios de sentido en la corriente residual.

En la **Figura 30 – Anexo III** se muestran las series de tiempo de la componente U de la velocidad (expresadas en m/s) a 5, 10, 20 y 40 metros de profundidad para las corridas 01, 02, 04 y 06 (ver **Tabla V– Anexo III**), en donde en cada uno de ellos se van adicionando los *input* o componentes básicos que fuerzan al modelo. La **Figura 31 – Anexo III** muestra los flujos residuales de la componente U.

El criterio de selección entre los 2 tipos de forzantes atmosféricos no se tomó a partir de resultados en el canal Goñi pues ambas corridas (**05** y **06**) deparan resultados prácticamente idénticos. El viento



que mejor se adapta al modelo es el del modelo ERA-interim (de mayor resolución que el NCEP/NCAR) y esto lo veremos en la evaluación de la correntometría euleriana en el canal Pérez Sur e isla Rowlett.

Se realizó una prueba más y que en este caso trataba de analizar la influencia de los cambios de presión atmosférica del forzante ERA-interim. Se utilizó la presión atmosférica reducida al nivel del mar porque debido a la resolución del forzante ERA-interim ( $0.75^\circ$ ) si utilizaremos presión atmosférica en superficie, las bajas presiones asociadas a elevaciones topográficas provocarían distorsiones en la altura del nivel del mar en las cercanías a dichas elevaciones, y por tanto en las corrientes. Aun así, como se ve en las **Figuras 32 y 33 – Anexo III**, el modelo en este caso responde mejor a una presión atmosférica neutra (1013hPa) que a variaciones procedentes de frentes atmosféricos de escala sinóptica.

El resto de calibraciones se llevaron a cabo una a una (**Tabla V – Anexo III**) y se presentan gráficamente en las **Figura 34 – Anexo III**. La corrida del modelo **08** es la que más acerca al *peak* positivo en U el 10 de Junio. Tratándose de un evento significativo, es el aumento en la fricción del viento introducido en la simulación **08** el cambio que supone una mejora respecto de las demás. Los residuales de la simulación **08** en la **Figura 35 – Anexo III** muestran como es esta simulación la que más fielmente representa los cambios de sentido de la observación. Si bien es cierto que la simulación **10** (introducción del alto orden en la solución numérica) actúa sobre el flujo residual en el mismo sentido que la observación lo hace con un desfase que se evidencia especialmente aquí, en el canal Goñi, como en algunos de los siguientes puntos de evaluación.

Índices estadísticos de la corrida **08** de la componente U en el canal Goñi.

- 5 metros NRMSE = 9.52% y Coeficiente de Correlación = 89.89%.
- 10 metros NRMSE = 9.81% y Coeficiente de Correlación = 88.76%.
- 20 metros NRMSE = 9.07% y Coeficiente de Correlación = 91.43%.
- 40 metros NRMSE = 9.25% y Coeficiente de Correlación = 92.18%.

### Pérez Sur

Es en este punto de evaluación donde las pruebas de sensibilidad para la calibración del modelo muestran que el forzante atmosférico ERA-interim es más adecuado que el procedente del modelo global NCEP/NCAR.

En las **Figuras 36 y 37 – Anexo III** se muestra la componente V de la velocidad, la principal y más energética por la velocidad de flujo, con series de tiempo pertenecientes a las corridas **05 y 06** a 5, 10, 20 y 40 metros de profundidad del flujo total y residual respectivamente. En las capas más superficiales (5 y 10 metros) de la **Figura 36 – Anexo III** la corrida **06** (forzante atmosférico ERA-interim) mantiene la componente V más cercana a la observación, a pesar de las diferencias en amplitud y fase. Así mismo vemos en la **Figura 37 – Anexo III** que el residual de la corrida **05** (forzante atmosférico



NCEP/NCAR) es más exagerada que el homólogo de la corrida **06** respecto de la observación, hecho efectivo singularmente durante el evento que sucede el 10 de Junio con un *peak* relativo mínimo en la componente V.

Si bien la componente U es significativamente menos relevante en cuanto a la magnitud del flujo también pone de manifiesto la conveniencia del modelo atmosférico ERA-interim (corrida **06**) sobre el modelo de re-análisis NCEP/NCAR (corrida **05**), como así vemos en las **Figuras 38 y 39 – Anexo III**. Durante el día 9 de junio el residual en las capas a 5 y 10 metros de profundidad marca la componente U ligeramente negativa, mientras la corrida **05** se mantiene notablemente positiva, al contrario que la corrida **06** similar a la observación.

El comportamiento de estas capas superficiales (5 y 10 metros) es atribuible al efecto del viento como vemos en la **Figura 40 – Anexo III** donde se muestran las corridas en que se van sumando uno a uno. En aquellas corridas donde el viento aún no se introdujo en el modelo (**01 y 02**) la componente V no marca el *peak* negativo del 10 de Junio, como sí ocurre en las corridas **04 y 06** (nótese que ambas se solapan perfectamente sólo viéndose la superior, la **06**).

El efecto del viento es el agente que modula el sentido de la corriente residual en las capas más superficiales (Valle Levinson *et al.*, 2014). Por el contrario en la capa más profunda (40 metros) el efecto de arrastre del viento a través de la fricción apenas se percibe y el comportamiento de la corriente responde a un régimen barotrópico.

Índices estadísticos de la corrida **08** de la componente U en el canal Pérez Sur.

- 5 metros NRMSE = 23.11% y Coeficiente de Correlación = 59.79%.
- 10 metros NRMSE = 17.48% y Coeficiente de Correlación = 71.84%.
- 20 metros NRMSE = 15.53% y Coeficiente de Correlación = 71.84%.
- 40 metros NRMSE = 22.13% y Coeficiente de Correlación = 61.28%.

## Canal King

El canal King es de orientación Este-Oeste y así lo refleja el que la componente con una mayor amplitud, y más energética por tanto, sea la U. En las **Figuras 41 y 42 – Anexo III** se muestran las pruebas de sensibilidad entre las distintas corridas del modelo (ver **Tabla V**) a 5, 10 y 20 metros de profundidad. Los resultados de las distintas corridas son muy parejos entre sí y la observación según se aprecia en la **Figura 41 – Anexo III**. Sin embargo en la **Figura 42 – Anexo III** se aprecian las diferencias entre las corridas y los efectos de las características propias de cada una en los flujos residuales. La simulación **10**, donde la solución técnica de alto orden fue el input añadido, fue la que respondió peor y más disparejamente del resto. Es por ello que este input fue descartado para resultados finales como ya se apuntaba en el canal Goñi. Además la solución técnica de alto orden incrementa los tiempos de cómputo entre un 75-100%, con lo que si este input no ofrece ventajas significativas es preferible descartarlo de posteriores simulaciones.



Índices estadísticos de la corrida **08** de la componente U en el canal King.

- 5 metros NRMSE = 27.33% y Coeficiente de Correlación = 88.16%.
- 10 metros NRMSE = 28.86% y Coeficiente de Correlación = 86.84%.
- 20 metros NRMSE = 46.33% y Coeficiente de Correlación = 81.72%.

### Isla Rowlett

El ADCP de isla Rowlett se instaló en la confluencia de los canales Bynon y Memory (**Figura 1 – Anexo III**). La componente U es la principal, señal de que es un paso de comunicación de agua del océano con la zona interior de canales. Las **Figuras 43 y 44 – Anexo III** muestran la componente U de la velocidad a 5, 10, 20 y 40 metros de profundidad para el flujo total y residual respectivamente. En general las sucesivas pruebas del modelo representan en buen grado la señal del flujo observado. Nuevamente la corrida **10** (solución técnica de alto orden) está fuera de fase respecto de la observación, y así también su residual. La corrida **11**, en la cual la viscosidad vertical de Eddy sigue la parametrización *Log-law* se mantiene por encima de las demás simulaciones en las capas superficiales. El resto de corridas arrojan flujos muy similares entre sí y la observación. Sus residuales, si bien no representan perfectamente el flujo residual observado sí que marcan las mismas tendencias y un constante flujo de salida hacia el Oeste, especialmente en las capas más superficiales. El residual de la corrida **08** (coeficiente fricción del viento del doble) se solapa perfectamente con el residual observado los días 11 y 12 de Junio. Sin embargo, hay un evento el día 10 de Junio con un marcado flujo hacia el Oeste que no es reproducido por ninguna prueba y que es más intenso cuanto más profundas son las capas que registro el perfilador ADCP.

Índices estadísticos de la corrida **08** de la componente U en isla Rowlett.

- 5 metros NRMSE = 10.23% y Coeficiente de Correlación = 89.12%.
- 10 metros NRMSE = 10.27% y Coeficiente de Correlación = 89.26%.
- 20 metros NRMSE = 11.71% y Coeficiente de Correlación = 86.15%.
- 40 metros NRMSE = 17.67% y Coeficiente de Correlación = 74.13%.

### Canal Ninualac

En el punto de medición del canal Ninualac ambas componentes de la velocidad presentan similares amplitudes debido a la ubicación del ADCP en un sector del canal de orientación NE-SW. Las **Figuras 45 y 46 – Anexo III** muestran las series de tiempo correspondientes a la componente U de la velocidad de la corriente y sus residuales, mientras en las **Figuras 47 y 48 – Anexo III** se muestra la componente V y residuales asociados. Para ambas componentes no hay diferencias sustanciales entre las diferentes corridas, salvo la número **10** nuevamente (solución técnica de alto orden). La componente V está mejor representada por el modelo tanto en fase y amplitud (**Figura 47 – Anexo III**) como en el sentido del flujo de los residuales de los modelos respecto de la observación, mostrando una tendencia



general hacia el Sur, es decir, de salida al océano (**Figura 48 – Anexo III**). La señal de la componente U es más compleja (**Figura 45 – Anexo III**) como se ve en la oscilación de los flujos que no son tan harmónicos como en la componente V. Además ya en la capa a 20 metros de profundidad mientras los modelos mantienen su periodo la observación cambia y provoca que el modelo esté fuera de fase respecto de la observación. Tampoco los flujos residuales están bien reflejados por el modelo (**Figura 46 – Anexo III**). Mientras la componente U del flujo residual observado es al principio de la simulación positiva y hacia el Norte, a partir del día 10 se invierte hacia el Sur; por su parte los modelos se mantienen ligeramente positivos durante los 7 días de la simulación, salvo la corrida **10** que es de sentido inverso a la observación en todo momento.

Índices estadísticos de la corrida **08** de la componente U en canal Ninualac.

- 5 metros NRMSE = 24.31% y Coeficiente de Correlación = 79.38%.
- 10 metros NRMSE = 15.85% y Coeficiente de Correlación = 87.35%.
- 20 metros NRMSE = 19% y Coeficiente de Correlación = 89.93%.

### **CORRENTOMETRÍA EULERIANA con ADCP REMOLCADO**

En la **Figura 1** y **Tabla III– Anexo III** se muestran las posiciones y tiempos de registro de los equipos perfiladores acústicos (o ADCP) durante la campaña “Chonos Centro Otoño 2014”. Para evaluar este tipo de mediciones se emplearon los resultados de la segunda simulación entre el 19 de Mayo y el 4 de Junio de 2014, periodo que se solapa completamente con las mediciones de todos los equipos ADCP remolcados o *bottom track*.

La fase calibración del modelo se da por conclusa con la primera simulación que evalúa los resultados del modelo frente a la anomalía del nivel del mar y la correntometría euleriana con ADCP fondeado. En esta segunda simulación se aplican las características y componentes de las corridas que han supuesto una mejora en la evaluación de los resultados frente a las observaciones de la primera simulación (ver **Tabla V – Anexo III**). De esta manera, en esta segunda simulación el modelo estará construido con la malla triangular interpolando la compilación de batimetrías GEBCO y SHOA previamente interpoladas para suplir la falta de información allí donde es escasa o no existe, el campo de masas a partir del modelo global de Mercator, agua dulce a partir de la metodología de extrapolación de datos de la DGA, viento procedente del modelo global ERA-interim, presión atmosférica constante, viscosidad vertical de Eddy según formulación k-epsilon y horizontal según la parametrización de Smagorinsky, fricción de fondo de 5 cm, fricción del viento de 0.002425, solución técnica de bajo orden y 20 capas sigma. Estas características corresponden modelo **08** de la primera simulación.

Las mediciones de ADCP remolcado fueron utilizadas para extraer la corriente residual, definida como aquella parte de la corriente que queda después de remover las señales de frecuencia semi-diurna y diurna durante uno o más ciclos de marea (Tee, 1977). Para esto los datos de compás del ADCP



fueron corregidos siguiendo el método de Joyce (1989) y los datos erróneos de velocidades fueron removidos siguiendo el procedimiento explicado por Valle-Levinson & Atkinson (1999). La señal semi-diurna de la marea, representada por la constituyente M2 con un período de 12,42 horas, y la señal diurna, representada por la constituyente K1 con un período de 23,93 horas, fueron separadas de la señal submareal de los componentes del flujo observado usando análisis de regresión sinusoidal de mínimos cuadrados (Lwiza *et al.*, 1991). La señal submareal representó el flujo residual o promedio de estas dos componentes armónicas para el período de mediciones. Por último los datos de velocidad fueron rotados en la dirección de más alta variabilidad.

No se utilizan índices estadísticos para medir directamente el grado de confianza que establece el modelo en su evaluación frente a las respectivas observaciones, lo cual perjudica en demasía el criterio de confiabilidad. Por el contrario se interpretan las características y estructuras espaciales del flujo que presenten tanto modelo como observación, como sean formación de capas en profundidad, geostrofia, flujos de agua dulce, etc.

### Canal Pérez Sur

El 25 de Mayo y durante 24 horas se realizó la medición de ADCP remolcado a través del canal Pérez Sur en una transecta de sentido Oeste-Este como muestra la **Figura 49 a) – Anexo III**, siendo V la componente principal del flujo residual (**Figura 49 b) – Anexo III**). En el margen Oeste y en profundidad el flujo residual es positivo hacia el Norte, al igual que en la superficie del margen Este. El centro del canal está dominado por flujos de sentido Sur. El modelo (**Figura 50 – Anexo III**) divide el flujo en 2 sentidos en la vertical, en el margen Oeste el agua fluye hacia el Norte, mientras que en el centro del canal y el margen Este fluye hacia el Sur.

### Canal King

La medición con ADCP remolcado en el canal King se llevó a cabo el día 20 de Mayo por 24 horas de duración de Norte a Sur como se muestra en la **Figura 51 a) – Anexo III**. La componente principal del flujo residual es la U (**Figura 51 b) – Anexo III**). Se observa la formación de 3 capas, la superior e inferior son de sentido negativo y por tanto fluyen hacia el Oeste, mientras la capa intermedia entra hacia el Este desde el océano. En el modelo (**Figura 52 – Anexo III**) también se observa la formación de 3 capas de igual sentido que las de la medición, aunque las intensidades son menores en el modelo.

### Canal Memory

El 3 de Junio se realizó por 24 horas seguidas la medición de ADCP remolcado en el canal Memory en una transecta de sentido SW-NE (**Figura 53 a) – Anexo III**) cuya componente principal del flujo es la U (**Figura 53 b) – Anexo III**). Típica estructura de 2 capas de ambientes estuarinos. La capa superior transporta agua hacia el Oeste y la inferior hacia el Este con un interfaz situado a 100 metros de profundidad aproximadamente. En el modelo (**Figura 54 – Anexo III**) se forman estas 2 mismas capas



aunque el interfaz sea oblicuo en vez de horizontal. Flujos negativos hacia el Oeste en el margen Este y positivos hacia el Este en el margen Oeste.

### **Canal Bynon**

En el canal Bynon el registro de ADCP remolcado se hizo el día 2 de Junio durante 24 horas en una transecta de orientación Norte Sur (**Figura 55 a) – Anexo III**), siendo U la componente principal del flujo residual (**Figura 55 b) – Anexo III**). Estructura de 2 capas, superior de sentido hacia el Oeste e inferior opuesta y hacia el Este. El interfaz entre ambas está inclinado hacia el margen Sur lo que sugiere una situación de geostrofia. En el modelo (**Figura 56 – Anexo III**) si bien el agua se dirige hacia el Oeste por la superficie y el margen Norte y entra hacia el Oeste en profundidad y por el margen Sur, la inclinación del interfaz es inversa a una supuesta situación de geostrofia.

### **Canal Moraleda Norte**

El día 23 de Mayo y por 24 horas se estuvo midiendo correntometría euleriana mediante ADCP remolcado en el canal Moraleda en una transecta de orientación Oeste-Este en un sector Norte del canal como muestra la **Figura 57 a) – Anexo III**. La componente principal del flujo residual es la V (**Figura 57 b) – Anexo III**). El canal Moraleda presenta 2 sistemas separados por el promontorio que se eleva desde los 400 metros de profundidad hasta cerca de 50 en mitad del canal. En el sector Oeste hay 3 capas, superior e inferior fluyen hacia el golfo del Corcovado por el Norte. La capa intermedia que transporta agua hacia el Sur se extiende a lo ancho del canal y a través del promontorio; esta capa es más gruesa en el sector Este del canal. En este mismo sector la capa inferior desaparece, habiendo una estructura de 2 capas. La capa superficial es más intensa en el lado Este del canal. El modelo (**Figura 58 – Anexo III**) replica la capa superior de salida del sistema hacia el Norte y también su intensificación en el margen Este, aunque las intensidades son inferiores en el modelo respecto de la observación. También se forma una capa intermedia que entra al sistema de fiordos y que se extiende a lo ancho del canal Moraleda atravesando el promontorio. Sin embargo, en el sector Este se forma una tercera capa de sentido Norte que en la observación no aparece (aunque la medición no registra hasta el fondo, al contrario del modelo).

## **CORRENTOMETRÍA LAGRANGIANA con DERIVADORES**

Para la medición de correntometría lagrangiana se emplearon boyas derivadoras de las cuales pende un cabo a los que se engancha una vela a la profundidad deseada, en nuestro caso a 4 y 8 metros de profundidad. Adosados a las boyas se acoplan radio transmisores que envían la posición de las boyas a intervalos regulares. Las mediciones se realizan por 24 horas, a menos que los derivadores varen en la orilla, momento en que se da por finalizado el experimento.



En la **Figura 1 – Anexo III** y la **Tabla IV – Anexo III** se detallan posiciones y periodos de medición con esta técnica.

Previo a la evaluación de los resultados es necesario implementar un modelo desacoplado de transporte de partículas. Una vez resuelta la hidrodinámica de la segunda simulación (entre el 19 de Mayo y el 4 de Junio del 2014) se debe realizar una nueva simulación con el modelo desacoplado de transporte de partículas. En dicho modelo se almacena información de transporte advectivo y difusivo del modelo hidrodinámico y en él caracterizamos el tipo de partículas que van a estar sujetas a transporte (derivadores), así como el lugar, profundidad (4 y 8 metros) y tiempo de liberación que deberán corresponderse con las mediciones de terreno.

### **Canal Ciriaco**

El día 28 de mayo a las 09:30 se liberaron los derivadores en el canal Ciriaco. El derivador a 4 metros de profundidad permaneció a la deriva 13 horas, mientras el derivador a 8 metros hizo lo propio por 11 horas. En la **Figura 59 – Anexo III** podemos comparar las trayectorias de deriva seguidas por el derivador a 4 metros de la medición en terreno y el del modelo. En la **Figura 60 – Anexo III** vemos las trayectorias de los derivadores de terreno y modelado a 8 metros de profundidad.

Derivador canal Ciriaco 4 metros: tanto el derivador del terreno como el del modelo se dirigen hacia el SE desde el principio. Una vez que alcanzan el canal Ninualac el derivador de terreno se dirige hacia el SW mientras el del modelo lo hace sigue haciendo hacia el SE.

- Distancia recorrida derivador medición Ciriaco 4m = 11.8 km
- Distancia recorrida derivador modelo Ciriaco 4m = 13.3 km

Derivador canal Ciriaco 8 metros: ambos derivadores empiezan sus derivas hacia el SE desde el punto de partida, para luego devolverse hacia el NW. El derivador del modelo no llega tan al SE como el del terreno (canal Ninualac) y éste tampoco llega tan al NW como el del modelo.

- Distancia recorrida derivador medición Ciriaco 8m = 14.9 km
- Distancia recorrida derivador modelo Ciriaco 8m = 12.8 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Regional Chiloé-Aysén podemos ver la secuencia completa de deriva de los derivadores simulados por el modelo a 4 y 8 metros en el canal Ciriaco.

### **Canal Pérez Sur**

El 26 de Mayo a las 07:30 y durante sólo 8 horas, antes de enredarse en unas algas de la orilla, fueron liberadas las boyas derivadoras en el canal Pérez Sur. Las derivas seguidas por derivador de terreno



y modelado para 4 y 8 metros de profundidad pueden compararse en las **Figuras 61 y 62 – Anexo III** respectivamente.

Derivador canal Pérez Sur 4 metros: ambos se dirigen hacia el Sur, pero al llegar a la altura del canal Bynon el derivador del terreno se ve arrastrado hacia el SE (el modelo detiene su trayectoria en tal posición).

- Distancia recorrida derivador medición Pérez Sur 4m = 6.5 km
- Distancia recorrida derivador modelo Pérez Sur 4m = 2.75 km

Derivador canal Pérez Sur 8 metros: trayectorias prácticamente idénticas a las de 4 metros.

- Distancia recorrida derivador medición Pérez Sur 8m = 6.5 km
- Distancia recorrida derivador modelo Pérez Sur 8m = 2.7 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Regional Chiloé-Aysén podemos ver la secuencia completa de deriva de los derivadores simulados por el modelo a 4 y 8 metros en el canal Pérez Sur.

### Canal King

En el canal King la medición de correntometría lagrangiana se desarrolló por 21 y 20 horas (derivadores a 4 y 8 metros respectivamente) comenzando el día 21 de Mayo a las 05:00. En las **Figuras 63 y 64 – Anexo III** se muestran tales derivas junto con las respectivas del modelo.

Derivador canal King 4metros: medición y modelo describen trayectorias de igual sentido (primero hacia el Oeste, vuelta hacia el Este y de nuevo al Oeste formando un bucle), pero de más largo recorrido en el caso del derivador del modelo.

- Distancia recorrida derivador medición King 4m = 12.1 km
- Distancia recorrida derivador modelo King 4m = 18.4 km

Derivador canal King 8 metros: al igual que los derivadores de 4 metros de profundidad, a los 8 metros ambos derivadores describen el mismo bucle (Oeste-Este-Oeste), aunque esta vez más pronunciado en el caso del modelo.

- Distancia recorrida derivador medición King 8m = 12.5 km
- Distancia recorrida derivador modelo King 8m = 18.8 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Regional Chiloé-Aysén podemos ver la secuencia completa de deriva de los derivadores simulados por el modelo a 4 y 8 metros en el canal King.



## Canal Ninualac

El 30 de Mayo a las 12:00 se liberaron las boyas derivadoras en el canal Ninualac. Ambas derivaron por sólo 7 horas. En las **Figuras 65 y 66 – Anexo III** podemos comparar las derivas de los derivadores de terreno frente a los derivadores cuyas trayectorias han sido modeladas.

Derivador canal Ninualac 4 metros: medición y modelo comienzan sus derivas hacia el Este del punto de inicio para invertir sus trayectorias hacia el Oeste. El modelo se desvía hacia el margen Sur del canal, mientras el modelo continúa por el centro hasta la altura del islote.

- Distancia recorrida derivador medición Ninualac 4m = 6.1 km
- Distancia recorrida derivador modelo Ninualac 4m = 11.1 km

Derivador canal Ninualac 8 metros: como sus homólogos de 4 metros, medición y modelo trazan un bucle Este-Oeste. El modelo alcanza el islote de mitad del canal y el derivador de terreno no llega a alcanzar tal punto.

- Distancia recorrida derivador medición Ninualac 8m = 5.8 km
- Distancia recorrida derivador modelo Ninualac 8m = 9.3 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Regional Chiloé-Aysén podemos ver la secuencia completa de deriva de los derivadores simulados por el modelo a 4 y 8 metros en el canal Ninualac.



## ANEXO III: TABLAS

Tabla I. Bitácora mareógrafos de la campaña "Chonos Centro Otoño-Invierno 2014"

MAREÓGRAFO	POSICIÓN	TIEMPO REGISTRO
Canal Chacao	73.410935°W – 41.868701°S	29/07/2011 – 13/09/2011
Estero Palvitad	72.822842°W - 43.018221°S	11/11/2010 – 17/12/2010
Melinka	73.748186°W – 43.8965°S	19/04/2011 – 06/06/2011
Canal King	74.17909°W – 44.55671°S	20/05/2014 – 24/06/2014
Canal Costa	73.569315°W – 45.605176°S	23/01/2012 – 20/02/2012

Tabla II. Bitácora ADCP fondeados de la campaña "Chonos Centro Otoño-Invierno 2014"

ADCP fondeado	POSICIÓN	TIEMPO REGISTRO
Canal Pérez Sur	73.79499°W - 44.74305°S	27/05/2014 – 02/07/2014
Canal Goñi	74.03757°W – 44.87104°S	27/05/2014 – 02/07/2014
Canal Ninualac	74.20163°W – 45.03334°S	31/05/2014 – 03/07/2014
Isla Rowlett	74.28720°W – 44.84767°S	03/06/2014 – 03/07/2014
Canal King	74.08840°W – 44.55991°S	04/06/2014 – 04/07/2014

Tabla III. Bitácora ADCP remolcados de la campaña "Chonos Centro Otoño-Invierno 2014"

ADCP remolcado	FECHA	TIEMPO (h)	VÉRTICE A	VÉRTICE B
Canal King	20/05/2014	24	74.17990°W - 44.58902°S	74.18388°W - 44.55979°S
Canal Moraleda Norte	23/05/2014	24	73.53122°W - 44.38253°S	73.35065°W - 44.37125°S
Canal Pérez Sur	25/05/2014	24	73.84920°W - 44.68383°S	73.81197°W - 44.67485°S
Canal Bynon	02/06/2014	24	74.15690°W - 44.79898°S	74.15074°W - 44.77965°S
Canal Memory	03/06/2014	24	74.34897°W - 44.79316°S	74.33064°W - 44.7797°S

Tabla IV. Bitácora derivadores lagrangianos de la campaña "Chonos Centro Otoño-Invierno 2014"

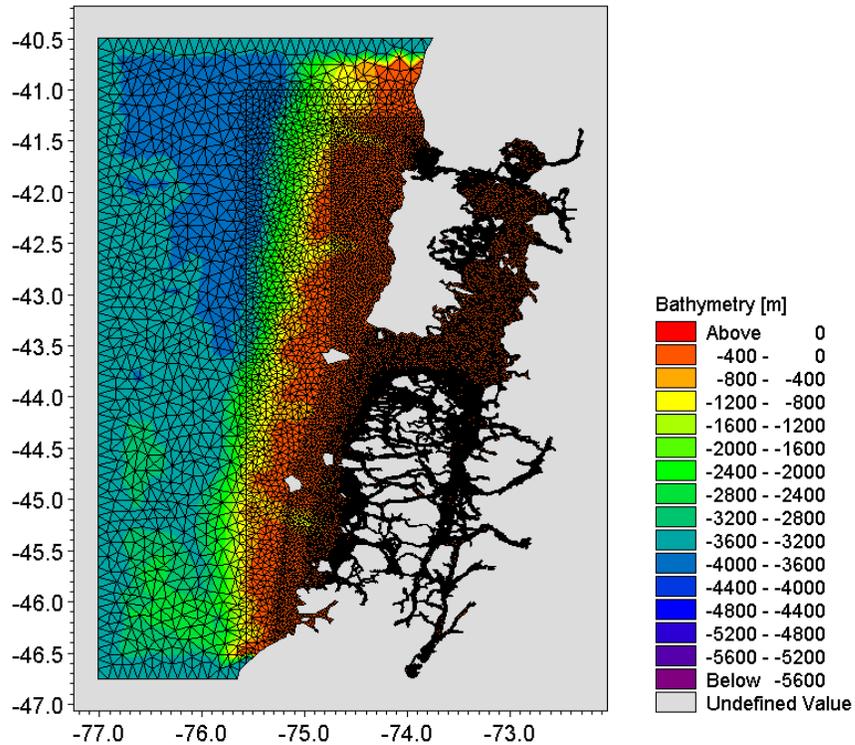
DERIVADOR	POSICIÓN INICIO	FECHA INICIO	DURACIÓN (horas)
Canal Ciriaco 4 m	73.9163°W - 44.8993°S	28/05/14 09:30	13
Canal Ciriaco 8 m	73.9167°W - 44.8992°S	28/05/14 09:30	11
Canal King 4 m	74.1842°W - 44.5737°S	21/05/14 05:00	21
Canal King 8 m	74.1842°W - 44.5737°S	21/05/14 05:00	20
Canal Ninualac 4 m	74.1113°W - 45.0157°S	30/05/14 12:00	7
Canal Ninualac 8 m	74.1113°W - 45.0158°S	30/05/14 12:00	7
Canal Pérez Sur 4 m	73.8297°W - 44.6863°S	26/05/14 07.30	8
Canal Pérez Sur 8 m	73.8302°W - 44.6862°S	26/05/14 07.30	8



**Tabla V.** Esquema simulaciones (o corridas) empleadas en la etapa de calibración (o sensibilidad) del modelo regional Chiloé-Aysén. En verde las modificaciones positivas y en rojo las negativas y descartadas.

N°	Viento	Presión	Agua Dulce	Campo Masas	Batimetría	Viscosidad De Eddy	Fricción Fondo	Fricción Viento	Orden Numérico	N° Capas
1	NO	NO	NO	NO	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	NO	Bajo	2
2	NO	NO	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	NO	Bajo	20
3	NO	NO	DGA	Mercator	Gebco+ ShoOriginal	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	NO	Bajo	20
4	NO	NO	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	NO	Bajo	20
5	NCEP NCAR	NCEP NCAR	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	0.001255	Bajo	20
6	Era-interim	Cte 1013hPa	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	0.001255	Bajo	20
7	Era-interim	ERA-interim	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	0.002425	Bajo	20
8	Era-interim	Cte 1013hPa	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	0.002425	Bajo	20
9	Era-interim	Cte 1013hPa	DGA X 2	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	0.001255	Bajo	20
10	Era-interim	Cte 1013hPa	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	0.001255	Alto	20
11	Era-interim	Cte 1013hPa	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:Log-law H:Smagorinsky	5 cm	0.001255	Bajo	20
12	Era-interim	Cte 1013hPa	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:Cte H:Cte	5 cm	0.001255	Bajo	20
13	Era-interim	Cte 1013hPa	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V: no eddy H: no eddy	5 cm	0.001255	Bajo	20
14	Era-interim	Cte 1013hPa	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	5 cm	0.001255	Bajo	30
15	Era-interim	Cte 1013hPa	DGA	Mercator	Gebco + Shoainterp	V:k-epsilon H:Smagorinsky	30 cm	0.001255	Bajo	20





**Figura 2.** Dominio del modelo regional Chiloé-Aysén mostrando elementos de la malla flexible y batimetría interpolada.

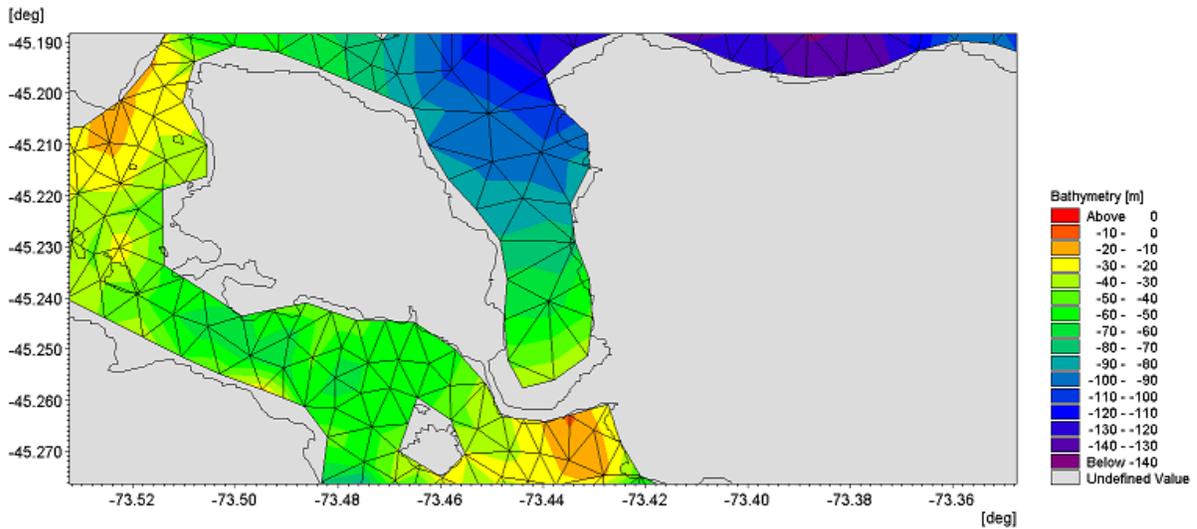


Figura 3. L3nea de costa del modelo frente a l3nea de costa de imagen satelital.

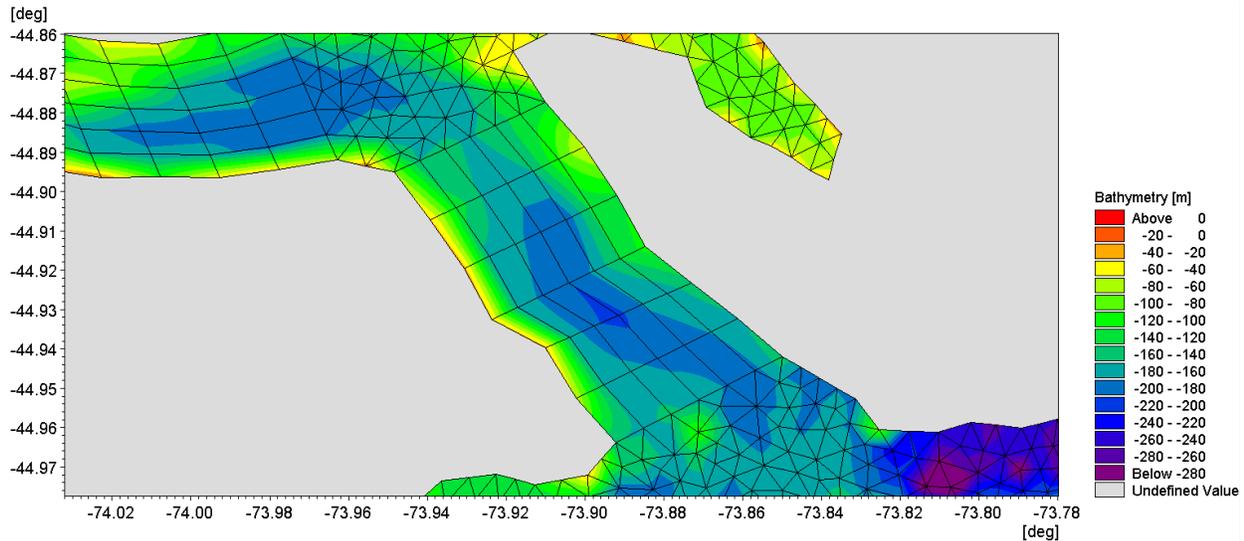


Figura 4. Zoom a la malla flexible (canal Ciriaco) mostrando la resoluci3n horizontal y elementos triangulares y rectangulares.

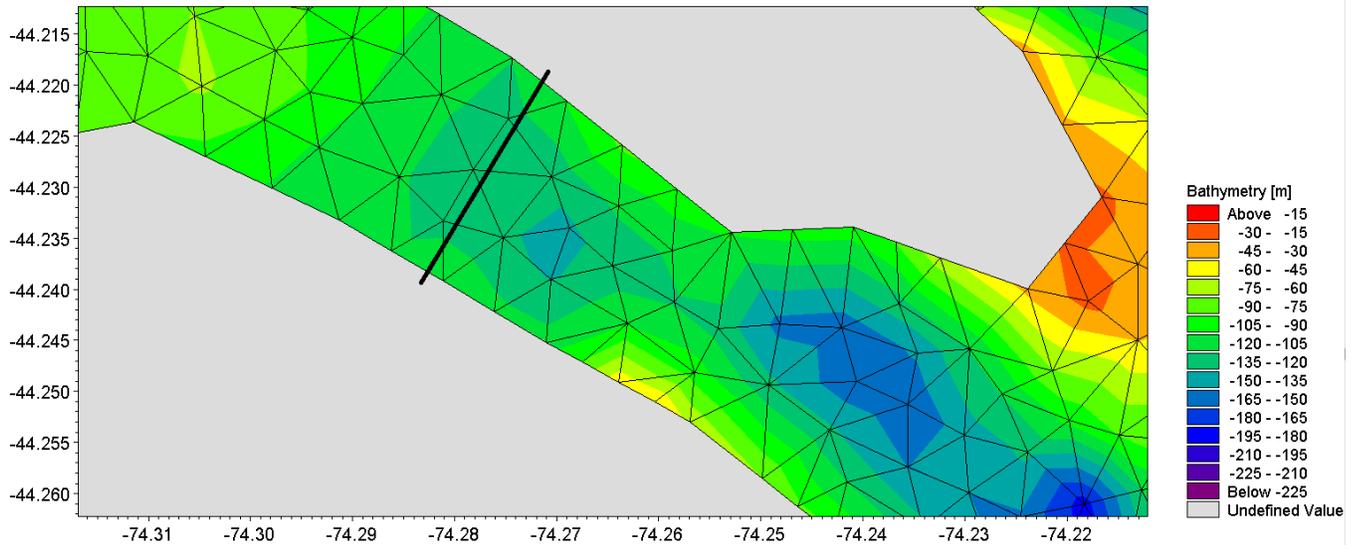


Figura 5. Criterio m3nimo de 5 elementos de la malla flexible a trav3s de canales principales.

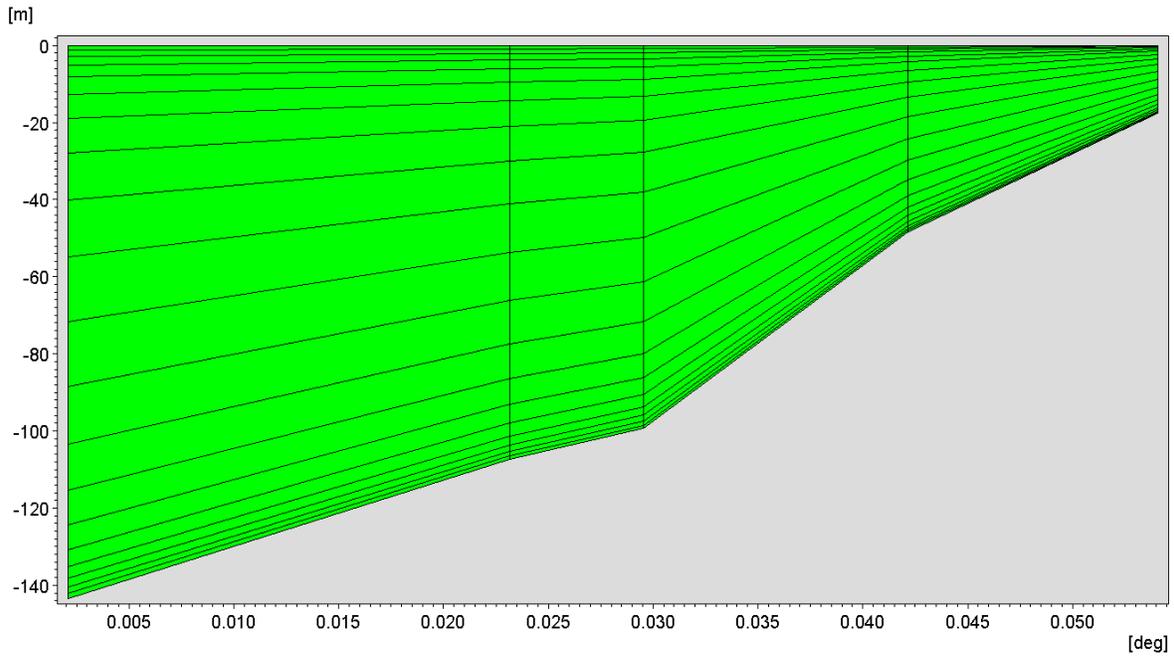


Figura 6. Secci3n transversal mostrando la resoluci3n vertical dada por la capas sigma.

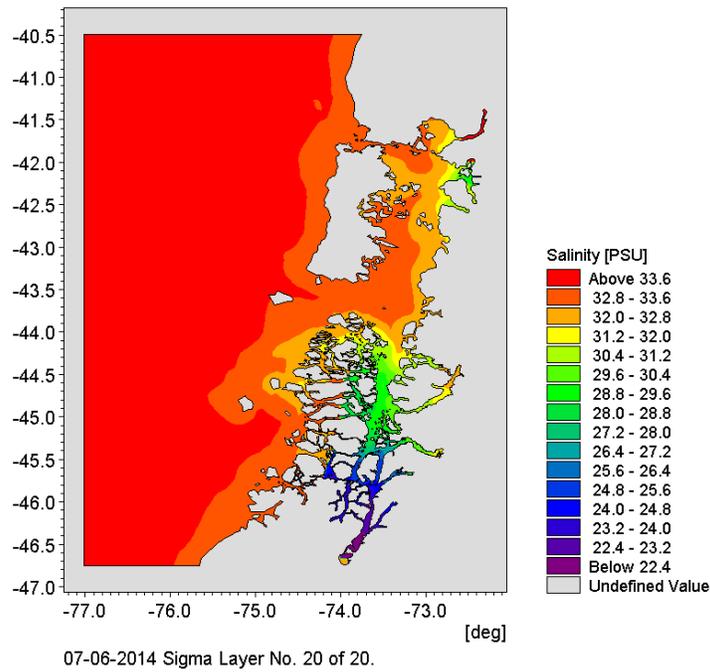


Figura 7. Salinidad inicial del modelo regional Chiloé-Aysén procedente del modelo global Mercator.

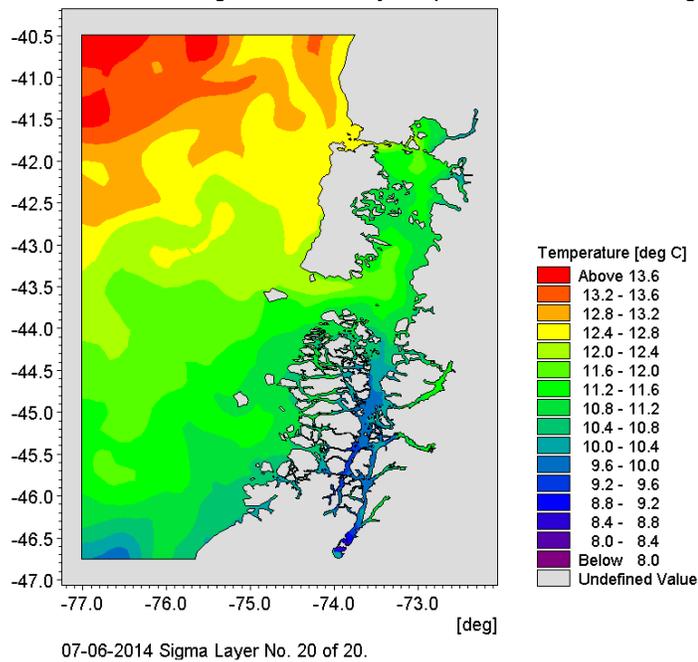
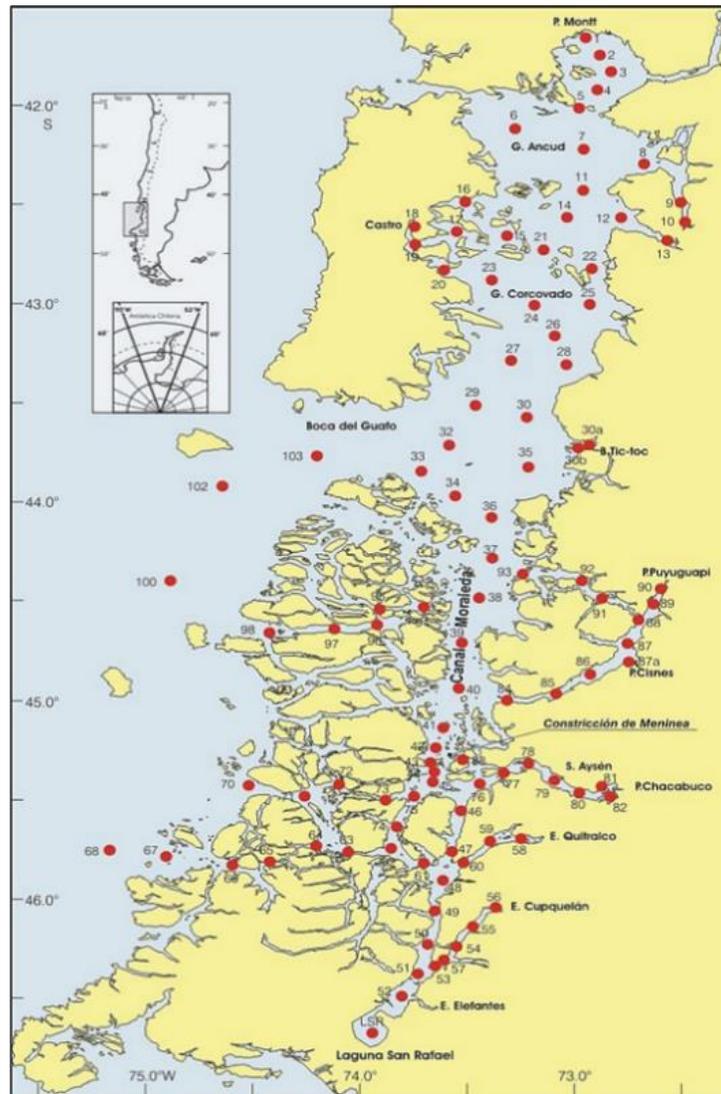
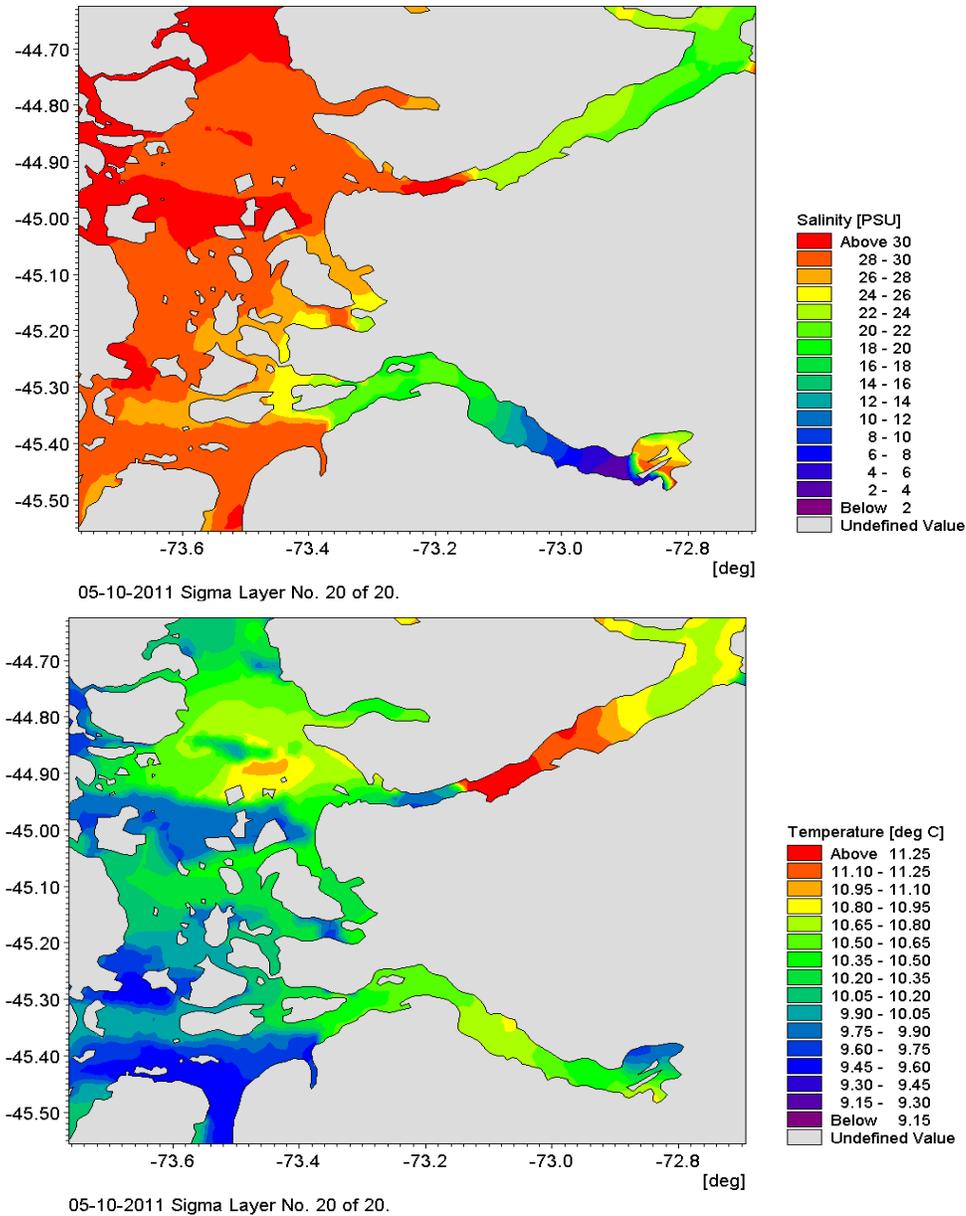


Figura 8. Temperatura inicial del modelo regional Chiloé-Aysén procedente del modelo global Mercator.



**Figura 9.** Estaciones de muestreo del Crucero CIMAR I entre los días 18 de Octubre de 1995 y 11 de Noviembre de 1995.



**Figura 10.** Anomalías en salinidad y temperatura del Crucero CIMAR I al interpolar los datos en la malla del dominio regional Chiloé-Aysén.

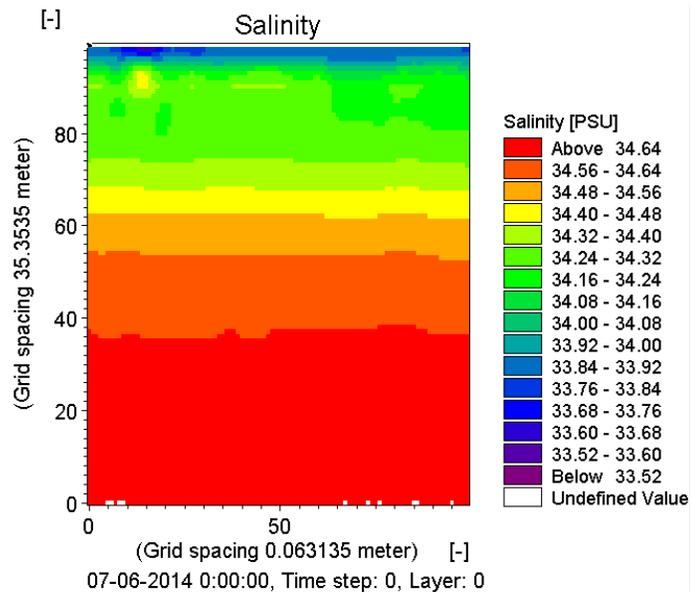


Figura 11. Condición de salinidad del borde Oeste del modelo regional Chiloé-Aysén procedente del modelo global Mercator.

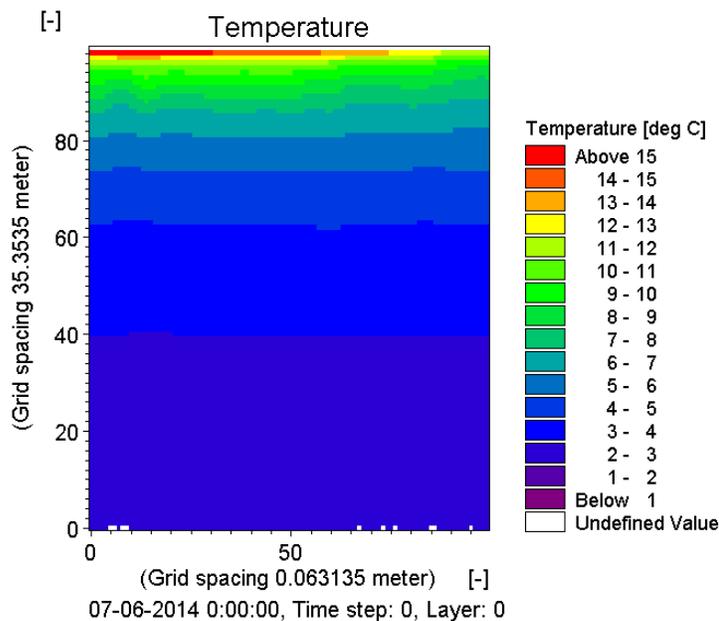
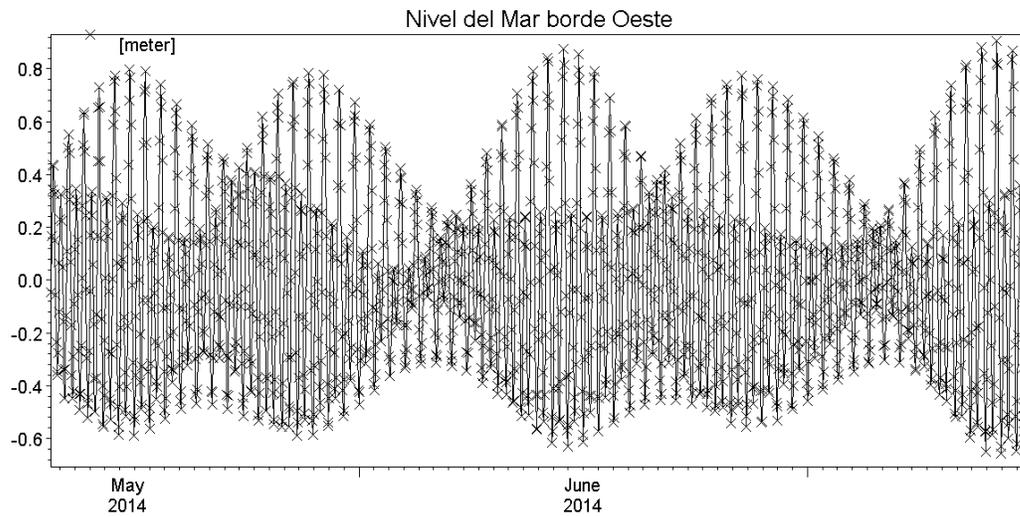
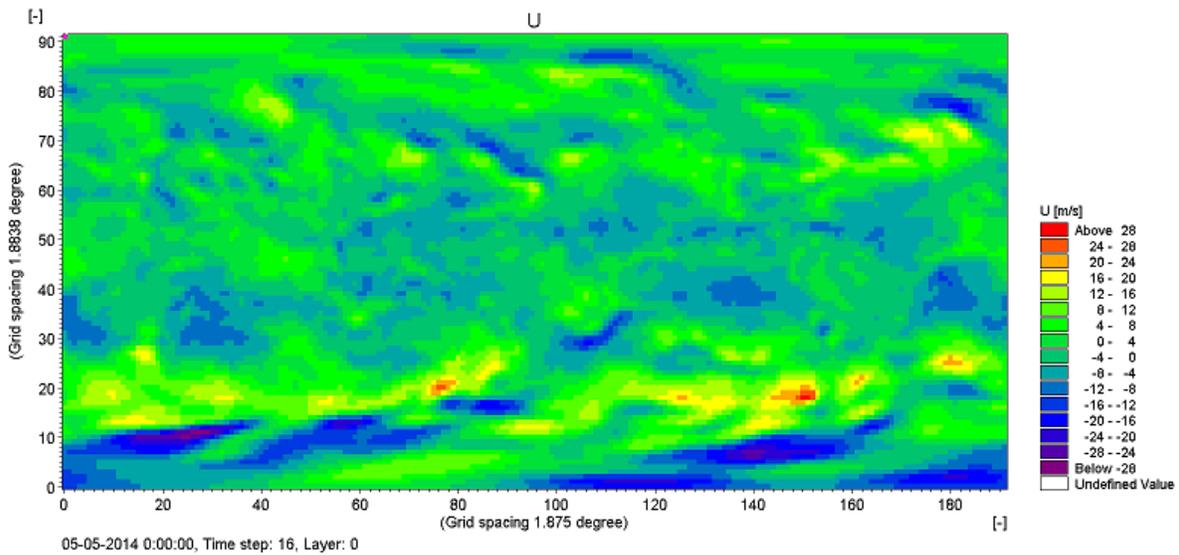


Figura 12. Condición de temperatura del borde Oeste del modelo regional Chiloé-Aysén procedente del modelo global Mercator.



**Figura 13.** Condici3n de nivel del mar del borde Oeste del modelo regional Chilo3-Ays3n procedente del modelo global Topex-Poseidon.



**Figura 14.** Componente U del viento del modelo NCEP/NCAR

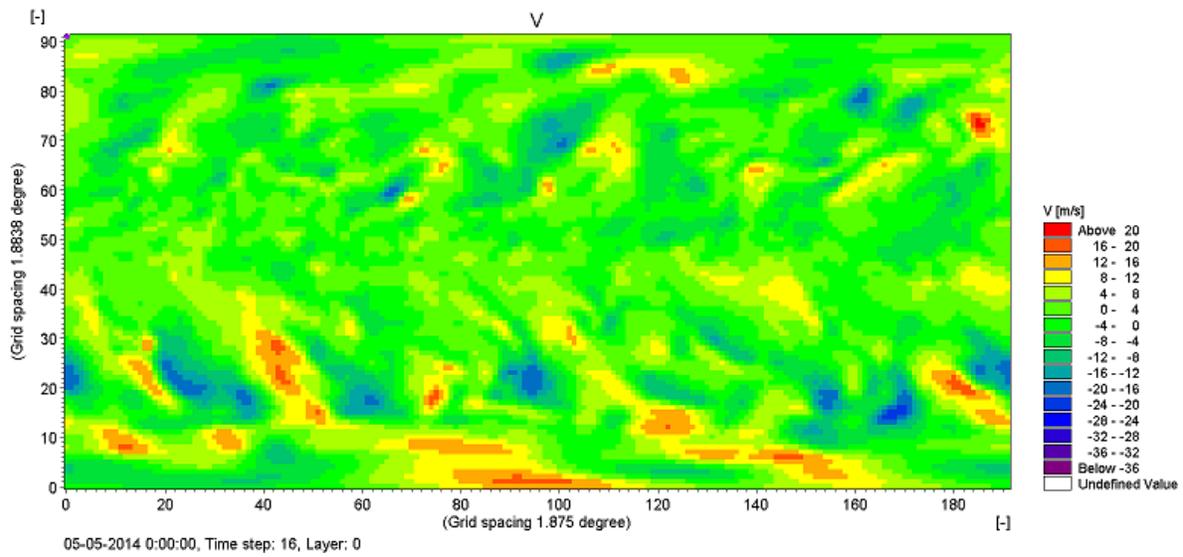


Figura 15. Componente V del viento del modelo NCEP/NCAR

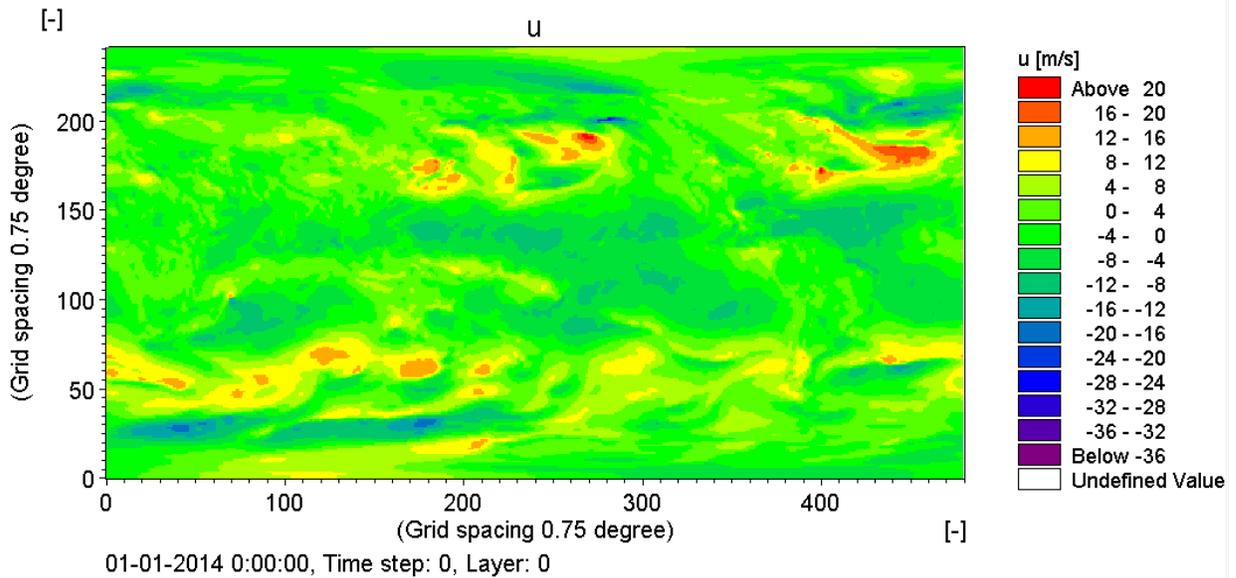


Figura 16. Componente U del viento del modelo ERA-interim.

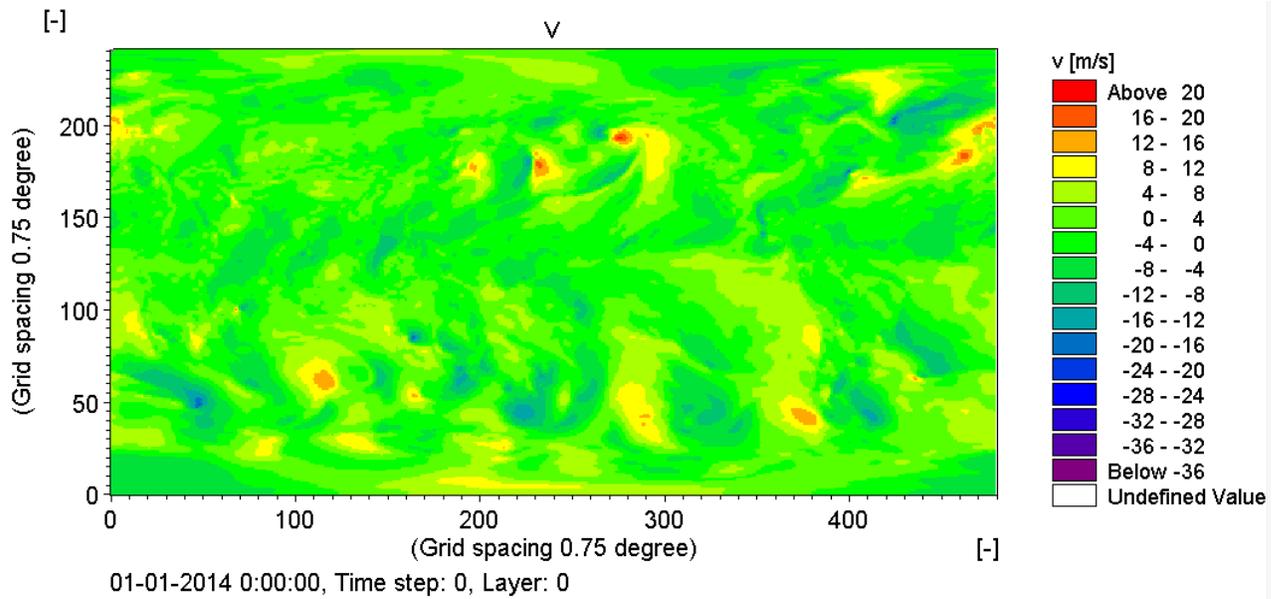


Figura 17. Componente V del viento del modelo ERA-interim.

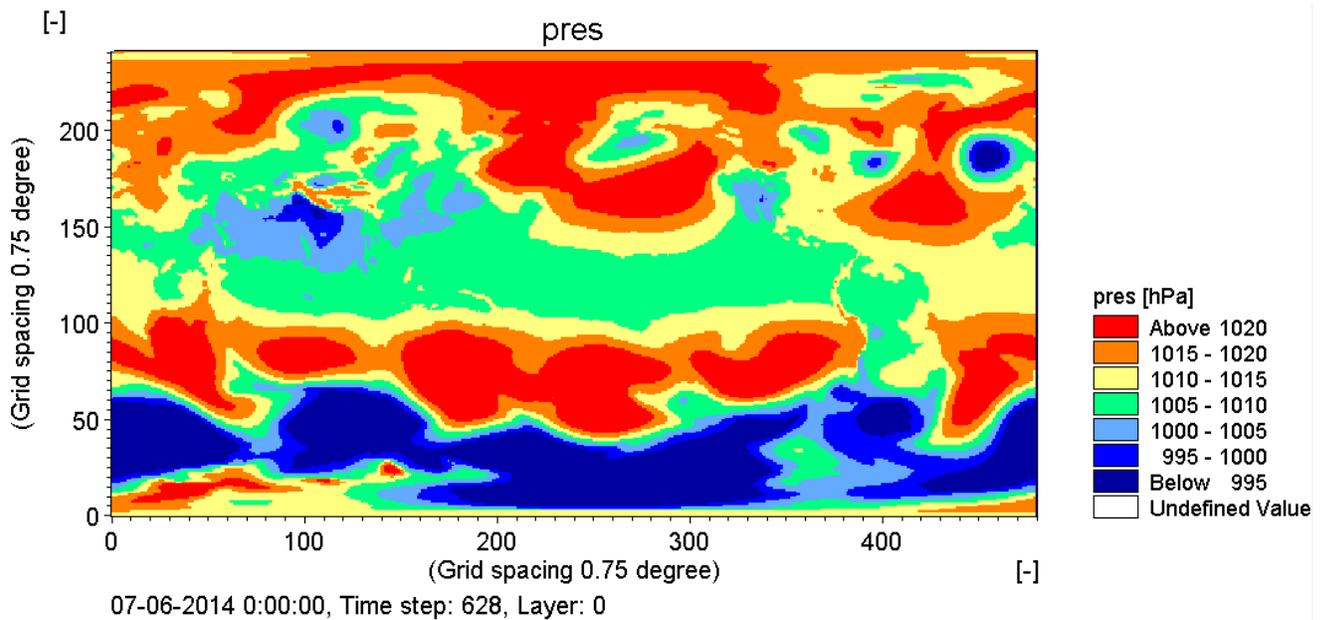
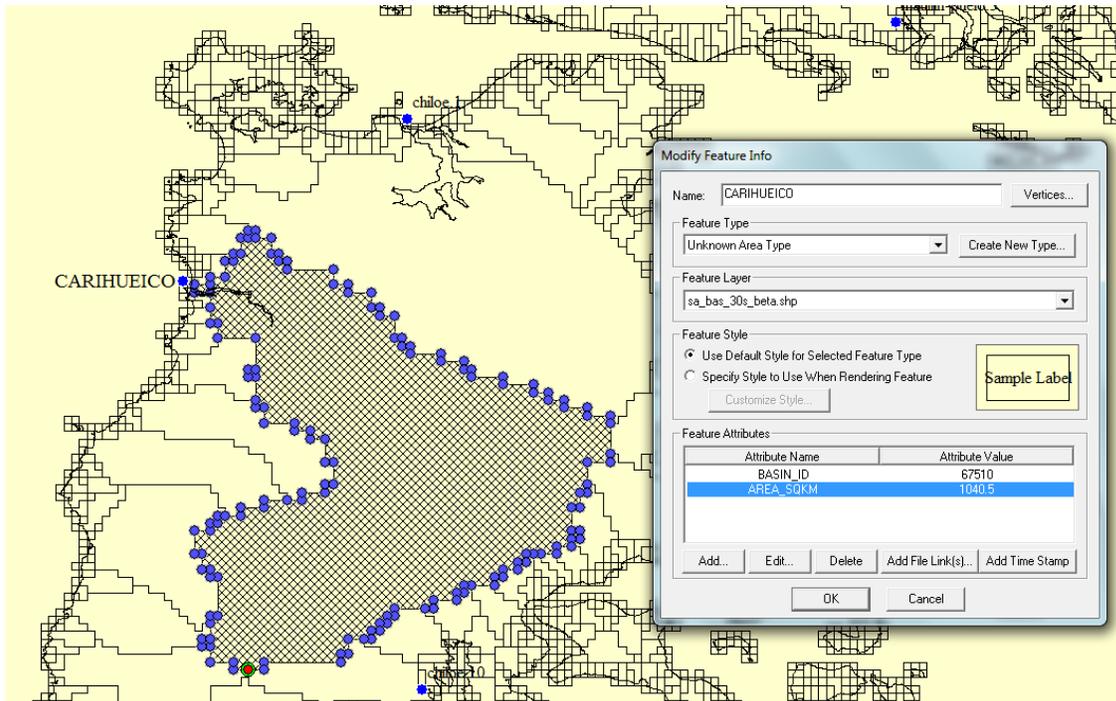
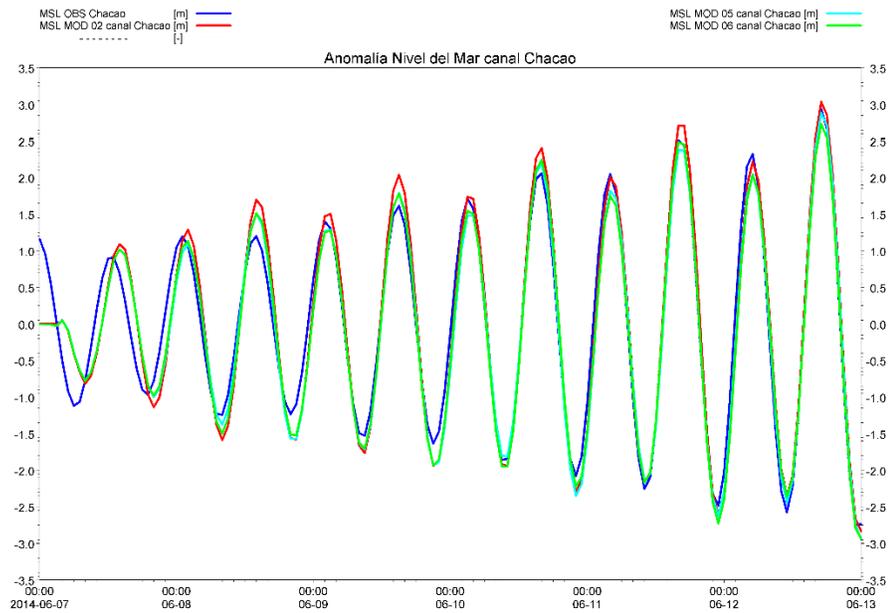


Figura 18. Presión reducida al nivel del mar del modelo ERA-interim.



**Figura 19.** Cuenca del río Carihueico (isla Grande de Chiloé) mostrando su superficie sobre la que extrapolar los valores entregados por la DGA.



**Figura 20.** Evaluación del nivel del mar en el canal de Chacao. Corridos 02, 05 y 06.

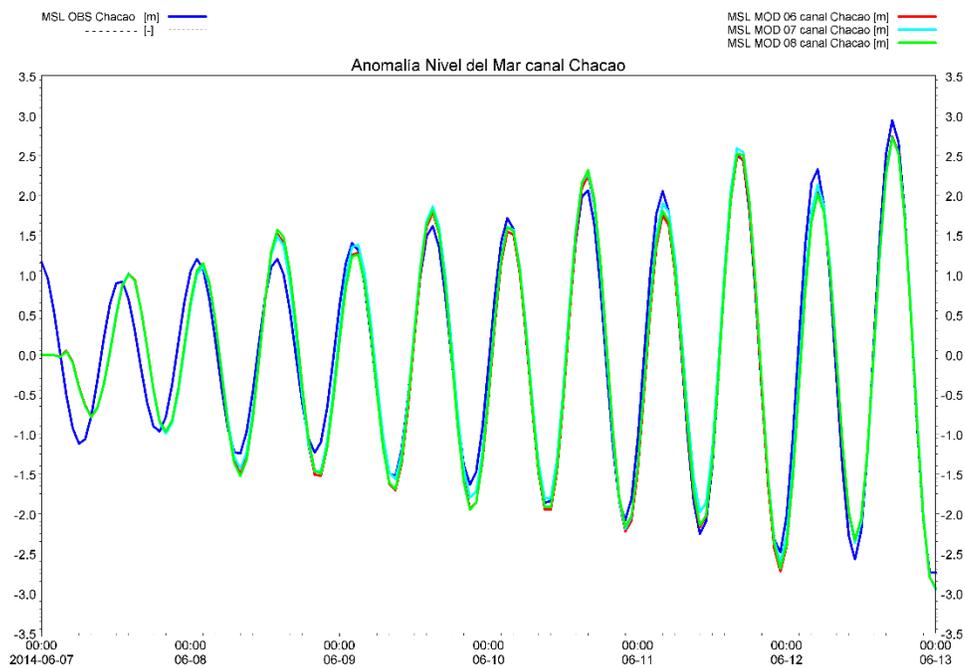


Figura 21. Evaluaci3n del nivel del mar en el canal de Chacao. Corridos 06, 07 y 08.

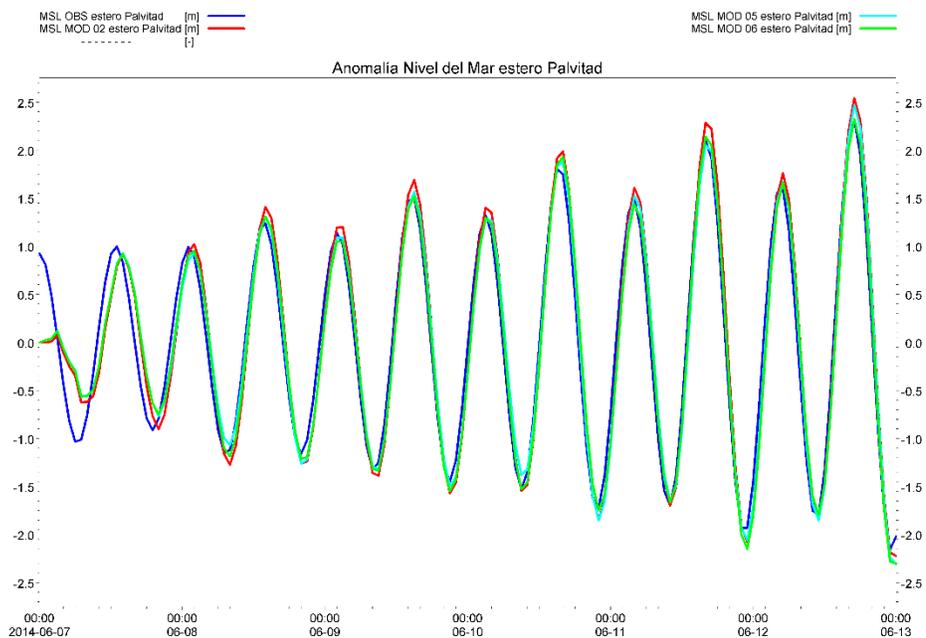


Figura 22. Evaluaci3n del nivel del mar en el estero Palvidad. Corridos 02, 05 y 06.

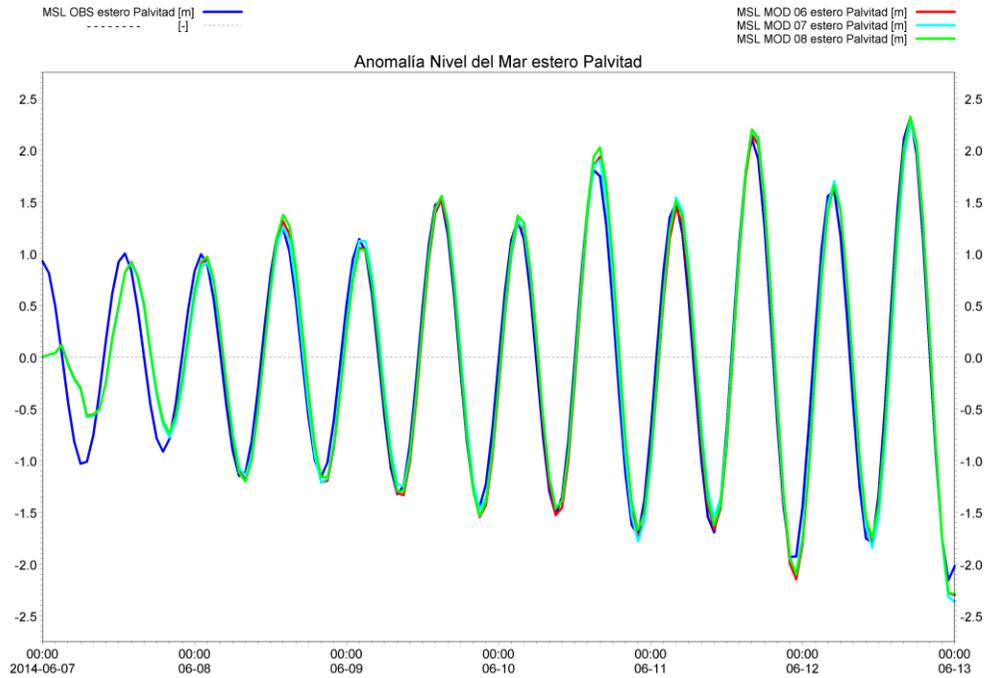


Figura 23. Evaluaci3n del nivel del mar en el estero Palvidad. Corridos 06, 07 y 08.

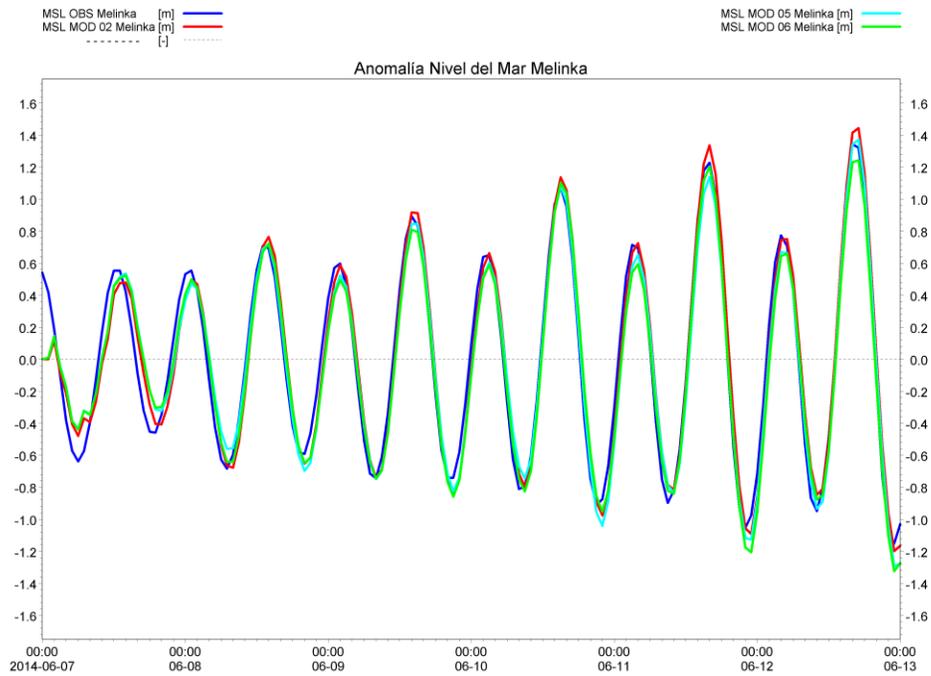


Figura 24. Evaluaci3n del nivel del mar en Melinka. Corridos 02, 05 y 06.

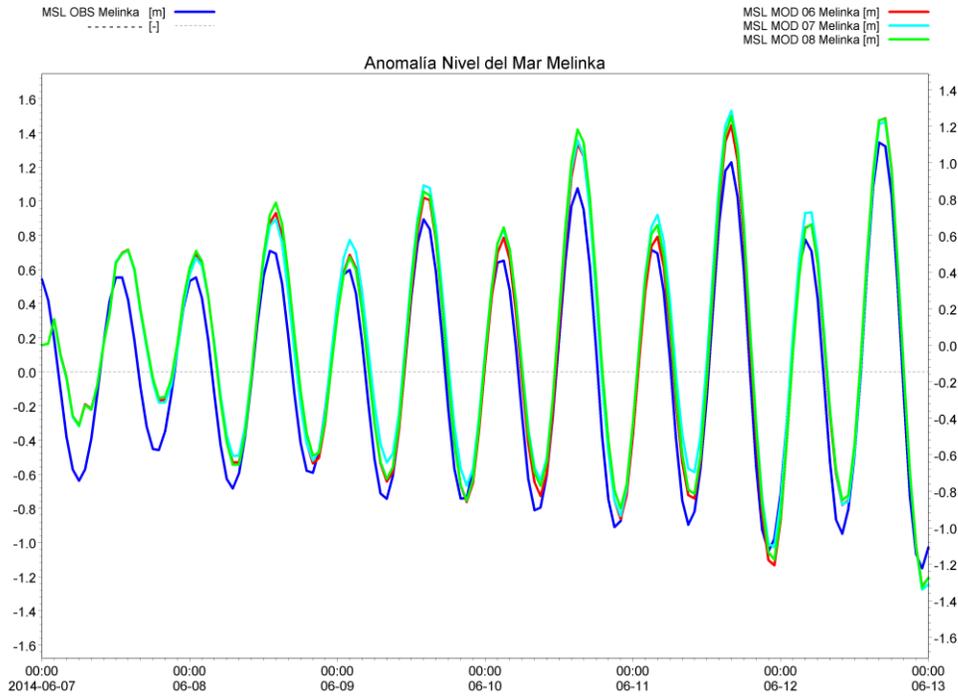


Figura 25. Evaluaci3n del nivel del mar en Melinka. Corridos 06, 07 y 08.

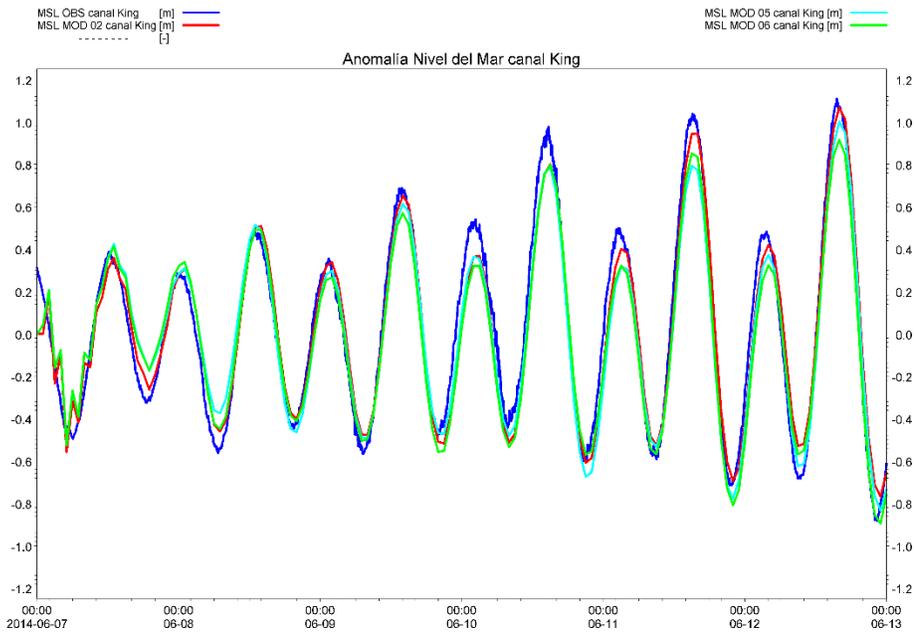


Figura 26. Evaluaci3n del nivel del mar en el canal King. Corridos 02, 05 y 06.

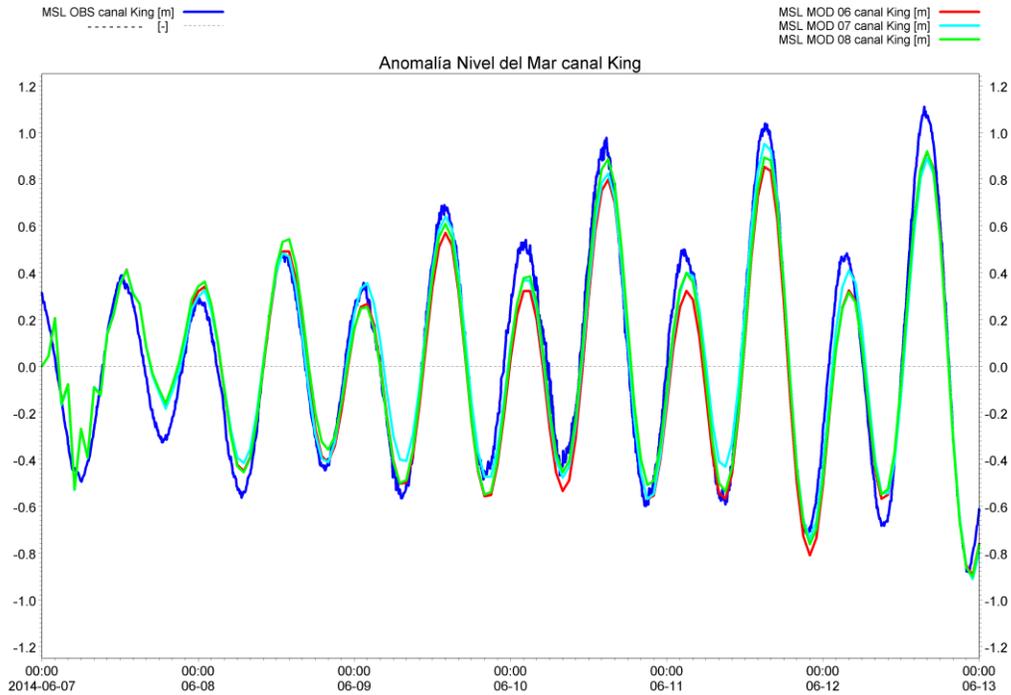


Figura 27. Evaluación del nivel del mar en el canal King. Corridas 06, 07 y 08.

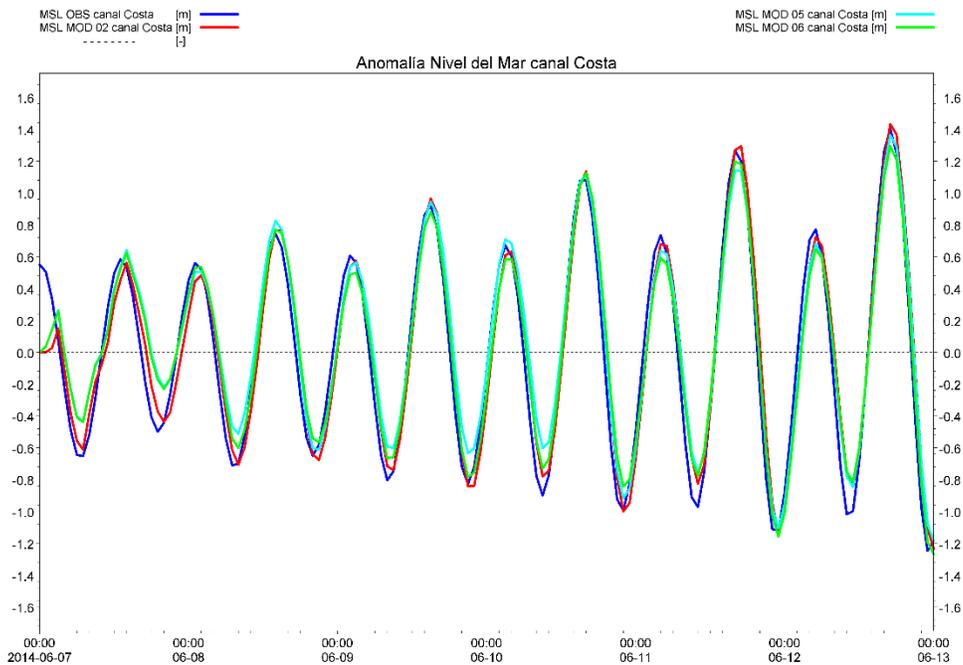
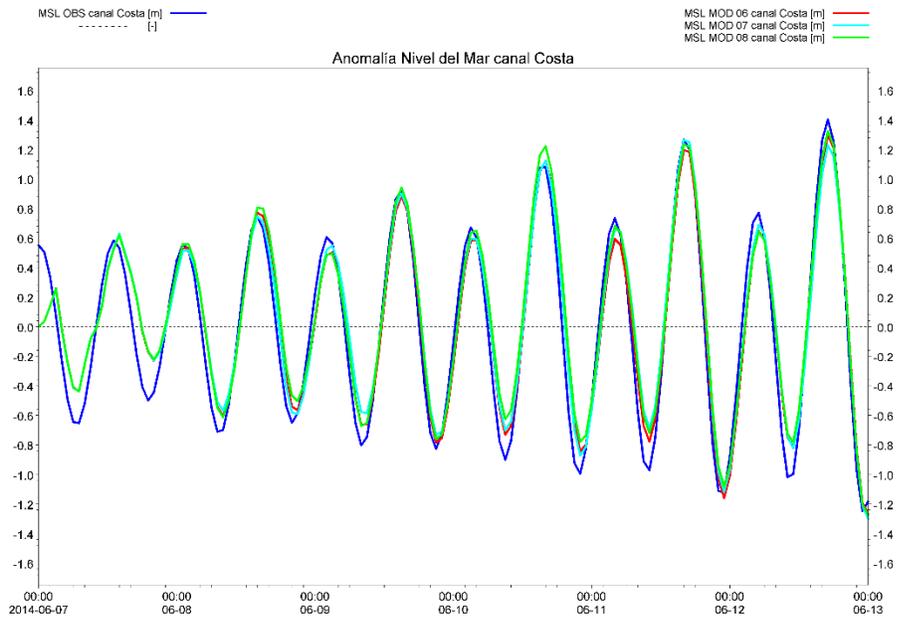
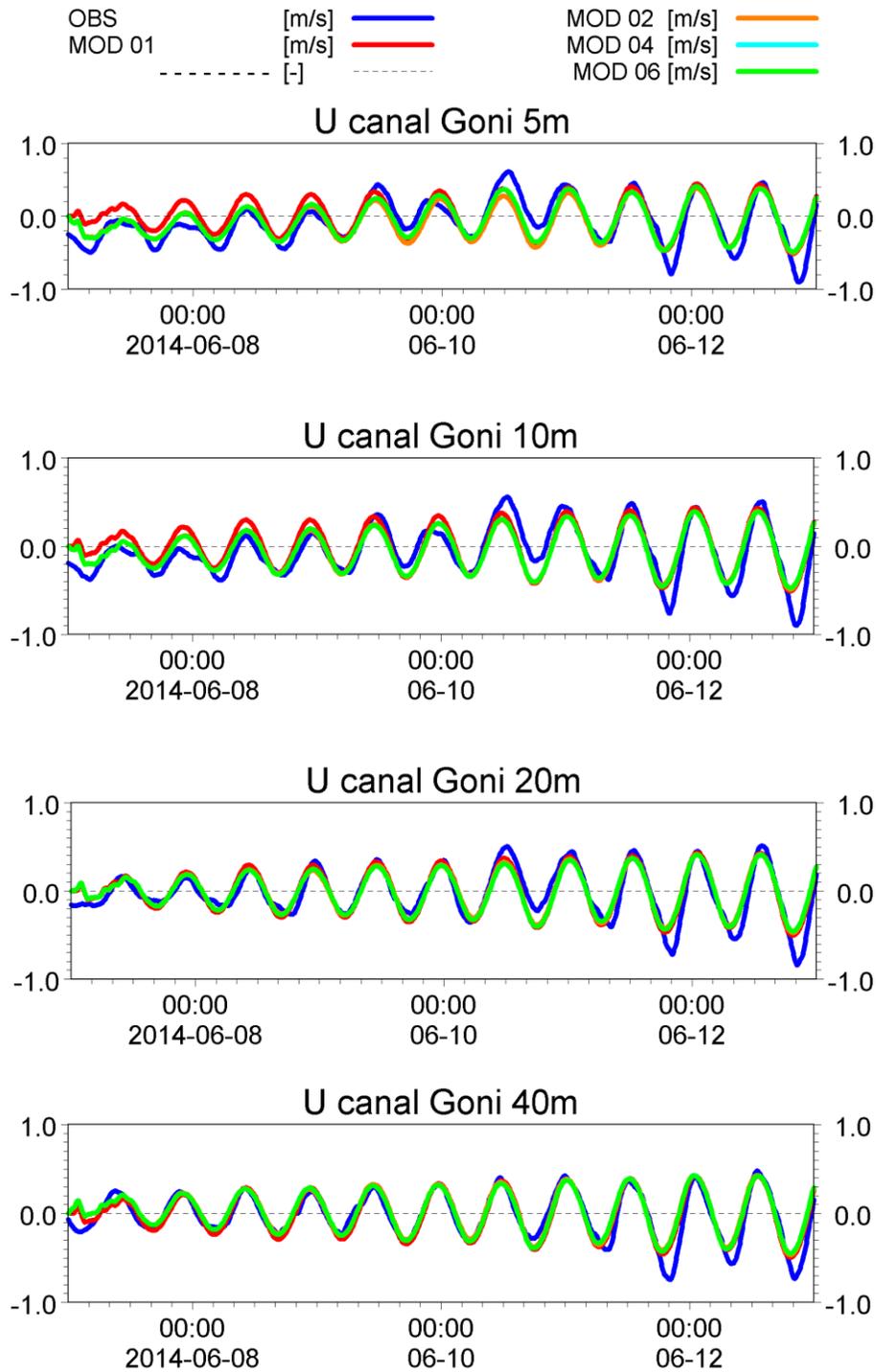


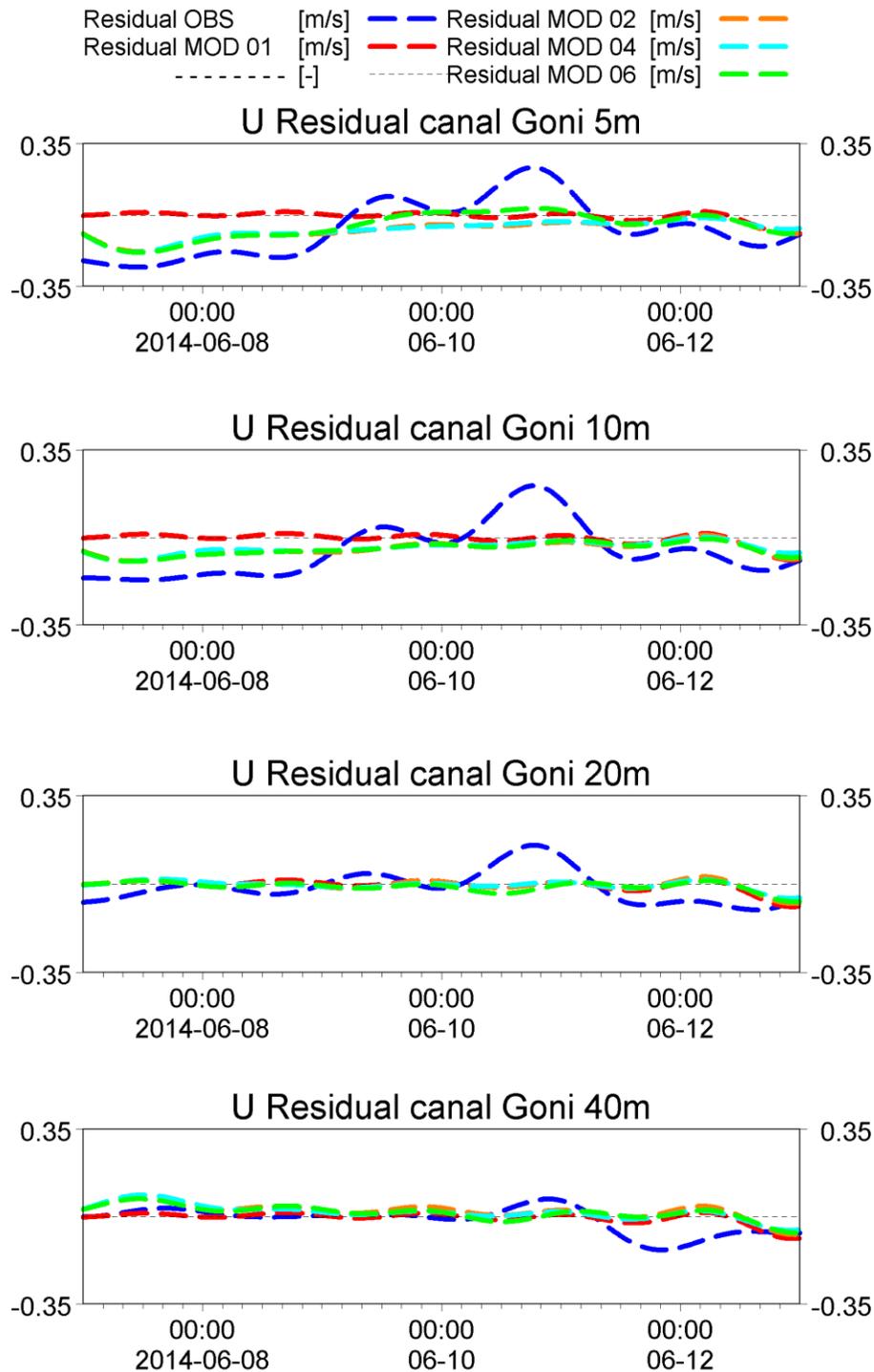
Figura 28. Evaluación del nivel del mar en el canal Costa. Corridas 02, 05 y 06.



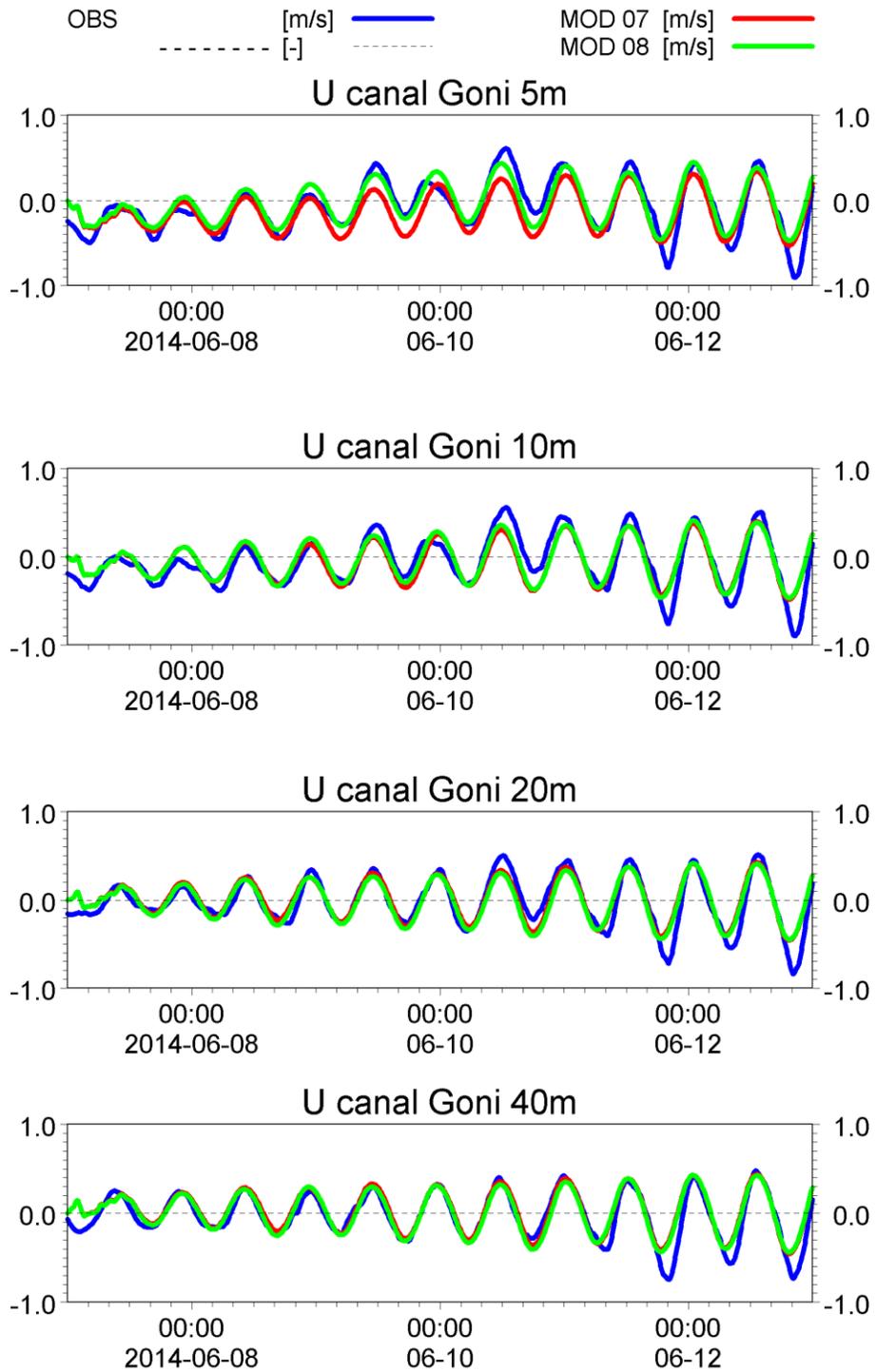
**Figura 29.** Evaluaci3n del nivel del mar en el canal Costa. Corridos 06, 07 y 08.



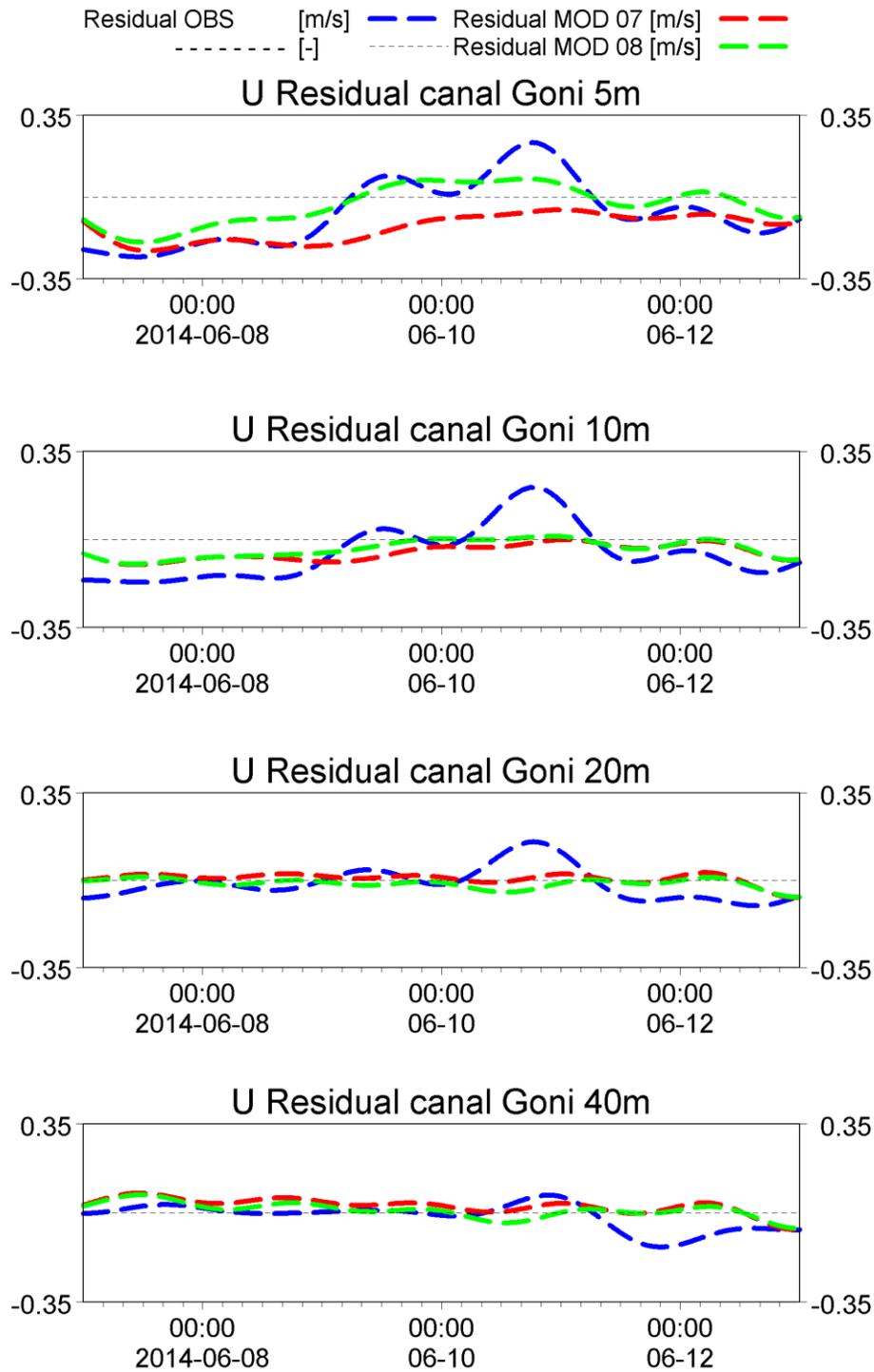
**Figura 30.** Evaluaci3n de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad en el canal Goñi. Corridas 01, 02, 04 y 06.



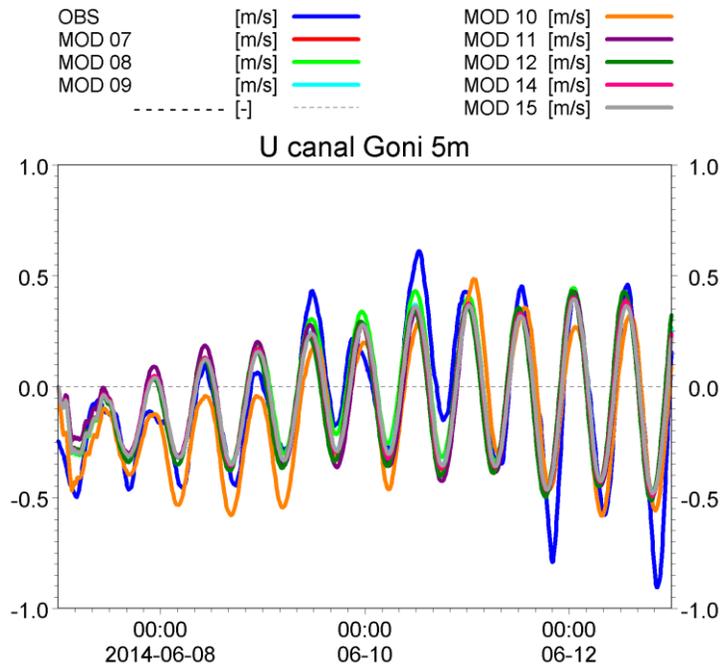
**Figura 31.** Evaluaci3n de correntometr3a euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad residual en el canal Goñi. Corridas 01, 02, 04 y 06.



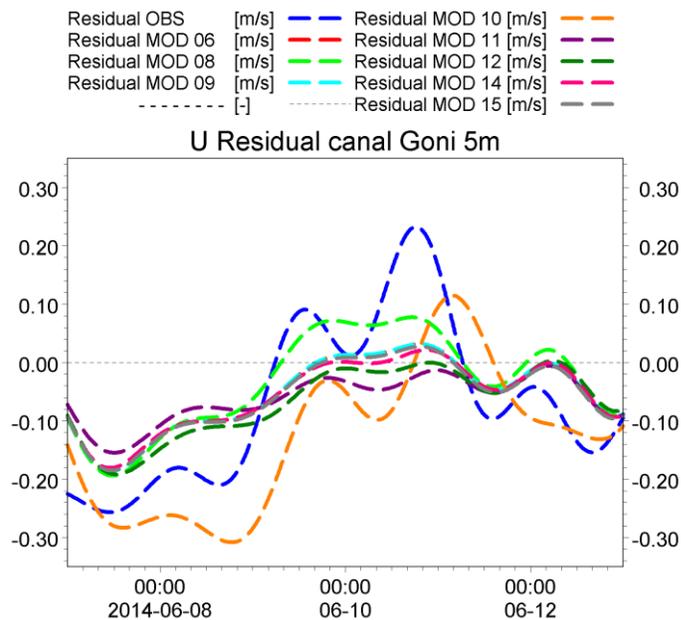
**Figura 32.** Evaluación de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad en el canal Goñi. Corridos 07 y 08.



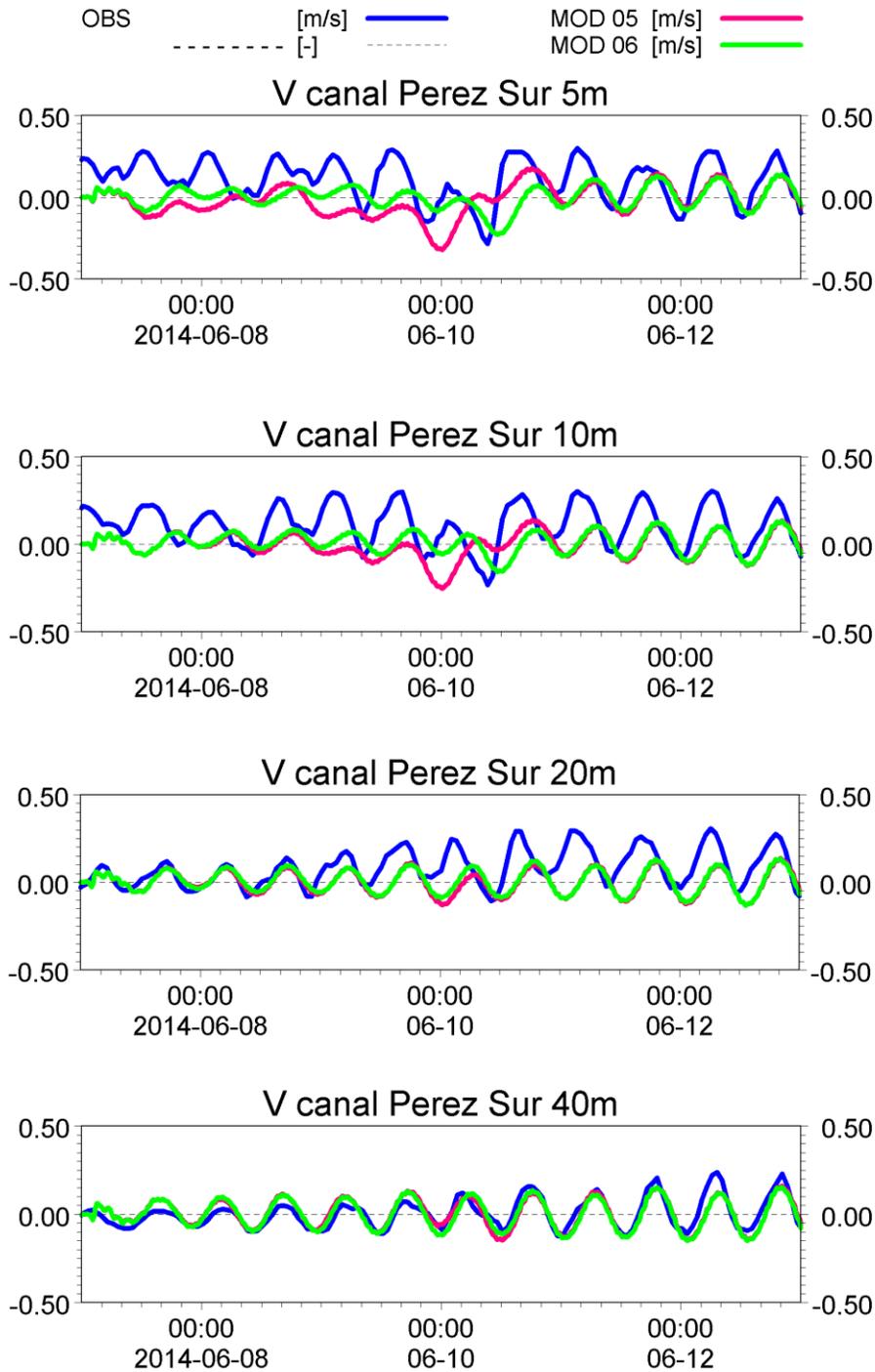
**Figura 33.** Evaluaci3n de correntometrfa euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad residual en el canal Goñi. Corridas 07 y 08.



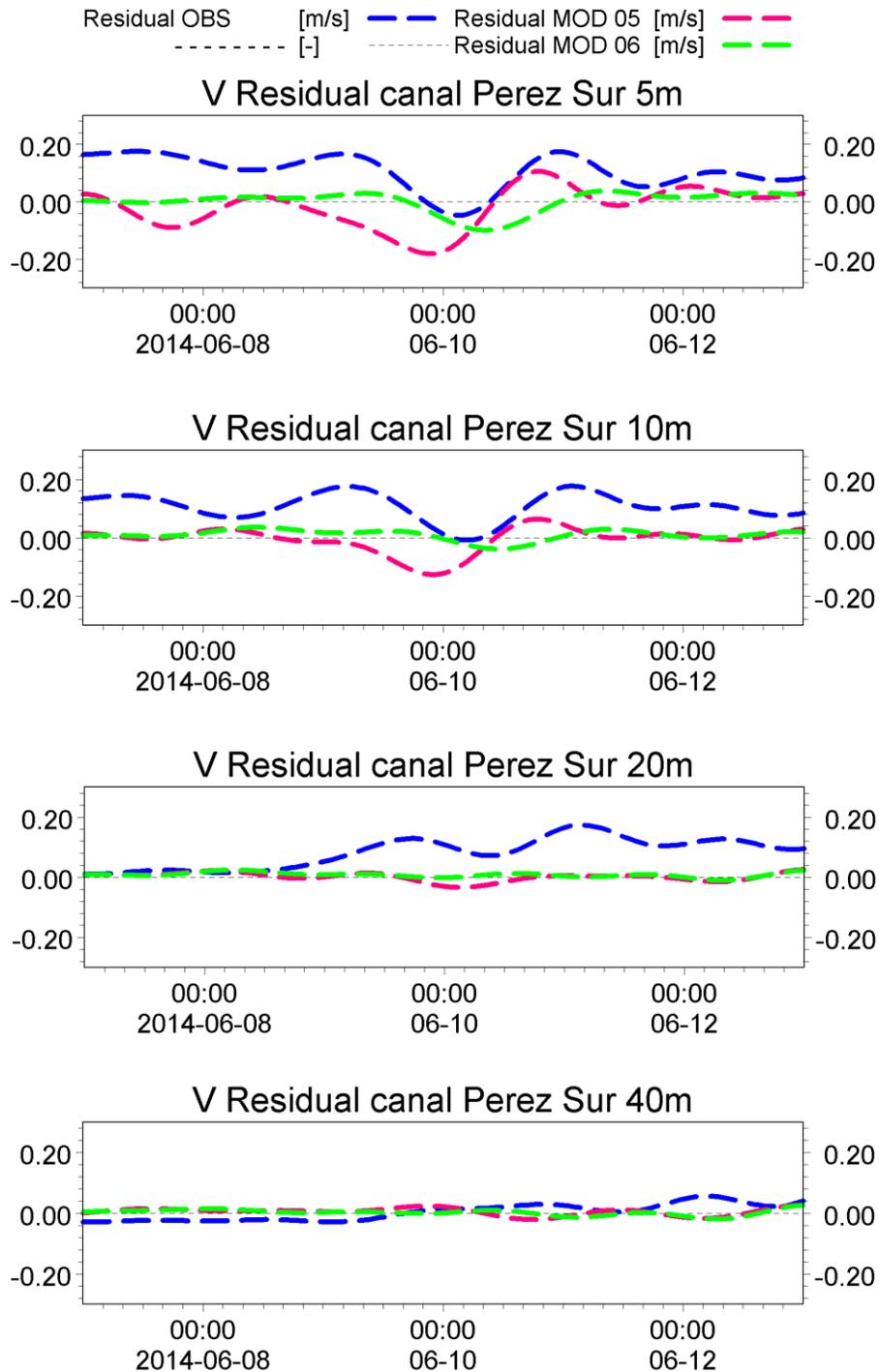
**Figura 34.** Evaluaci3n de correntometr3a euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad en el canal Goñi a 5 metros. Corridas 07, 08, 09, 10, 11, 12, 14, y 15.



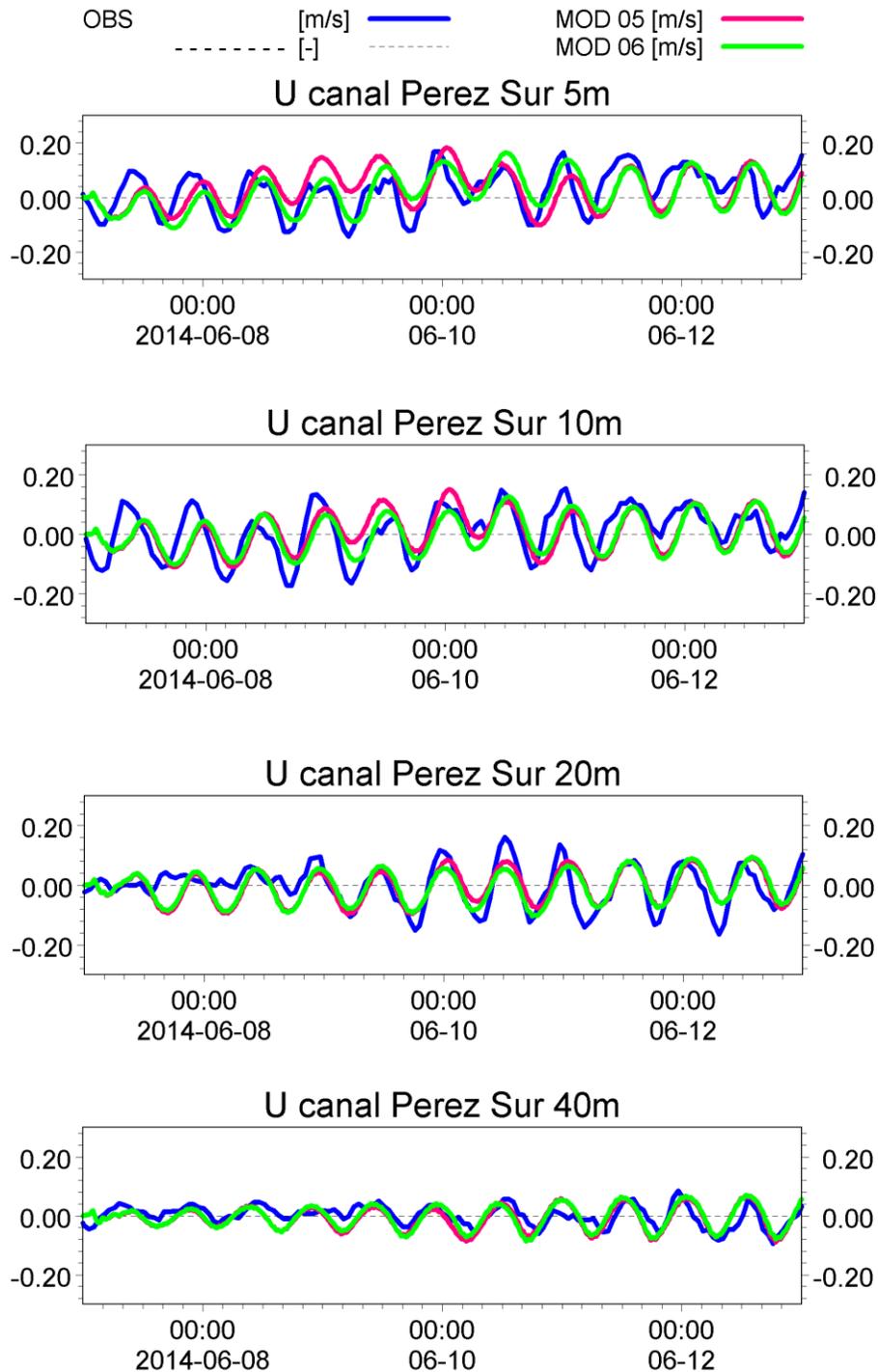
**Figura 35.** Evaluaci3n de correntometr3a euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad residual en el canal Goñi a 5 metros. Corridas 07, 08, 09, 10, 11, 12, 14, y 15.



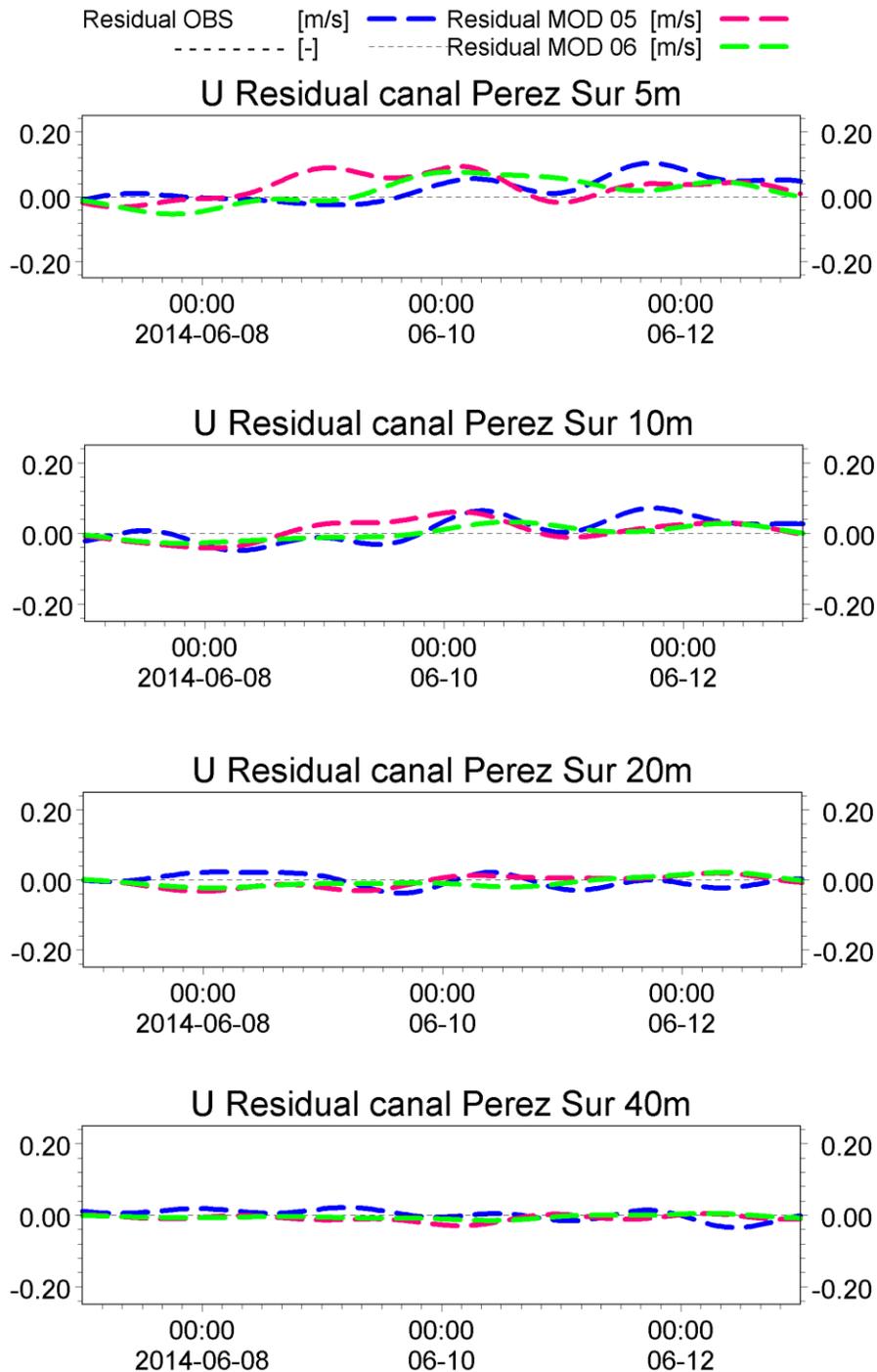
**Figura 36.** Evaluaci3n de correntometrfa euleriana con ADCP fondeado de la componente V de la velocidad en el canal P3rez Sur. Corridas 05 y 06.



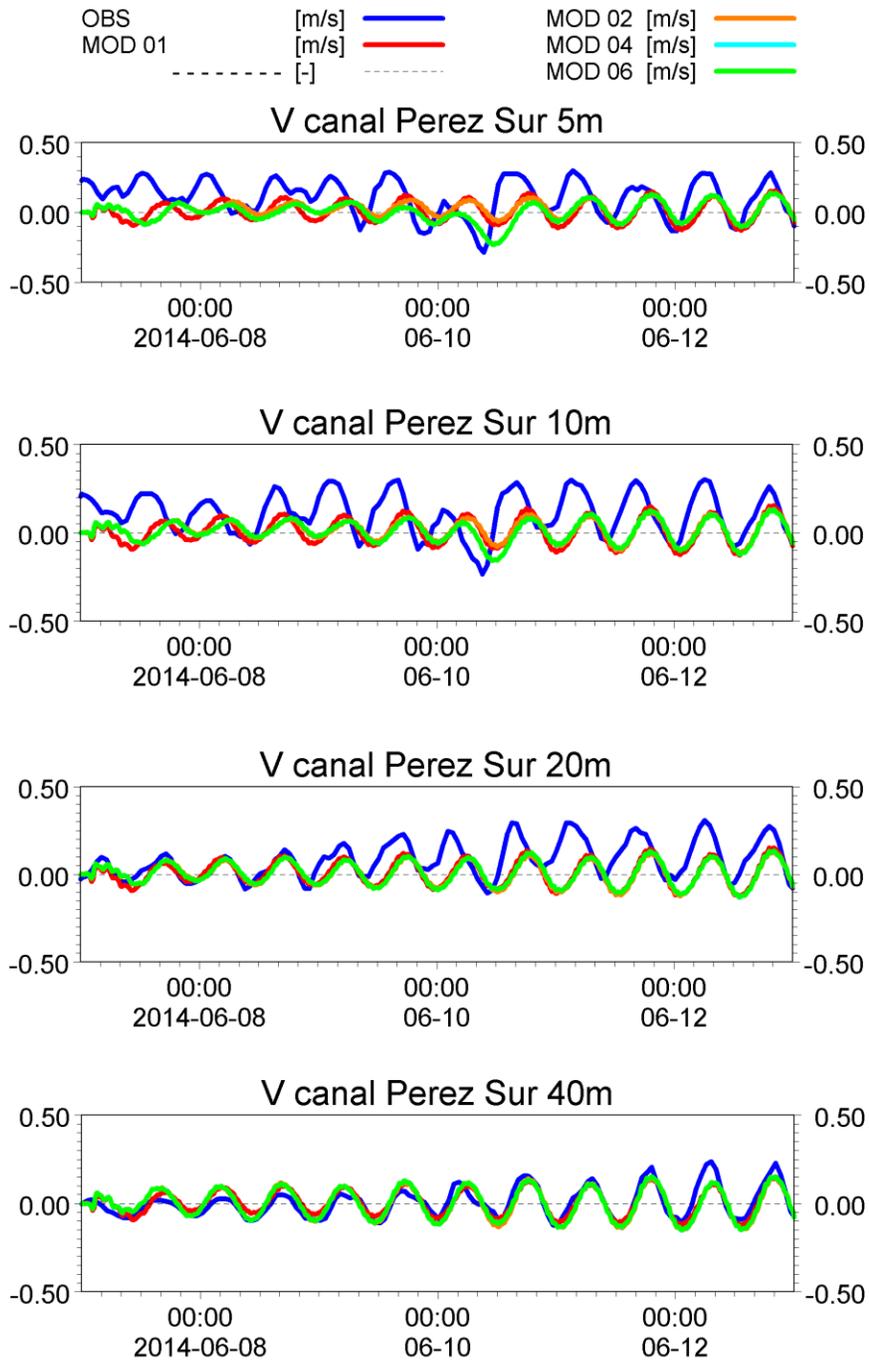
**Figura 37.** Evaluación de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente V de la velocidad residual en el canal Pérez Sur. Corridas 05 y 06.



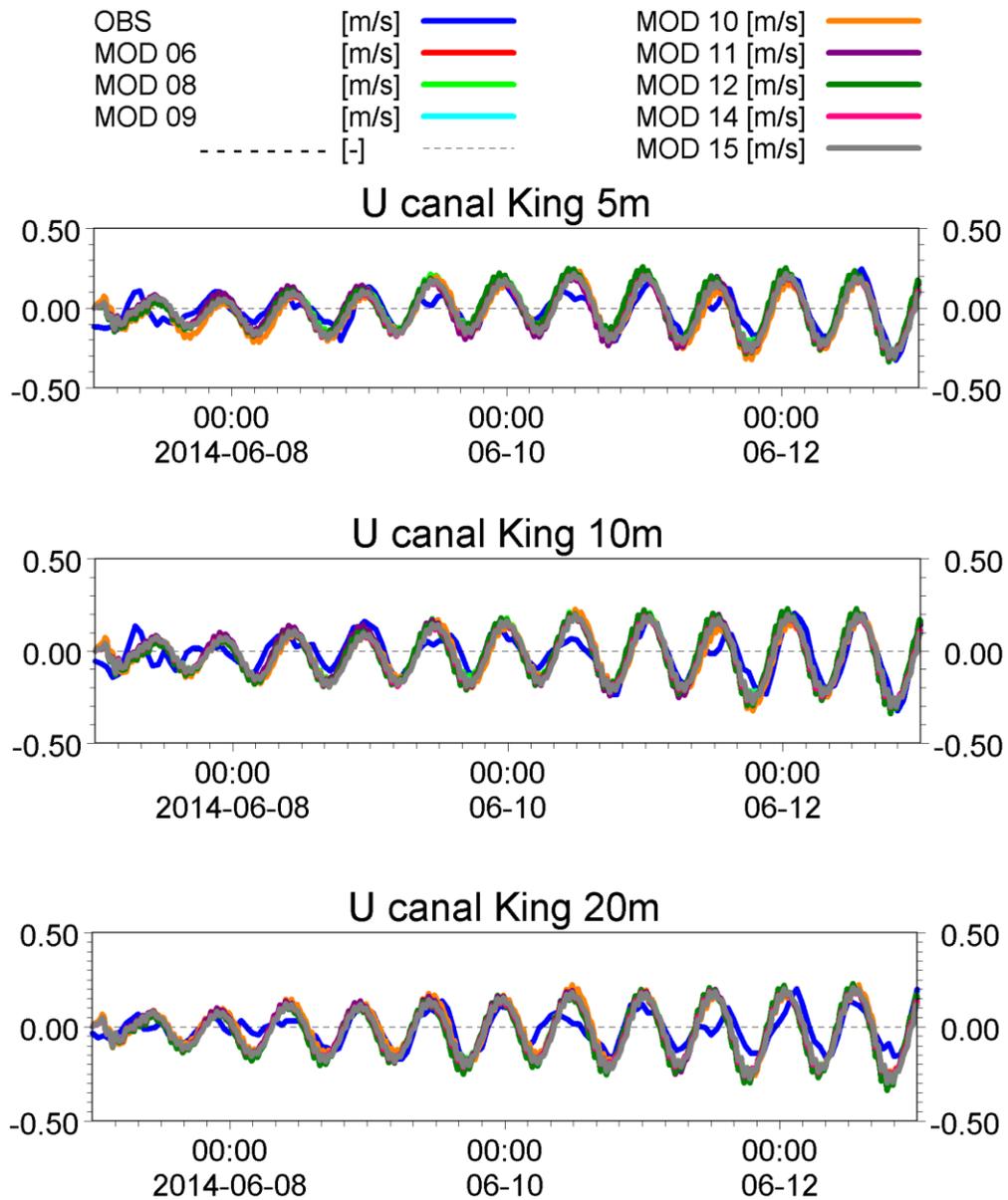
**Figura 38.** Evaluación de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad en el canal Pérez Sur. Corridas 05 y 06.



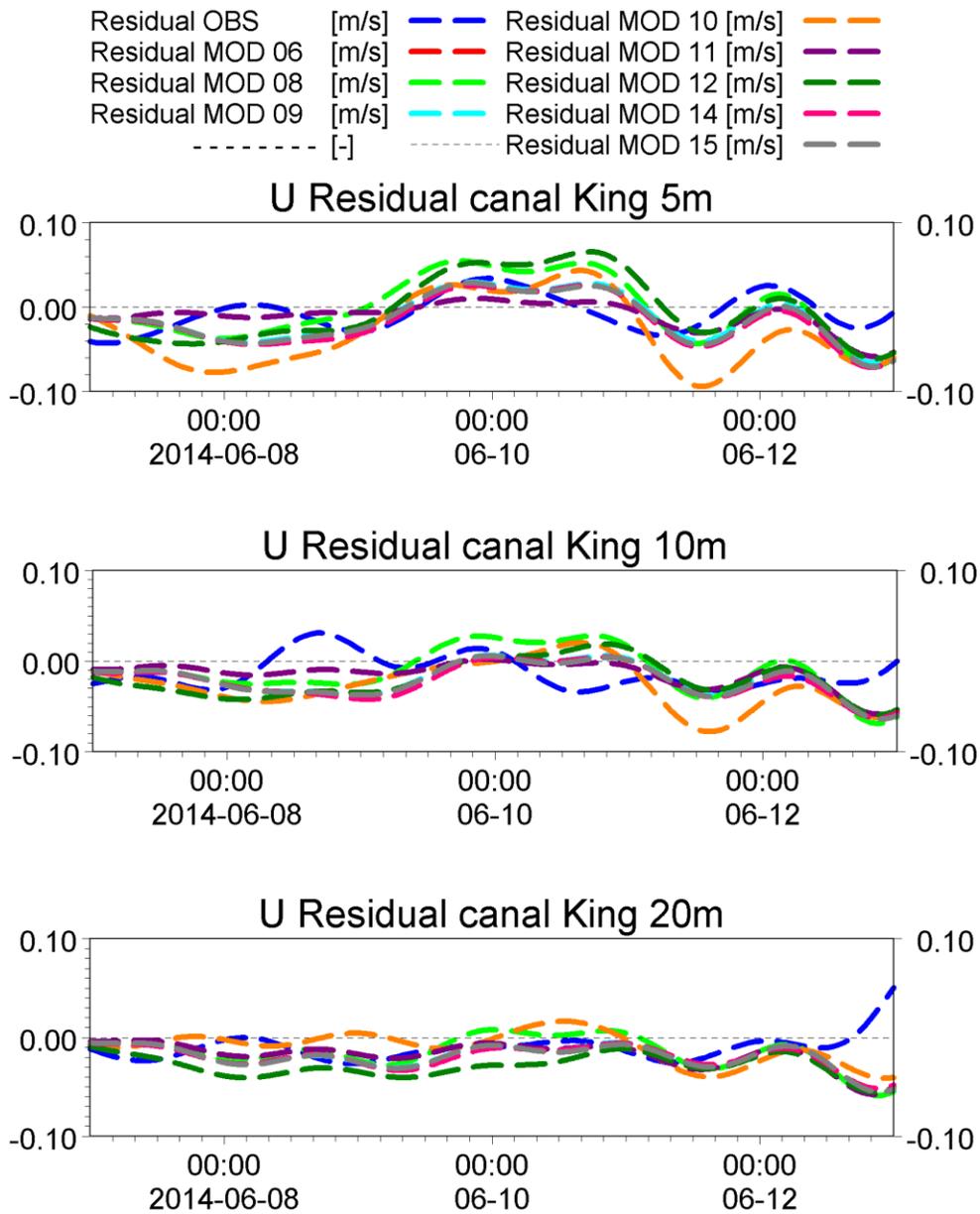
**Figura 39.** Evaluaci3n de correntometrfa euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad residual en el canal P3rez Sur. Corridos 05 y 06.



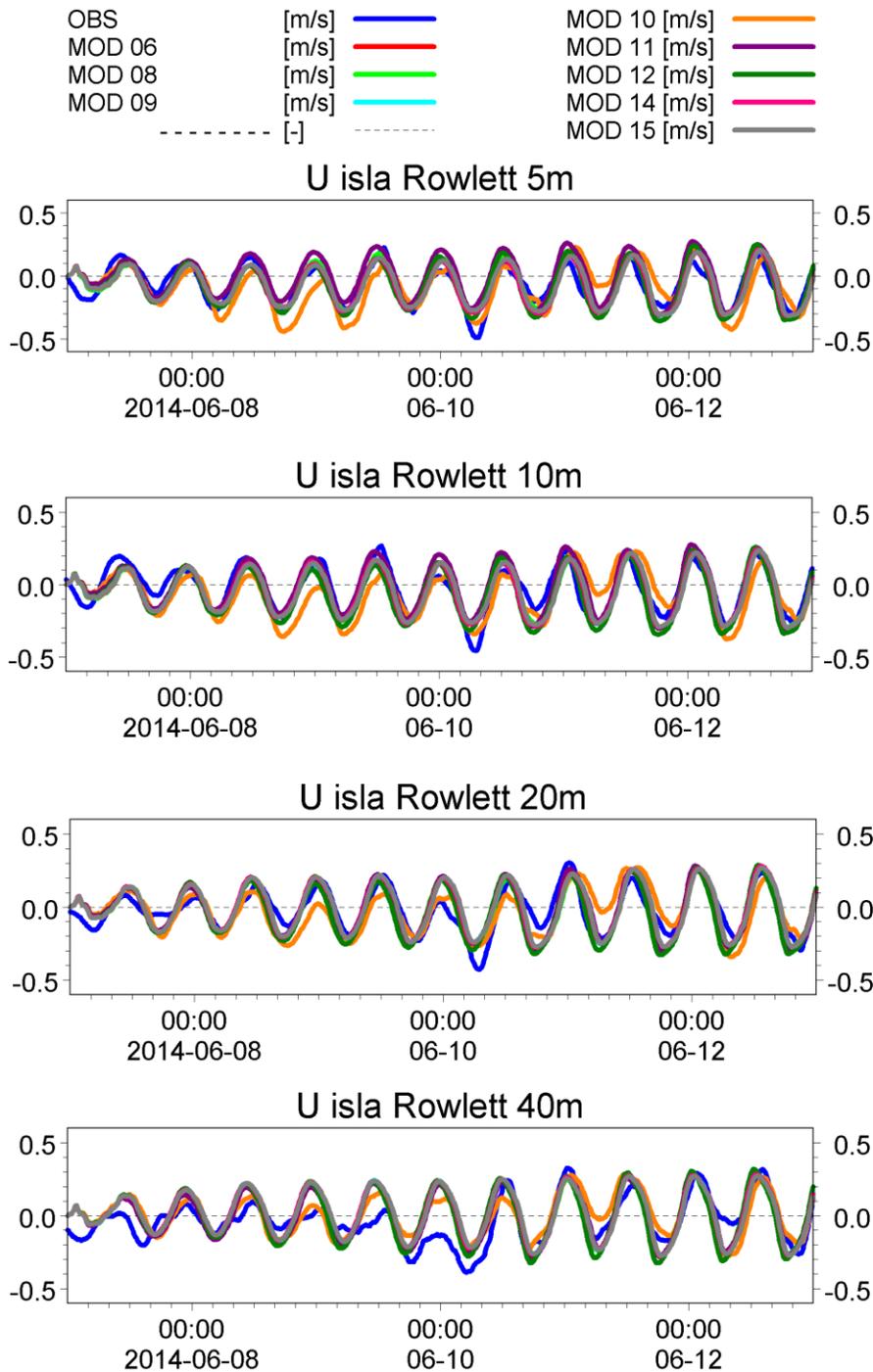
**Figura 40.** Evaluaci3n de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente V de la velocidad en el canal Pérez Sur. Corridas 01, 02, 04 y 06.



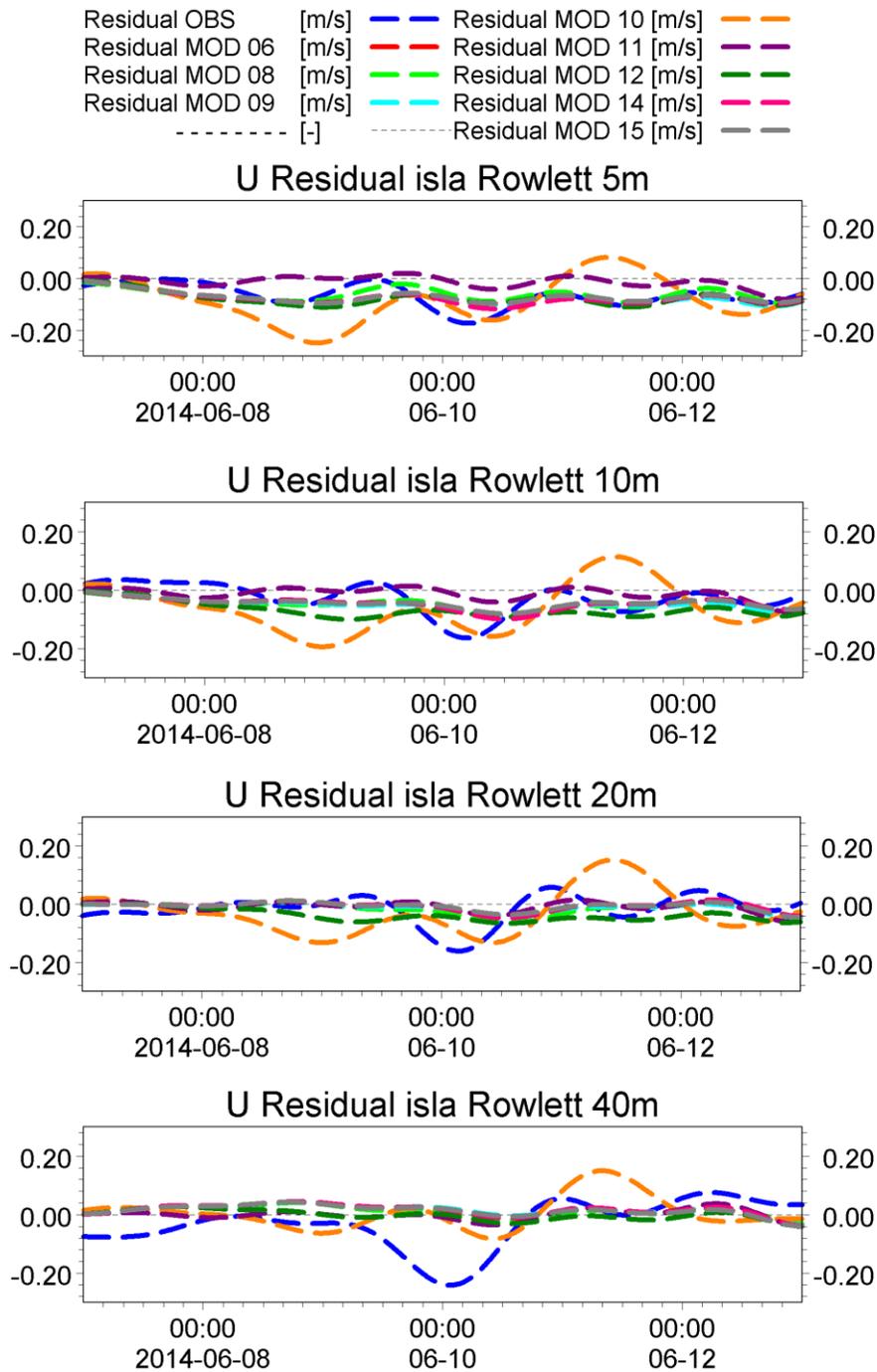
**Figura 41.** Evaluación de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad en el canal King. Corridas 06, 08, 09, 10, 11, 12, 14 y 15.



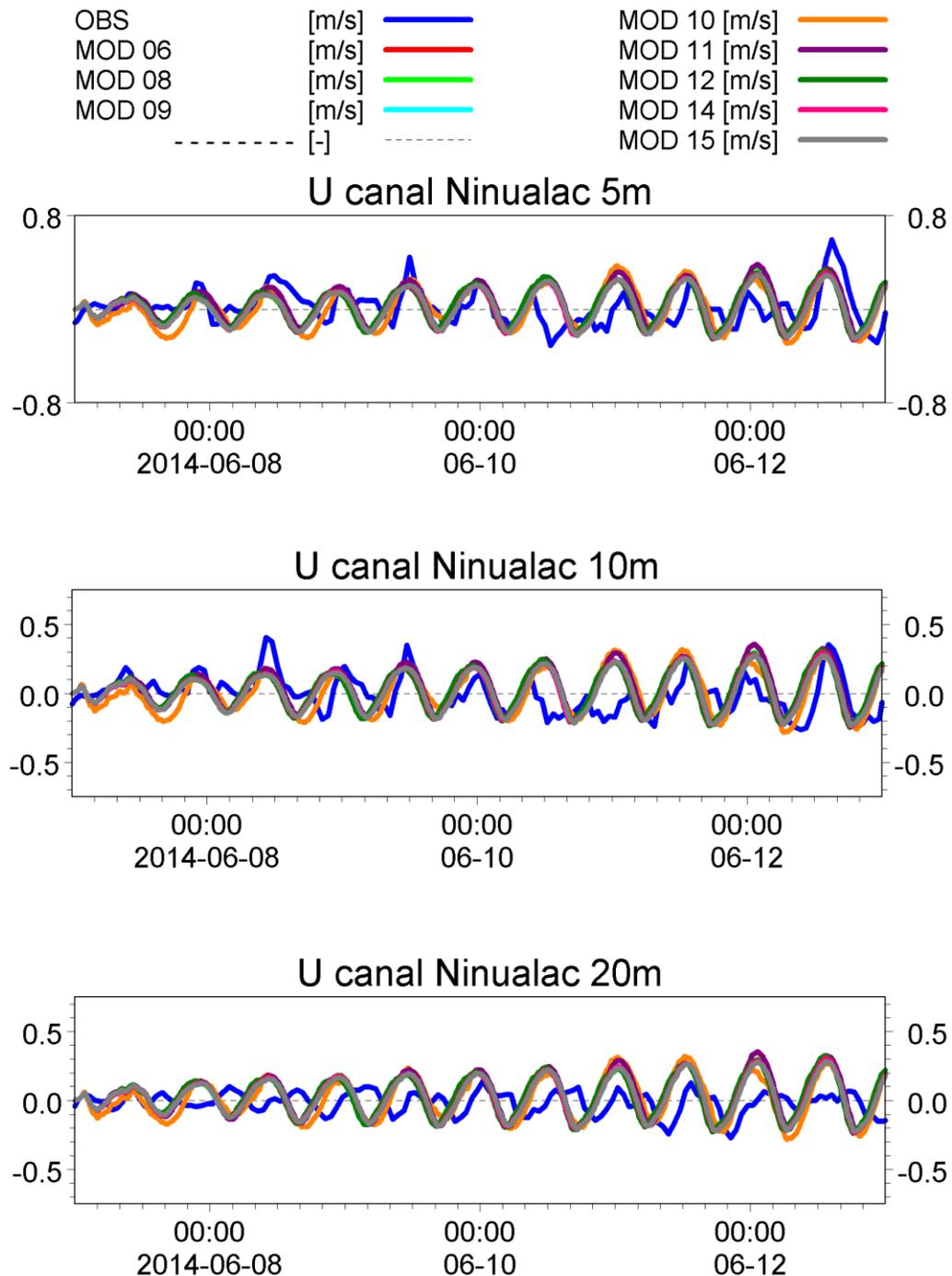
**Figura 42.** Evaluación de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad residual en el canal King. Corridas 06, 08, 09, 10, 11, 12, 14 y 15.



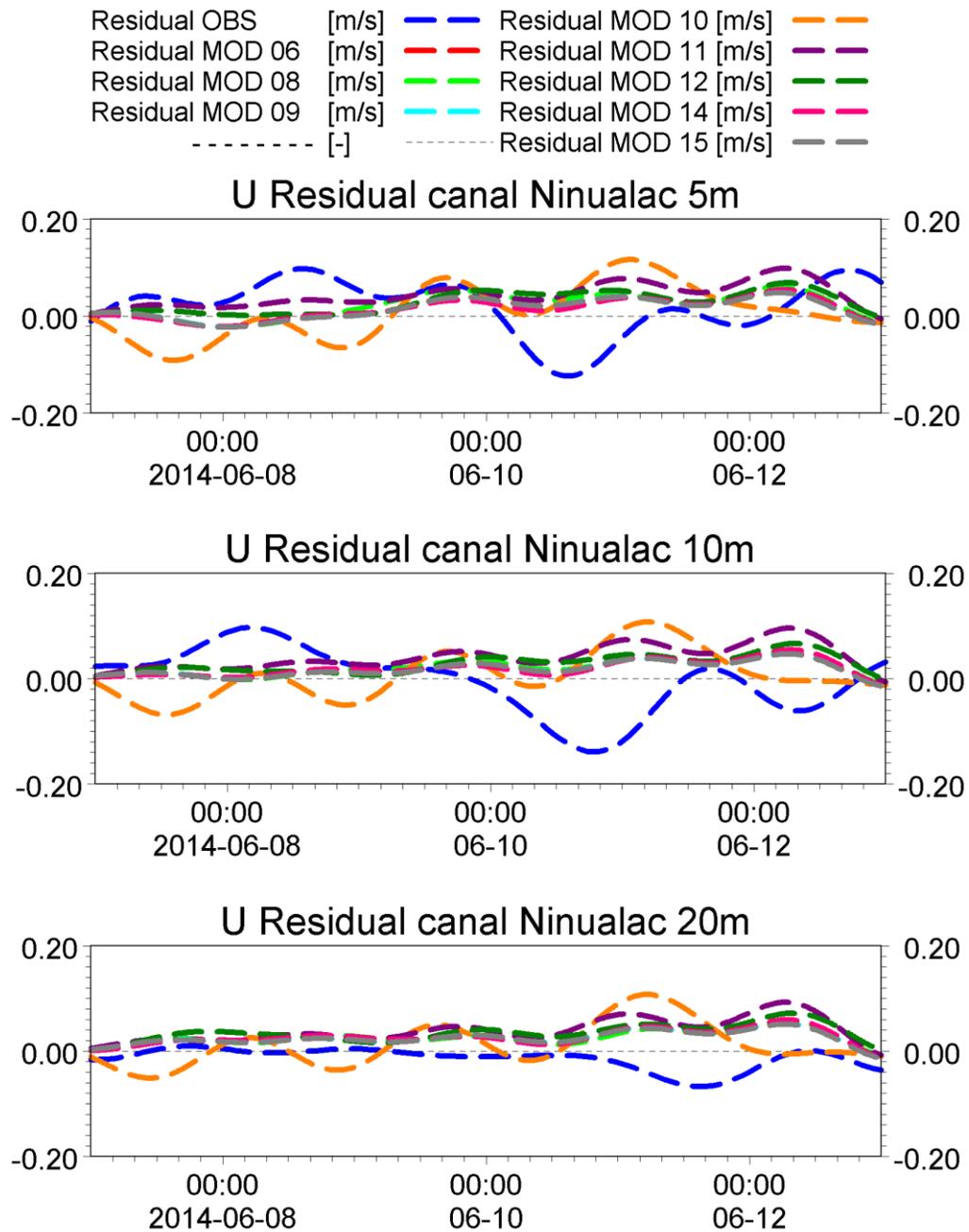
**Figura 43.** Evaluaci3n de correntometrfa euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad en isla Rowlett. Corridas 06, 08, 09, 10, 11, 12, 14 y 15.



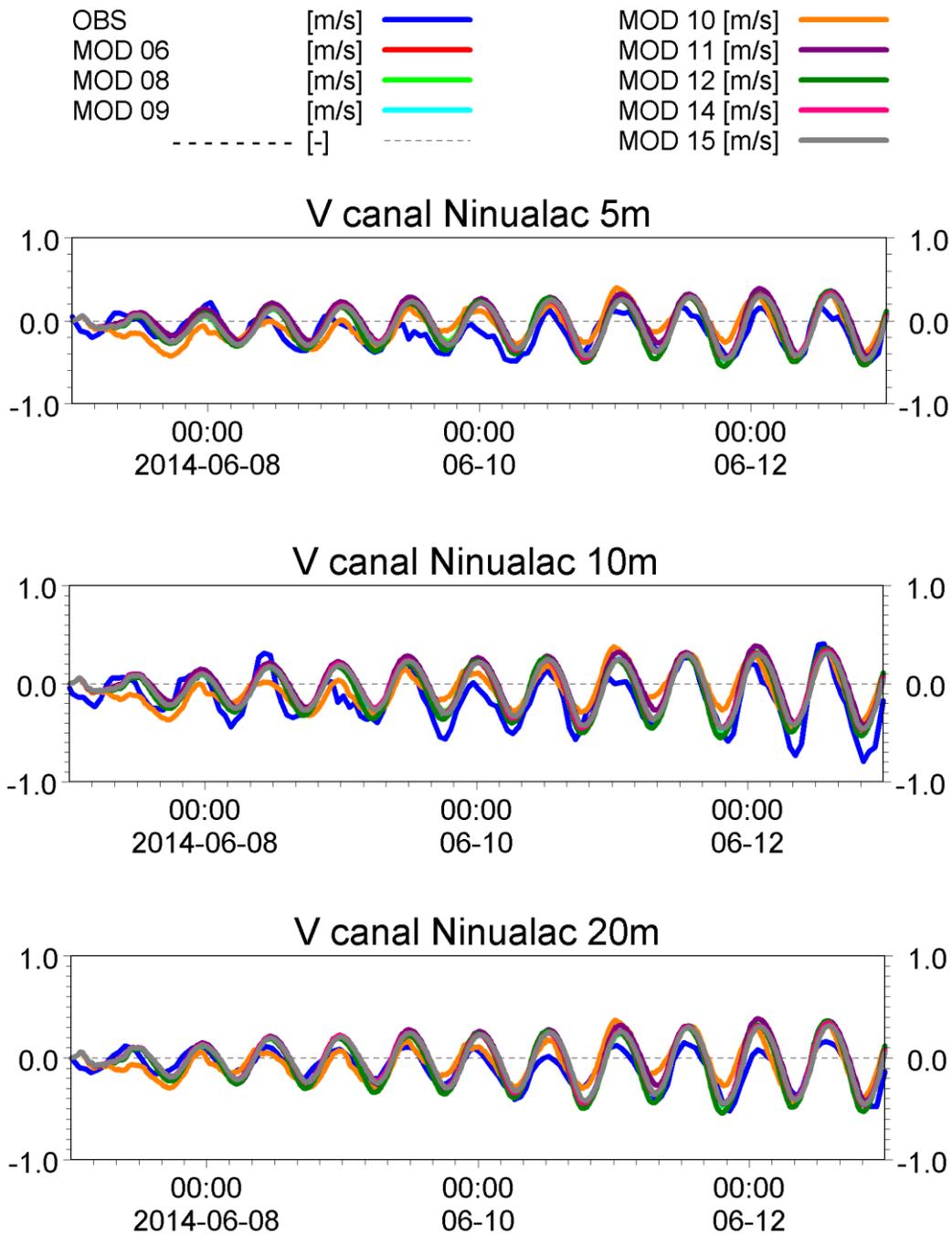
**Figura 44.** Evaluaci3n de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad residual en isla Rowlett. Corridas 06, 08, 09, 10, 11, 12, 14 y 15.



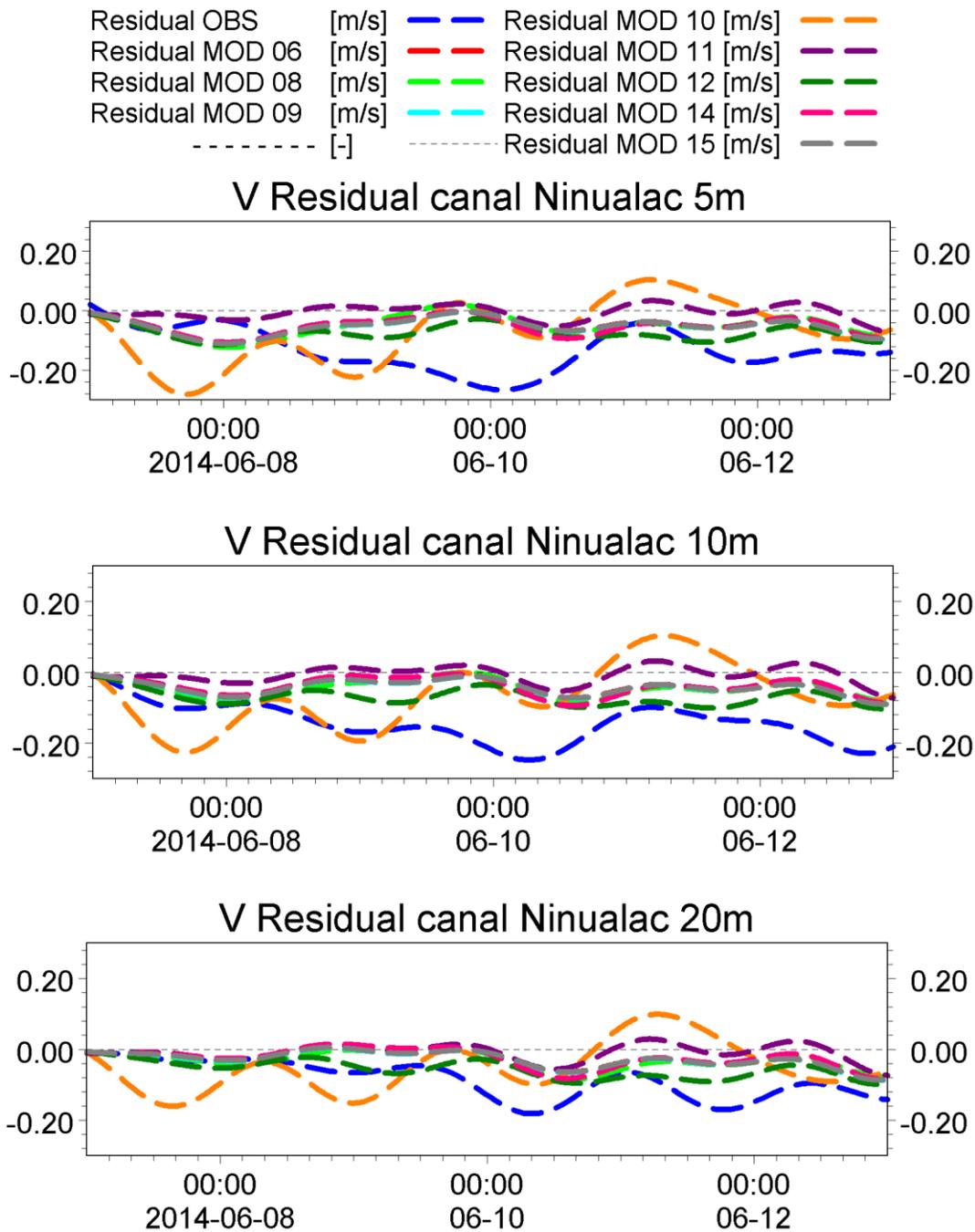
**Figura 45.** Evaluación de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad en el canal Ninualac. Corridas 06, 08, 09, 10, 11, 12, 14 y 15.



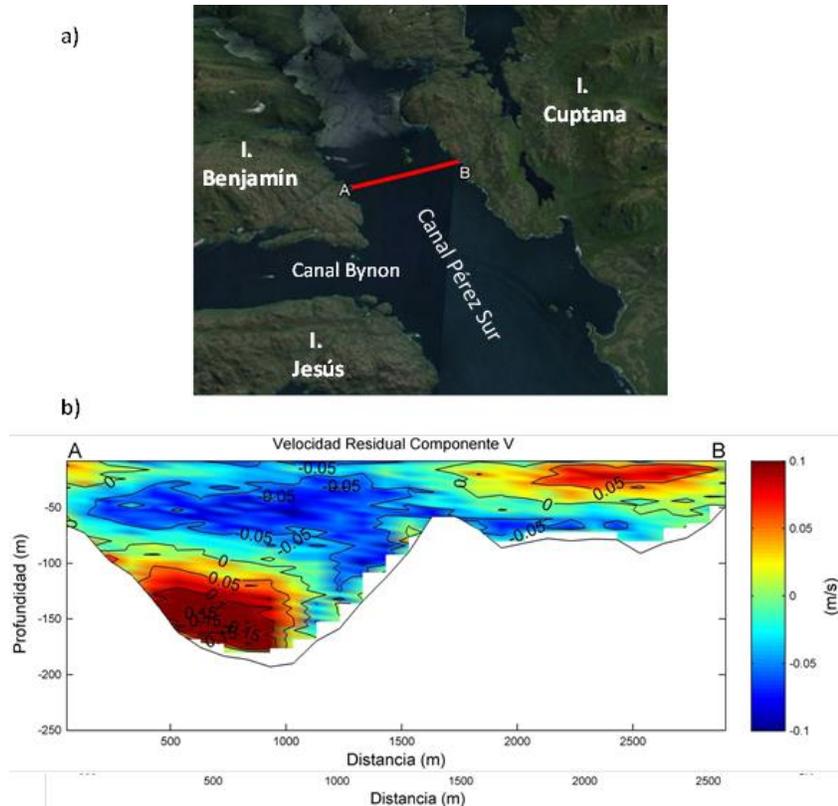
**Figura 46.** Evaluaci3n de correntometrfa euleriana con ADCP fondeado de la componente U de la velocidad residual en el canal Ninualac. Corridas 06, 08, 09, 10, 11, 12, 14 y 15.



**Figura 47.** Evaluación de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente V de la velocidad en el canal Ninualac. Corridas 06, 08, 09, 10, 11, 12, 14 y 15.



**Figura 48.** Evaluación de correntometría euleriana con ADCP fondeado de la componente V de la velocidad residual en el canal Ninualac. Corridas 06, 08, 09, 10, 11, 12, 14 y 15.



**Figura 49.** a) Posici3n de la transecta de medici3n de ADCP remolcado en el canal P3rez Sur. b) Velocidad residual de la componente V de la corriente.

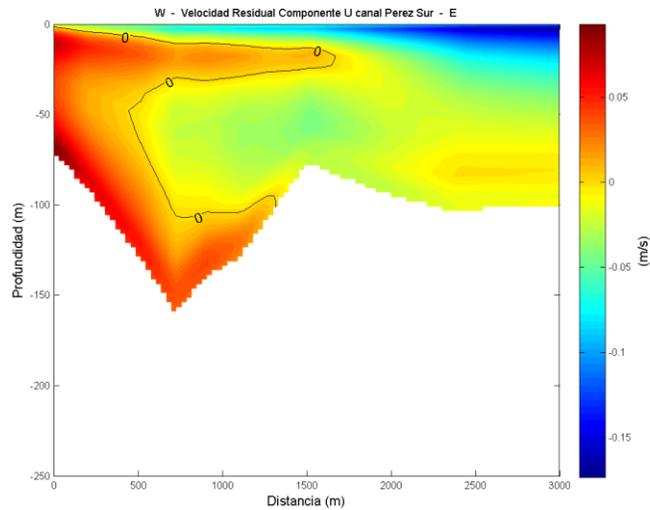


Figura 50. Velocidad residual de la componente V de la corriente en el canal Pérez Sur del modelo regional Chiloé-Aysén.

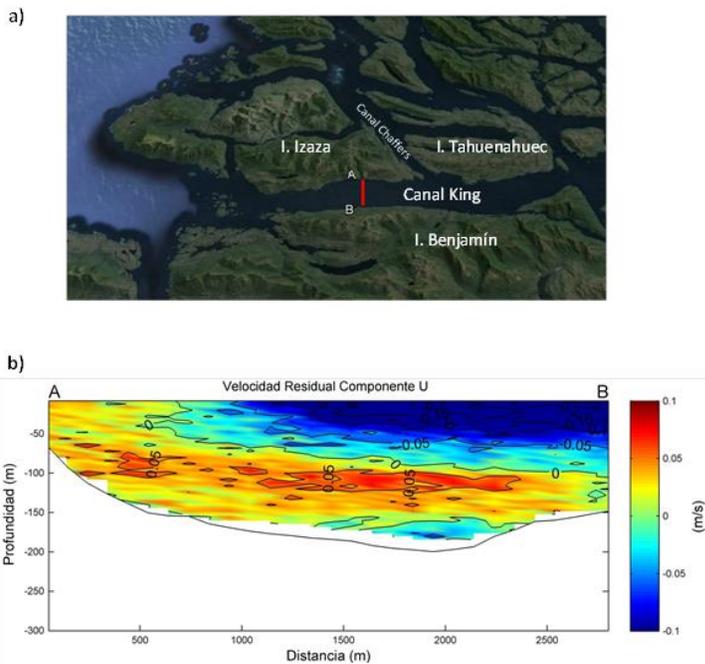
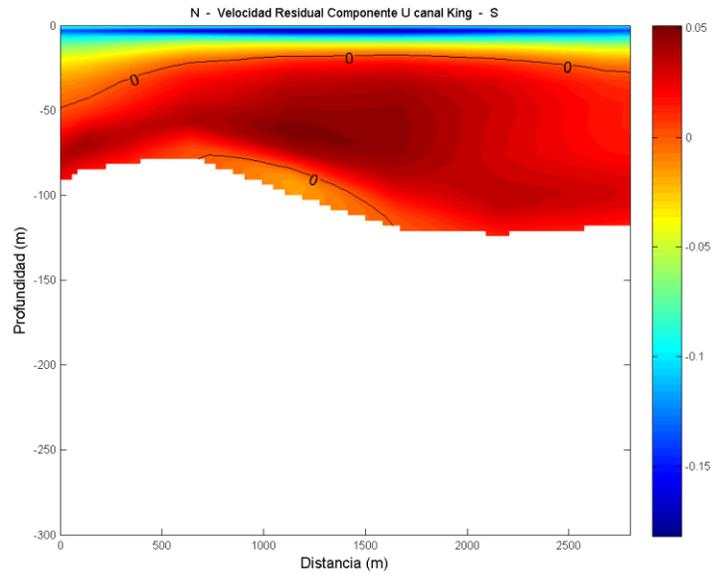
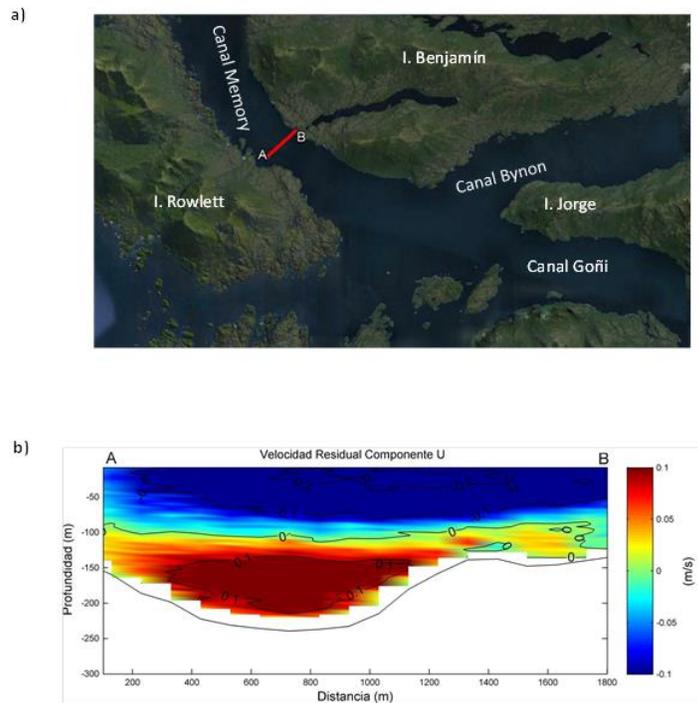


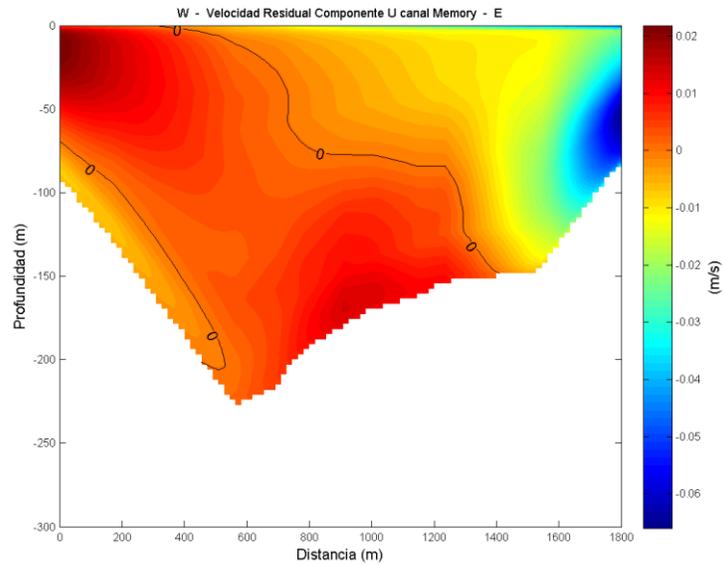
Figura 51. a) Posición de la transecta de medición de ADCP remolcado en el canal King. b) Velocidad residual de la componente U de la corriente.



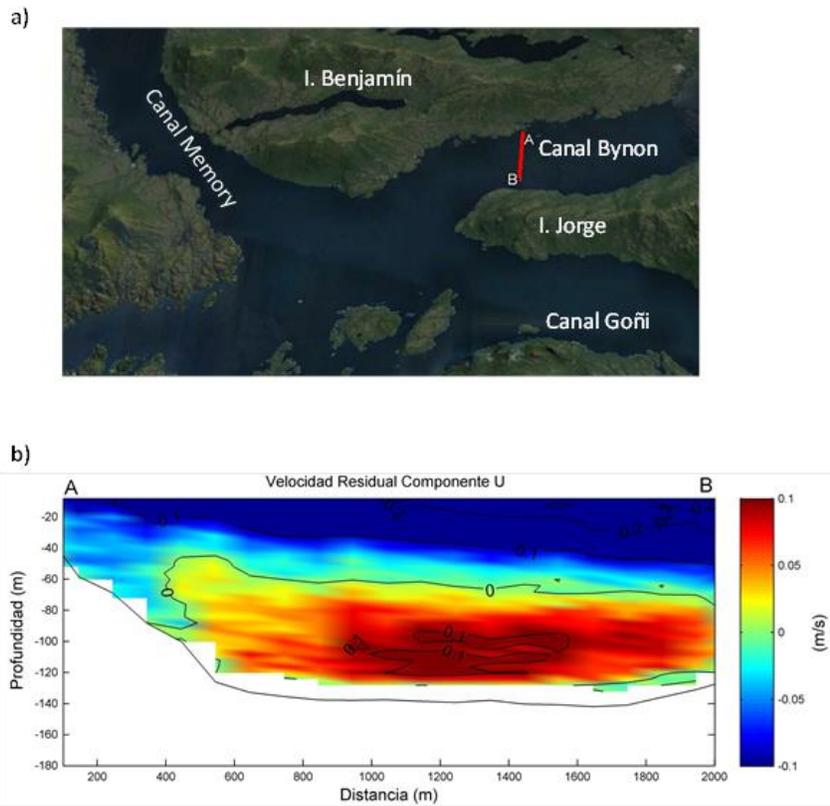
**Figura 52.** Velocidad residual de la componente U de la corriente en el canal King del modelo regional Chiloé-Aysén.



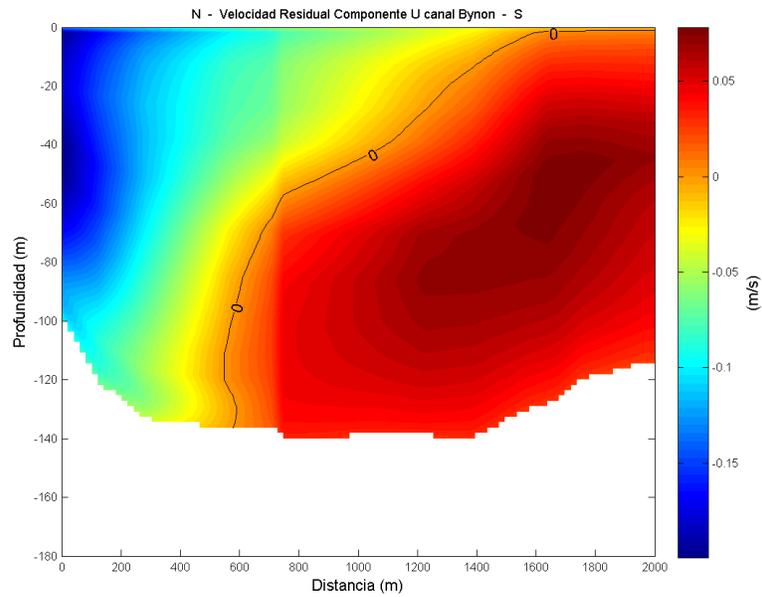
**Figura 53.** a) Posici3n de la transecta de medici3n de ADCP remolcado en el canal Memory. b) Velocidad residual de la componente U de la corriente.



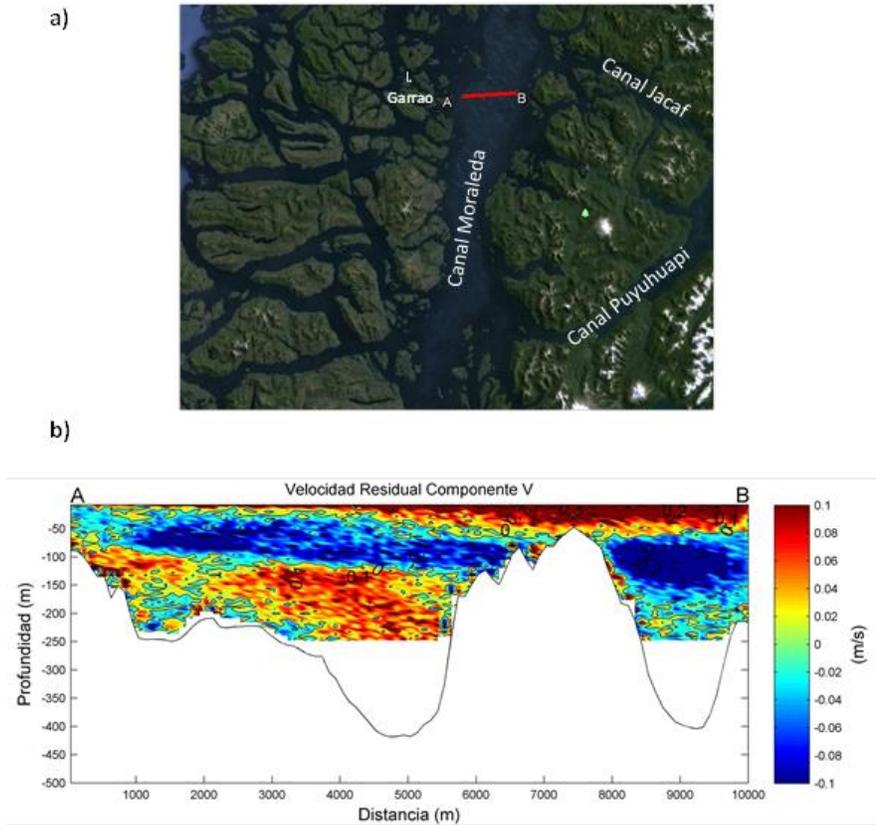
**Figura 54.** Velocidad residual de la componente U de la corriente en el canal Memory del modelo regional Chiloé-Aysén.



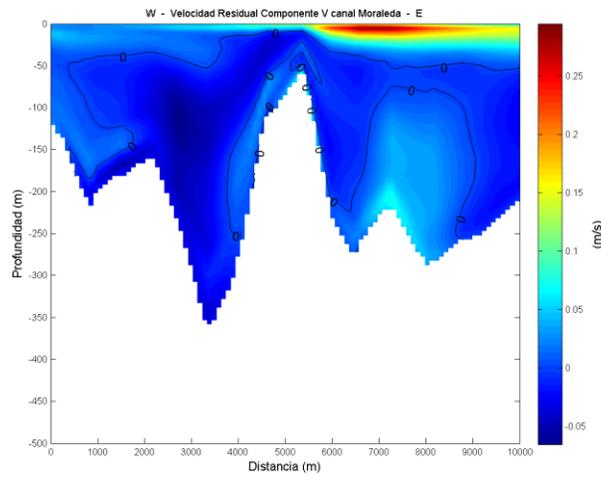
**Figura 55.** a) Posici3n de la transecta de medici3n de ADCP remolcado en el canal Bynon. b) Velocidad residual de la componente U de la corriente.



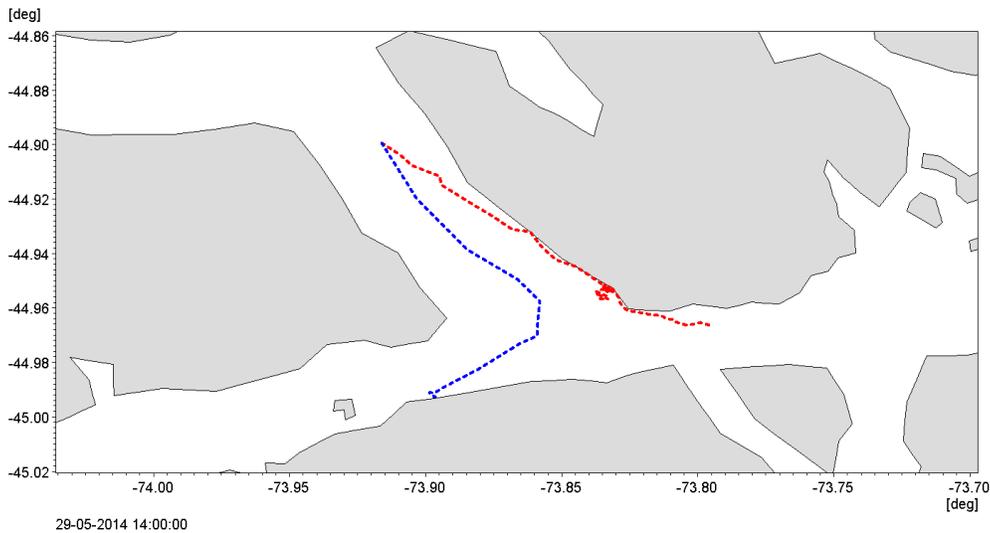
**Figura 56.** Velocidad residual de la componente U de la corriente en el canal Bynon del modelo regional Chilo3-Ays3n.



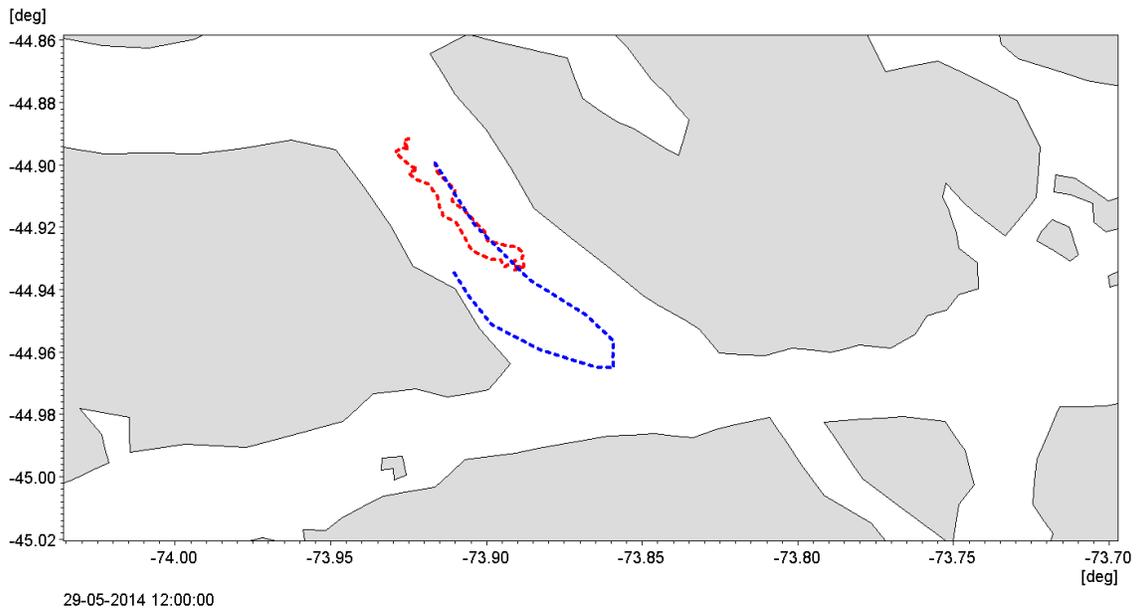
**Figura 57.** a) Posici3n de la transecta de medici3n de ADCP remolcado en el canal Moraleda Norte. b) Velocidad residual de la componente V de la corriente.



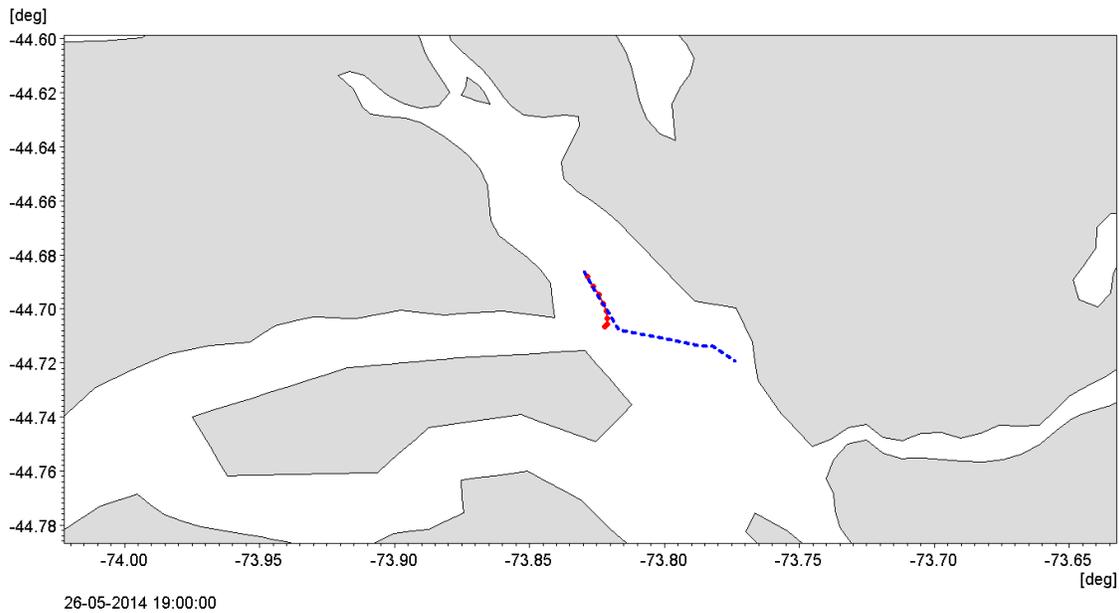
**Figura 58.** Velocidad residual de la componente V de la corriente en el canal Moraleda Norte del modelo regional Chilo3-Ays3n.



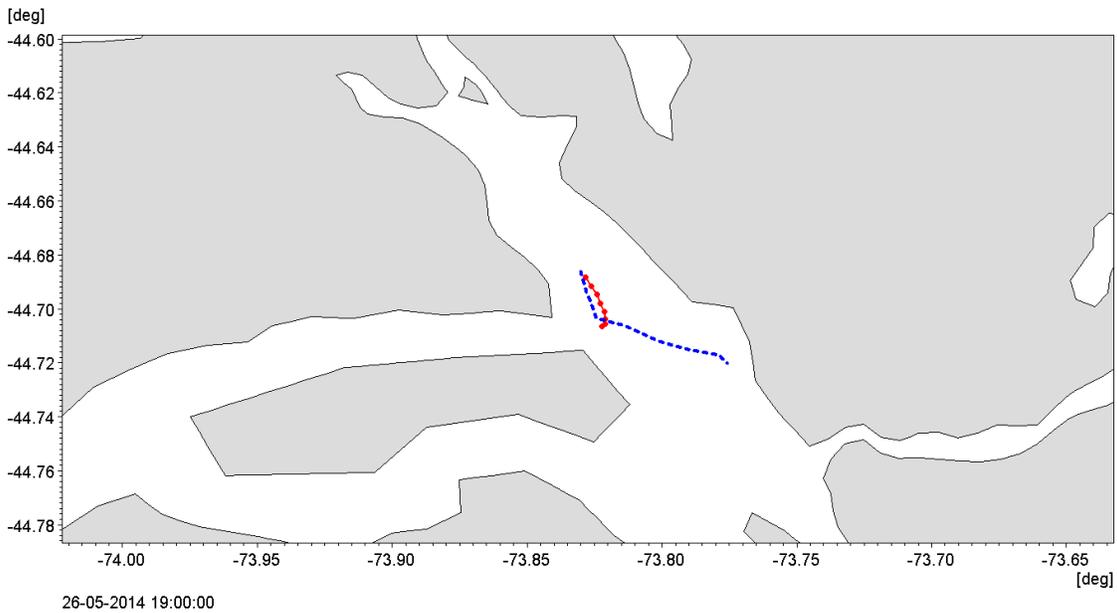
**Figura 59.** Evaluaci3n de correntometr3a lagrangiana con derivadores a 4 metros de profundidad en el canal Ciriaco. Observaci3n en azul y modelo en rojo.



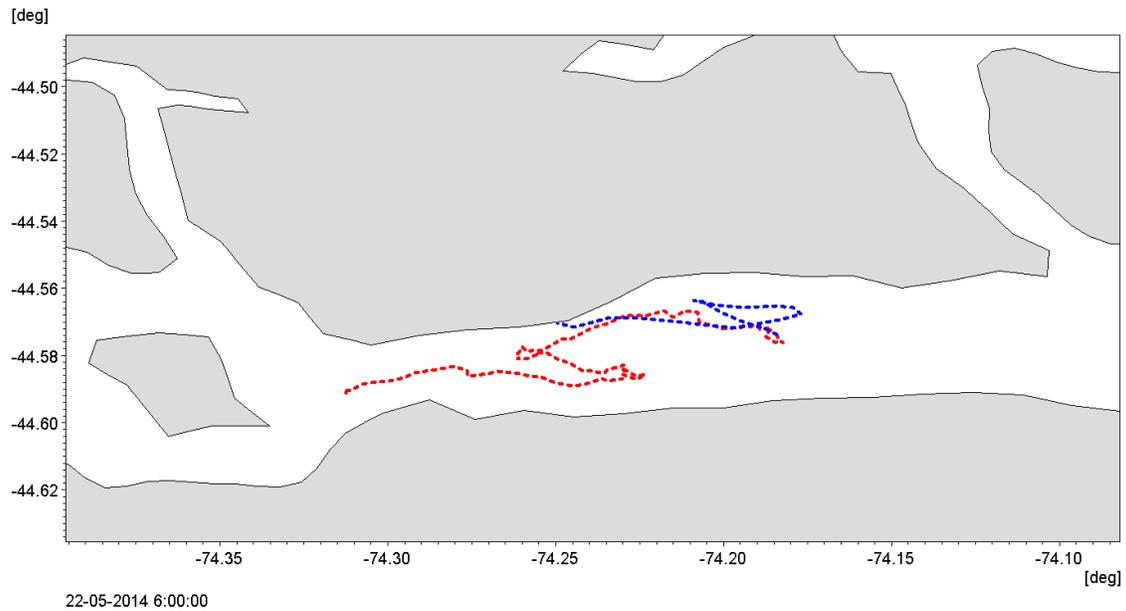
**Figura 60.** Evaluaci3n de correntometr3a lagrangiana con derivadores a 8 metros de profundidad en el canal Ciriaco. Observaci3n en azul y modelo en rojo.



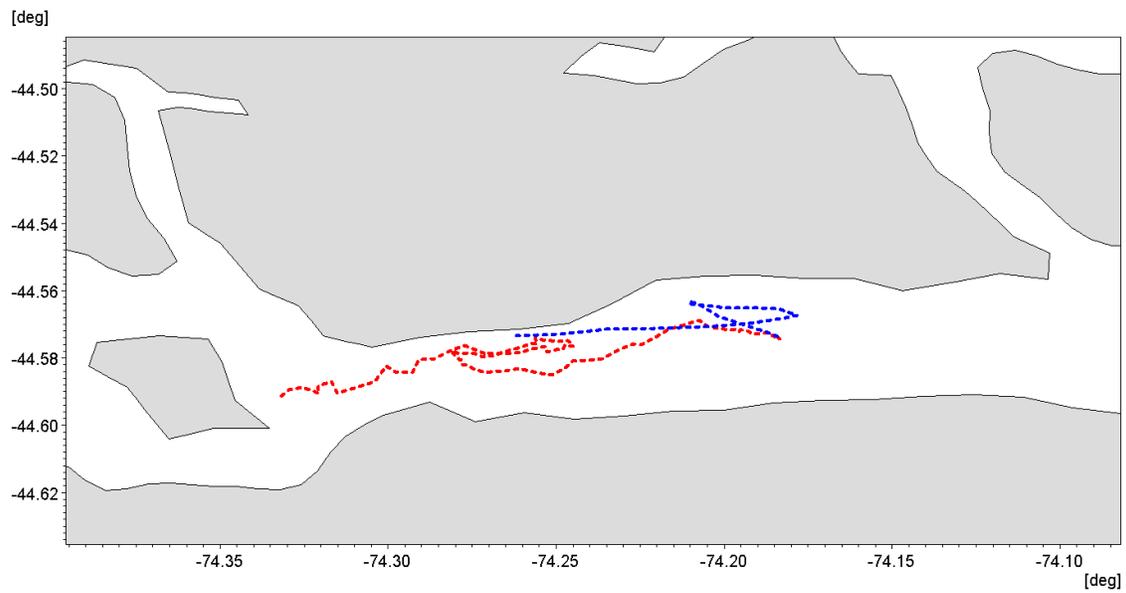
**Figura 61.** Evaluaci3n de correntometría lagrangiana con derivadores a 4 metros de profundidad en el canal Pérez Sur. Observaci3n en azul y modelo en rojo.



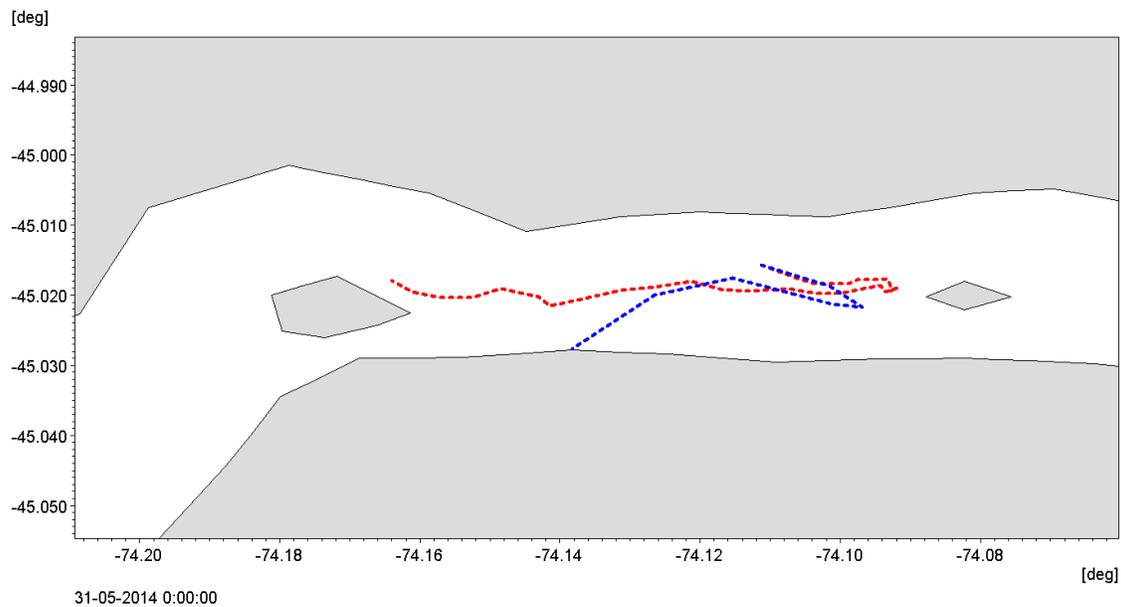
**Figura 62.** Evaluaci3n de correntometría lagrangiana con derivadores a 8 metros de profundidad en el canal Pérez Sur. Observaci3n en azul y modelo en rojo.



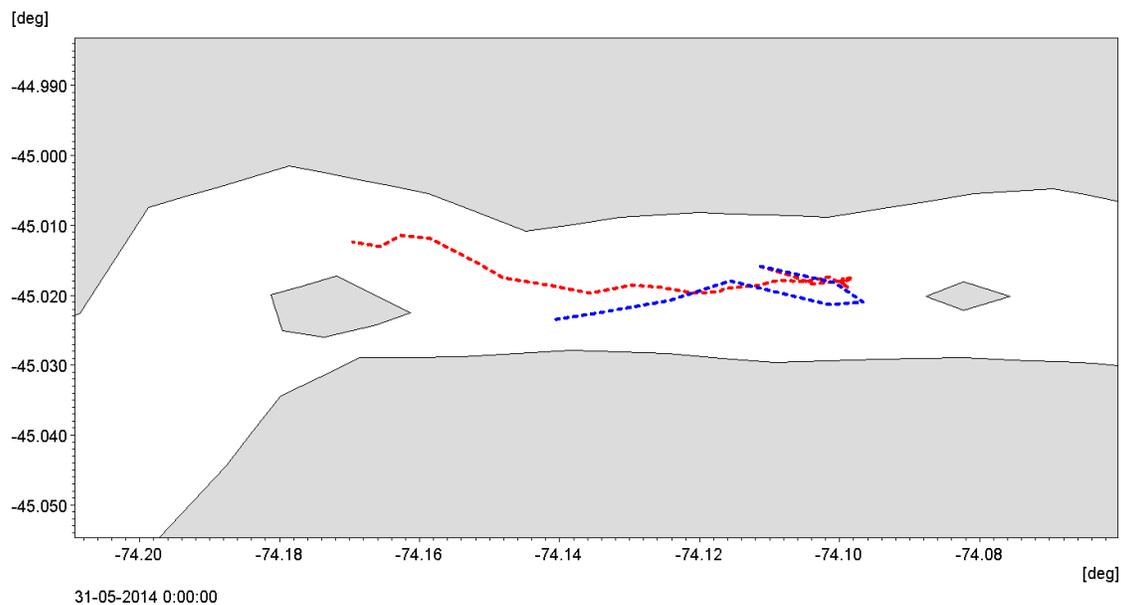
**Figura 63.** Evaluaci3n de correntometr3a lagrangiana con derivadores a 4 metros de profundidad en el canal King. Observaci3n en azul y modelo en rojo.



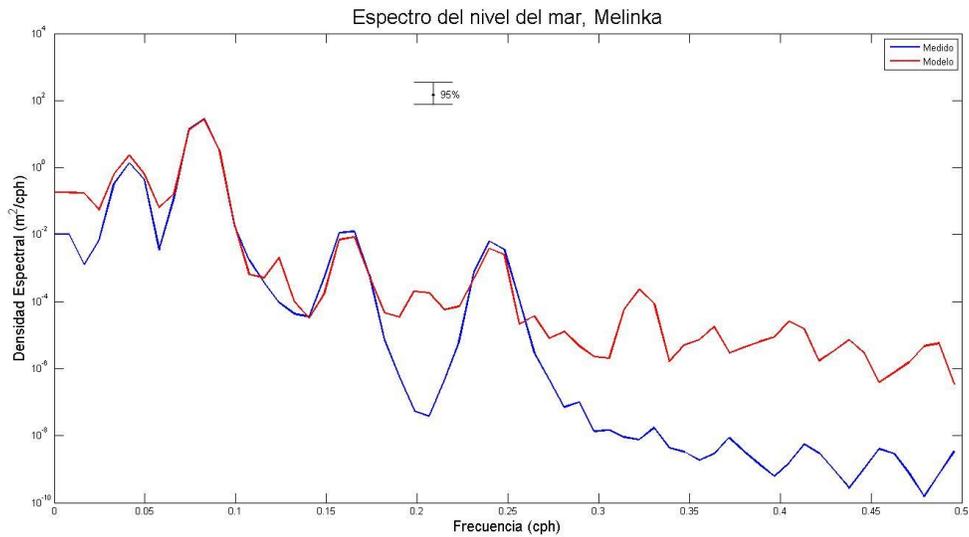
**Figura 64.** Evaluaci3n de correntometr3a lagrangiana con derivadores a 8 metros de profundidad en el canal King. Observaci3n en azul y modelo en rojo.



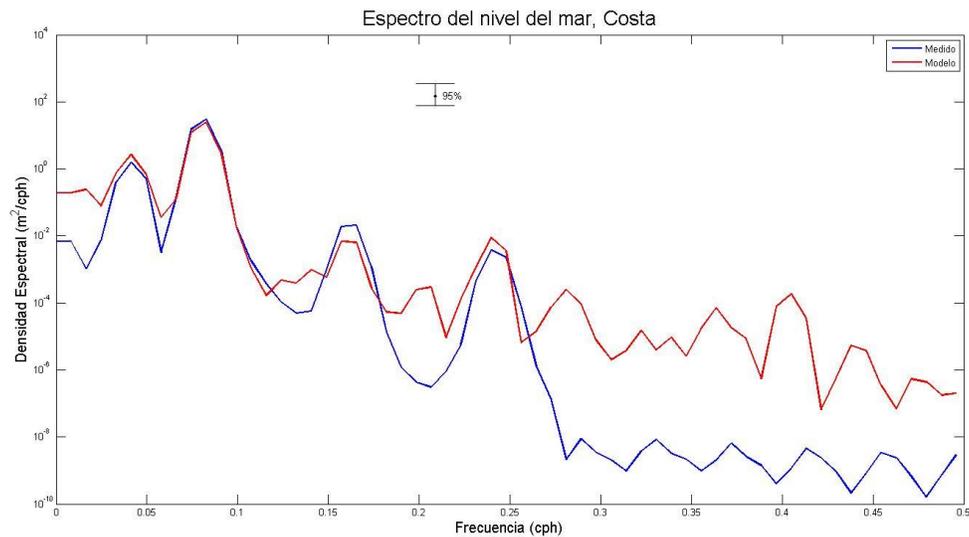
31-05-2014 0:00:00  
**Figura 65.** Evaluación de correntometría lagrangiana con derivadores a 4 metros de profundidad en el canal Ninualac. Observación en azul y modelo en rojo.



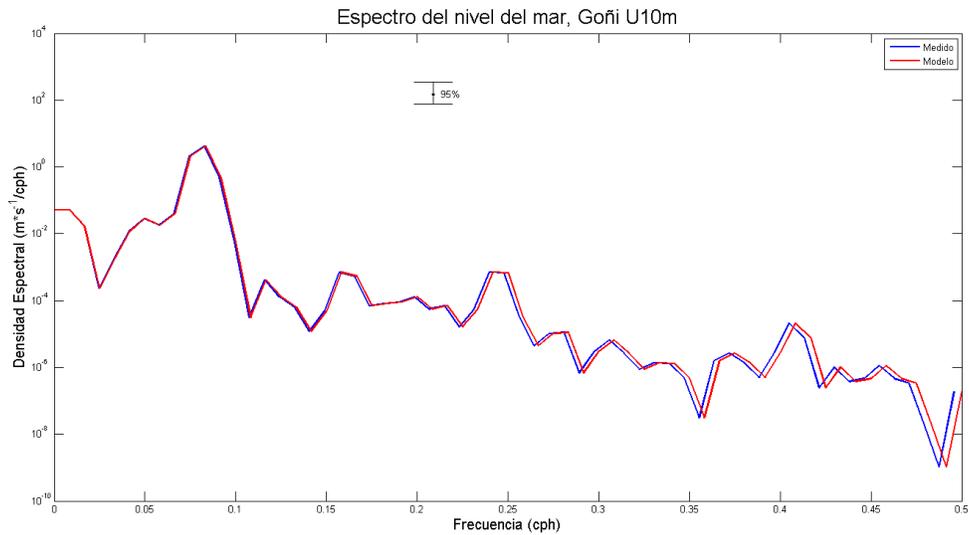
31-05-2014 0:00:00  
**Figura 66.** Evaluación de correntometría lagrangiana con derivadores a 8 metros de profundidad en el canal Ninualac. Observación en azul y modelo en rojo.



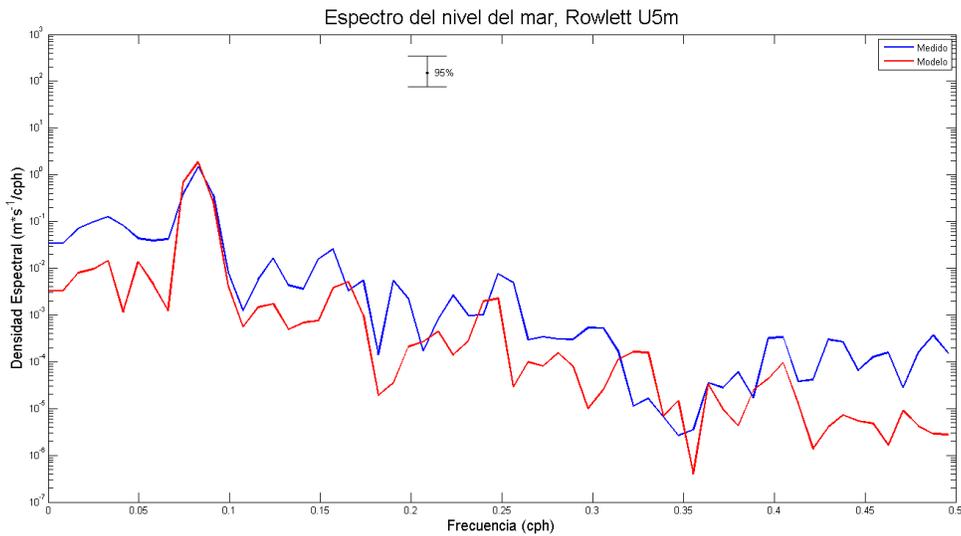
**Figura 67.** Análisis de densidad espectral de la variación del nivel del mar en Melinka.



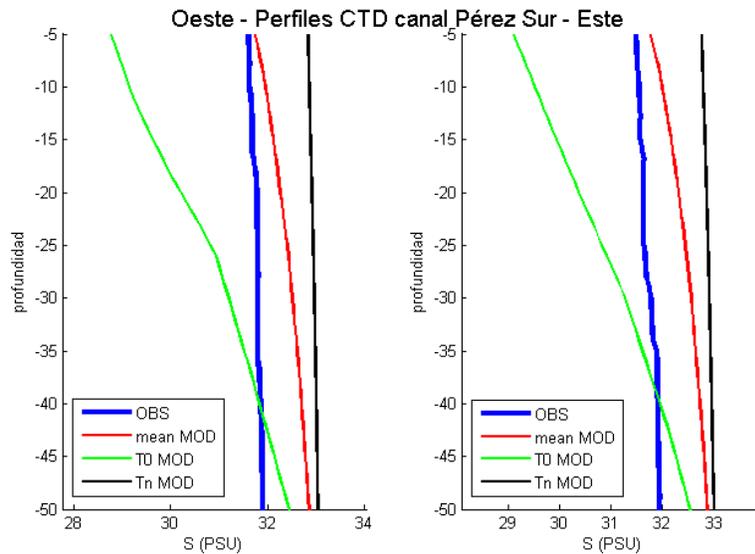
**Figura 68.** Análisis de densidad espectral de la variación del nivel del mar en el canal Costa.



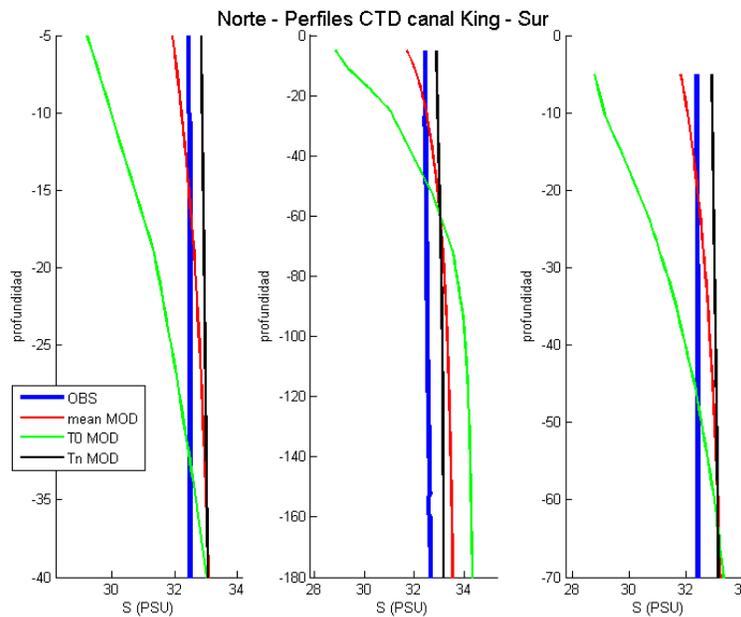
**Figura 69.** Análisis de densidad espectral de componente U de la corriente a 10 metros de profundidad en el canal Goñi.



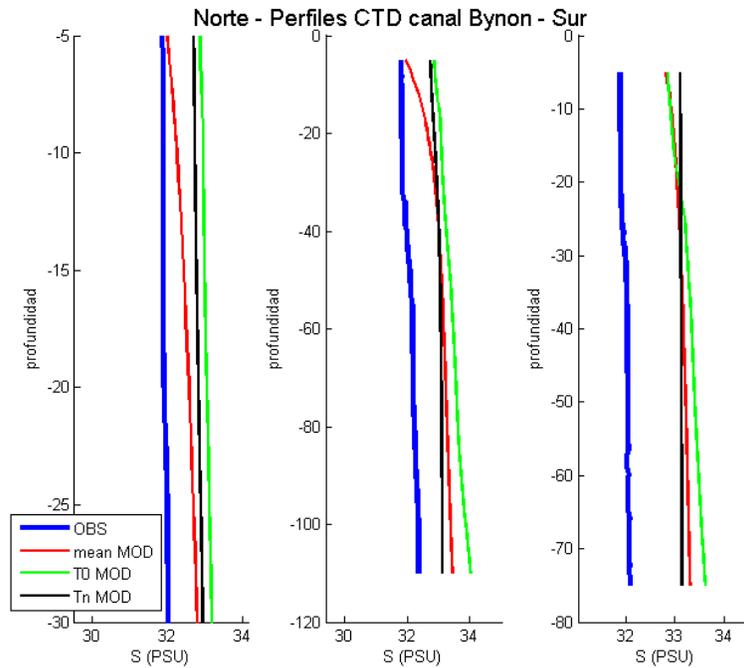
**Figura 70.** Análisis de densidad espectral de componente U de la corriente a 5 metros de profundidad en el canal Rowlett.



**Figura 71.** Perfiles de salinidad medidos con CTD en el canal Pérez Sur en la campaña “Chonos Centro Otoño 2014” y comparados con perfiles del modelo regional Chiloé-Aysén y procedentes del modelo global Mercator.



**Figura 72.** Perfiles de salinidad medidos con CTD en el canal King en la campaña “Chonos Centro Otoño 2014” y comparados con perfiles del modelo regional Chiloé-Aysén y procedentes del modelo global Mercator.



**Figura 73.** Perfiles de salinidad medidos con CTD en el canal Bynon en la campaña “Chonos Centro Otoño 2014” y comparados con perfiles del modelo regional Chiloé-Aysén y procedentes del modelo global Mercator.

# **A N E X O I V**

---

Desarrollo objetivo 2.2.3:  
Metodología y resultados





### 3. METODOLOGÍA

#### 3.3 **Objetivo específico 2.2.3.** *Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de patógenos o elementos de origen antrópico entre los diferentes centros de cultivo.*

Una vez satisfechos los criterios de validación del modelo hidrodinámico regional del objetivo 2.2.2 frente a las mediciones efectuadas en la zona se procederá a implementar modelos hidrodinámicos cuyos forzantes den cuenta de la variabilidad ambiental regional, y junto a estos modelos se desacoplarán modelos de transporte de partículas por advección y difusión. Para ello se tendrán en cuenta características propias de los patógenos de mayor influencia e interés en la salmonicultura (virus ISA) y se establecerán focos de dispersión asociados con la ubicación real de los centros de cultivos. Las dispersiones se realizarán por periodos máximos de 72 horas (tiempo máximo estimado de supervivencia del virus sin huésped). Se implementarán modelos hidrodinámicos, junto a sus respectivos modelos desacoplados de dispersión de partículas, que den cobertura al espectro de posibles condiciones ambientales distintas que se dan dentro de un ciclo anual. Las distintas condiciones ambientales son impuestas por la varianza intra-anual de los forzantes que rigen la hidrodinámica costera. Por tanto, los distintos modelos deberán incluir condiciones de marea de sicigia y cuadratura, condiciones de verano e invierno para los forzantes atmosféricos (viento y presión atmosférica) así como para los ingresos de agua dulce al medio marino a través de ríos y glaciares.

De esta forma quedan establecidos 4 escenarios ambientales que comprenden la variabilidad intra-anual de los forzantes de modelos hidrodinámicos (**Figura 1 – Anexo IV**). Estos escenarios son los siguientes:

- Invierno Cuadratura: ciclo mareal en periodo de cuadratura. Aporte de agua dulce de cada fuente doble del habitual. Viento máximo más habitual del periodo de invierno (dirección = 315°, velocidad = 11.4 m/s).
- Invierno Sicigia: ciclo mareal en periodo de sicigia. Aporte de agua dulce de cada fuente doble del habitual. Viento máximo más habitual del periodo de invierno (dirección = 315°, velocidad = 11.4 m/s).
- Verano Cuadratura: ciclo mareal en periodo de cuadratura. Aporte de agua dulce de cada fuente correspondiente a sus valores de verano. Viento máximo más habitual del periodo de verano (dirección = 270°, velocidad = 9.6 m/s).
- Verano Sicigia: ciclo mareal en periodo de sicigia. Aporte de agua dulce de cada fuente correspondiente a sus valores de verano. Viento máximo más habitual del periodo de verano (dirección = 270°, velocidad = 9.6 m/s).

Para definir el forzante del viento se ha decidido aplicar un esquema de “mayor escenario posible”, el cual se basa en el viento más intenso dentro de aquella dirección más habitual para cada periodo de



invierno y verano, tal como muestran las rosas de vientos de las **Figuras 2 y 3 – Anexo IV**. El “mayor escenario posible” garantiza la representatividad de la variabilidad intra-anual, al descartar posibles eventos no habituales de cada periodo (invierno/verano), además de dar sólo representatividad a los fenómenos más energéticos dentro de los más característicos de cada periodo, lo cual actúa en favor de lograr el mayor alcance posible en la dispersión de las partículas para cada escenario. Dada la gran extensión del dominio del modelo y a que se va a emplear un único tipo de viento y constante para todo el modelo los vientos utilizados deben ser representativos de todo el dominio y eso sólo nos lo puede proporcionar una fuente de viento dentro de la escala sinóptica que tenga en cuenta la movilidad y posición relativa de los frentes de altas y bajas presiones del Pacífico SE que dominan los regímenes climáticos regionales (Aceituno et al., 1993). Esta fuente de viento es el mismo modelo global utilizado como forzante atmosférico en el modelo regional Chiloé-Aysén, que es ERA-interim, y se debe tener presente que los datos son el promedio de cada 6 horas, lo que excluye el comportamiento y variabilidad del viento de alta frecuencia por debajo de dicho periodo.

Al igual que el modelo regional Chiloé-Aysén, los escenarios ambientales tienen lugar en 2014, por lo que marea (Topex-Poseidon), viento (ECMWF) y agua dulce (DGA) proceden de la misma fuente que el modelo regional Chiloé-Aysén para el año 2014, al igual que las condiciones iniciales (*Mercator*).

A estos 4 escenarios de variabilidad ambiental intra-anual, que dan cuenta de los forzantes y motores de la hidrodinámica regional más representativos de cada periodo del año (invierno/verano) se suman un quinto y sexto escenario que representarían condiciones ambientales extremas típicas de un evento de tormenta, con máximos de intensidad del viento y descargas de agua dulce (**Figura 1 – Anexo IV**). Estos eventos debidos a inestabilidades de frentes atmosféricos procedentes del océano Pacífico son más habituales en invierno y conllevan precipitaciones por encima de lo habitual, por lo que para este escenario que definiremos como de tormenta el aporte por parte de fuentes de agua dulce ha sido duplicado respecto del aporte habitual de cada fuente en el periodo de invierno. El viento utilizado en este escenario de tormenta no es el más característico ni habitual como en los anteriores escenarios de invierno, sino el de mayor intensidad durante el invierno, que fue de 20 m/s procedente del Oeste (**Figura 2 – Anexo IV**). Además estos frentes atmosféricos suelen estar asociados a frentes de bajas presiones y la más baja en superficie para dicho periodo del modelo ERA-interim para nuestro área fue de 998 hPa. Cada uno de estos escenarios de tormenta acontece en distintos periodos dentro del ciclo mareal, cuadratura y sicigia respectivamente, quedando definidos estos escenarios extremos de la siguiente manera:

- Tormenta Cuadratura: ciclo mareal en periodo de cuadratura. Aporte de agua dulce de cada fuente del doble del habitual al periodo invernal. Viento máximo registrado de 20 m/s procedente del Oeste. Presión atmosférica en superficie de 998 hPa.
- Tormenta Sicigia: ciclo mareal en periodo de sicigia. Aporte de agua dulce de cada fuente del doble del habitual al periodo invernal. Viento máximo registrado de 20 m/s procedente del Oeste. Presión atmosférica en superficie de 998 hPa.



La información generada por los modelos de dispersión servirá para poder establecer los cálculos de conectividad entre centros de cultivo de la XI región de Aysén, acorde a la siguiente metodología de conectividad desarrollada por Thomas Uhrenholdt (DHI) en estudios de impacto ambiental por dispersión de especies invasivas (Hansen *et al.*, 2014) e implementada por IFOP en “Desarrollo de estadísticas de conectividad para la X y XI Región basados en resultados de modelos de MIKE 3, I etapa” (IFOP, 2015).

Por conectividad se entiende la medida de la dispersión de partículas que son transportadas de un lugar a otro por medio de los campos de corrientes. La conectividad *per se* es una variable adimensional que se cuantifica por la probabilidad de que una partícula de un área llegue a cualquier otro área (lo que se conoce como conectividad *downstream*) o haya llegado desde cualquier área a un área determinada (conectividad *upstream*) en un tiempo dado (denominado horizonte). Por tanto, para establecer la conectividad de una zona es necesario primeramente la obtención de la modelación hidrodinámica, para posteriormente recrear la modelación de dispersión de partículas y finalmente obtener las matrices de probabilidad en el post-procesamiento estadístico de los resultados de los modelos (**Figura 4 – Anexo IV**). Estas matrices de probabilidad serán los resultados que son representados a través del geoportal.

Las probabilidades de conectividad se determinan para aquellas áreas en que se divide el dominio y a su vez tanto para la dispersión *upstream* (arriba) como *downstream* (dispersión o emisión) y cada uno de los horizontes que se consideren. En el caso de dispersión *upstream* las probabilidades de arribo a un área diana desde otras áreas se calculan como el porcentaje de las partículas iniciales de cada uno de esas otras áreas que al término de un horizonte terminan en el área objetivo (**Figura 5 – Anexo IV**). En la conectividad *downstream* las probabilidades de dispersión desde un área emisario hacia otras se establece a partir del porcentaje de las partículas iniciales del área emisario que han llegado a cada una de las otras áreas al cabo de un horizonte (**Figura 6 – Anexo IV**). El horizonte máximo en nuestro caso es de 72 horas, tiempo estimado de supervivencia del virus ISA en su dispersión entre huéspedes.

Los límites a la conectividad son impuestos por el tiempo de simulación, el máximo horizonte y los límites geográficos del dominio del modelo numérico. Pudiendo haber tantos horizontes como conectividades quieran establecerse, el horizonte más lejano no debe exceder el tiempo de simulación, pues ninguna partícula sería tomada en cuenta dentro de los cálculos de conectividad por no haber alcanzado su horizonte antes del fin de la simulación. La conectividad se establece a partir de cálculos estadísticos sobre las posiciones de las partículas al final de cada horizonte.

En cada paso de tiempo del modelo de dispersión de partículas se libera un número constante de partículas. El número de partículas introducido en cada paso de tiempo es definido por el usuario, que debe buscar un compromiso entre representatividad estadística y carga de trabajo; un alto número de partículas da mayor robustez a la estadística de conectividad, pero ralentiza considerablemente los cálculos. Si las partículas son liberadas a igual ritmo desde el primer hasta el último paso de tiempo,



siempre habrá un determinado número de partículas que se no serán incluidas en los cálculos de conectividad, tanto se trate de conectividad *downstream* como *upstream*. El número de partículas excluidas será el equivalente a las partículas que se introducen al dominio en un periodo de tiempo igual o menor al horizonte temporal, por no haber estado en circulación el mínimo tiempo requerido que es el que se establece con el horizonte más largo (**Figura 7 – Anexo IV**).

Si bien el número de partículas que ingresa al dominio es conocido y definido por el usuario, no así es el lugar específico a donde ingresan cada una de ellas. Como se ha dicho, en cada paso de tiempo del modelo de dispersión de partículas ingresa un número constante de partículas, adicionándose a las anteriores de pasos de tiempo previos. Estas nuevas partículas que ingresan lo hacen en número constante (10 por paso de tiempo en nuestro caso) y sobre toda la superficie del dominio de forma aleatoria. Si una partícula al ser liberada lo hace sobre superficie terrestre vuelve a ser liberada tantas veces como establezcamos hasta hacerlo sobre agua; si al final de todos los reintentos sigue sin caer sobre agua entonces es excluida de los cálculos. Esto es importante en zonas de canales donde el porcentaje de tierra es elevada y también las probabilidades de que una partícula caiga sobre tierra. Por ello es importante establecer un número de repeticiones alto, sin que ello perjudique la velocidad de cómputo, en nuestro caso 50 intentos.

Al tratarse de dominios abiertos en sus bordes oceánicos, aquellas partículas que salen de los límites del dominio son excluidas de todo cálculo; también debe considerarse que las parcelas de agua que acceden al interior del dominio a través de sus bordes no portan partículas. Es debido a estas dos singularidades que el número total de partículas que participan de los cálculos estadísticos de conectividad no son iguales para las conectividades *upstream* y *downstream* respectivamente (**Figuras 8 y 9 – Anexo IV**).

El que las partículas que salen del dominio sean excluidas y que las parcelas de agua que ingresan por los bordes abiertos no contengan partículas implica que hay una pérdida de información en los límites del dominio. Cuanto mayor sea el número total de partículas en el dominio menos significativa es esta pérdida de información, la cual puede ser asumida en dichos bordes. Otra opción es establecer la conectividad en un área de menor superficie al dominio del modelo hidrodinámico, de manera que aquellas partículas que salen del área de conectividad (pero no de la superficie del dominio total) no se pierden y pueden volver a entrar posteriormente; además las parcelas de agua que ingresen desde afuera del área de conectividad (pero desde dentro de los límites del dominio hidrodinámico) contienen partículas que serán consideradas en cálculos de conectividad, porque el ingreso de las partículas se establece en el modelo de dispersión de partículas. Éste último caso es el que ocuparemos en el presente proyecto y obedece a que de esta manera se evita generar un exceso de información de conectividad, restringiendo el área de conectividad a aquella zona de interés para la conectividad de los centros de cultivo de la XI región de Aysén.

Por último está el concepto de “caja”. Cajas son todas aquellas sub-áreas individuales en que se subdivide el área total donde se establece la conectividad (**Figura 10– Anexo IV**). El tamaño de estas



cajas es igual entre ellas y se establece según el tipo de conectividad que se quiere conocer. Es decir, el tamaño de las cajas es determinado en función del tamaño de las áreas del terreno en que queremos establecer la conectividad, siendo todas las cajas de igual o menor tamaño que las áreas del terreno, a fin de poder conocer la conectividad una vez las partículas hayan abandonado la caja que representa el área real en el terreno. Se puede saber la probabilidad de que las partículas no hayan salido de su caja inicial tras un horizonte, pero no podremos saber en qué posición dentro de dicha caja se encuentran, pues por así decirlo, la caja es la mínima unidad de superficie de la que se puede obtener información probabilística de conectividad.

Con estas premisas se generaron un total de 2907 cajas a razón de 51 en el eje longitudinal por 57 en el eje latitudinal, con un tamaño de lado de  $0.1^\circ$ , (11x11 km) empezando desde la esquina inferior izquierda del dominio ( $75^\circ$  W,  $46.5^\circ$  S), como se muestra en la **Figuras 11 – Anexo IV**. De estas 2907 cajas, alrededor de 1700 cajas (dependiendo de la aleatoriedad al ser liberadas las partículas en cada simulación) contienen partículas, siendo las restantes superficie terrestre (**Figuras 12 y 13 – Anexo IV**).

La información generada servirá para establecer las bases para el cálculo de la conectividad para cada uno de los escenarios ambientales. Dado el enorme volumen de datos obtenidos esta información se adjunta en la base de datos del presente informe. La visualización de los resultados requiere de herramientas basadas en sistemas de información geográfica como el geoportal desarrollado para el proyecto “Desarrollo de estadísticas de conectividad para la X y XI Región basados en resultados de modelos de MIKE 3, I etapa” y disponible a través de la página web de oceanografía física del IFOP (<http://www.iproach.cl/index.php/es/conectividad1>). Si bien los resultados de conectividad pueden ser visualizados a través del mismo software que crea la información que más tarde es post-procesada estadísticamente, es decir MIKE (de DHI group), la visualización e interpretación de dichos resultados a través de esta herramienta (y todas aquellas imágenes que se pudieran extraer de ella) no es directa y llevaría a una dificultosa y probable mala interpretación de los mismos por la componente manual que implica. Esto es debido a que en la visualización a través de MIKE para saber a qué caja corresponde la información de conectividad de un escenario cualquiera que se esté visualizando (de dónde vienen o hacia dónde van las partículas, según sea conectividad *downstream* o *upstream* respectivamente) debemos referirnos a un archivo que se crea complementariamente en el post-proceso estadístico (llamado *probability\_boxpositions.csv* e incluido en la base de datos) y que da cuenta del número de caja activa respecto del total de cajas es la que en ese momento se está visualizando; recuérdese que algunas cajas no contienen información por ser tierra. Posteriormente habría que buscar tal caja entre el total de cajas en el mapa de visualización, contando desde el principio (vértice inferior izquierdo) de izquierda a derecha y ascendiendo. Todo este complicado proceso manual (y por tanto sujeto a error) es automatizado con herramientas de información geográfica integradas en la base de datos del geoportal. Sin embargo, IFOP no cuenta con las competencias necesarias para el desarrollo de un geoportal de tales características y esta tarea debe ser externalizada. El presente proyecto no contempla esta etapa, sino tan sólo de proveer de la información para establecer las bases para el cálculo de conectividad. A tal efecto se entregan en la



base de datos adjunta los archivos *shape* que contienen la información probabilística de cada escenario ambiental y para cada tipo de dispersión, con el fin de poder ser empleadas en futuras etapas en un geoportal de visualización al uso o bien la visualización en software compatible con archivos *shape*. Estos software compatibles con archivos *shape* sólo permiten la carga de información uno por uno, lo que vuelve a generar los anteriormente citados problemas de saber cuál es la caja a la que hace referencia la información contenida en el archivo *shape* que se está viendo. Por lo tanto para una correcta visualización e interpretación de la información contenida en las bases de datos y que establece las bases de la conectividad se recomienda encarecidamente la primera opción de desarrollo de un geoportal que soporte la información georreferenciada en una base de datos al uso.

Aparte, pero relacionado con la conectividad, y con el fin de establecer el alcance de deriva de partículas entre distintos centros de cultivo salmonícolas en la XI región se implementaron sendos modelos desacoplados de dispersión de partículas de los modelos hidrodinámicos de cada uno de los escenarios ambientales. A diferencia de la información que servirá para establecer las bases de la conectividad, estos resultados son factibles de presentarse en formato impreso. También difieren en el hecho de que en los modelos de dispersión de partículas éstas ingresan al dominio a través de puntos discretos, los cuales corresponden a la ubicación de los principales grupos de centros salmoneros de cada barrio o agrupación de concesiones de la XI región de Aysén (**Figuras 14 y 15 – Anexo IV**), y lo hacen a una tasa constante de 1 partícula por minuto a partir de las primeras 48 horas (tiempo de estabilización del modelo). El alto número de partículas en movimiento tiene como objetivo reflejar la hidrodinámica por encima de la frecuencia mareal. Al igual que para la conectividad también se define un horizonte, o mejor dicho tiempo de vida útil de las partículas, de 72 horas. Con este distinto enfoque de conectividad podemos ver rápidamente la conectividad entre distintos barrios de cultivo paso a paso a través de imágenes secuenciales y vídeos de las dispersiones por 72 horas. Respecto del modelo de cajas, esta otra metodología representa los barrios con su forma original y no por cajas que no se tienen porqué parecer en forma ni tamaño al barrio sobre el que se sitúan, lo cual siempre genera cierto grado de imprecisión. Al contrario que en el establecimiento de una conectividad por medio de estadísticos, la forma irregular de cada uno de los barrios (y entre ellos) no permite con esta metodología crear matrices de conectividad que contengan información estadística), y por tanto, el análisis de la conectividad responde más a criterios cualitativos que cuantitativos.



## 5. RESULTADOS

### 5.3 **Objetivo 2.2.3.** *Desarrollar modelaciones para distintos escenarios ambientales, estableciendo para cada uno de ellos las diversas situaciones de conectividad y posibilidad de transporte de patógenos o elementos de origen antrópico entre los diferentes centros de cultivo.*

Tal como se especificó en la metodología el desarrollo de escenarios ambientales y sus resultados se han empleado para satisfacer objetivos de conectividad y transporte de partículas.

Los 4 escenarios ambientales representan condiciones “ideales”, esto es, las condiciones ambientales más habituales y dentro de las más habituales se selecciona las más extremas dentro de la variabilidad intra-anual, la cual definimos por sus periodos opuestos de Invierno-Verano. Por tanto, a pesar de que este tipo de condiciones ambientales suceden en el terreno, es vano tratar de evaluar los resultados del modelo porque en el terreno se da mayor variabilidad ambiental que las mencionadas condiciones “ideales”. Sin embargo sirven como buen estimativo de las capacidades máximas del sistema en el transporte de masas.

La variabilidad ambiental es dada por la variabilidad intra-anual de los forzantes del modelo. Estos forzantes serán los nuevos input del modelo regional Chiloé-Aysén (que ya fue previamente validado en el objetivo 2.2.2) para cada escenario ambiental. Una vez resuelta la hidrodinámica de cada uno de estos escenarios ambientales, a sus modelos desacoplados de dispersión de partículas se les aplicó 2 metodologías distintas según se tratara de establecer las bases para la conectividad o determinar el alcance de partículas entre agrupaciones de concesiones de explotación salmonícola (ver metodología).

### **BASES PARA LA CONECTIVIDAD**

Como se explicó en la metodología, para cada escenario ambiental se desarrolló un modelo hidrodinámico y a cada uno de esos modelos hidrodinámicos se desacopló un modelo de dispersión de partículas. En cada uno de los modelos desacoplados de dispersión de partículas se liberan 10 partículas por paso de tiempo que ingresan al dominio de forma aleatoria, pudiendo caer sobre tierra en cuyo caso se vuelven a ingresar al dominio hasta un número determinado de intentos (50 en nuestro caso). Algunas de estas partículas al cabo de 50 intentos siguen sin caer sobre superficie acuática, o cajas con muy poca superficie acuática no llegan a recibir nunca una partícula y eso provoca que haya diferencias en el número de cajas “activas” para cada escenario ambiental: 1708 cajas para el escenario de Invierno-Cuadratura; 1713 para Invierno-Sicigia; 1713 cajas para el escenario de Verano-Cuadratura; 1710 cajas para el de Verano-Sicigia, 1697 para el escenario de Tormenta-Cuadratura y 1688 para el de Tormenta-Sicigia. En cualquier caso el elevado número de cajas, hace que el número



de posibles conectividades que puedan establecerse por cada escenario sea elevadísimo (>3400) y que la representación impresa de los resultados fuera cuando menos muy extensa y difícilmente comprensible.

Para poder visualizar los resultados son necesarias herramientas propias de Mike o la exportación de los resultados desde el formato nativo de Mike a un formato de lectura por *software* libre. En este sentido se han exportado los resultados a un formato georreferenciado libre (archivos *shape*, extensión .shp) que permite la visualización de las probabilidades de conectividad dentro de un marco geográfico que de sentido a la información. Aun así, sigue habiendo un alto número de archivos .shp generados (uno por cada conectividad, >3400) y si bien de esta manera es posible obtener información puntual, pero si queremos una herramienta de visualización que nos lleve a un contexto de información general del dominio debemos recurrir a recursos en sistemas de información geográfica (SIG). Esta misma problemática se planteaba en un anterior proyecto ASIPA (“Desarrollo de estadísticas de conectividad para la X y XI Región basados en resultados de modelos de MIKE 3, I etapa”), lo cual se solventó con la creación, a través de asesoría externa, de un Geoportal web *ad-hoc* disponible en <http://www.iproach.cl/index.php/es/conectividad1>, en donde se expone la información generada por los cálculos estadísticos de conectividad en el mismo área y mismos escenarios ambientales del presente proyecto (salvo los escenarios de tormenta). Dada la logística y esfuerzos que implican el desarrollo de esta tarea, en el presente proyecto se establecen las bases para la conectividad (base de datos), dejando la visualización de los resultados a través de geoportal para futuras etapas donde se indique como objetivo específico.

En la base de datos del proyecto se adjuntan los archivos .shp de conectividad, clasificados por escenario ambiental y tipo de dispersión. La nomenclatura de las carpetas contenedoras y archivos es:

- Escenarios Ambientales: IC=Invierno-Cuadratura, IS=Invierno Sicigia, VC=Verano Cuadratura, VS=Verano Sicigia, TC=Tormenta Cuadratura, TS=Tormenta Sicigia.
- Tipos de dispersion: DOWN=downstream, UP=upstream.

### **ALCANCE DE DERIVA DE PARTÍCULAS**

Al igual que para establecer las bases para la conectividad se desacoplaron sendos modelos de dispersión de partículas para cada escenario ambiental. En este caso las partículas en lugar de ingresar por toda la superficie del dominio de forma caótica lo hacen a través de localizaciones fijas que corresponden con agrupaciones de centros de cultivo dentro de barrios o concesiones dentro de la XI región (**Figura 15 – Anexo IV**).

En este estudio no se aplican estadísticas de conectividad a fin de establecer las probabilidades de conectividad entre barrios. En su lugar imponemos sucesivos horizontes a 6, 12, 24, 48 y 72 horas



posteriores al inicio de la dispersión para determinar la dispersión de partículas en el tiempo desde cada agrupación de centros de cultivo hacia posibles otros centros.

Dentro del área de estudio se encuentran 39 barrios o concesiones (**Figura 14 – Anexo IV**) y en dentro de estas agrupaciones se han localizado 56 agrupaciones de centros de cultivo (**Figura 15 – Anexo IV**). Aquellas agrupaciones de centros de cultivo pertenecientes a un mismo barrio se denotan con las mismas características para poder diferenciarlos de las de los otros barrios.

### **Escenario de Invierno-Cuadratura**

El alcance de las partículas a partir de un tiempo inicial (**Figura 16 – Anexo IV**) es dado por los distintos horizontes: las **Figuras 17, 18, 19, 20 y 21 – Anexo IV** corresponden a los horizontes +6, +12, +24, +48 y +72 horas tras el tiempo inicial. Ver secuencia completa en el vídeo contenido en BASE DATOS 656068\VIDEO\Conectividad Alcance Deriva Partículas entre Barrios XI región por escenario ambiental\escenario Invierno Cuadratura.

### **Escenario de Invierno-Sicigia**

El alcance de las partículas a partir de un tiempo inicial (**Figura 16 – Anexo IV**) es dado por los distintos horizontes: las **Figuras 22, 23, 24, 25 y 26 – Anexo IV** corresponden a los horizontes +6, +12, +24, +48 y +72 horas tras el tiempo inicial. Ver secuencia completa en el vídeo contenido en BASE DATOS 656068\VIDEO\Conectividad Alcance Deriva Partículas entre Barrios XI región por escenario ambiental\escenario Invierno Sicigia.

### **Escenario de Verano-Cuadratura**

El alcance de las partículas a partir de un tiempo inicial (**Figura 16 – Anexo IV**) es dado por los distintos horizontes: las **Figuras 27, 28, 29, 30 y 31 – Anexo IV** corresponden a los horizontes +6, +12, +24, +48 y +72 horas tras el tiempo inicial. Ver secuencia completa en el vídeo contenido en BASE DATOS 656068\VIDEO\Conectividad Alcance Deriva Partículas entre Barrios XI región por escenario ambiental\escenario Verano Cuadratura.

### **Escenario de Verano-Sicigia**

El alcance de las partículas a partir de un tiempo inicial (**Figura 16 – Anexo IV**) es dado por los distintos horizontes: las **Figuras 32, 33, 34, 35 y 36 – Anexo IV** corresponden a los horizontes +6, +12, +24, +48 y +72 horas tras el tiempo inicial. Ver secuencia completa en el vídeo contenido en BASE DATOS 656068\VIDEO\Conectividad Alcance Deriva Partículas entre Barrios XI región por escenario ambiental\escenario Verano Sicigia.



### **Escenario de Tormenta-Cuadratura**

El alcance de las partículas a partir de un tiempo inicial (**Figura 16 – Anexo IV**) es dado por los distintos horizontes: las **Figuras 37, 38, 39, 40 y 41 – Anexo IV** corresponden a los horizontes +6, +12, +24, +48 y +72 horas tras el tiempo inicial. Ver secuencia completa en el vídeo contenido en BASE DATOS 656068\VIDEO\Conectividad Alcance Deriva Partículas entre Barrios XI región por escenario ambiental\escenario Tormenta Cuadratura.

### **Escenario de Tormenta-Sicigia**

El alcance de las partículas a partir de un tiempo inicial (**Figura 16 – Anexo IV**) es dado por los distintos horizontes: las **Figuras 42, 43, 44, 45 y 46 – Anexo IV** corresponden a los horizontes +6, +12, +24, +48 y +72 horas tras el tiempo inicial. Ver secuencia completa en el vídeo contenido en BASE DATOS 656068\VIDEO\Conectividad Alcance Deriva Partículas entre Barrios XI región por escenario ambiental\escenario Tormenta Sicigia.

## ANEXO IV :FIGURAS



Figura 1. Escenarios ambientales y sus caracteristicas.

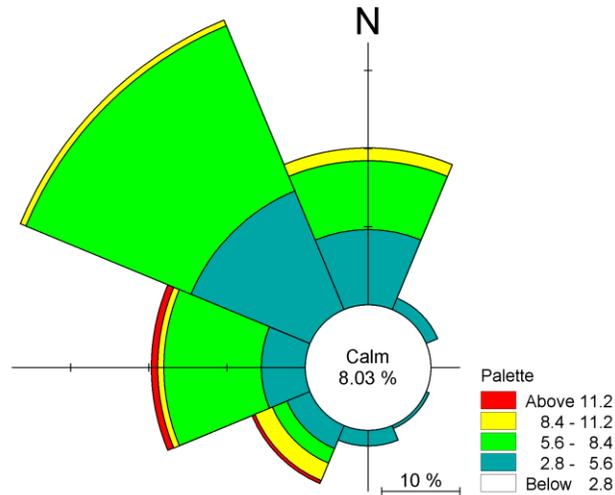


Figura 2. Rosa de los vientos del modelo ERA-interim (Melinka - Invierno).

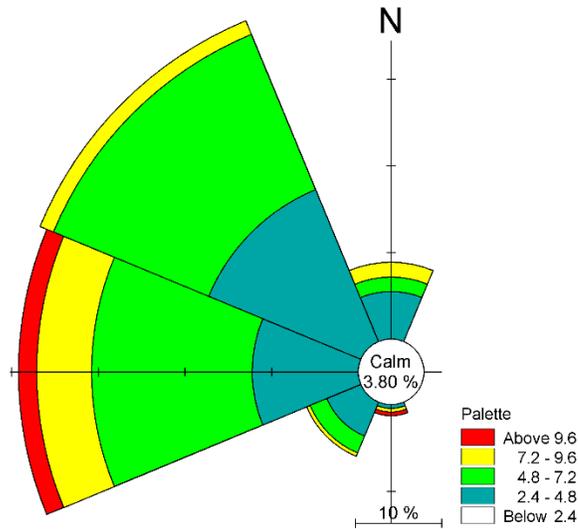


Figura 3. Rosa de los vientos del modelo ERA-interim (Melinka - Verano).

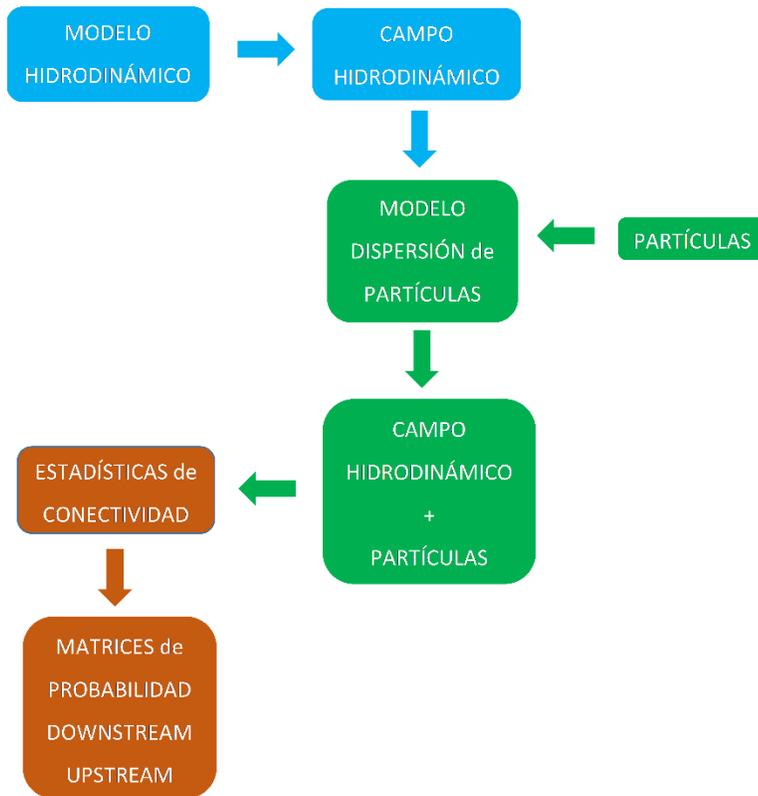
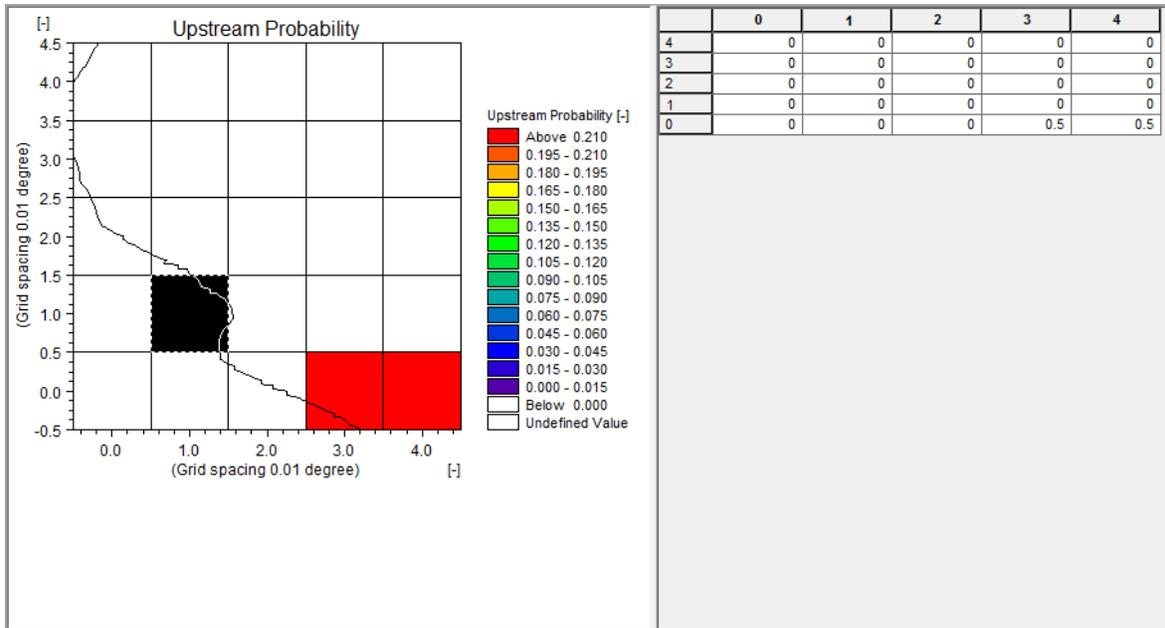
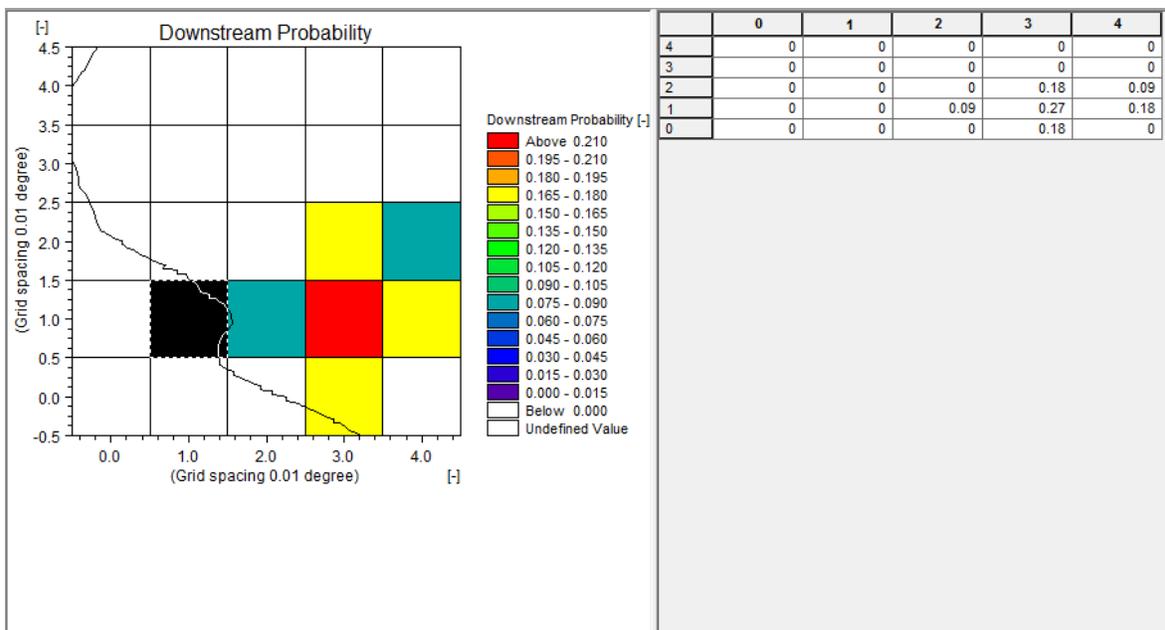


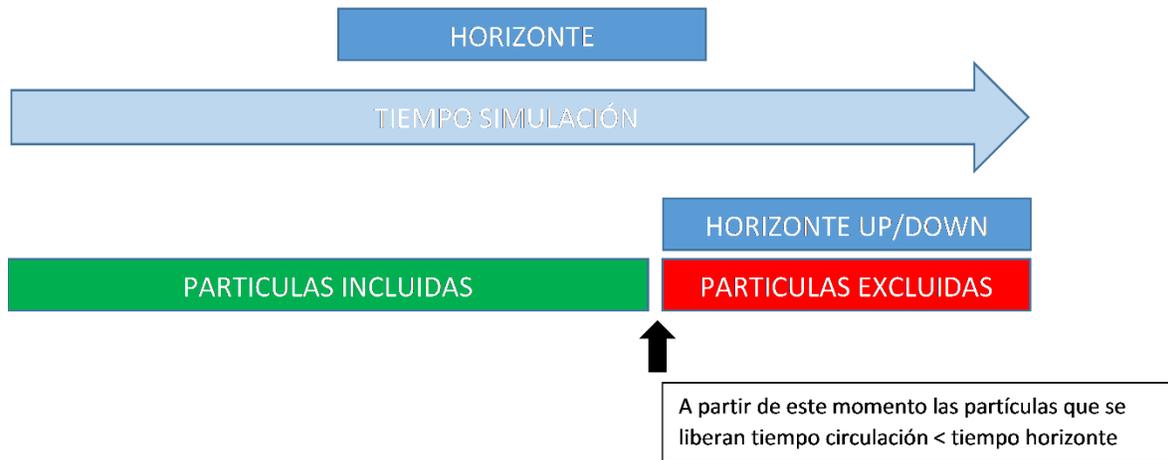
Figura 4. Diagrama de flujo mostrando las etapas para establecer la conectividad hidrodinámica.



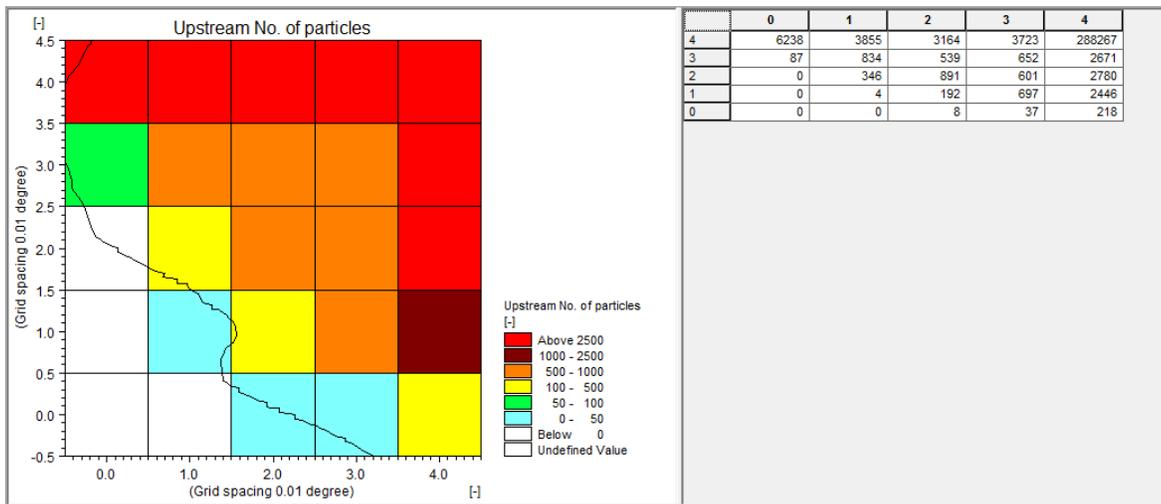
**Figura 5.** Ejemplo acotado de Mike3 mostrando las probabilidades de conectividad *upstream* gráficamente y en tabla adjunta. Caja diana en negro.



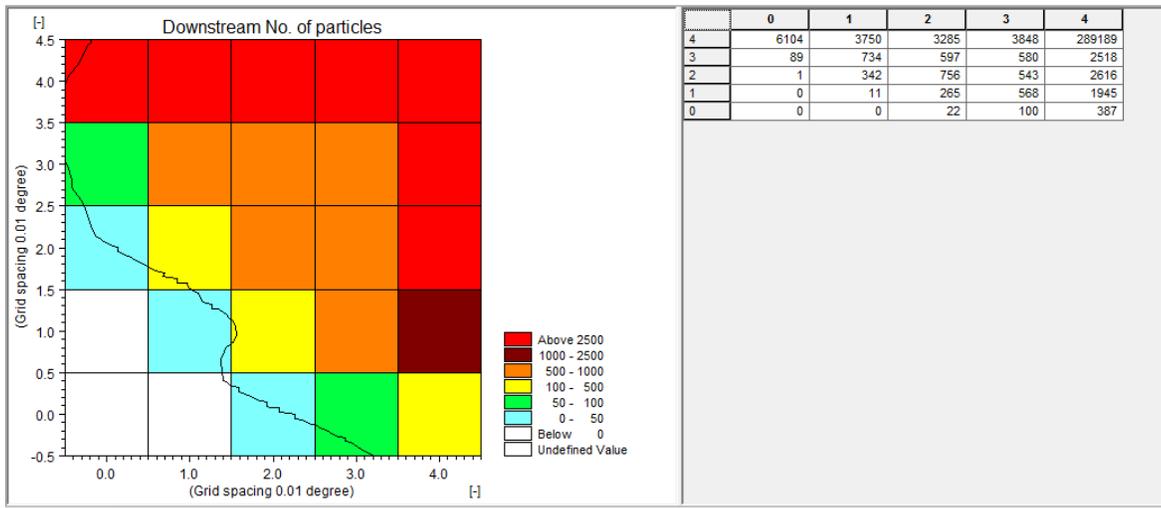
**Figura 6.** Ejemplo acotado de Mike3 mostrando las probabilidades de conectividad *downstream* gráficamente y en tabla adjunta. Caja emisora en negro.



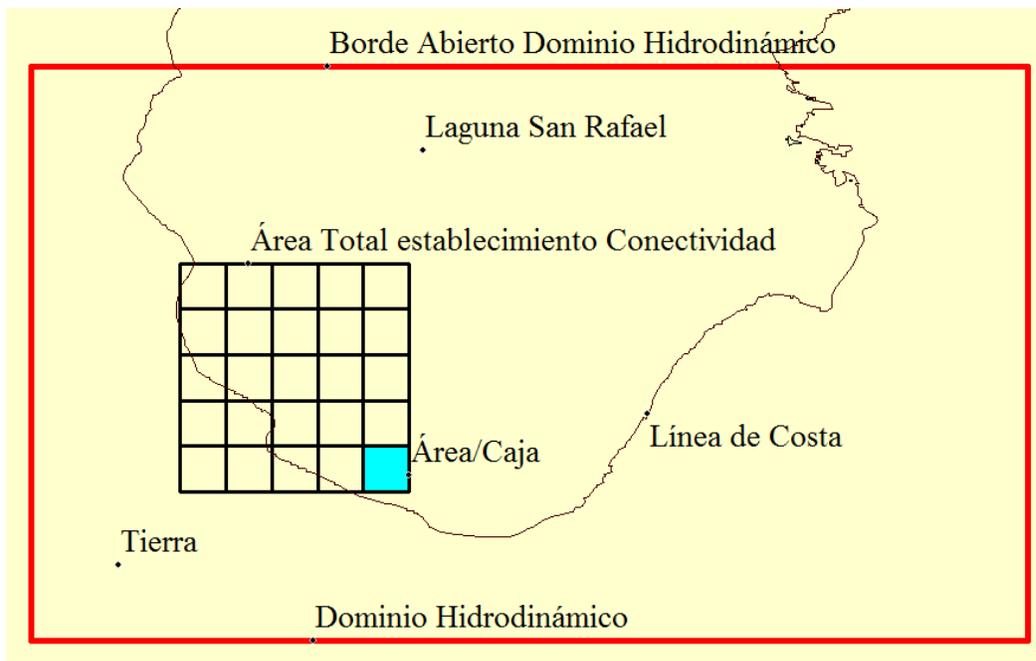
**Figura 7.** Esquema explicativo de las partículas incluidas/excluidas en las estadísticas de conectividad según el horizonte.



**Figura 8.** Ejemplo acotado de Mike3 mostrando el número de partículas que participan de la conectividad *upstream*, gráficamente y en tabla adjunta.



**Figura 9.** Ejemplo acotado de Mike3 mostrando el n3mero de part3culas que participan de la conectividad *downstream*, gr3ficamente y en tabla adjunta.



**Figura 10.** Definici3n de caja (en azul) en el marco de la conectividad.

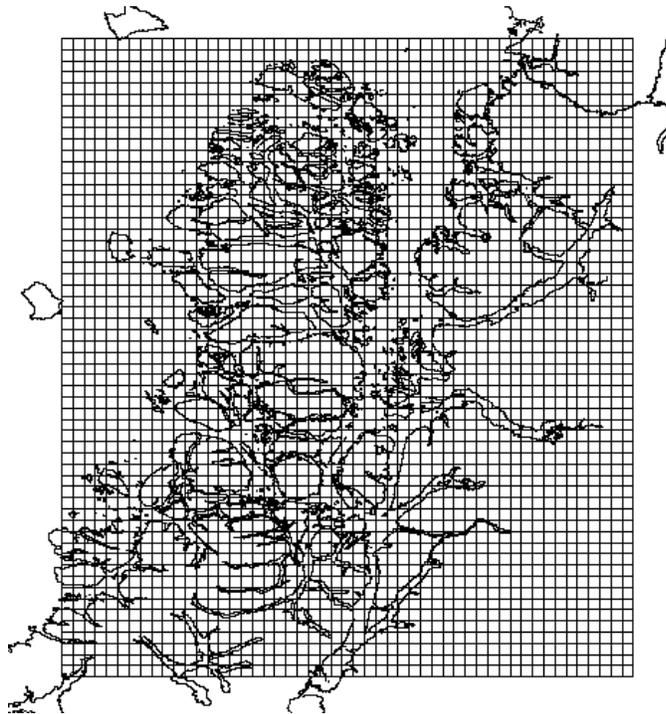


Figura 11. Cajas sobre las que se establecerá la conectividad para los 4 escenarios ambientales del modelo regional Chiloé-Aysén.

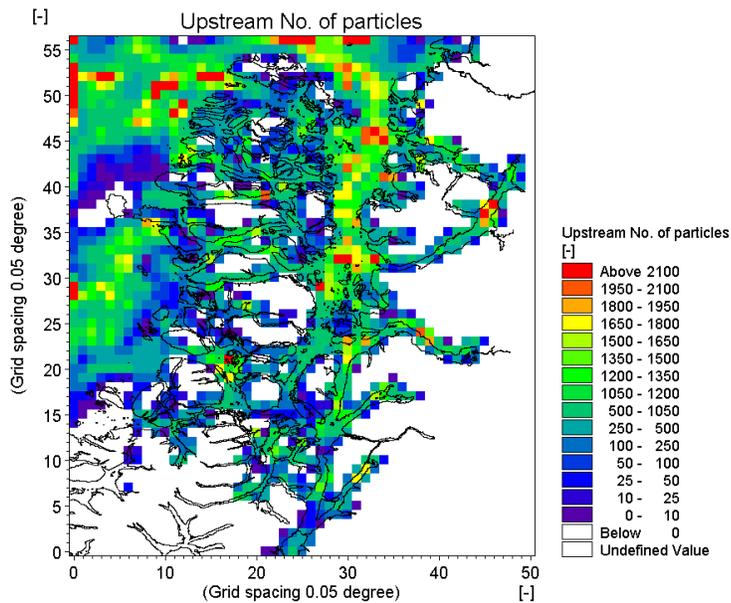
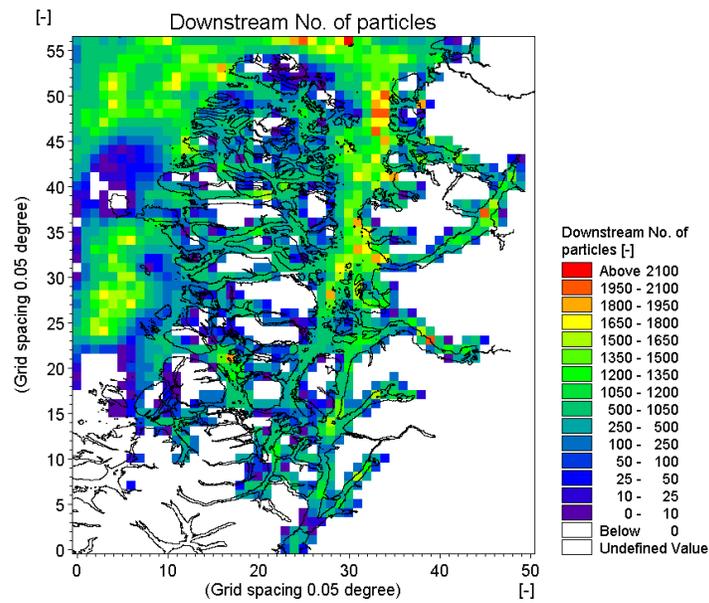
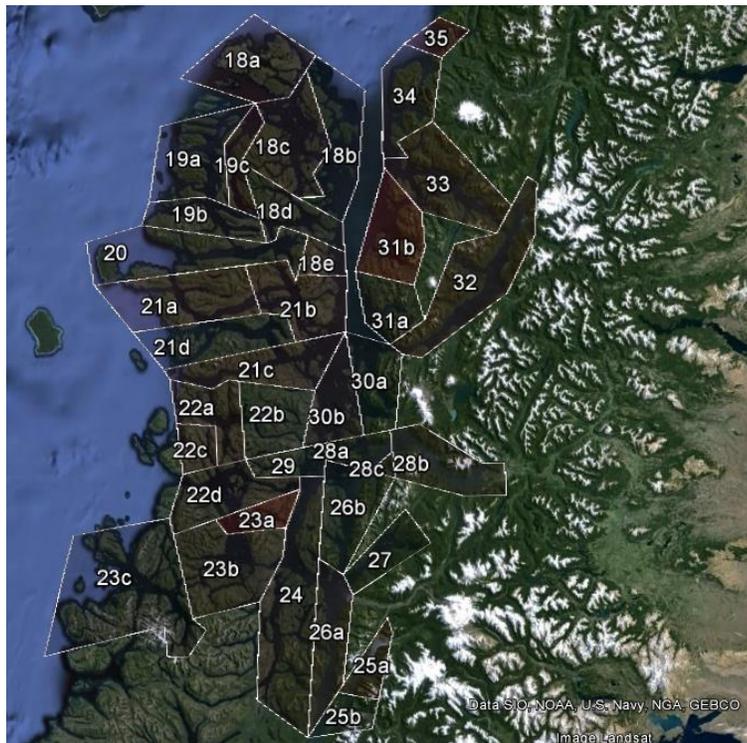


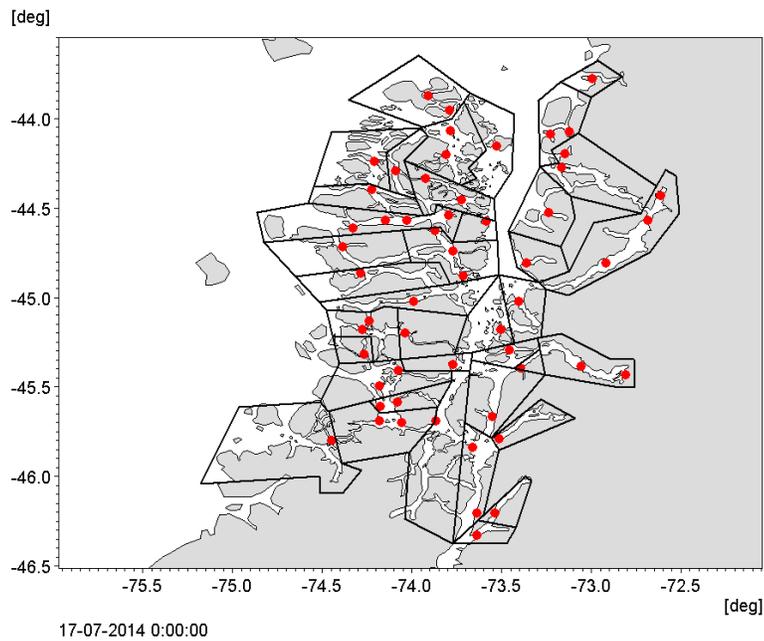
Figura 12. Número de partículas que participan de la conectividad *upstream* en el modelo regional Chiloé-Aysén.



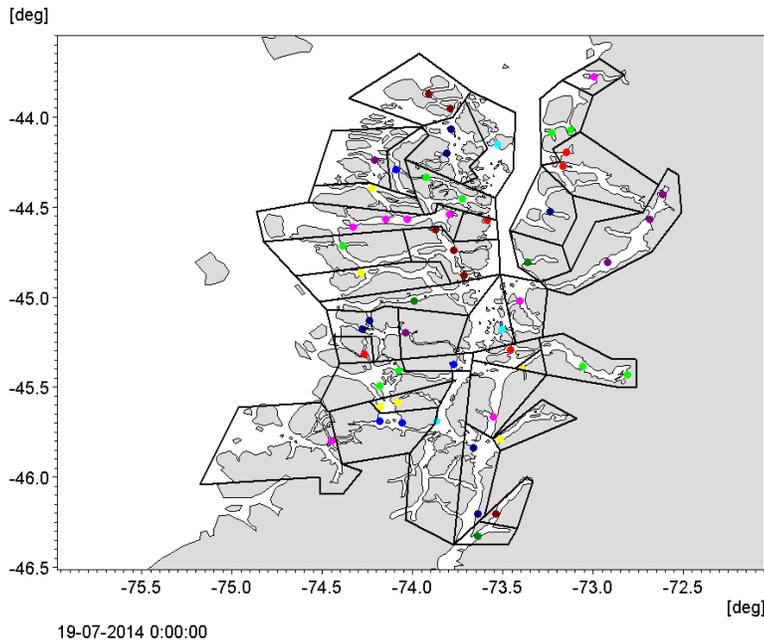
**Figura 13.** Número de partículas que participan de la conectividad *downstream* en el modelo regional Chiloé-Aysén.



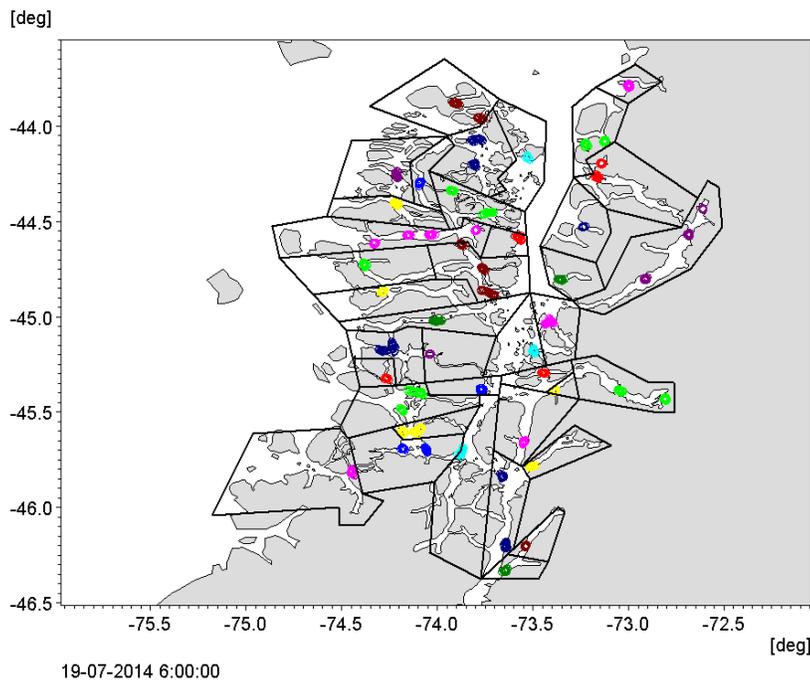
**Figura 14.** Barrios o agrupaciones de concesiones de cultivos salmonícolas en la XI región de Aysén.



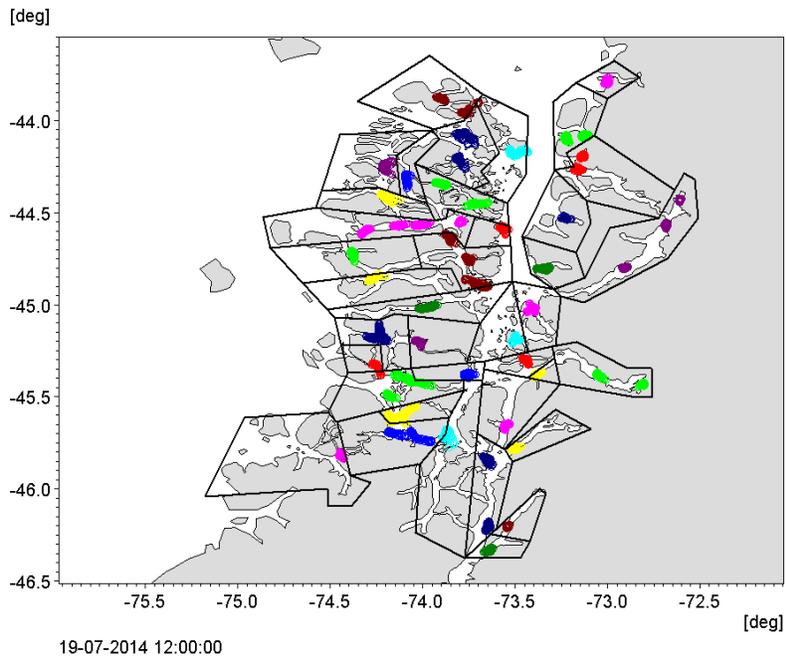
**Figura 15.** Posici3n de los centros de cultivo principales dentro de los barrios o agrupaciones de concesiones desde donde se establecer3 el alcance de partculas.



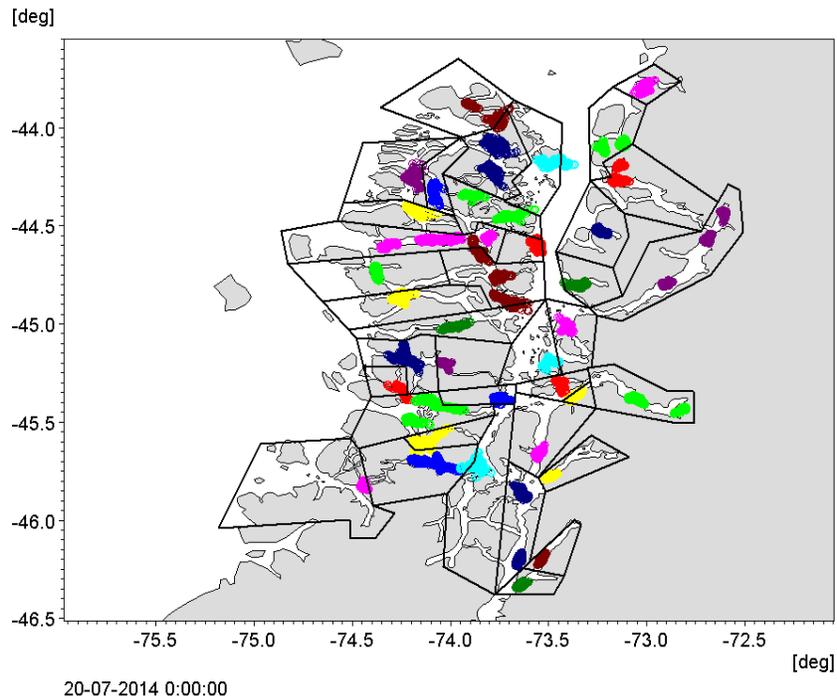
**Figura 16.** Tiempo 0 (3 ubicaci3n de los centros de cultivo dentro de los barrios) en la dispersi3n de partculas. Cada barrio est3 notado con un color en particular. Com3n a los 4 escenarios ambientales.



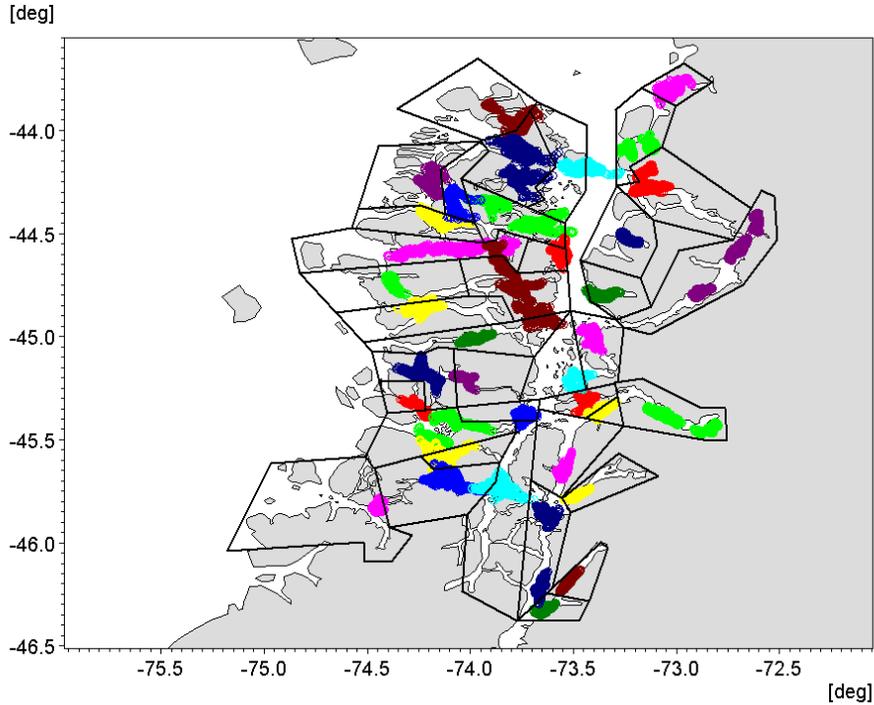
**Figura 17.** Escenario ambiental de invierno – Cuadratura: tiempo +6 horas desde la dispersi3n inicial.



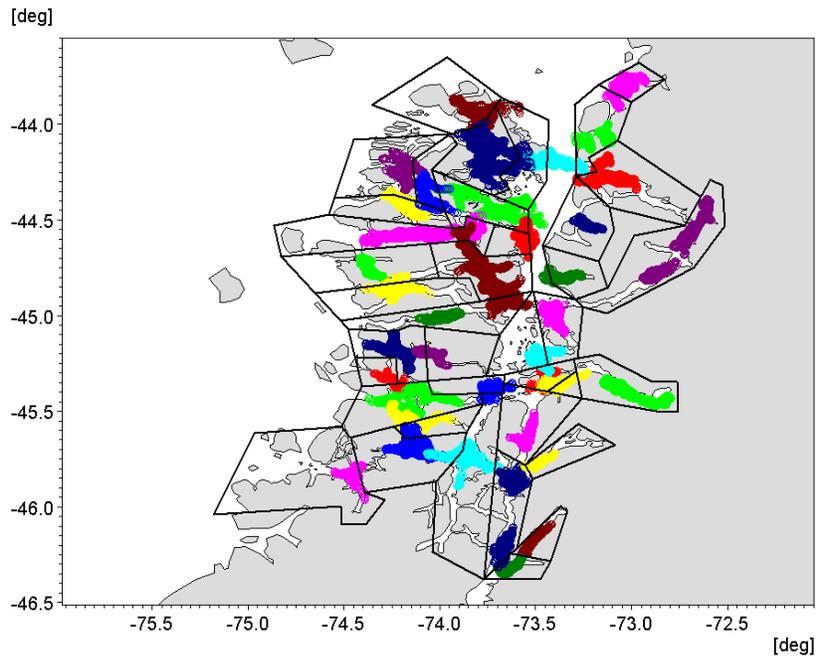
**Figura 18.** Escenario ambiental de Invierno – Cuadratura: tiempo +12 horas desde la dispersi3n inicial.



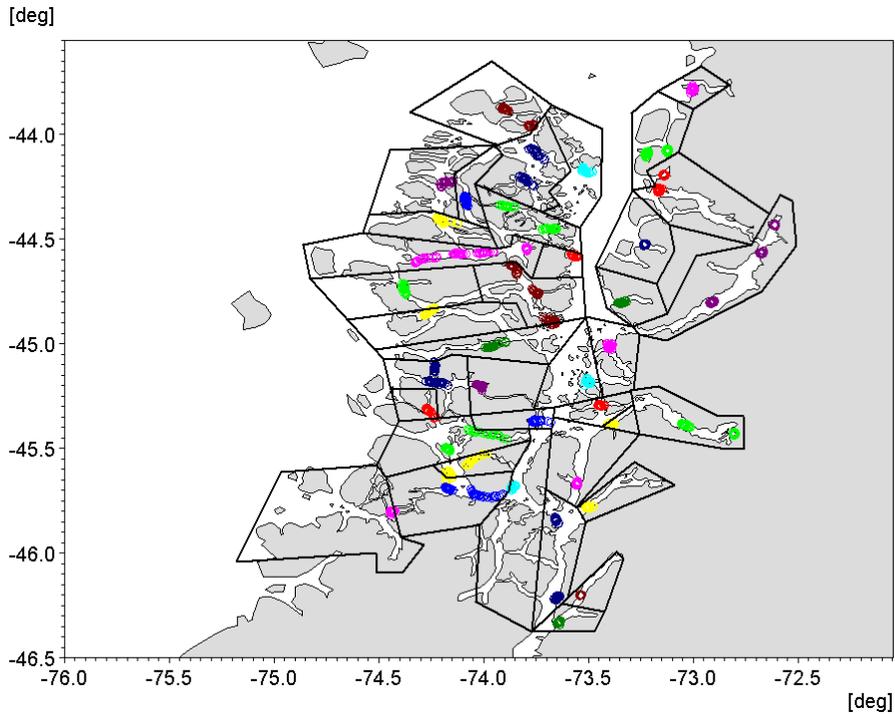
**Figura 19.** Escenario ambiental de Invierno – Cuadratura: tiempo +24 horas desde la dispersión inicial.



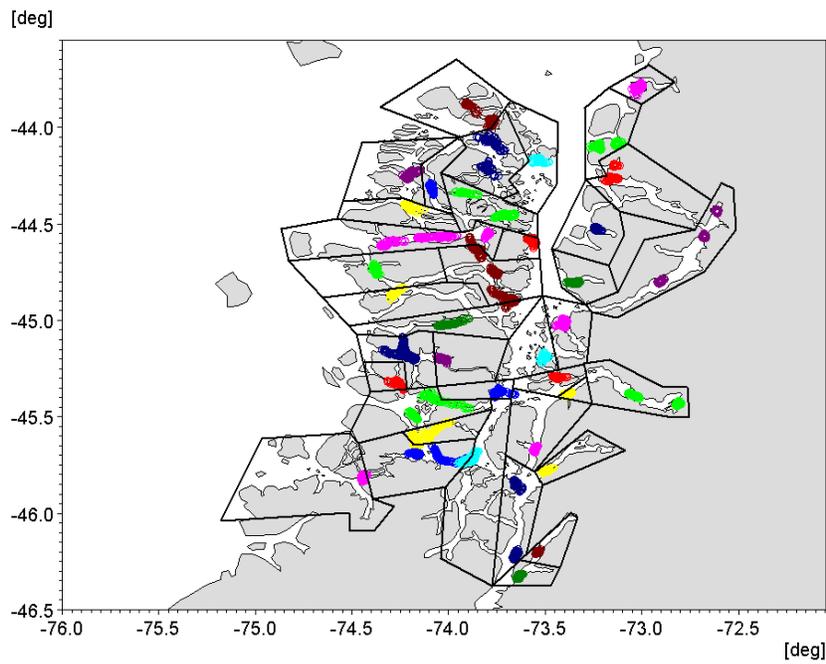
**Figura 20.** Escenario ambiental de Invierno – Cuadratura: tiempo +48 horas desde la dispersión inicial.



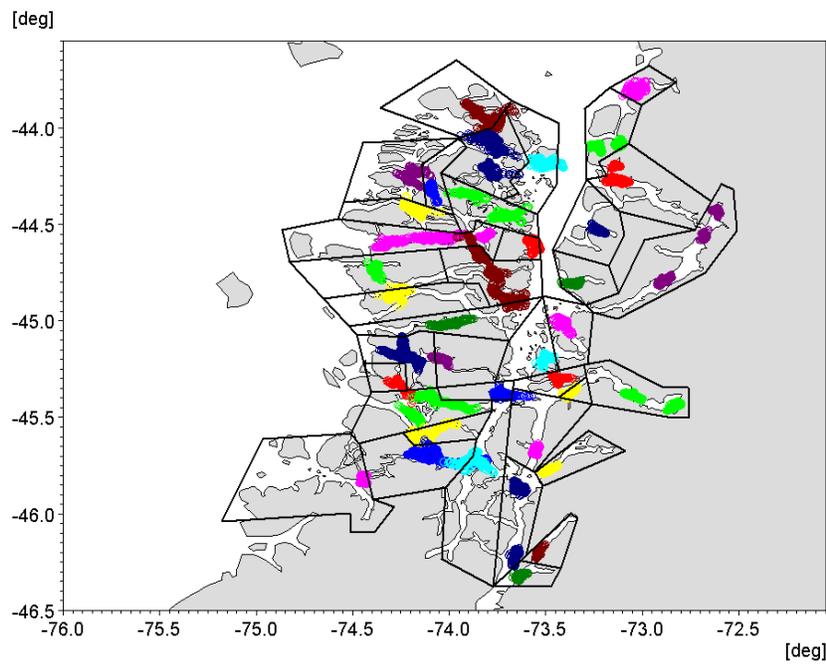
**Figura 21.** Escenario ambiental de Invierno – Cuadratura: tiempo +72 horas desde la dispersi3n inicial.



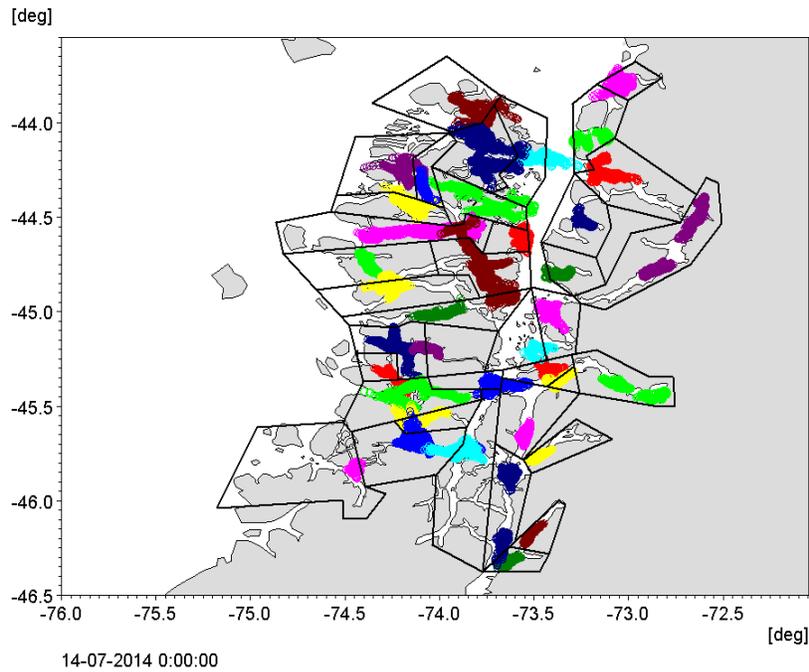
**Figura 22.** Escenario ambiental de Invierno – Sicigia: tiempo +6 horas desde la dispersi3n inicial.



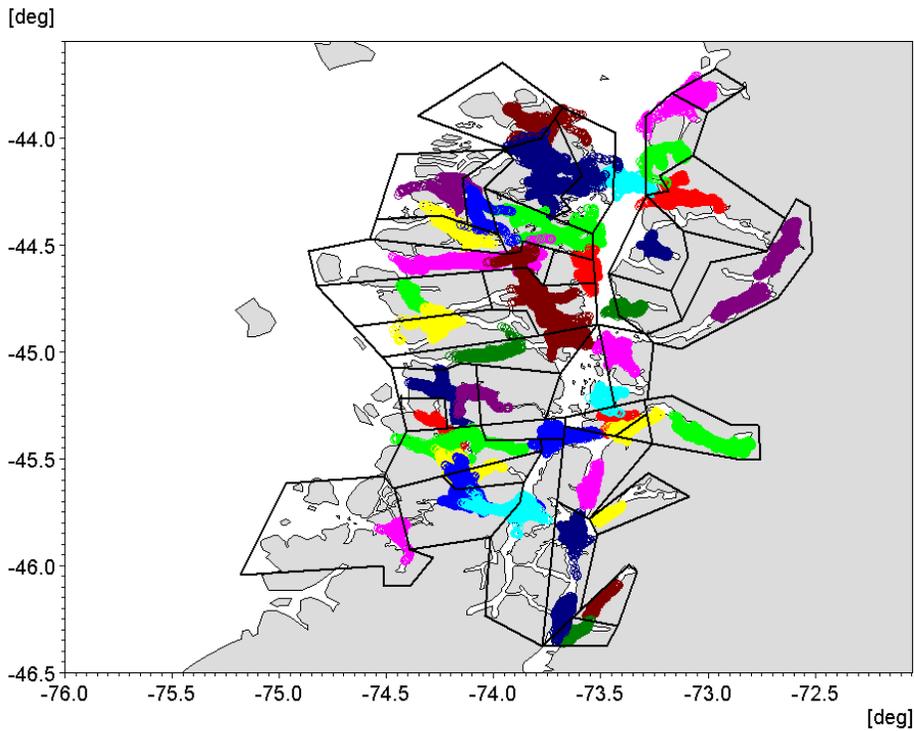
**Figura 23.** Escenario ambiental de Invierno – Sicigia: tiempo +12 horas desde la dispersión inicial.



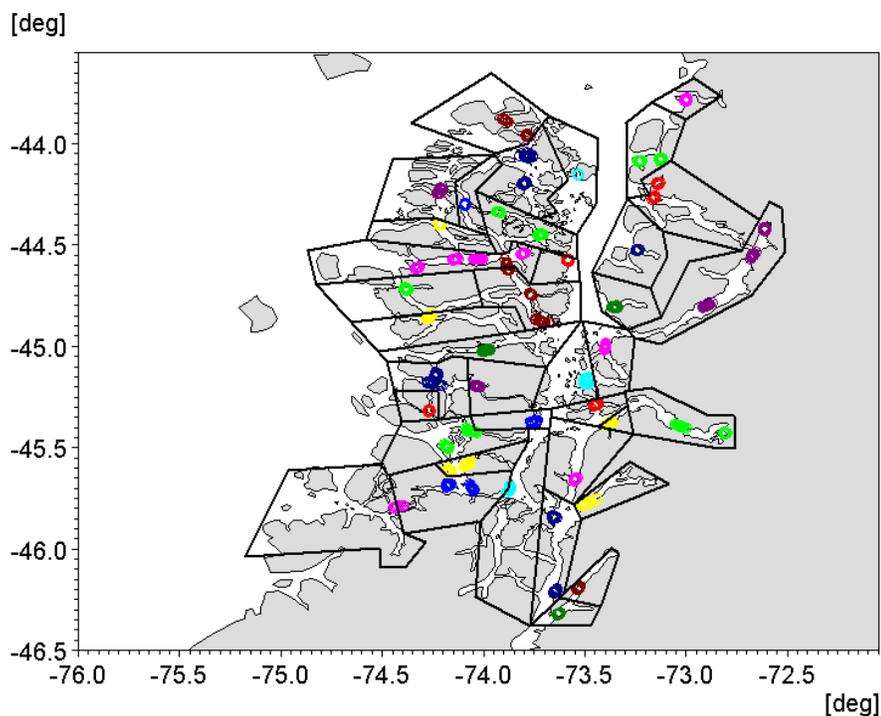
**Figura 24.** Escenario ambiental de Invierno – Sicigia: tiempo +24 horas desde la dispersión inicial.



**Figura 25.** Escenario ambiental de Invierno – Sicigia: tiempo +48 horas desde la dispersi3n inicial.

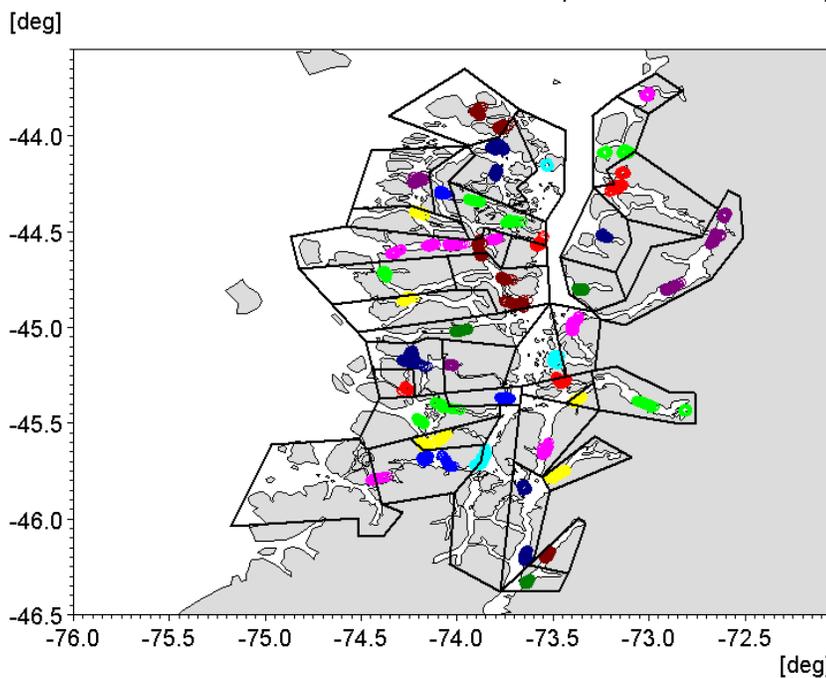


**Figura 26.** Escenario ambiental de Invierno – Sicigia: tiempo +72 horas desde la dispersi3n inicial.



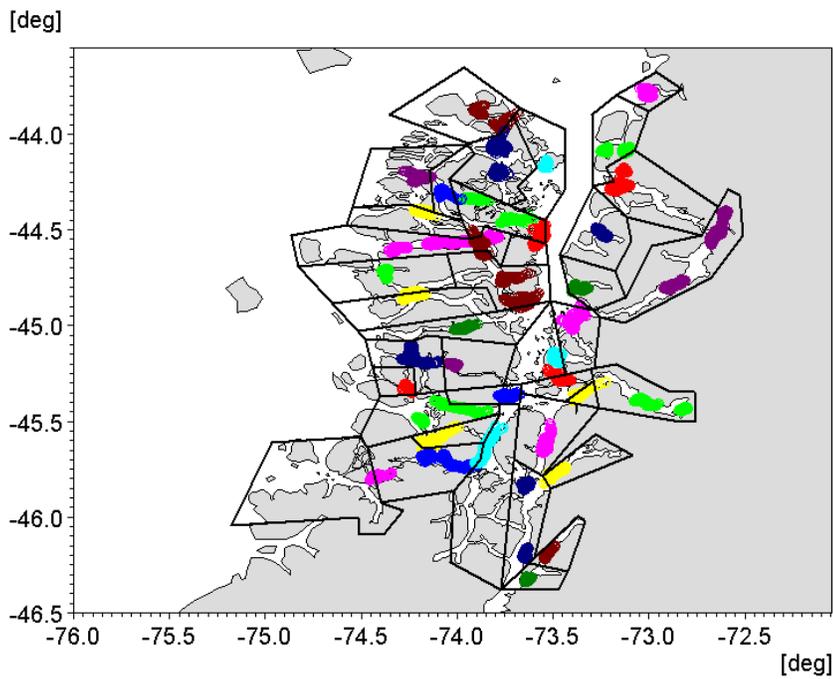
09-02-2014 6:00:00

**Figura 27.** Escenario ambiental de Verano - Cuadratura: tiempo +6 horas desde la dispersi3n inicial.



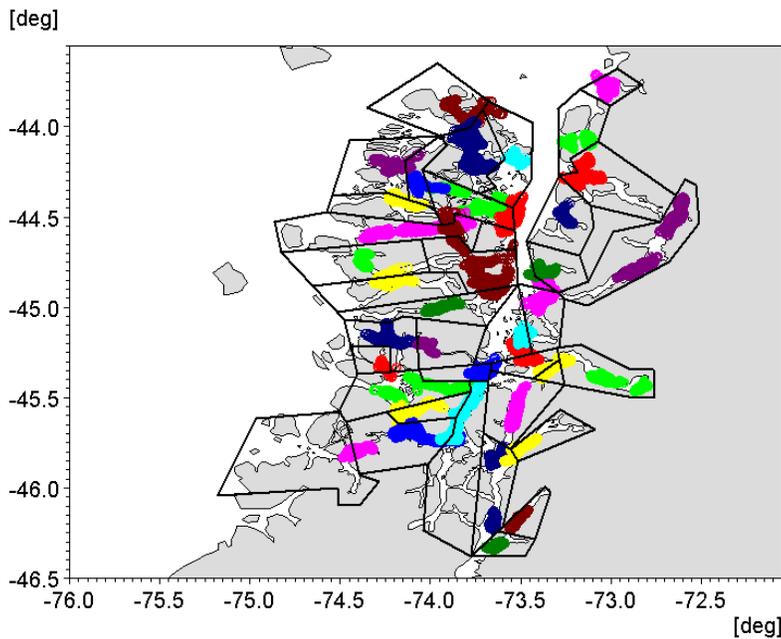
09-02-2014 12:00:00

**Figura 28.** Escenario ambiental de Verano - Cuadratura: tiempo +12 horas desde la dispersi3n inicial.



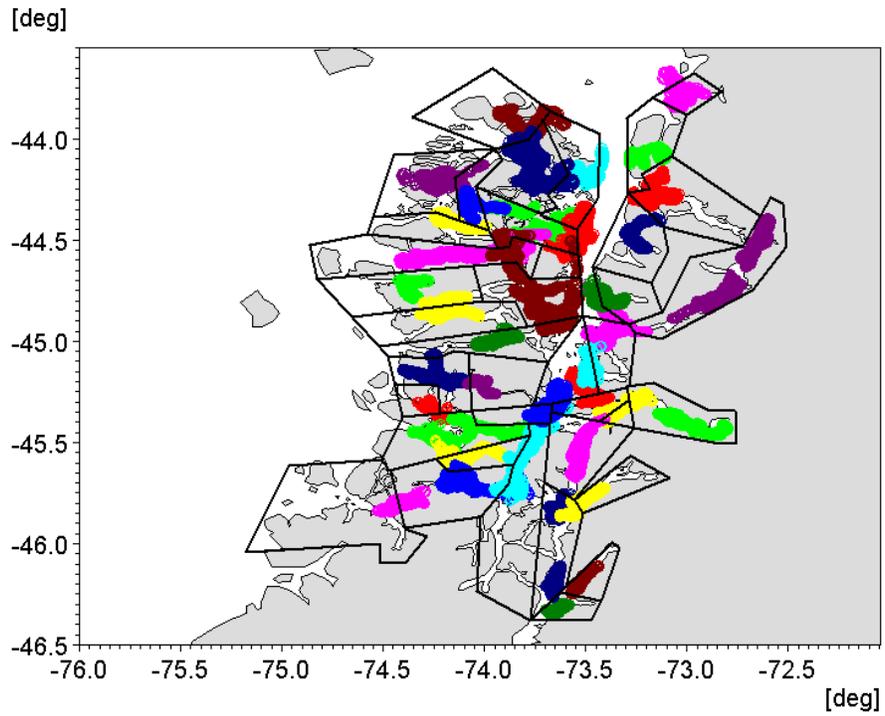
10-02-2014 0:00:00

**Figura 29.** Escenario ambiental de Verano - Cuadratura: tiempo +24 horas desde la dispersi3n inicial.

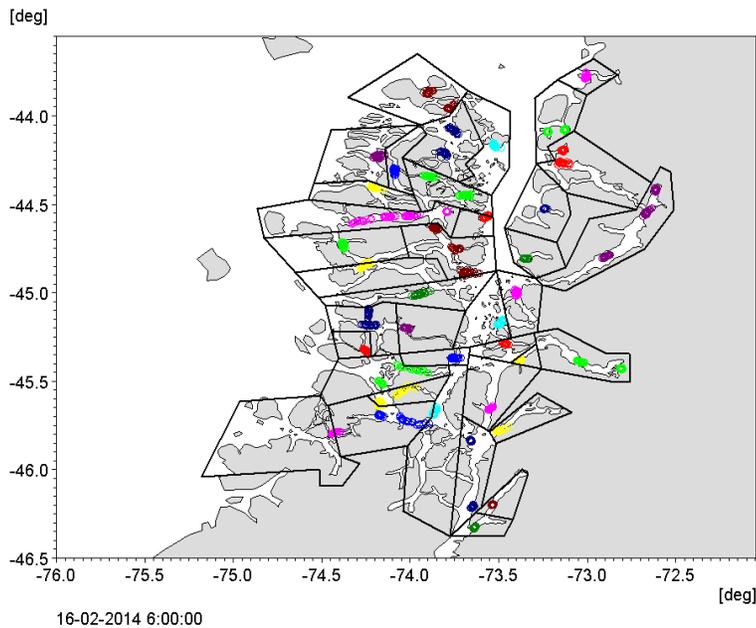


11-02-2014 0:00:00

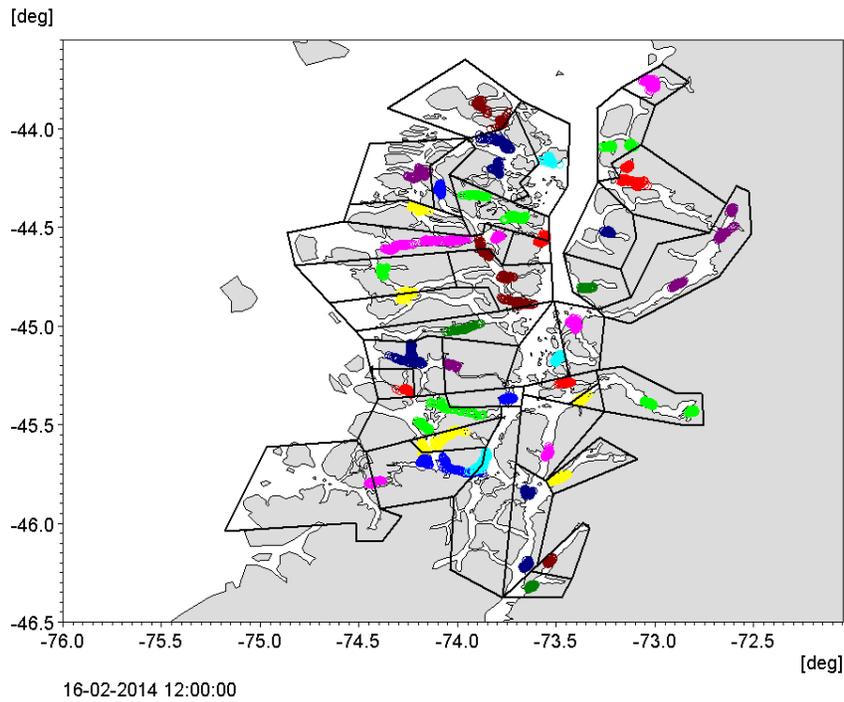
**Figura 30.** Escenario ambiental de Verano - Cuadratura: tiempo +48 horas desde la dispersi3n inicial.



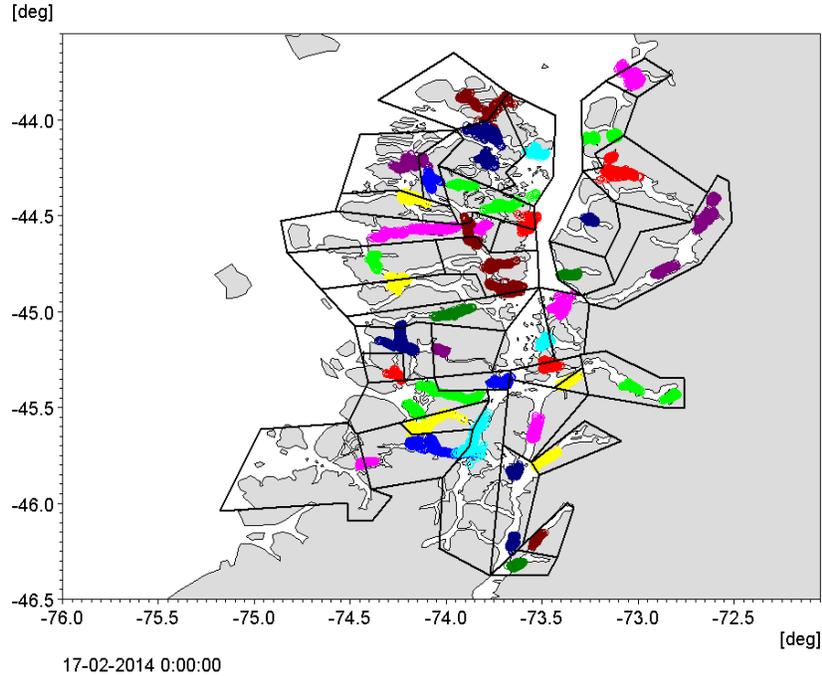
**Figura 31.** Escenario ambiental de Verano - Cuadratura: tiempo +72 horas desde la dispersi3n inicial.



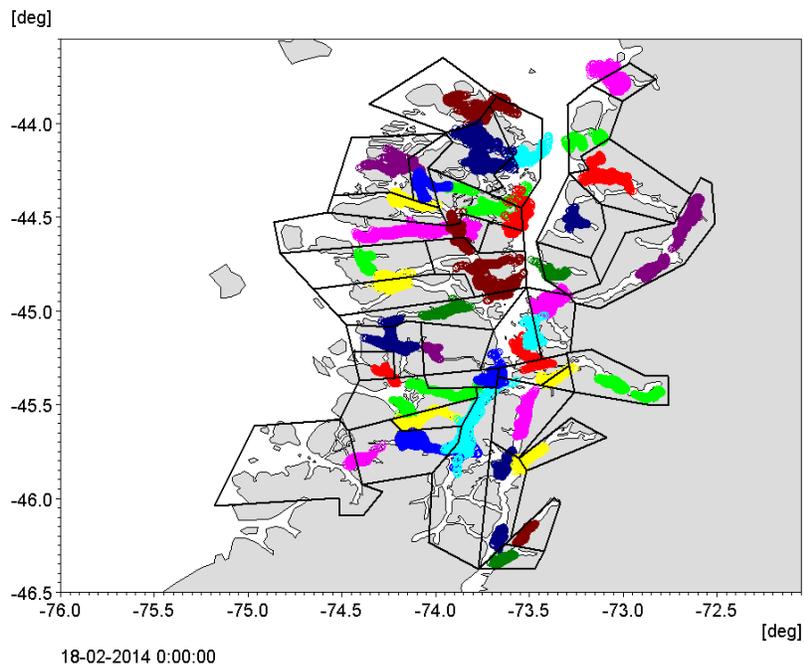
**Figura 32.** Escenario ambiental de Verano - Sicigia: tiempo +6 horas desde la dispersi3n inicial.



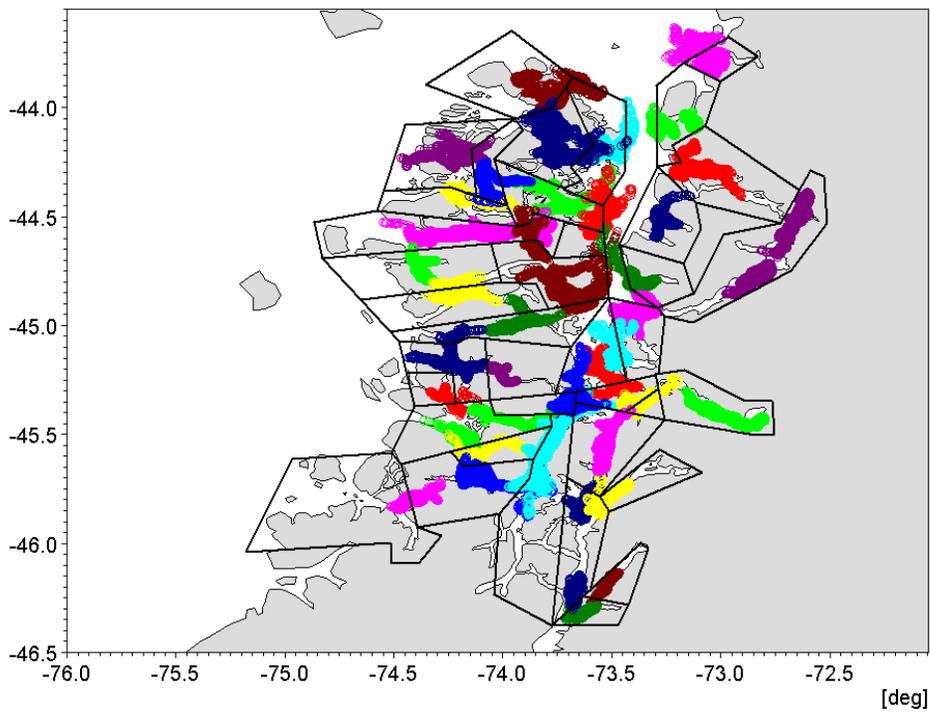
**Figura 33.** Escenario ambiental de Verano - Sicigia: tiempo +12 horas desde la dispersi3n inicial.



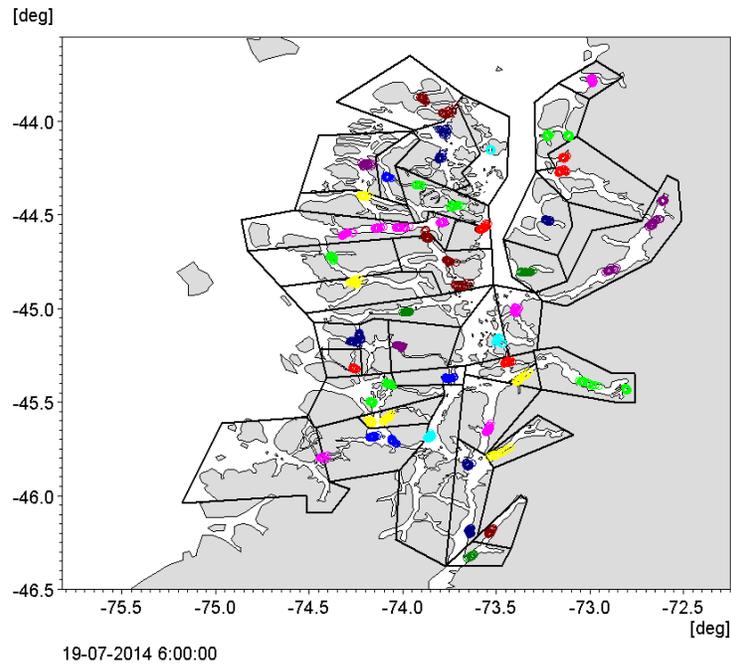
**Figura 34.** Escenario ambiental de Verano - Sicigia: tiempo +24 horas desde la dispersi3n inicial.



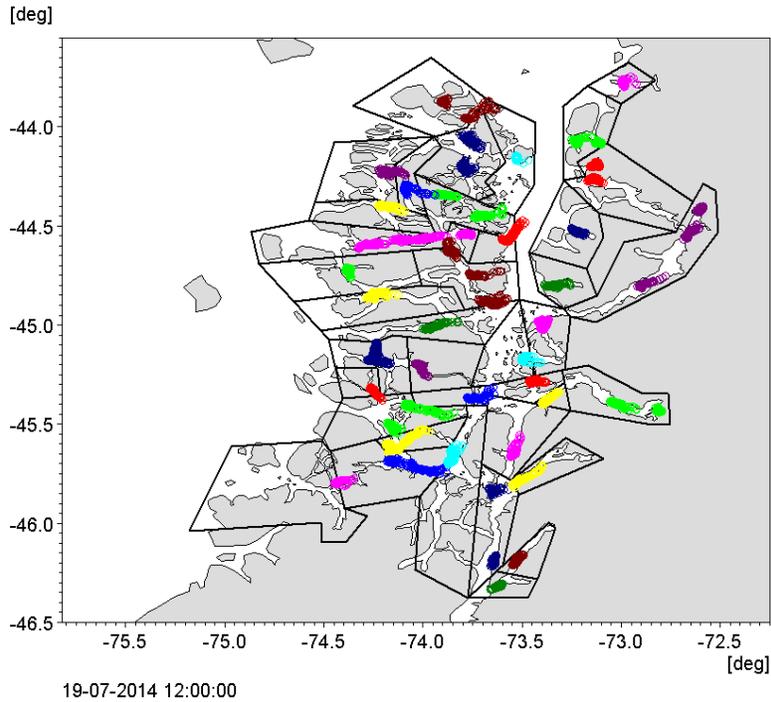
**Figura 35.** Escenario ambiental de Verano - Sicgia: tiempo +48 horas desde la dispersi3n inicial.  
[deg]



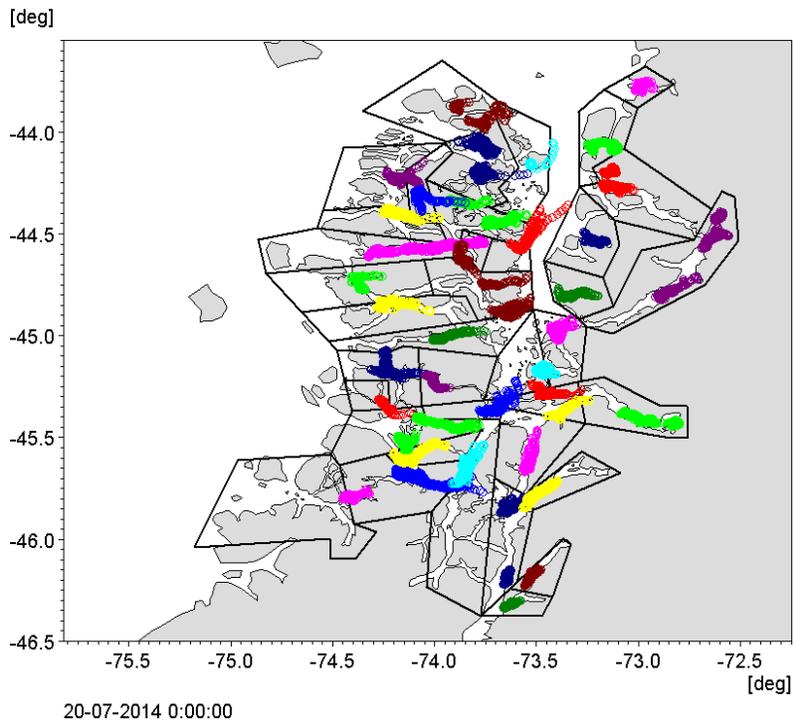
**Figura 36.** Escenario ambiental de Verano - Sicgia: tiempo +72 horas desde la dispersi3n inicial.  
[deg]



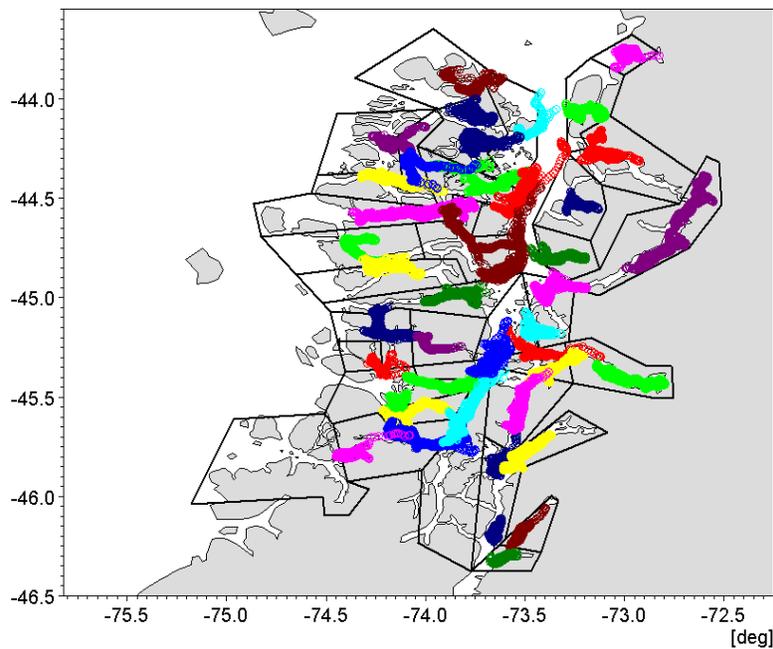
**Figura 37.** Escenario ambiental de Tormenta - Cuadratura: tiempo +6 horas desde la dispersi3n inicial.



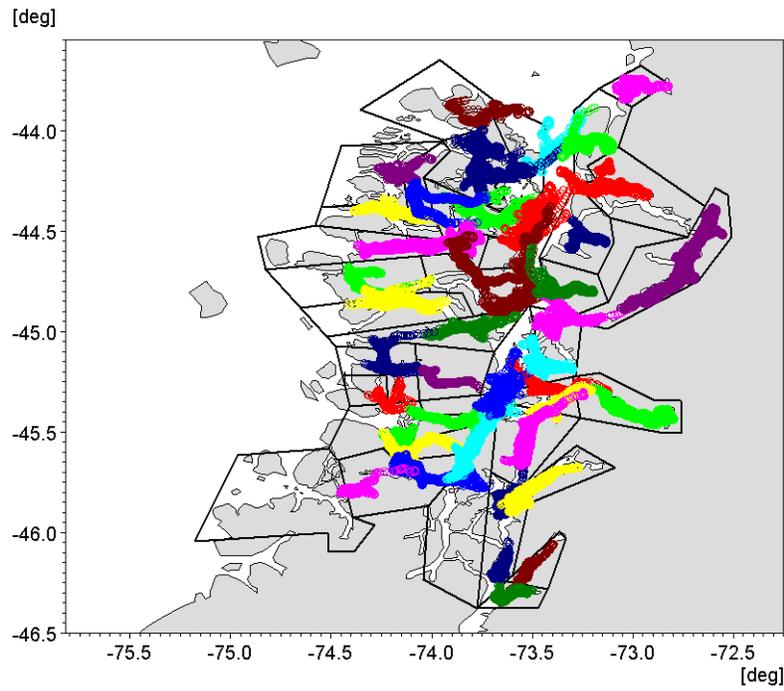
**Figura 38.** Escenario ambiental de Tormenta - Cuadratura: tiempo +12 horas desde la dispersi3n inicial.



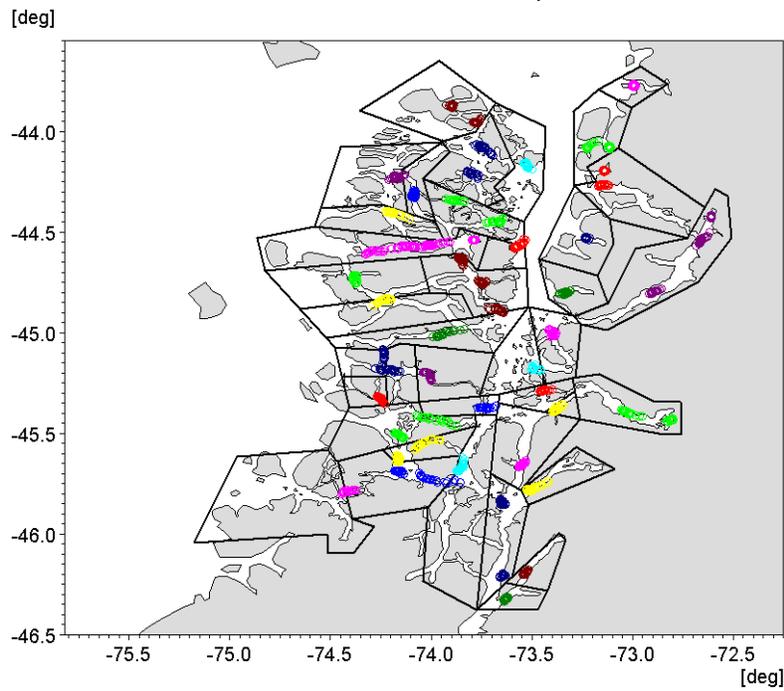
**Figura 39.** Escenario ambiental de Tormenta - Cuadratura: tiempo +24 horas desde la dispersi3n inicial.



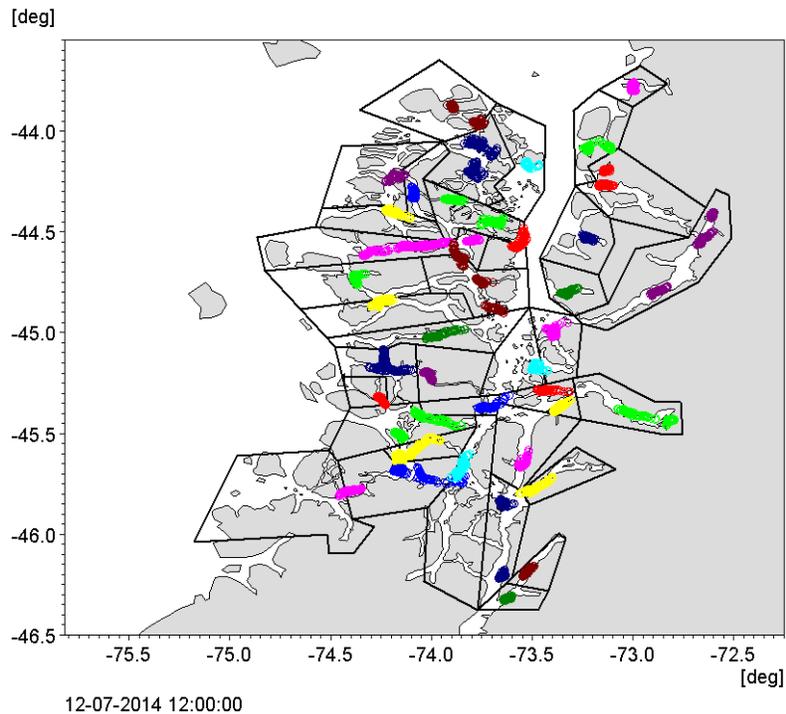
**Figura 40.** Escenario ambiental de Tormenta - Cuadratura: tiempo +48 horas desde la dispersi3n inicial.



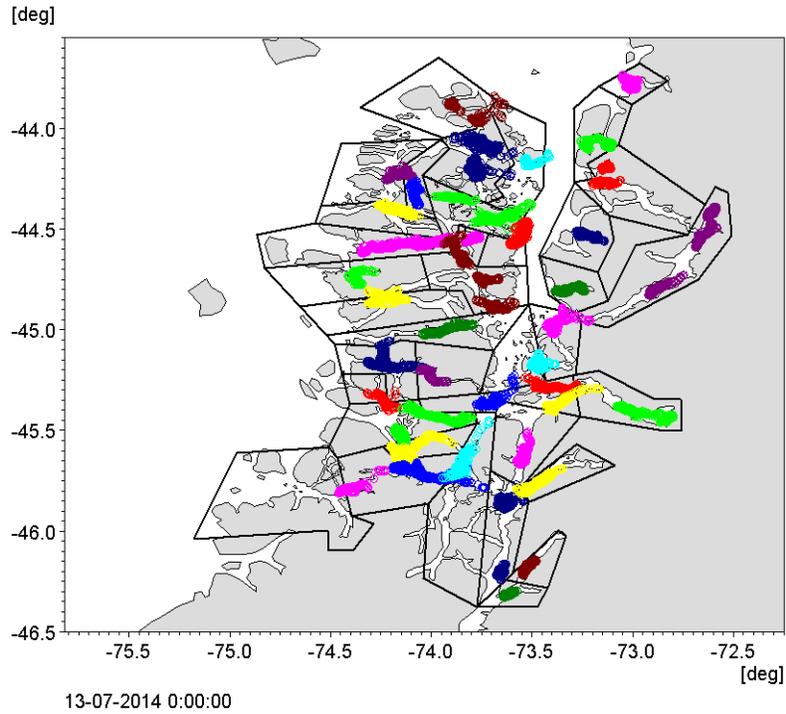
**Figura 41.** Escenario ambiental de Tormenta - Cuadratura: tiempo +72 horas desde la dispersi3n inicial.



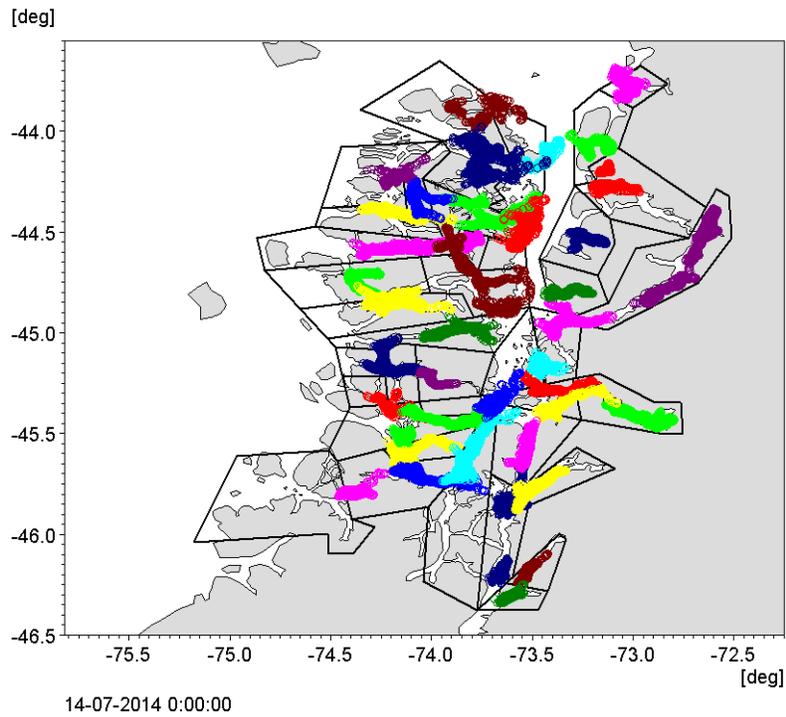
**Figura 42.** Escenario ambiental de Tormenta - Sicigia: tiempo +6 horas desde la dispersi3n inicial.



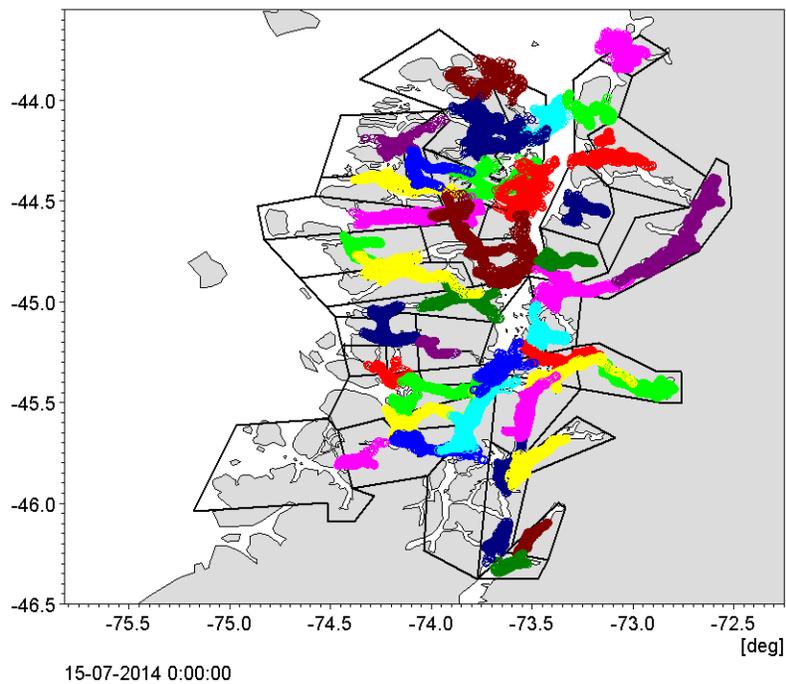
**Figura 43.** Escenario ambiental de Tormenta - Sicigia: tiempo +12 horas desde la dispersión inicial.



**Figura 44.** Escenario ambiental de Tormenta - Sicigia: tiempo +24 horas desde la dispersión inicial.



**Figura 45.** Escenario ambiental de Tormenta - Sicgia: tiempo +48 horas desde la dispersi3n inicial.



**Figura 46.** Escenario ambiental de Tormenta - Sicgia: tiempo +72 horas desde la dispersi3n inicial.



# **A N E X O V**

---

Desarrollo objetivo 2.2.4: metodología y resultados.  
Implementación de un modelo de alta resolución en Archipiélago  
las Guaitecas y Archipiélago Chonos Sur.





### 3. METODOLOGÍA

#### 3.4 **Objetivo específico 2.2.4 Implementar tres modelos de alta resolución en la región de Aysén proporcionando información de alta resolución que permita identificar patrones de dispersión de partículas desde un centro de cultivo.**

Se han hecho pruebas con modelos locales de alta resolución cuyas propiedades de borde proceden de modelos regionales de mayor escala, pero el alto número de bordes que presenta cada uno de estos modelos locales en las zonas insulares genera mayor incertidumbre y los resultados no son confiables. Por lo tanto, para las altas resoluciones del archipiélago de las Guaitecas y de Chonos Sur, se ha optado por mantener la extensión del dominio del modelo regional Chiloé-Aysén pero centrando la alta resolución en estos áreas. Para el modelo de alta resolución de los canales Puyuhuapi - Jacaf sí se ha desarrollado un modelo independiente cuyo dominio comprende dichos canales en alta resolución. Si bien la escala horizontal en zonas oceánicas, que no requieren resolver cálculos de pequeña escala, se mantiene, en zonas interiores de canales y fiordos se ha aumentado la resolución hasta por debajo de 200 metros, garantizando un mínimo de 5 elementos triangulares en la transversal de dichos canales y fiordos más angostos. De esta manera, un mismo dominio servirá para los 2 modelos de alta resolución, y a este fin se ha centrado una alta densidad de elementos de la malla flexible en el archipiélago de Guaitecas (zoom en **Figura 1 – Anexo V**) y en el archipiélago de Chonos Sur (zoom en **Figura 2 – Anexo V**).

Siendo compartidos tanto dominio como malla con el modelo regional Chiloé Aysén (**Figura 2 – Anexo III**) y los modelos de alta resolución de los archipiélagos de Guaitecas y Chonos Sur se tomó la siguiente aproximación en la evaluación y validación de estos modelos: en pro de optimizar los recursos computacionales que se disponían al inicio de esta etapa y haciendo una estimación del tiempo necesario se optó por desarrollar el modelo regional Chiloé-Aysén, siendo este modelo sujeto a proceso de calibración, y una vez satisfechos en el mejor grado posible los criterios de evaluación de los resultados, implementar dicho modelo (con todos sus componentes y características del modelo regional Chiloé-Aysén) para los modelos de alta resolución de los archipiélagos de Guaitecas y Chonos Sur en los periodos que corresponden con las mediciones de terreno de ambas zonas y según la estacionalidad. De esta manera se reduce la carga de trabajo, permitiendo solventar los requerimientos del objetivo 2.2.2 y 2.2.4, además de servir de base para los escenarios ambientales del objetivo 2.2.3, ya que al conseguir validar un modelo de escala regional se proporciona una mayor área sobre la que establecer la conectividad.

La ubicación de las mediciones de los archipiélagos de Guaitecas y Chonos Sur, así como el periodo en que se llevaron a cabo, y que definirán por último el periodo de implementación de los modelos de alta resolución, son detallados en las **Tablas IV, V, y Tablas I, II, III, V, XXIV, XXV y XXVI – Anexo II, 5y las Figuras 4, 5, 6 y 7**. Estos modelos han sido evaluados ante mediciones de anomalía del nivel medio del mar, *bottom track* y correntometría Lagrangiana con derivadores.



## 5. RESULTADOS

### 5.4 **Objetivo 2.2.4.** *Implementar tres modelos de alta resolución en la región de Aysén proporcionando información de alta resolución que permita identificar patrones de dispersión de partículas desde un centro de cultivo.*

En el desarrollo de los modelos de alta resolución se buscó un balance y compromiso entre capacidad de cómputo (lo que dictamina los tiempos) y calidad de resultados. La metodología para cumplir con estas premisas establece que una vez validado un modelo, éste pueda ser aplicado en otros periodos, siempre y cuando se empleen el mismo tipo de forzantes y componentes del modelo validado. El modelo regional Chiloé-Aysén del objetivo 2.2.2 fue evaluado con mediciones que trataron de dar la mayor cobertura espacial posible (**Figura 1 – Anexo III**) a fin de poder dar validez a los resultados del modelo en la mayor área posible. Siendo compartidos los dominios y mallas flexibles entre el modelo regional Chiloé-Aysén y los modelos de alta resolución de los archipiélagos de las Guaitecas y Chonos Sur, y dando por validado el modelo regional Chiloé-Aysén, se implementó este último en los periodos correspondientes a las mediciones realizadas en los archipiélagos de las Guaitecas y de Chonos Sur para su posterior evaluación. El modelo Puyuhuapi-Jacaf se aborda por separado en un modelo local por pertenecer a un sistema diferente dominado por la estratificación, típicos de sistemas de circulación estuarina, al contrario que el área insular (Guaitecas-Chonos) que responde mayormente a regímenes barotrópicos (Salinas y Hormazábal, 1996).

Cada uno de estos modelos de alta resolución fueron implementados acorde a las mejoras resultantes de la fase de calibración del modelo regional Chiloé-Aysén (**Tabla 5 – Anexo III**), a semejanza de la corrida **08**, y en los periodos que dieran cobertura a las mediciones con correntometría Lagrangiana de las campañas llevadas a cabo en los archipiélagos de las Guaitecas y de Chonos Sur.

### **MODELO ALTA RESOLUCIÓN ARCHIPIÉLAGO DE GUAITECAS INVIERNO**

Entre el 24 de Junio y el 13 de Julio de 2014 se implementó el modelo regional Chiloé-Aysén, periodo que da cobertura a las mediciones de correntometría lagrangiana con derivadores (**Tablas I, II, III y V – Anexo II**) y de nivel del mar registradas con mareógrafos (**Tablas IV y V**, extendiendo el registro con series pronóstico de nivel del mar a partir de las constituyentes semi-diurnas y diurnas principales allí donde la medición directa no cubría el periodo de simulación).

### **NIVEL DEL MAR GUAITECAS INVIERNO**

#### **Canal Chipana**

La **Figura 3 – Anexo V** muestra las series de la anomalía de la superficie libre del mar de la observación y del modelo.



NRMSE = 5.96% y Coeficiente de Correlación = 97.61%.

### **Isla Verdugo**

La **Figura 4 – Anexo V** muestra las series de la anomalía de la superficie libre del mar de la observación y del modelo.

NRMSE = 6.04% y Coeficiente de Correlación = 98.16%.

## CORRENTOMETRÍA LAGRANGIANA CON DERIVADORES GUAITECAS INVIERNO

### **Canal Baeza**

El 1 de Julio de 2015 se realizó la medición con derivadores en el canal Baeza, estando a la deriva por 25 horas el derivador de 4 metros y 22 horas el de 8 metros. Las **Figuras 5 y 6 – Anexo V** muestran las trayectorias de estos (en azul) y su comparativa frente a los derivadores del modelo (en rojo).

Derivador canal Baeza 4 metros: ambos derivadores describen bucles de ida y vuelta en el seno Este del canal Baeza.

- Distancia recorrida derivador medición Baeza 4m = 15.7 km
- Distancia recorrida derivador modelo Baeza 4m = 16.3 km

Derivador canal Baeza 8 metros: al igual que los derivadores de 4 metros, estos describen trayectorias de ida y vuelta sin llegar a salir del seno.

- Distancia recorrida derivador medición Baeza 8m = 12.5 km
- Distancia recorrida derivador modelo Baeza 8m = 17.1 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Alta Resolución Guaitecas podemos ver la secuencia completa de deriva de los derivadores simulados por el modelo a 4 y 8 metros en el canal Baeza.

### **Isla Betecoi**

El 26 de Junio de 2015 se realizó la medición con derivadores a 4 y 8 metros de profundidad en las inmediaciones de la isla Betecoi, por 8 y 27 horas respectivamente. Las **Figuras 7 y 8 – Anexo V** muestran las trayectorias de estos (en azul) y su comparativa frente a los derivadores del modelo (en rojo).



Derivador isla Betecoi 4 metros: ambos derivadores se dirigen hacia el Sur; el derivador de terreno vara en la costa mientras el del modelo se prosigue su deriva hasta alcanzar el islote Sin Nombre.

- Distancia recorrida derivador medición Betecoi 4m = 4.3 km
- Distancia recorrida derivador modelo Betecoi 4m = 10 km

Derivador isla Betecoi 8 metros: mientras el derivador del terreno se queda dando vueltas cerca de su posición de liberación, el derivador del modelo sale del canal por el SW recorriendo una importante distancia hacia el Oeste más allá de la isla Betecoi.

- Distancia recorrida derivador medición Betecoi 8m = 22.3 km
- Distancia recorrida derivador modelo Betecoi 8m = 34.3 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Alta Resolución Guatecas podemos ver la secuencia completa de deriva de los derivadores simulados por el modelo a 4 y 8 metros en la isla Betecoi.

### Canal Pérez Norte

El 29 de Junio de 2015 se realizó la medición con derivadores en el canal Pérez Norte, estando a la deriva por 6 horas el derivador de 4 metros y 13 horas el de 8 metros. Las **Figuras 9 y 10 – Anexo V** muestran las trayectorias de estos (en azul) y su comparativa frente a los derivadores del modelo (en rojo).

Derivador canal Pérez Norte 4 metros: ambos derivadores se dirigen hacia el Este, a través del canal al Norte de isla García. Al final de sus derivas se devuelven cerca de 1 km hacia el Oeste

- Distancia recorrida derivador medición Pérez Norte 4m = 4.3 km
- Distancia recorrida derivador modelo Pérez Norte 4m = 5.5 km

Derivador canal Pérez Norte 8 metros: el derivador del modelo se dirige hacia el Norte bordeando el islote, al contrario del derivador de terreno que en un principio se dirige al Este, invierte su deriva regresando al punto de partida y terminando varado en el islote situado al Norte.

- Distancia recorrida derivador medición Pérez Norte 8m = 9.7 km
- Distancia recorrida derivador modelo Pérez Norte 8m = 12.2 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Alta Resolución Guatecas podemos ver la secuencia completa de deriva de los derivadores simulados por el modelo a 4 y 8 metros en el canal Pérez Norte.



## Isla Verdugo

El 28 de Junio de 2015 a última hora de la noche y por tan sólo 5 horas estuvieron registrando su posición los derivadores en las cercanías de isla Verdugo. Las **Figuras 11 y 12 – Anexo V** muestran las trayectorias de estos (en azul) y su comparativa frente a los derivadores del modelo (en rojo).

Derivador isla Verdugo 4 metros: tras ser liberados los 2 derivadores se encaminan hacia el Oeste para después volver hacia el Este superando la posición inicial de partida, un poco más lejos en el caso del derivador de terreno.

- Distancia recorrida derivador medición Verdugo 4m = 6.6 km
- Distancia recorrida derivador modelo Verdugo 4m = 8.7 km

Derivador isla Verdugo 8 metros: al igual que los derivadores de 4 metros, empiezan derivando al Oeste para luego devolverse y terminar a la misma altura (longitud) del punto de partida (un poco más hacia el Sur en el caso del derivador de terreno).

- Distancia recorrida derivador medición Verdugo 8m = 4 km
- Distancia recorrida derivador modelo Verdugo 8m = 7.9 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Alta Resolución Guatecas podemos ver la secuencia completa de deriva de los derivadores simulados por el modelo a 4 y 8 metros en la isla Verdugo.

## MODELO ALTA RESOLUCIÓN ARCHIPIÉLAGO DE CHONOS SUR INVIERNO

Entre el 18 de Mayo y el 1 de Junio de 2015 se implementó el modelo regional Chiloé-Aysén, periodo que da cobertura a las mediciones del archipiélago de Chonos Sur de correntometría lagrangiana con derivadores (**Tablas XXIV, XXV y XXVI – Anexo II**) y de nivel del mar registradas con mareógrafos (**Tablas IV y V**, extendiendo el registro con series pronóstico de nivel del mar a partir de las constituyentes semi-diurnas y diurnas principales allí donde la medición directa no cubría el periodo de simulación).



## NIVEL DEL MAR CHONOS SUR INVIERNO

### **Canal Darwin**

Por problemas logísticos tan sólo uno de los mareógrafos de la campaña tomó registro correctamente. La **Figura 13 – Anexo V** muestra las series de la anomalía de la superficie libre del mar en el canal Darwin de la observación y del modelo.

NRMSE = 8.85% y Coeficiente de Correlación = 95.87%

## CORRENTOMETRÍA LAGRANGIANA CON DERIVADORES CHONOS SUR INVIERNO

En esta campaña sólo se empleó un derivador por lugar de medición, siendo este suspendido de la boya a una profundidad de 6 metros.

### **Canal Darwin**

El 23 de Mayo a las 21:00 y por sólo 5 horas se liberó el derivador de 6 metros en el canal Darwin (en azul), el cual describió una trayectoria de ida y vuelta SE-NW (**Figura 14 – Anexo V**). Por su parte el derivador del modelo (en rojo) también realizó una trayectoria similar aunque con más giros y no tan lineal.

- Distancia recorrida derivador medición Darwin 6m = 3.1 km
- Distancia recorrida derivador modelo Darwin 6m = 2.4 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Alta Resolución Chonos Sur podemos ver la secuencia completa de deriva del derivador simulado por el modelo a 6 metros en el canal Darwin.

### **Canal Errázuriz**

El 28 de Mayo a las 16:00 y por sólo 4 horas se liberó el derivador de 6 metros en el canal Errázuriz (en azul), el cual durante las 4 horas se desplazó hacia el SW de su posición de partida al igual que el derivador del modelo (**Figura 15 – Anexo V**).

- Distancia recorrida derivador medición Errázuriz 6m = 2.3 km
- Distancia recorrida derivador modelo Errázuriz 6m = 2.4 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Alta Resolución Chonos Sur podemos ver la secuencia completa de deriva del derivador simulado por el modelo a 6 metros en el canal Errázuriz.



## Canal Utarupa

El 26 de Mayo a las 18:00 y durante 13 horas se liberó el derivador de 6 metros en el canal Utarupa (**Figura 16 – Anexo V**). Tanto el derivador de terreno como el del modelo se desplazaron en sus derivas hacia el Norte, ligeramente desviados hacia el Oeste. La trayectoria del modelo es algo más revirada que la del derivador de terreno que es prácticamente lineal

- Distancia recorrida derivador medición Utarupa 6m = 8.4 km
- Distancia recorrida derivador modelo Utarupa 6m = 6.7 km

En Base Datos 656068\VIDEO\Correntometría Lagrangiana Modelo\Modelo Alta Resolución Chonos Sur podemos ver la secuencia completa de deriva del derivador simulado por el modelo a 6 metros en el canal Utarupa.

## ANEXO V: FIGURAS

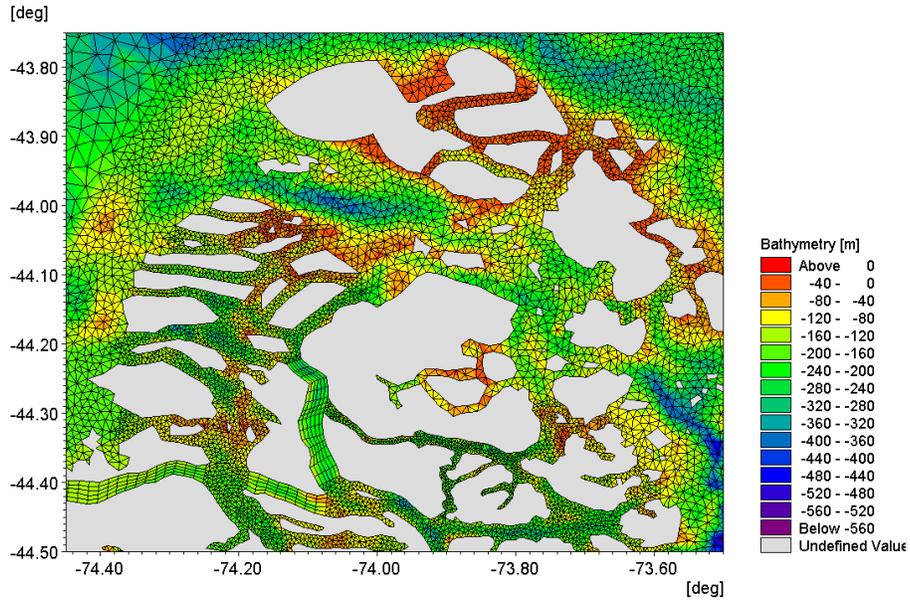


Figura 1. Zoom en el 1rea de alta resoluci3n del archipi3lago de Guaitecas

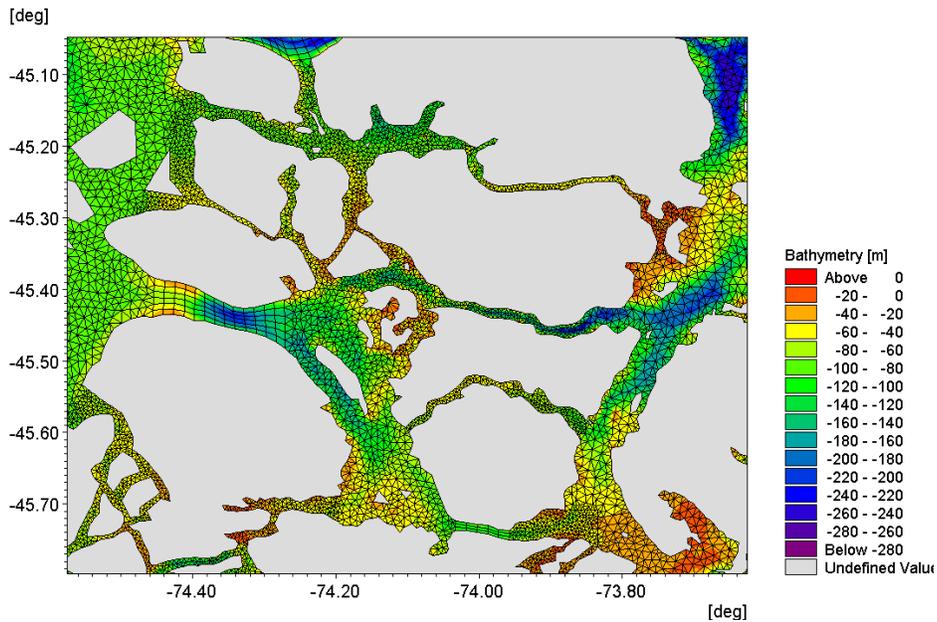
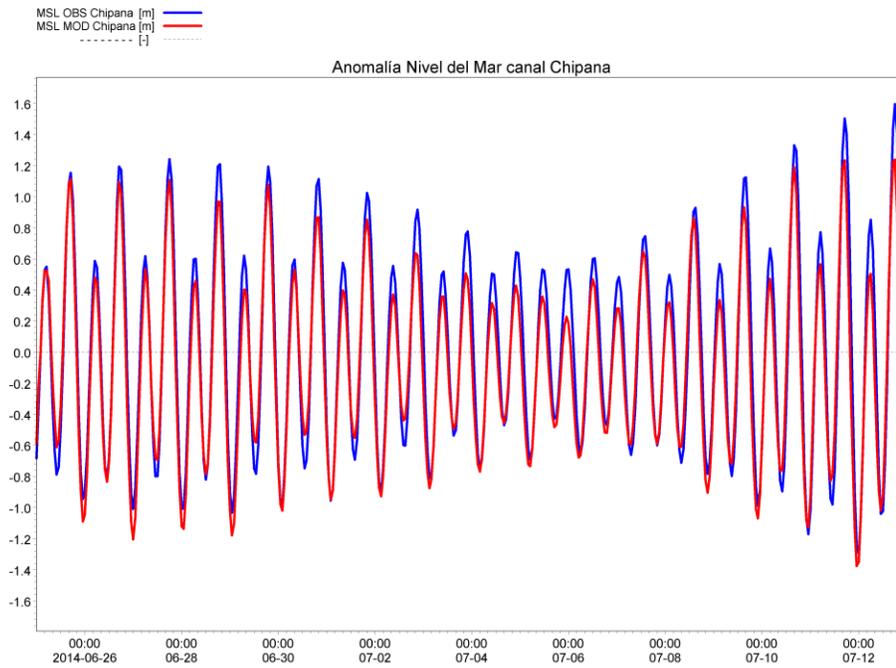
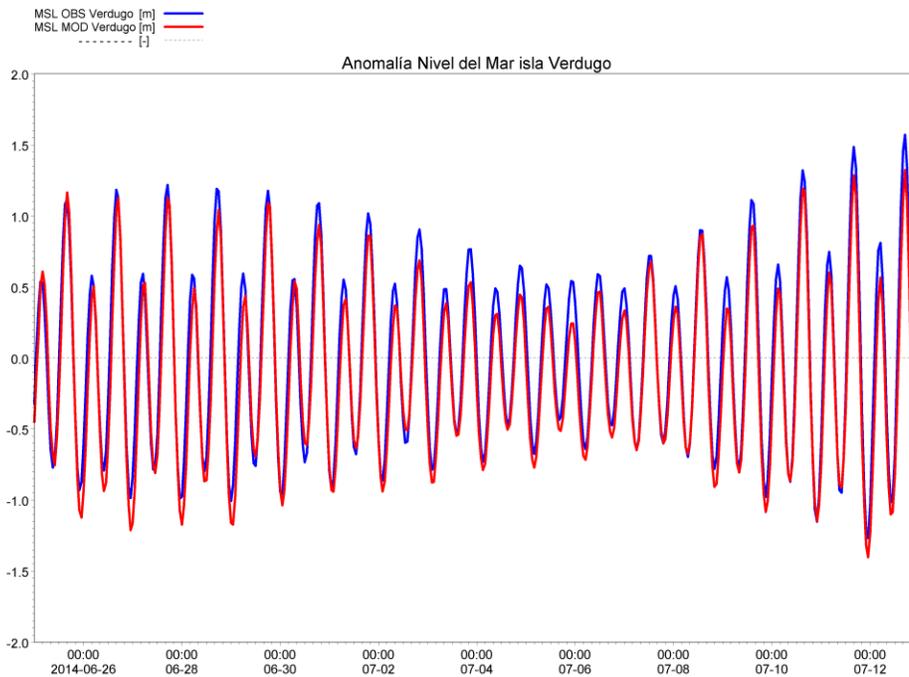


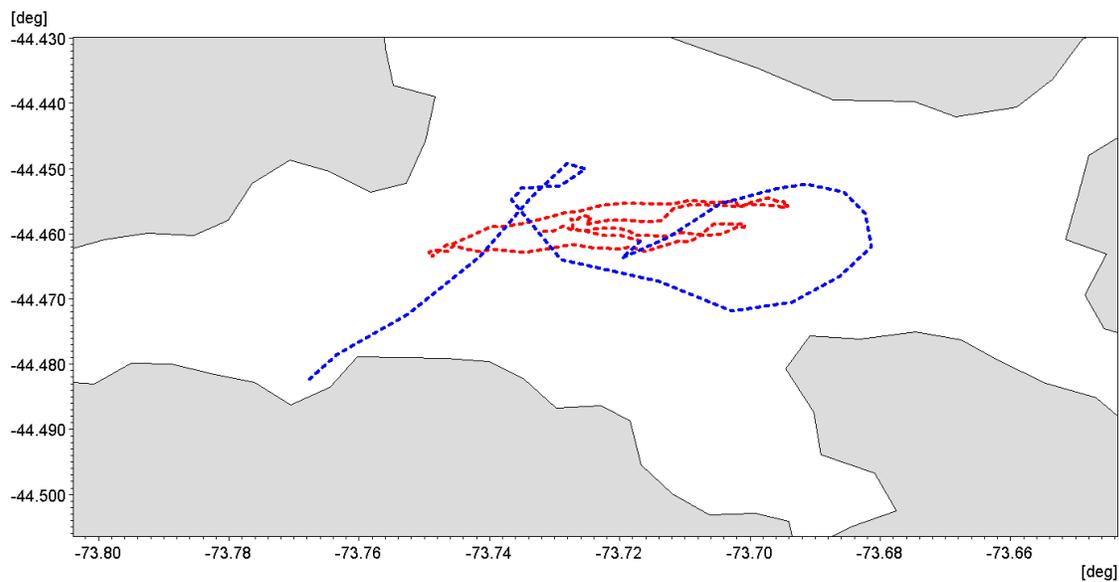
Figura 2. Zoom en el 1rea de alta resoluci3n del archipi3lago de Chonos Sur.



**Figura 3.** Evaluaci3n del nivel del mar en el canal Chipana, modelo de alta resoluci3n del archipi3lago de las Guaitecas - Invierno.

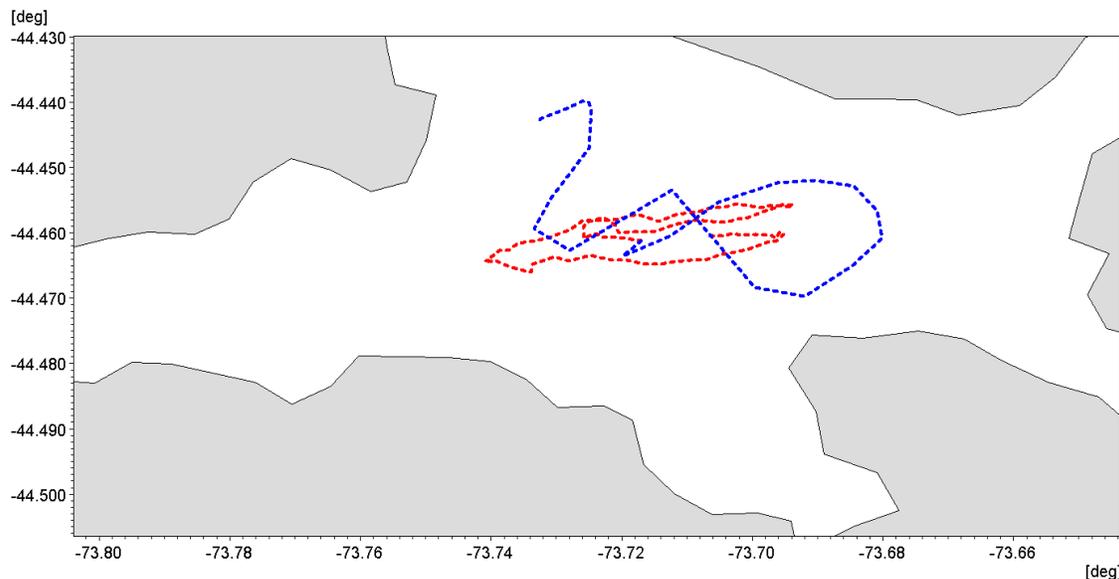


**Figura 4.** Evaluaci3n del nivel del mar en isla Verdugo, modelo de alta resoluci3n del archipi3lago de las Guaitecas - Invierno.



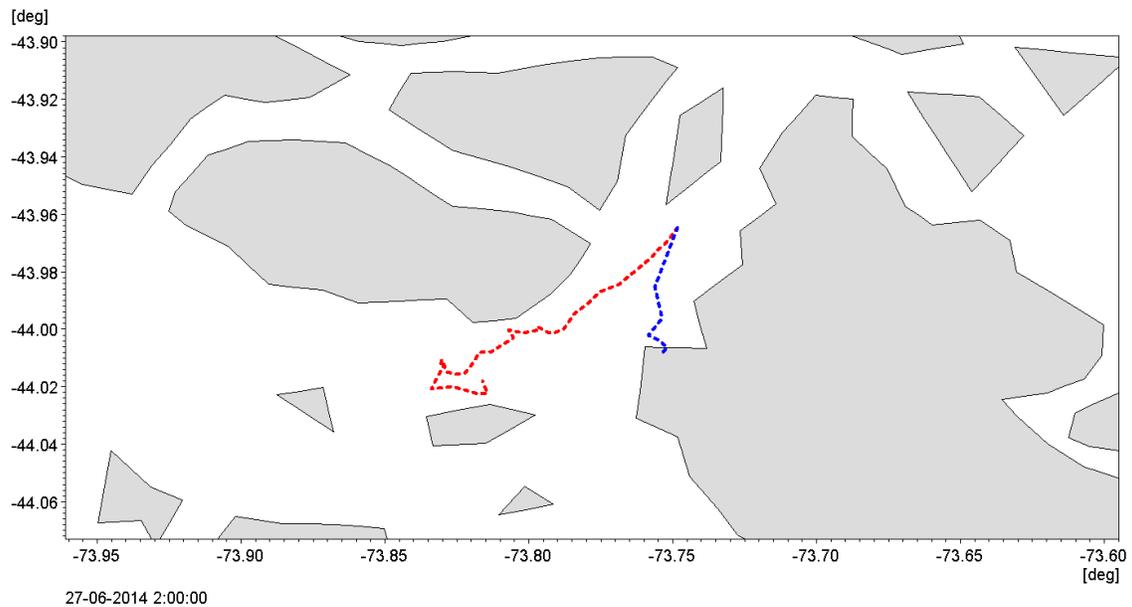
02-07-2014 13:00:00

**Figura 5.** Evaluaci3n de correntometr3a lagrangiana con derivadores a 4 metros de profundidad en el canal Baeza, modelo de alta resoluci3n del archipi3lago de las Guaitecas - Invierno. Observaci3n en azul, modelo en rojo.

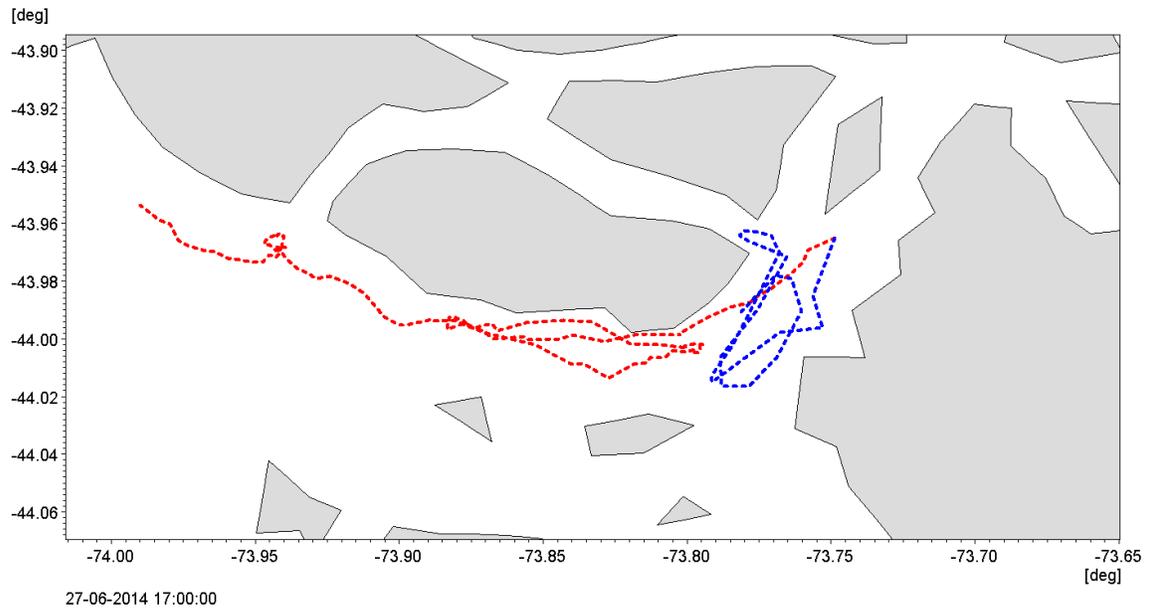


02-07-2014 10:00:00

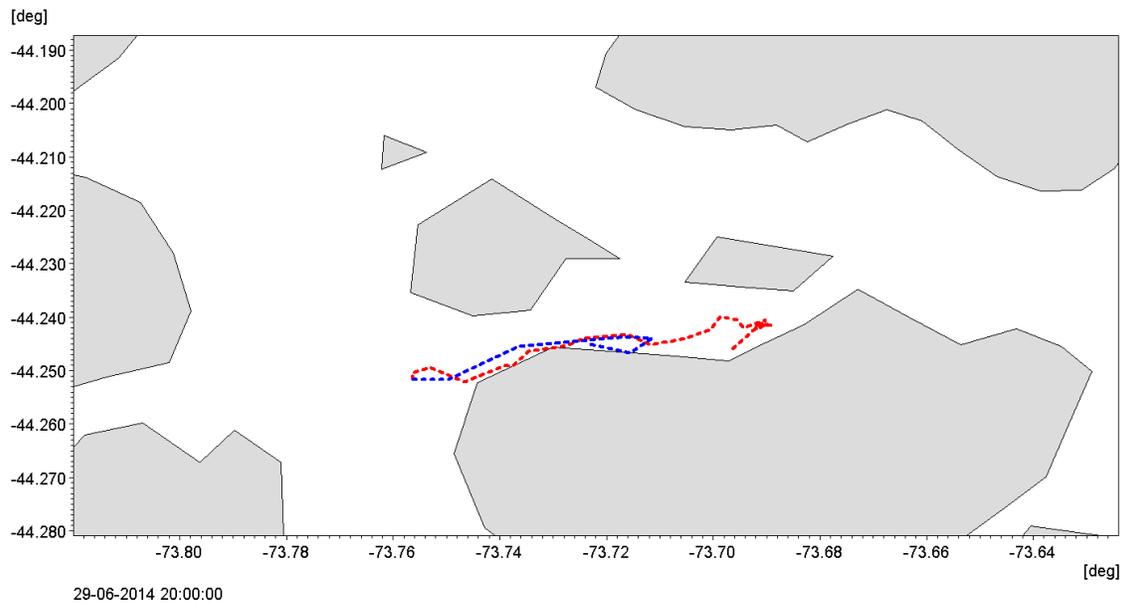
**Figura 6.** Evaluaci3n de correntometr3a lagrangiana con derivadores a 8 metros de profundidad en el canal Baeza, modelo de alta resoluci3n del archipi3lago de las Guaitecas - Invierno. Observaci3n en azul, modelo en rojo.



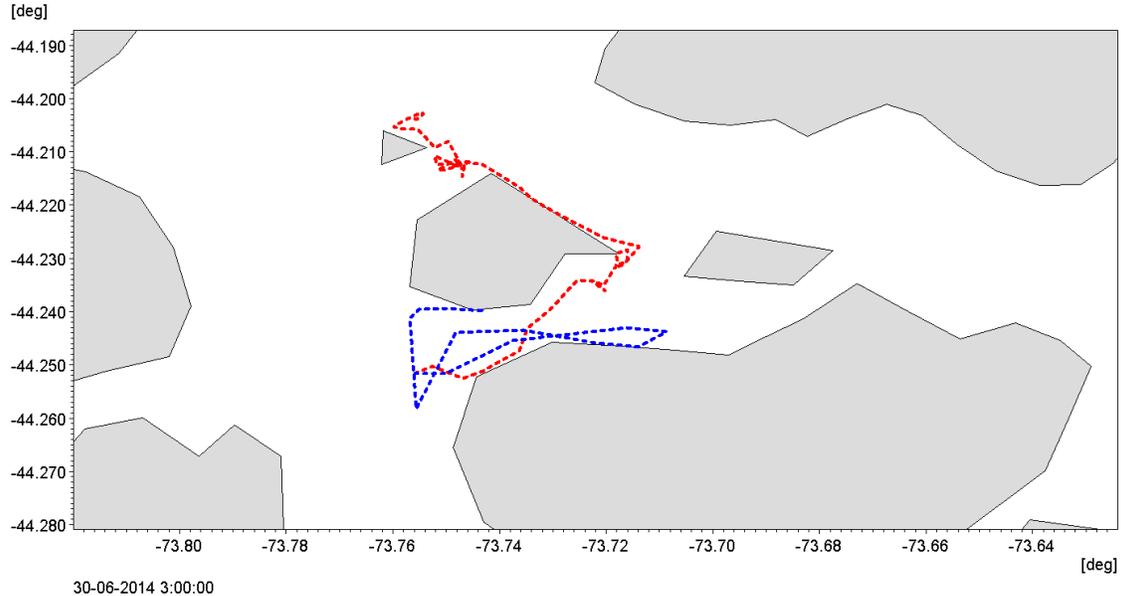
**Figura 7.** Evaluación de correntimetría lagrangiana con derivadores a 4 metros de profundidad en el canal Betecoi, modelo de alta resolución del archipiélago de las Guaitecas - Invierno. Observación en azul, modelo en rojo.



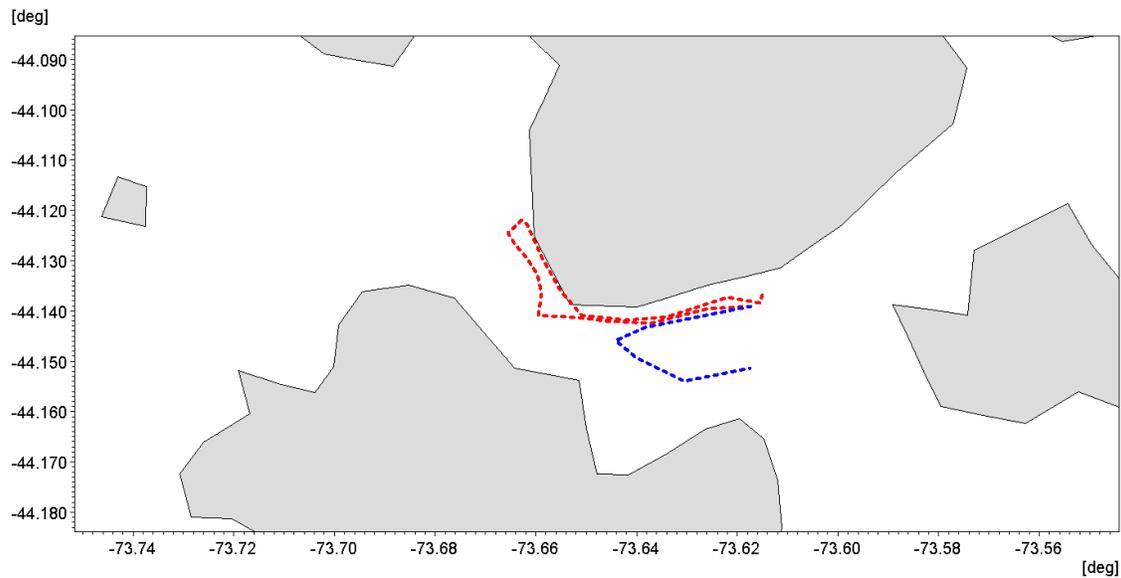
**Figura 8.** Evaluación de correntimetría lagrangiana con derivadores a 8 metros de profundidad en el canal Betecoi, modelo de alta resolución del archipiélago de las Guaitecas - Invierno. Observación en azul, modelo en rojo.



**Figura 9.** Evaluaci3n de correntometría lagrangiana con derivadores a 4 metros de profundidad en el canal Pérez norte, modelo de alta resoluci3n del archipiélago de las Guaitecas - Invierno. Observaci3n en azul, modelo en rojo.

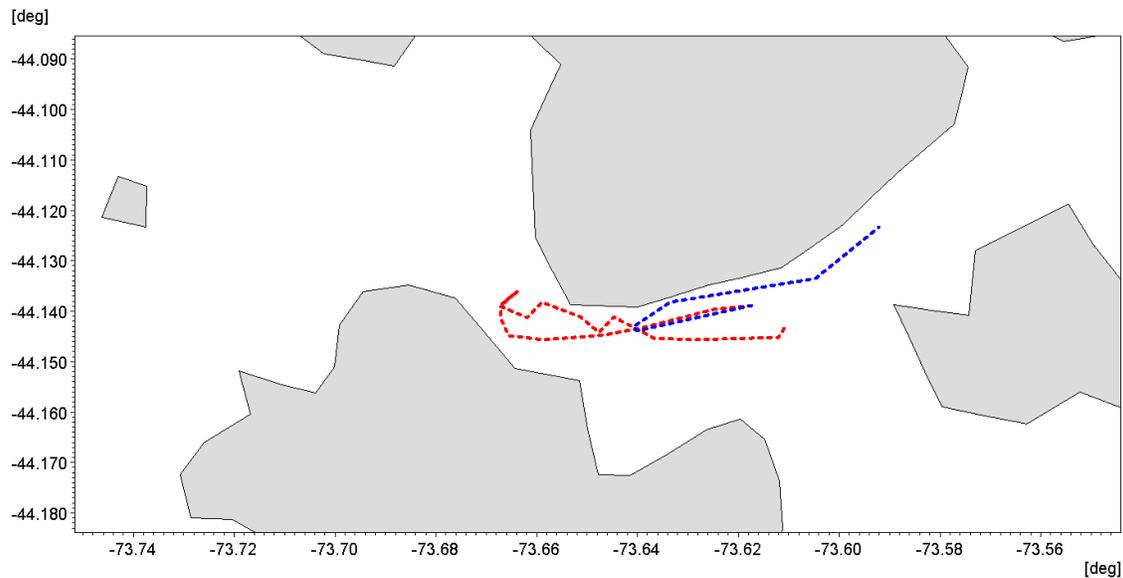


**Figura 10.** Evaluaci3n de correntometría lagrangiana con derivadores a 8 metros de profundidad en el canal Pérez Norte, modelo de alta resoluci3n del archipiélago de las Guaitecas - Invierno. Observaci3n en azul, modelo en rojo.



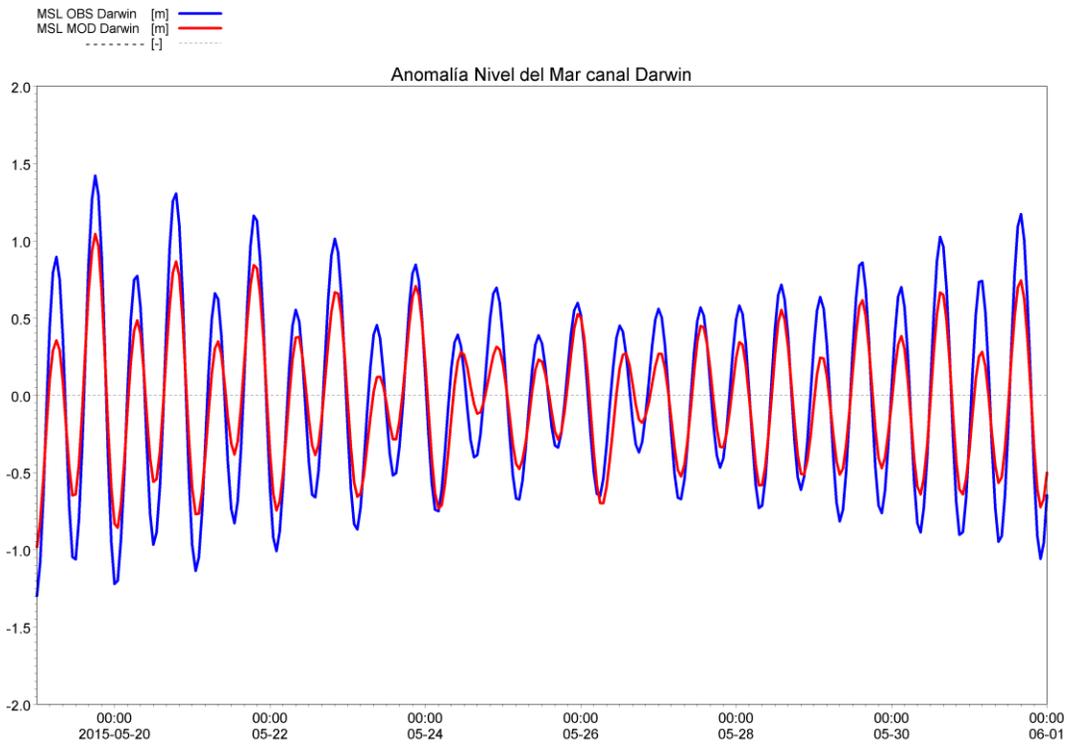
29-06-2014 4:00:00

**Figura 11.** Evaluaci3n de correntometr3a lagrangiana con derivadores a 4 metros de profundidad en el canal Verdugo, modelo de alta resoluci3n del archipi3lago de las Guaitecas - Invierno. Observaci3n en azul, modelo en rojo.

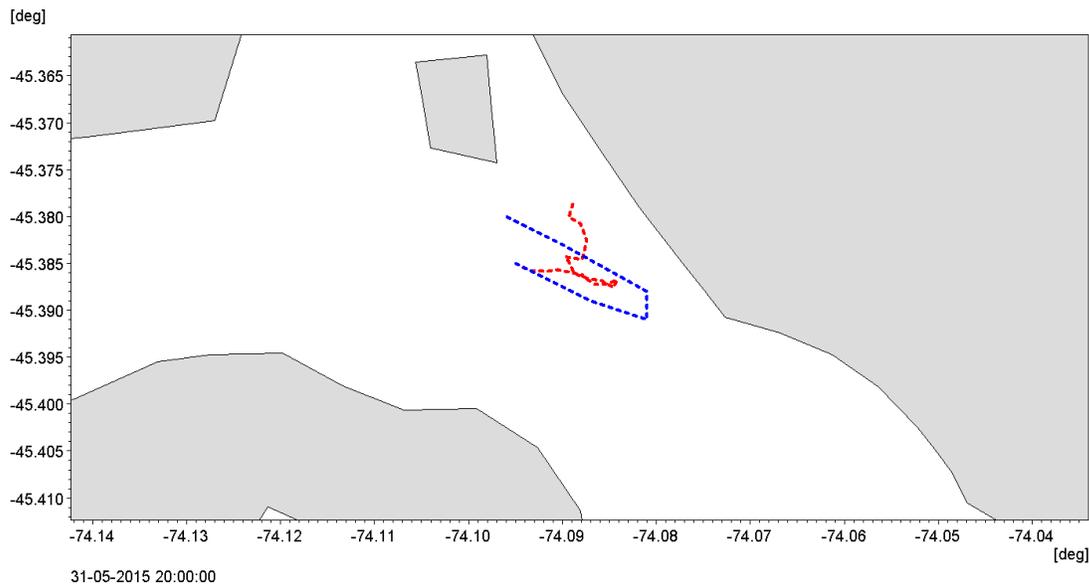


29-06-2014 4:00:00

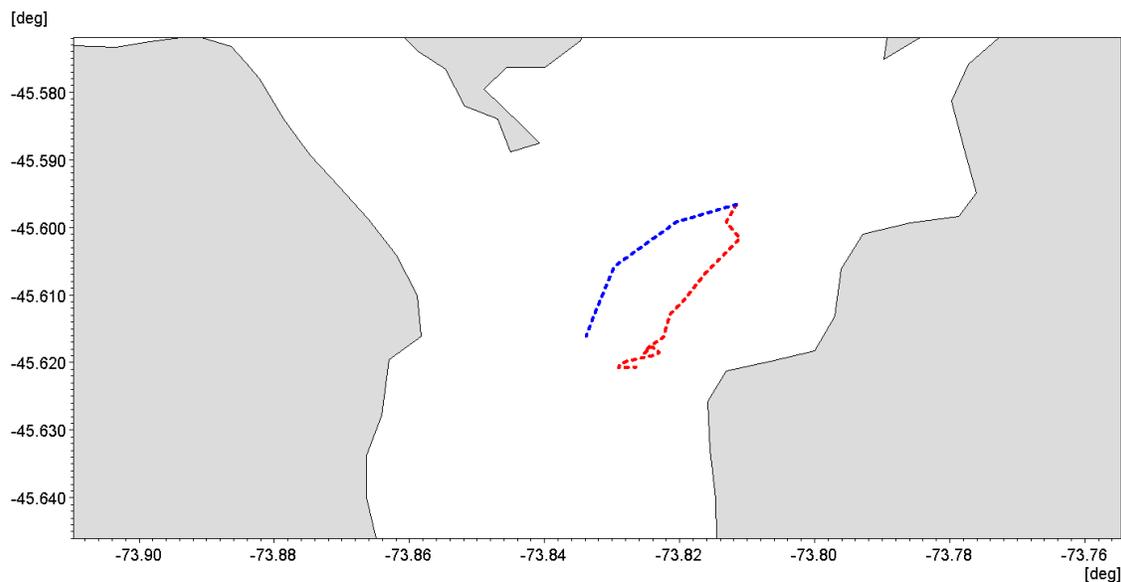
**Figura 12.** Evaluaci3n de correntometr3a lagrangiana con derivadores a 8 metros de profundidad en el canal Verdugo, modelo de alta resoluci3n del archipi3lago de las Guaitecas - Invierno. Observaci3n en azul, modelo en rojo.



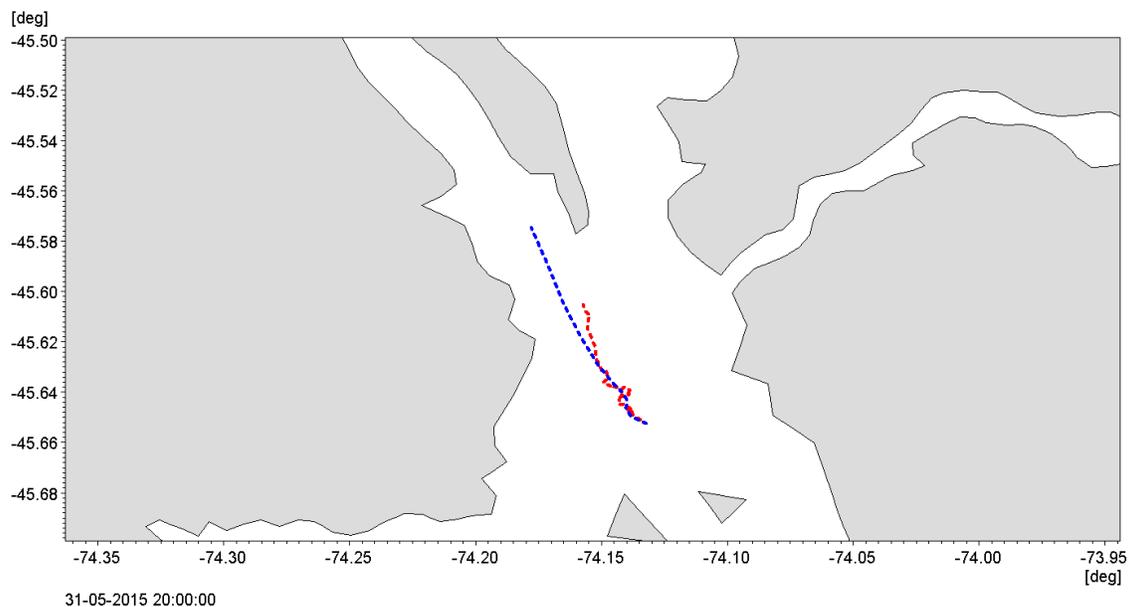
**Figura 13.** Evaluaci3n del nivel del mar en el canal Darwin, modelo de alta resoluci3n del archipi3lago de Chonos Sur - Invierno.



**Figura 14.** Evaluaci3n de correntometr3a lagrangiana con derivadores a 6 metros de profundidad en el canal Darwin, modelo de alta resoluci3n del archipi3lago de Chonos Sur - Invierno. Observaci3n en azul, modelo en rojo.



**Figura 15.** Evaluación de correntimetría lagrangiana con derivadores a 6 metros de profundidad en el canal Errázuriz, modelo de alta resolución del archipiélago de Chonos Sur - invierno. Observación en azul, modelo en rojo.



**Figura 16.** Evaluación de correntimetría lagrangiana con derivadores a 6 metros de profundidad en el canal Utarupa, modelo de alta resolución del archipiélago de Chonos Sur - invierno. Observación en azul, modelo en rojo.



# **A N E X O VI**

---

Desarrollo objetivo 2.2.4:  
Metodología y resultados discusión conclusión.  
Implementación de un modelo de alta resolución  
en Fiordos Jacaf y Puyuhuapi.





## METODOLOGÍA

A continuación se presenta la implementación de un modelo 3-D hidrodinámico en los canales Jacaf y Puyuhuapi utilizando el modelo MIKE 3D FM. ; éste 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 momentum, temperatura, salinidad y densidad 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 sigma que pueden ser combinadas con una estructuración rectangular. Para la integración temporal, se utiliza un enfoque semi-implícito donde los términos horizontales son tratados explícitamente y los verticales de manera implícita (DHI, 2014). Fue desarrollado por DHI (Instituto de Hidráulica y Medio Ambiente Danés ([www.dhigroup.com/](http://www.dhigroup.com/))).

a) **Dominio y batimetría:** La batimetría en los canales Puyuhuapi y Jacaf (**Figura 1**) evidencia rasgos distintivos entre estos canales, Jacaf presenta una topografía abrupta con profundidades en la boca sobre los 600m, mientras que en su interior fuertes gradientes que pueden fluctuar en espacios reducidos entre 100m y 500m. La cabeza del fiordo se encuentra conectada al canal Puyuhuapi y entre estos se encuentra una constricción de alrededor de 50m. El canal Puyuhuapi presenta un relieve más suavizado con profundidades a lo largo del fiordo de alrededor de 200 m presentando un umbral cercano a la boca del fiordo con profundidades en torno a los 100m.

El dominio del modelo tiene 9800 elementos en la horizontal y se extiende desde el las bocas de ambos canales (**Figura 2**). La información batimétrica corresponde a sondas de cartas náuticas SHOA, procesadas e interpoladas mediante métodos lineales. Se utilizaron distintos tamaños de elementos de acuerdo a la geometría de la cuenca dejando aquellos lugares someros y estrechos con mayor resolución. El sector de menor resolución es el más cercano al borde abierto norte (boca canal Jacaf) con un tamaño aproximado de 1000m, en algunos lugares como pasos restringidos o zonas someras la resolución puede alcanzar los 200m.

En la vertical el modelo está dividido en 30 capas sigma (**Figura 3**), tipo de estructura que permitieron discretizar la columna de agua en partes iguales, obteniendo como resultado una mayor resolución en zonas más someras. Además a esta discretización se introdujeron parámetros para que las capas más finas estuvieran en la superficie y el fondo, en donde los procesos físicos son más complejos debido al estrés de fondo y superficial.

b) **Condiciones de borde:** Las condiciones de borde de nivel del mar, en las bocas de ambos canales fueron extraídas de mediciones de 30 días realizadas en 2011 producto de campañas oceanográficas anteriores realizadas por IFOP. Para este caso se calcularon, mediante análisis



armónico, las constituyentes y se procedió a generar un pronóstico para las fechas requeridas (**Figura 4**). En cuanto a temperatura y salinidad fueron utilizados observaciones provenientes de perfiles de CTD realizados en campaña oceanográfica en aquella zona (**Figura 5**).

c) **Condiciones iniciales:** Las condiciones iniciales referidas a 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 (**Figura 6 y 7**).

d) **Fuentes de agua dulce:** El único registro de caudal de río en el sector pertenece al de río Cisnes (DGA), para este caso se utilizó el valor promedio de caudal para el mes marzo de los últimos 10 años. Para compensar el déficit de entrada de agua dulce al sistema marino se impusieron fuentes aproximadas en otros lugares (**Figura 8**), en donde, de acuerdo a imágenes de satélites se visibilizaban desembocaduras de pequeños y medianos ríos. La suma de todos estos afluentes es magnitud similar al del río Cisnes. Esto es una aproximación arbitraria, pero el hecho no imponer más entradas de agua dulce subestimaría en demasía el volumen de agua dulce que entra al sistema, provocando problemas en la generación de la estratificación.

e) **Forzante atmosférica:** Para el caso de información atmosférica fueron utilizados datos de la estación meteorológica ubicada al interior del canal Puyuhuapi, denominado Pearson (**Figura 9**). Un análisis anterior permitió descartar el uso de modelos numéricos de viento ya que estos aún no son capaces de resolver el patrón de variabilidad espacial que se da al interior de estos canales.

## RESULTADOS

---

### 1) Calibración y evaluación

El proceso de calibración del modelo hidrodinámico se realizó con mediciones oceanográficas obtenidas durante el verano de 2015, como parte de la campaña de medición que se incluía en este proyecto. Las mediciones se encuentran distribuidas mayoritariamente en canal Puyuhuapi y escasamente en canal Jacaf, que solo registra estaciones de CTDO, para el caso de canal Puyuhuapi existen mediciones de nivel del mar, corrientes y CTDO (**Figura 10**). En campañas realizadas en años anteriores por IFOP en esta zona, se realizó un ADCP remolcado en la boca del canal Puyuhuapi cuyos resultados serán utilizados para tener una visión general del patrón residual en la boca del Puyuhuapi.



### i) Nivel del mar

La **Figura 11** muestra la serie de nivel del mar observado y modelado al interior del canal Puyuhuapi. Se aprecia un gran acuerdo entre lo observado y modelado en la series horarias, la fase parece bien descrita con una correlación que alcanza un valor de 0.98, mientras que para las amplitudes el error es de 23.1 cm. Los espectros de energía dan cuenta que las frecuencias más energéticas están bien replicadas (**Figura 12**) en términos del orden de importancia de cada periodo, concentrándose la mayor energía en torno a las 12 horas. Siendo también importantes los picos de las 4, 6 y 24 horas, también es replicado un pico cercano a los 3 días.

### ii) Salinidad

Se realizaron un número amplio de pruebas para calibrar la estratificación observada en el canal Puyuhuapi, principalmente a través de aproximaciones de entradas de agua dulce al sistema marino. Lográndose una apropiada representación de la estratificación en los fiordos Jacaf y sobre todo Puyuhuapi. A continuación se presentan la comparación entre perfiles observados a través de estaciones de CTD y perfiles extraídos desde el modelo, la ubicación exacta de cada perfil de CTD se encuentra en la **Figura 10**. La **Figura 13** muestra 4 perfiles de salinidad, los primeros 3 pertenecen al canal Jacaf, mientras que la estación 4 se encuentra en canal Puyuhuapi cercano a la confluencia de ambos canales. Se observa que para las 4 estaciones comparadas la salinidad superficial es subestimada con valores variables, siendo esta diferencia más significativa hacia la boca del canal Jacaf, sin embargo, lo más destacable es que el modelo logra describir apropiadamente la pendiente del perfil, es decir, indica con bastante exactitud la haloclina, reproduciendo el patrón de estratificación del fiordo Jacaf. Desde la estación 4 hasta a la 8 mostrada en la **Figura 14** son mostrados los perfiles comparados en canal Puyuhuapi. Aquí el modelo sigue subestimando la salinidad superficial, pero un grado menor que en Jacaf, incluso para la estación 7 se observa gran exactitud en los valores de superficie (aprox 25 psu). El patrón de estratificación se aprecia bien reproducido a excepción de la estación 8 ubicada en la boca del Puyuhuapi, en cuyo caso, se sobrestiman los valores superficiales y la estratificación no está bien lograda.

### iii) Circulación media

La **Figura 15** muestra los perfiles promedios simulados a través de 30 días comparados con los perfiles promedios de 2 ADCP ubicados en canal Puyuhuapi. Para el ADCP ubicado en el sector de Marta se aprecia que las componentes u y v de la corrientes no presentan un comportamiento típico de 2 capas, siendo el transporte neto hacia el sur-oeste de magnitudes bajas (<2 cm/s) siendo levemente superior en capas superiores. El modelo reproduce el patrón general en ambas componentes aunque sobrestimándolas, siendo mayor la desviación para la componente u\_este-oeste sobre todo en capas superiores en cuyo caso alcanza valores cercanos a los 10 cm/s. Para la componente norte-sur la sobrestimación es de menor cuantía, reproduciendo las magnitudes con



mayor precisión. Para ambas componentes modeladas se hace evidente en las capas superiores un aumento de las magnitudes de la corriente probablemente asociado a una mayor sensibilidad con la circulación gravitacional.

El ADCP denominado Pearson, ubicado hacia al interior del Puyuhuapi, frente a la desembocadura del río Cisnes presenta un comportamiento que evidencia un flujo de 2 capas (al menos hasta los 50m) teniendo un flujo neto en superficie hacia el noreste y desde los 8 m aproximadamente su flujo se dirige hacia el sureste. El modelo en ambas componentes logra replicar el patrón general, para el caso de la componente  $u_{\text{este}}$  el modelo define de buena forma la dirección del flujo aunque subestimando las magnitud, sobre todo entre los 10 y 20 m. En la capa superficial el modelo genera una delgada capa de flujo contrario no evidente en la medición por efectos de datos no confiables en la capa superficial del ADCP. Para el caso de la componente  $v_{\text{norte}}$  el modelo replica el flujo de dos capas siendo una de estas, la superficial replicada en cuanto a su dirección, subestimando su magnitud.

En campañas realizadas en años anteriores en esta zona, se realizó un ADCP remolcado en la boca del canal Puyuhuapi cuyos resultados describe un flujo de 3 capas, uno superior de salida con una leve inclinación hacia la costa sur, otro intermedio de entrada centrado alrededor de los 100m con inclinación hacia la costa norte y otro profundo inclinado hacia la costa sur. Develando en la inclinación una probable importancia de la rotación terrestre, es decir, con un giro a la izquierda del flujo. El modelo, si bien se encuentra configurado en una época distinta se aprecia un patrón general que al menos muestra este patrón de 3 capas, en cada caso estas capas son inclinadas hacia la izquierda de cada flujo, señalando la capacidad del modelo para capturar la variabilidad relacionada con la rotación terrestre (**Figura 16**).

## 2) Patrones de circulación

### i) Circulación a lo largo de los fiordos

Los umbrales representan límites relevantes en cuanto al tipo de circulación y procesos de mezcla dentro de los fiordos. Aquí se presentan algunos patrones medios observados a lo largo de los fiordos Jacaf y Puyuhuapi (**Figura 17**).

En el fiordo Jacaf (**Figura 18-arriba**) que presenta en este sector una serie de umbrales de distintos tamaños. Se observa que el patrón general obedece a un sistema variable de capas. Un flujo superficial bien definido de salida, una capa intermedia de entrada pero con tendencia a atenuarse en algunas zonas y fortalecerse en parte central y la aparición de una tercera capa de salida al fondo en buena parte de la sección.

Para el caso del canal Puyuhuapi se observa en la (**Figura 18-abajo**) que existe un flujo de salida superficial hasta casi los 30 m en la boca y que disminuye su espesor hacia la cabeza. Una capa



intermedia bien definida hasta el segundo umbral siendo más intenso hacia la boca y una tercera capa bien definida hasta el primer umbral y disminuyendo su intensidad hacia la cabeza. Sobre la primera constricción se visualiza los flujos más intensos, sobre todo el de entrada.

## ii) Patrón de pluma de río Cisnes

A continuación se presenta la salinidad superficial como trazador de la pluma del río Cisnes, en 2 escenarios: uno en cual el viento dominante característico es del tipo SW (verano) y otro en cual el viento es de componente Norte. De esta manera se pretende visualizar el efecto del viento en el patrón espacial de descarga de la pluma al sistema marino.

La **Figura 19 (arriba)** muestra la salinidad superficial en la desembocadura del río Cisnes forzado con viento desde el SW. En esta se aprecia que el desplazamiento se produce hacia el norte en dirección a la cabeza del fiordo y la conexión con el canal Jacaf. La **Figura 19 (abajo)** muestra el patrón de circulación superficial evidenciando el rasgo anteriormente destacado, un flujo intenso hacia norte desde la desembocadura del río.

Para el caso de desplazamiento de la pluma con viento norte (**Figura 20**), se distingue de forma clara que su trayectoria es distinta, generando un movimiento neto hacia el este, es decir, hacia la boca del Puyuhuapi. Los vectores de corriente muestran esto de manera más evidente, la estructura superficial parece muy dominada por el efecto del viento.

## DISCUSIÓN

---

La evaluación de un modelo hidrodinámico de alta resolución en canal Puyuhuapi y Jacaf se plantea como una primera etapa en el desarrollo de la modelación en estos canales, que hace posible diagnosticar sobre las necesidades futuras para continuar su desarrollo.

La evaluación del nivel del mar mostró resultados adecuados a las características observadas en canal Puyuhuapi, los resultados mostraron que había una alta correlación entre los datos observados y modelados ( $r = 0.98$ ), indicando que la fase de la marea está bien simulada, además su error medio alcanza los 23 cm. Si traspasamos este valor al error medio normalizado (ver índices estadísticos en Metodología), esto supone un error de 7.5 % en la amplitud del nivel del mar. En el dominio de la frecuencia se verificó que el modelo logra replicar en orden e intensidad las distintas frecuencias detectadas en la observación, de forma evidente replica con mayor energía la banda de 12 h, así como la de 24 h. Lo que le otorga mayor fortaleza a la simulación del nivel del mar es la aparición de componentes de aguas someras con periodos de 4 y 6 h que son replicadas de forma correcta, también es posible ver una señal de 3 días que de igual forma es detectada por el modelo. Aiken (2008) indica que el sistema de canales fiordos de Chiloé y Aysén es particularmente sensible a la representación



de zonas poco profundas, que tienen una influencia sustancial en la velocidad de onda de marea y por lo tanto sobre el valor de las frecuencias de resonancia. Como resultado, la simulación exacta de las fases de las mareas y también su amplitud a lo largo de esta zona, requiere que se preste especial atención a la batimetría. En este sentido el modelo implementado tiene la virtud de utilizar una batimetría de alta resolución basada en información del SHOA, además de esto las condiciones de borde de nivel del mar que se impusieron en ambos bordes corresponden a mediciones realizadas en años anteriores, por lo tanto, en estas se encuentran incluidas las componentes locales que influyen en estos canales.

La salinidad es la variable principal que influye en la pycnoclina en los fiordos chilenos (Pickard 1971). La evaluación del campo de masa a través del análisis de perfiles de salinidad al interior de los canales da cuenta de una apropiada modulación de la estratificación, situación que no es trivial dada las complejidades de los procesos de mezcla en los fiordos. Si bien es cierto que el modelo tiende a generar subestimaciones de la salinidad superficial debido a una deficiente estimación de entrada de agua al sistema marino, el modelo logra generar una apropiada pendiente de estratificación muy ajustada de acuerdo a las estaciones de CTD realizadas, esto supone un avance importante para el desarrollo futuro.

En base a estas distribuciones de las propiedades de las aguas, se han efectuado esquemas de la circulación para la zona de fiordos, indicando la existencia de una circulación superior saliendo de los fiordos (0 -50 m), una intermedia con (50 -150 m) con aguas de origen subantártico que fluye al interior y una circulación profunda (> 150 m) de muy limitada extensión (Silva *et al.* 1998; Silva & Palma 2006). Las observaciones realizadas en los últimos 10 años, en los fiordos Chilenos (Valle-Levinson *et al.* 2007; Castillo 2012; Cáceres *et al.* 2010; Letelier *et al.* 2011; Valle Levinson *et al.* 2014) dan cuenta de la aparición de distintas estructuras verticales en la circulación residual y que estas pueden surgir a partir del forzamiento del viento, remoto y de las mareas, que pueden modificarla a la circulación de dos capas (Valle Levinson *et al.*, 2014).

Valle Levinson (2014) indica que los resultados teóricos de flujos residuales en cuencas semicerradas indican que su estructura vertical está determinada por la profundidad dinámica del sistema. Esta profundidad dinámica puede ser considerada como la relación entre la profundidad de la columna de agua y la profundidad de influencia friccional en un flujo oscilatorio. Cuando la profundidad de fricción ocupa la columna de agua entera, el flujo residual es de una capa como en cuencas poco profundas. Pero cuando la profundidad de fricción es sólo una pequeña porción de la columna de agua (> 6 veces más pequeño), el flujo residual es de tres capas. En fiordos relativamente profundos (> 100 m), donde las profundidades de fricción normalmente ocupan una pequeña porción de la columna de agua, se espera que el flujo residual sea de tres capas.

Esto podría explicar la estructura del flujo residual de 3 capas encontrada en la boca del Puyuhuapi (**Figura 16**) en campañas oceanográficas anteriores y que es replicada de forma general por el modelo, esto muestra la habilidad del modelo para capturar procesos complejos dentro de los fiordos Chilenos. La aparición de la estructura de 3 capas parece ser habitual, al menos es lo que muestran



los resultados en canal Puyuhuapi (**Figura 18**), aunque esta estructura no suele ser constante en intensidad a lo largo de fiordo, en el caso del canal Puyuhuapi parece ser significativamente más intensa sobre el primer umbral. Posterior al segundo umbral esta estructura se ve menos intensa. El caso del canal Jacaf también es posible encontrar este tipo de estructura aunque menos definida.

Estudios anteriores indican que los vientos a lo largo del fiordo causan una respuesta local, el cambio de la pendiente de la superficie del mar y la inclinación isopícnica interior del fiordo, pero producen pequeñas variaciones en el transporte de volumen. Los vientos que se dirigen hacia el fiordo tienden a oponerse a la circulación gravitacional (Valle Levinson *et al.*, 2014). Para el caso del canal Puyuhuapi que posee una importante fuente de agua dulce en el río Cisnes, los resultados muestran que el viento tiene una gran influencia en dirección de la pluma del río Cisnes, el experimento montado con un escenario de viento SW, dirección que domina al canal Puyuhuapi (**Figura 9**), entre los meses de verano, mostró que la dirección de la pluma era dirigida hacia el norte, mientras que el experimento con viento norte indicaba que la pluma se desplazaba hacia la boca del Puyuhuapi, por el costado sur del canal, si bien es cierto, no hay mediciones intensivas de salinidad en la campaña realizada por IFOP para corroborar ese efecto, es posible verificar mediante las mediciones intensivas recabadas en Schneider *et al.* 2014, en donde se muestra la salinidad superficial en las cercanías del canal Puyuhuapi (**Figura 21**) estas muestran el desplazamiento de la pluma, como la suma de ambos escenarios anteriormente planteados, esto es, una parte importante de dirige hacia el norte mientras otra parte se desplaza hacia el oeste por el lado sur de canal.

## CONCLUSIONES

---

Se implementó un modelo en alta resolución en los canales Puyuhuapi y Jacaf basado en información batimétrica del SHOA además de datos de temperatura, salinidad, corrientes, mareas y viento recopiladas en campaña oceanográfica de IFOP.

El modelo replica de buena forma el comportamiento del nivel del mar en el interior de ambos fiordos, alcanzando correlaciones altas para la fase ( $r=0.98$ ) y errores bajos en la amplitud (7.5%). Además captura las frecuencias principales observadas, de 12 y 24 h, pero también las fluctuaciones relacionadas con componentes de aguas someras de 4 y 6 h además una fluctuación de 3 días.

El modelo muestra resultados apropiados en la definición de la estratificación de ambos fiordos, mostrando que las pendientes de perfiles observados de salinidad están bien representados por el modelo, cuestión fundamental en la modelación de sistemas estuarinos.

El modelo es capaz de replicar el flujo de 3 capas observado con anterioridad en la boca del fiordo Puyuhuapi, como en otros fiordos. Además las simulaciones parecen indicar una importancia relativamente grande de la rotación de la tierra en los flujos transversales, mostrando un



desplazamiento hacia la izquierda de los flujos de entrada y salida. La estructura de 3 capas parece ser, al menos, en canal Puyuhuapi una estructura que se extiende hacia al interior de fiordo disminuyendo en su intensidad desde la boca a la cabeza.

El viento parece tener una importancia relativamente alta en el patrón de corrientes superficiales, al menos es lo indica la variabilidad en la dirección de la pluma del río Cisnes que se corresponde con el tipo de viento al que se le somete, esto es, un viento del tipo SW desplaza la pluma hacia el norte, mientras que un viento del Norte desplaza la pluma por el oeste hacia el costado sur del canal.

El desarrollo de este estudio numérico no pretende ser definitivo, aún faltan importantes pasos para lograr una calibración más adecuada. Algunas brechas que se deben superar son: la cuantificación correcta de las entradas de agua dulce al sistema marino y correcta variabilidad espacial y temporal del viento mediante modelos atmosféricos de alta resolución. A esto se debe sumar mediciones de corrientes al centro del canal, de manera de capturar el patrón más general de la corriente y no las condiciones locales que se generan en lugares muy cerca de la costa. Además es importante contar con series de tiempo de temperatura y salinidad mediante sensores de largo periodo a fin de evaluar la variabilidad temporal del sistema.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

- Aiken, C.M. 2008. Barotropic tides of the Chilean Inland Sea and their sensitivity to basin geometry. *Journal of Geophysical Research*, Vol.113, C08024, doi: 10.1029/2007JC004593.
- Cáceres M, A. Valle-Levinson, Fierro J., Valenzuela C, y Castillo M. 2010. Variabilidad transversal del flujo y de la densidad en la boca del fiordo Aysén. *Cienc. Tecnol. Mar*, 33 (1): 5-15, 2010.
- Castillo M., Pizarro O., Cifuentes U., Ramírez N. y Djurfeldt L. 2012. Subtidal dynamics in a deep fjord of southern Chile. *Continental Shelf Research* 49: 73-89.
- DHI, 2014. Mike 3, User guide and reference manual. DanishHydraulicInstitute, Denmark.
- Letelier J., Soto-Mardones L., Salinas S., Osuna P., López D., Sepúlveda H., Pinilla E. y Rodrigo C. 2011. Variabilidad del viento, oleaje y corrientes en la región norte de los fiordos Patagónicos de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Vol. 46, N°3: 363-377.
- Pickard GL (1971) Some physical oceanographic features of inlets of Chile. *J Fish Res Board Can* 28:1077-1106



- Silva N., and S. Palma. 2006. Avances en el conocimiento oceanográfico de las aguas interiores chilenas, Puerto Montt a cabo de Hornos. Silva N., and S. Palma (Eds). 2006. Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 59-62.
- Silva N., Calvete C. y Sievers H. 1998. Masas de agua y circulación general para algunos canales australes entre Puerto Montt y laguna San Rafael (crucero Cimar-Fiordo 1). *Cienc. Tecnol. Mar*, 20, 23-106.
- Schneider, W., Perez-Santo. I, Ross L Bravo L, Seguel T & Hernandez Freddy. 2014. On the hydrography of Puyuhuapi Channel, Chilean Patagonia. *Prog.Oceanogr.* 129: 8-18.
- Valle-Levinson A., M. Cáceres and O. Pizarro.2014. Variations of tidally driven three-layer residual circulation in fjords. *Journal of Ocean Dynamics*, 64:459–469, DOI 10.1007/s10236-014-0694-9.
- Valle-Levinson A, Sarkar N, Sanay R, Soto D, León J (2007) Spatial structure of hydrography and flow in a Chilean Fjord, Estuario Reloncaví. *Estuar Coasts* 30(1):113–126.





## ANEXO VI: FIGURAS

---

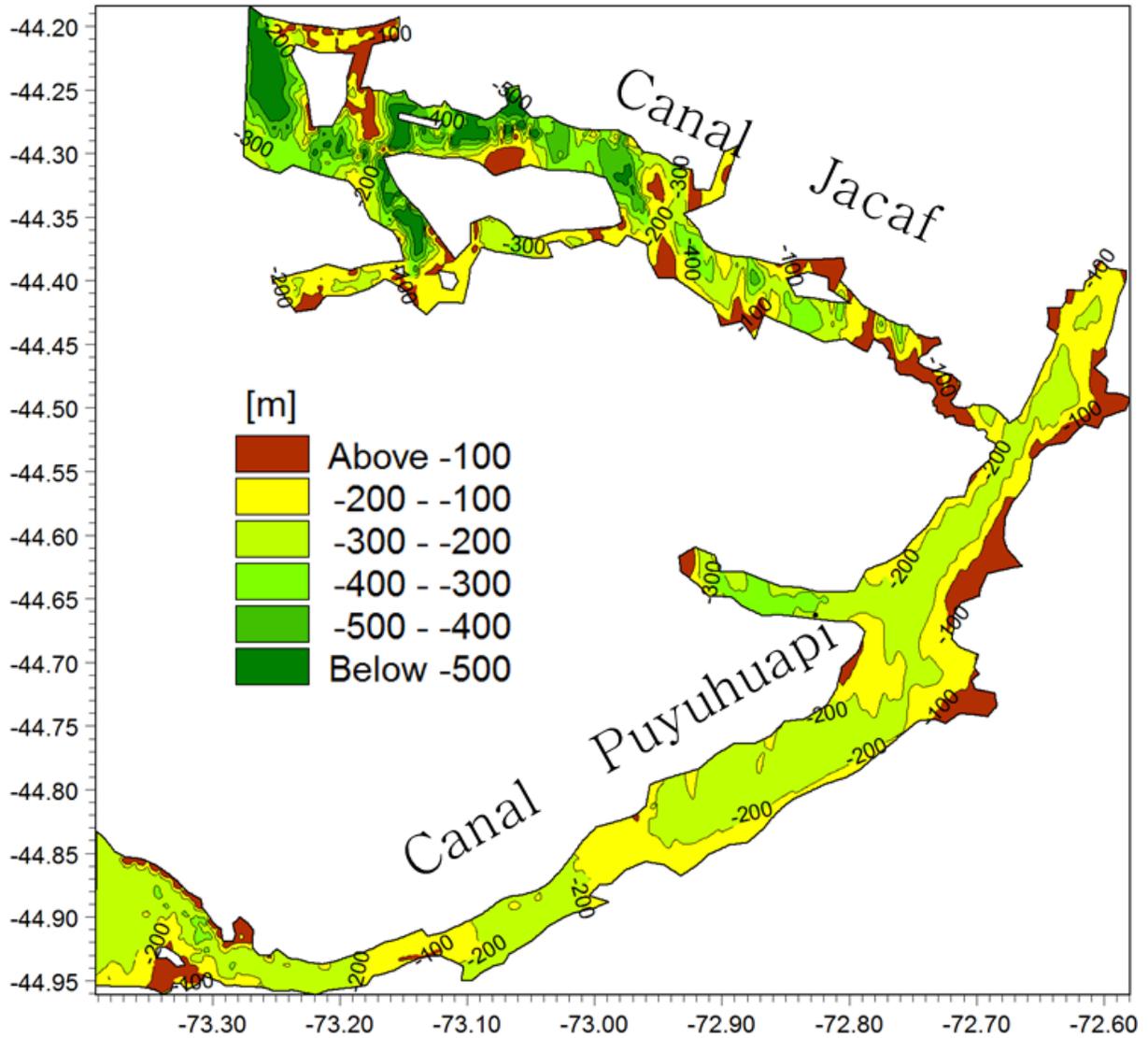


Figura 1. Batimetría de los fiordos Puyuhuapi y Jacaf basada en carta SHOA.

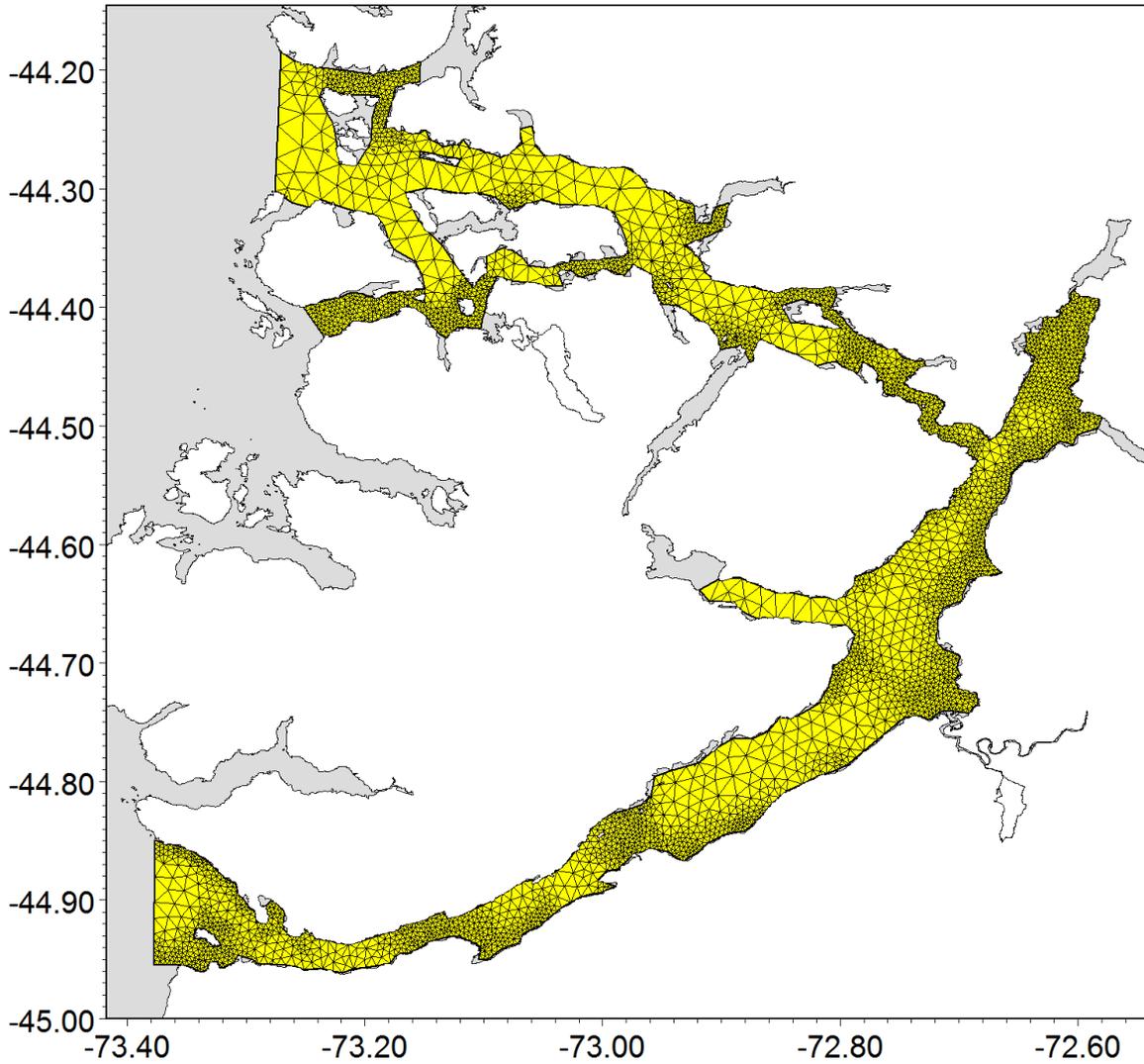


Figura 2. Discretizaci3n horizontal del dominio de modelaci3n en fiordos Puyuhuapi y Jacaf

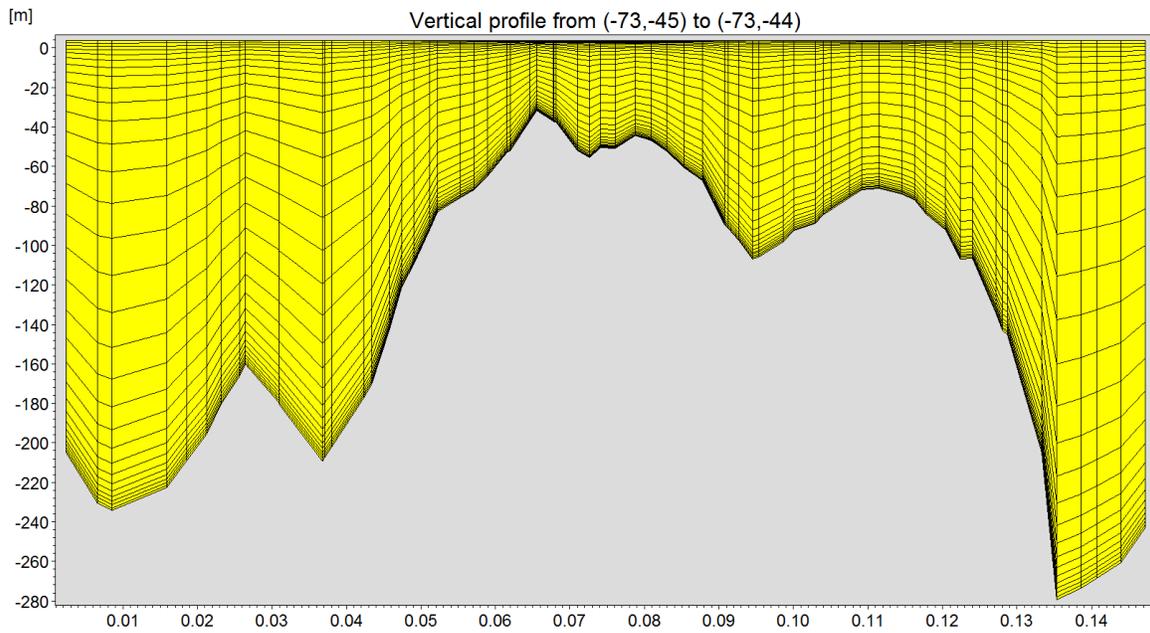


Figura 3. Discretización vertical del dominio de modelación en fiordos Puyuhuapi y Jacaf

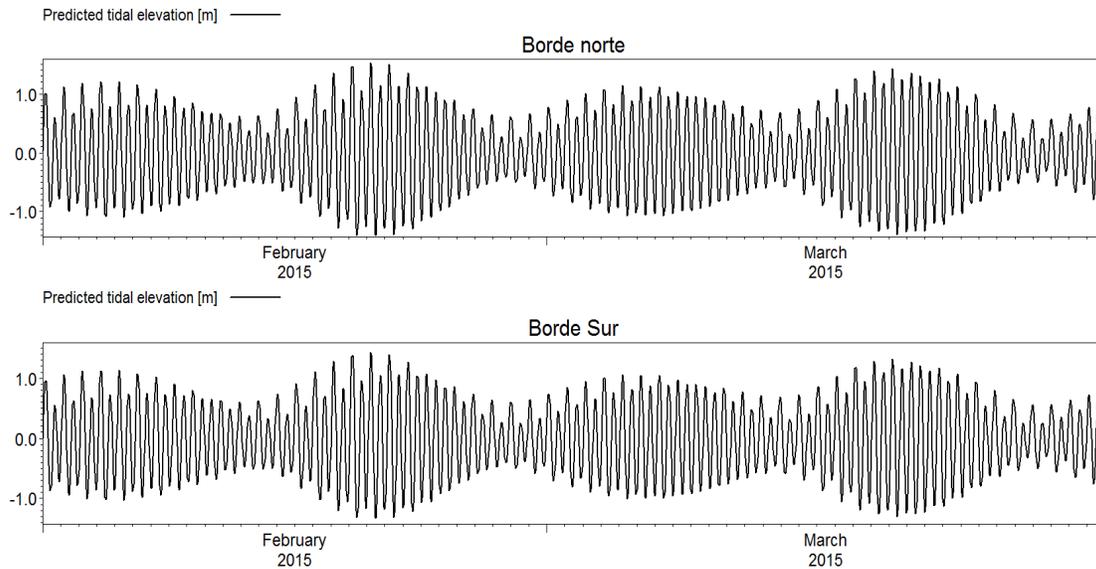


Figura 4. Condiciones de borde de nivel del mar para la boca del Jacaf y Puyuhuapi

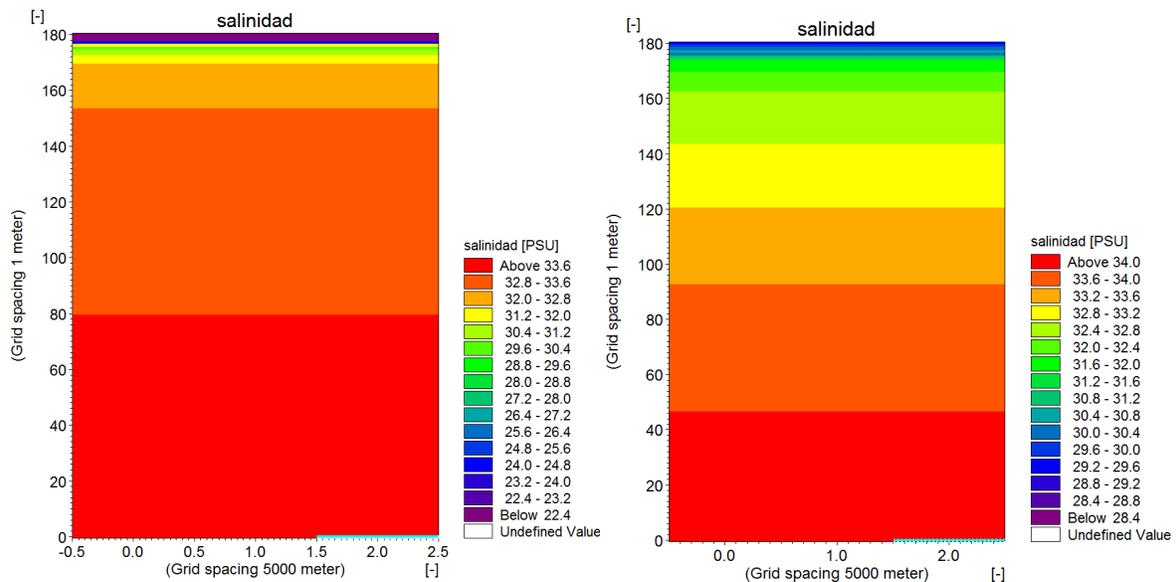


Figura 5. Condiciones de borde de salinidad para la boca del Jacaf y Puyuhuapi

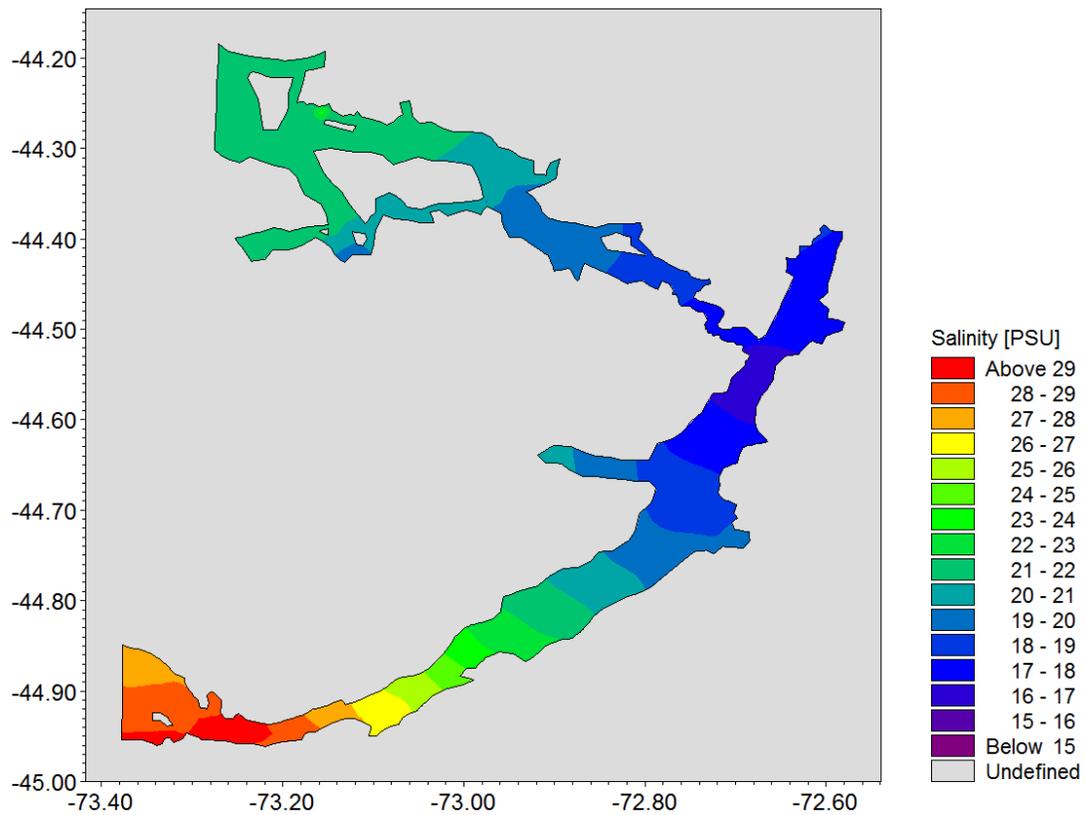


Figura 6. Condiciones inicial de salinidad para fiordos Jacaf y Puyuhuapi

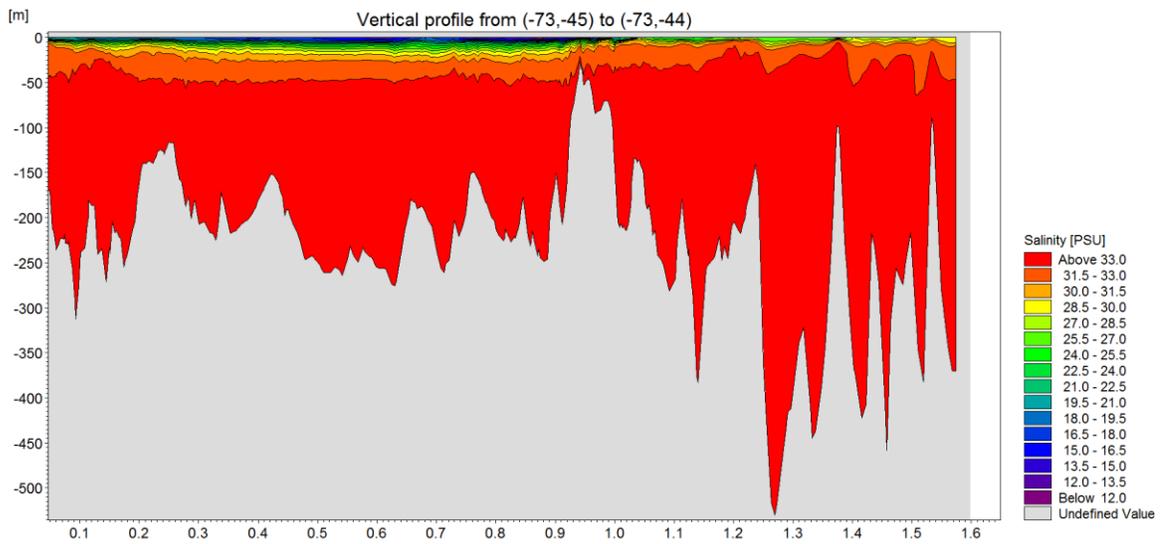


Figura 7. Condiciones inicial (secci3n vertical) de salinidad para fiordos Jacaf y Puyuhuapi

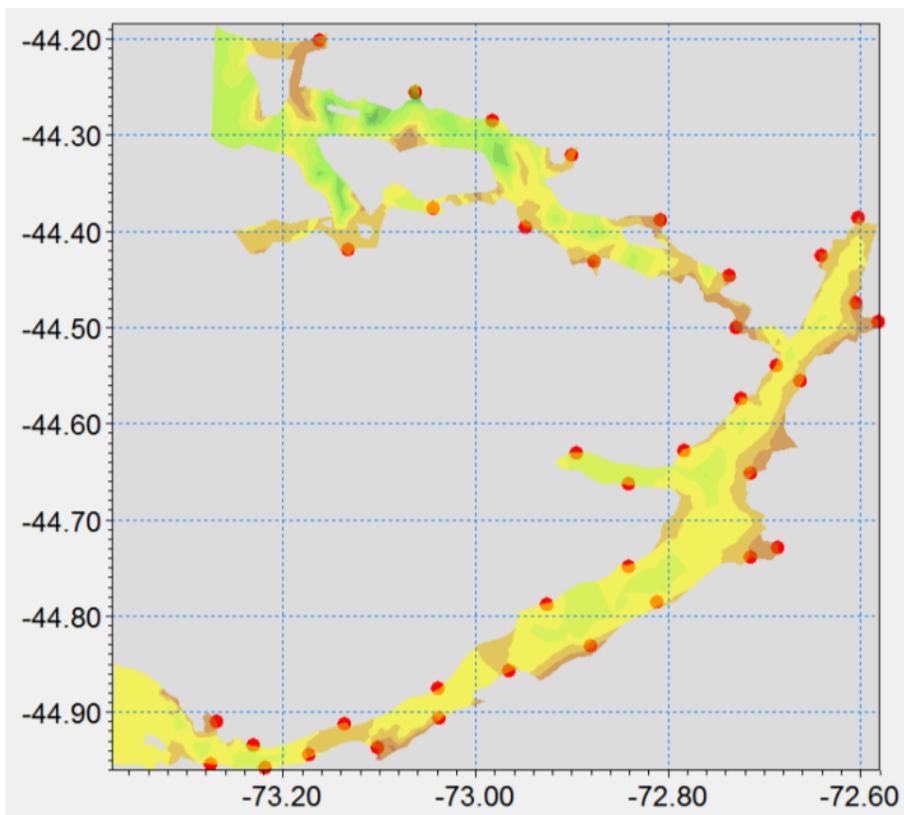
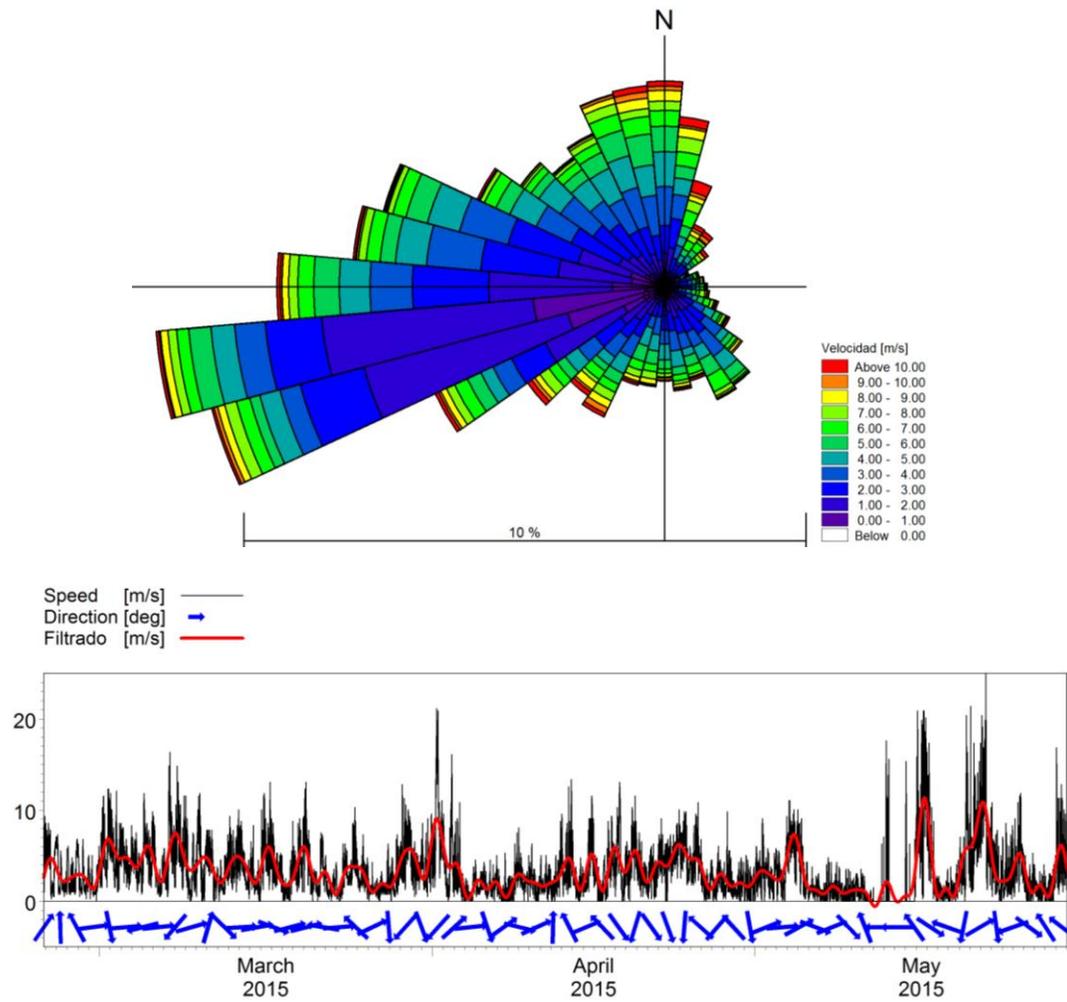
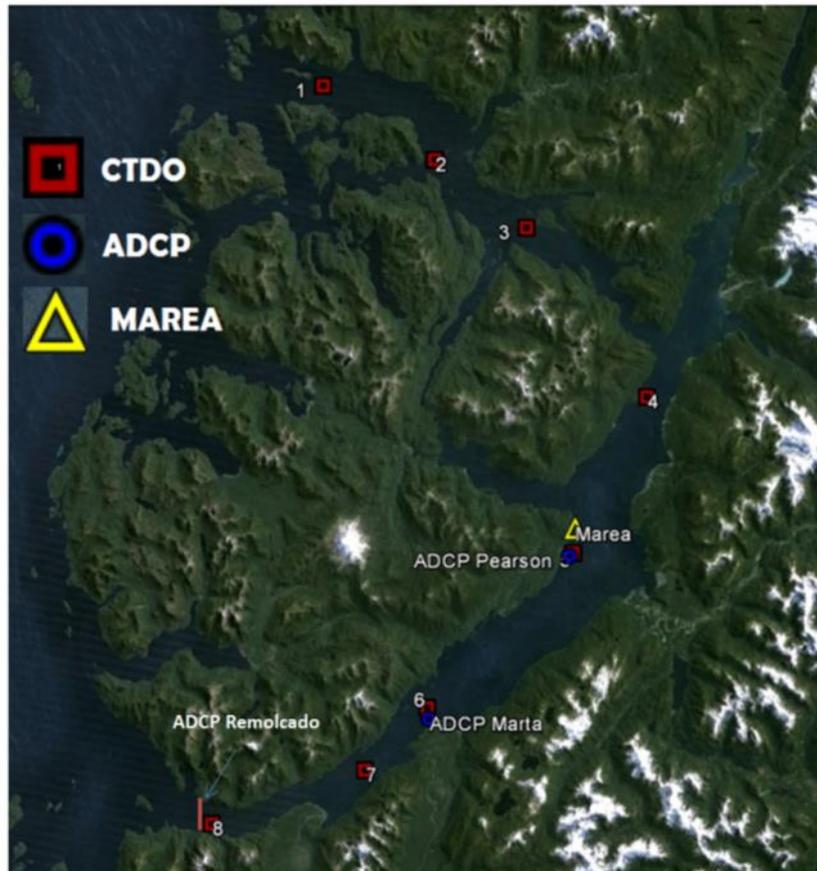


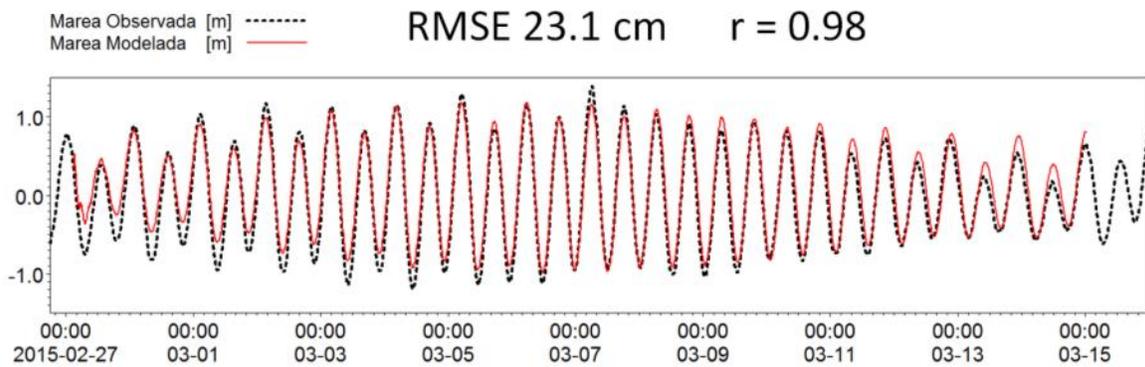
Figura 8. Posici3n de fuentes puntuales de descarga de agua dulce



**Figura 9.** Rosa de vientos (arriba) y serie de tiempo (abajo) del viento medido en estaci3n Pearson.



**Figura 10.** Posición y tipo de medición de parámetros oceanográficos realizadas en fiordos Puyuhuapi y Jacaf para calibración del modelo.



**Figura 11.** Comparaci3n de nivel del mar observado (negro) y modelado (rojo).

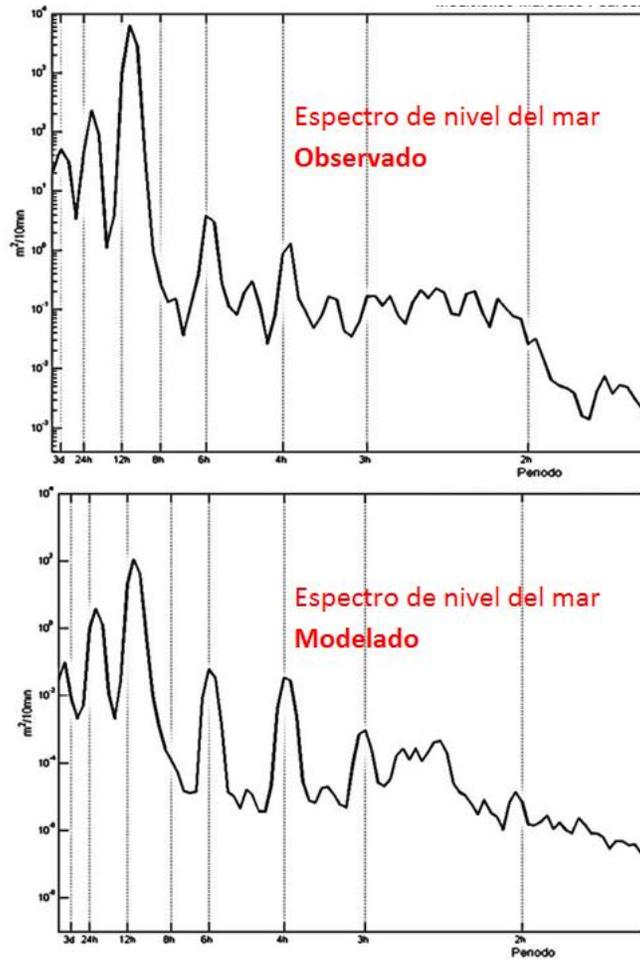


Figura 12. Comparaci3n de espectros de energa del nivel de mar observado (arriba) y modelado (abajo).

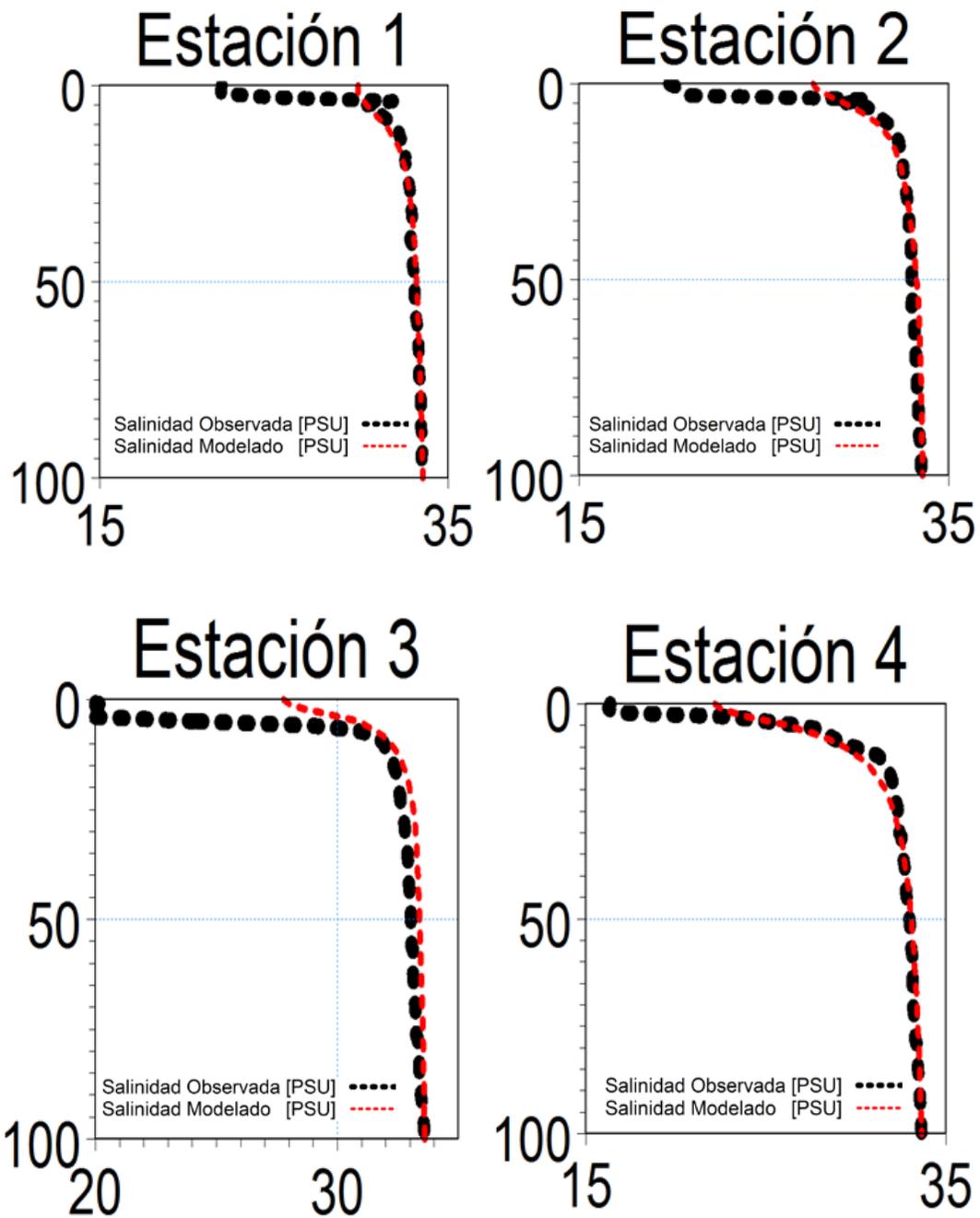


Figura 13. Comparaci3n perfiles de salinidad para distintas estaciones en canales Jacaf y Puyuhuapi.

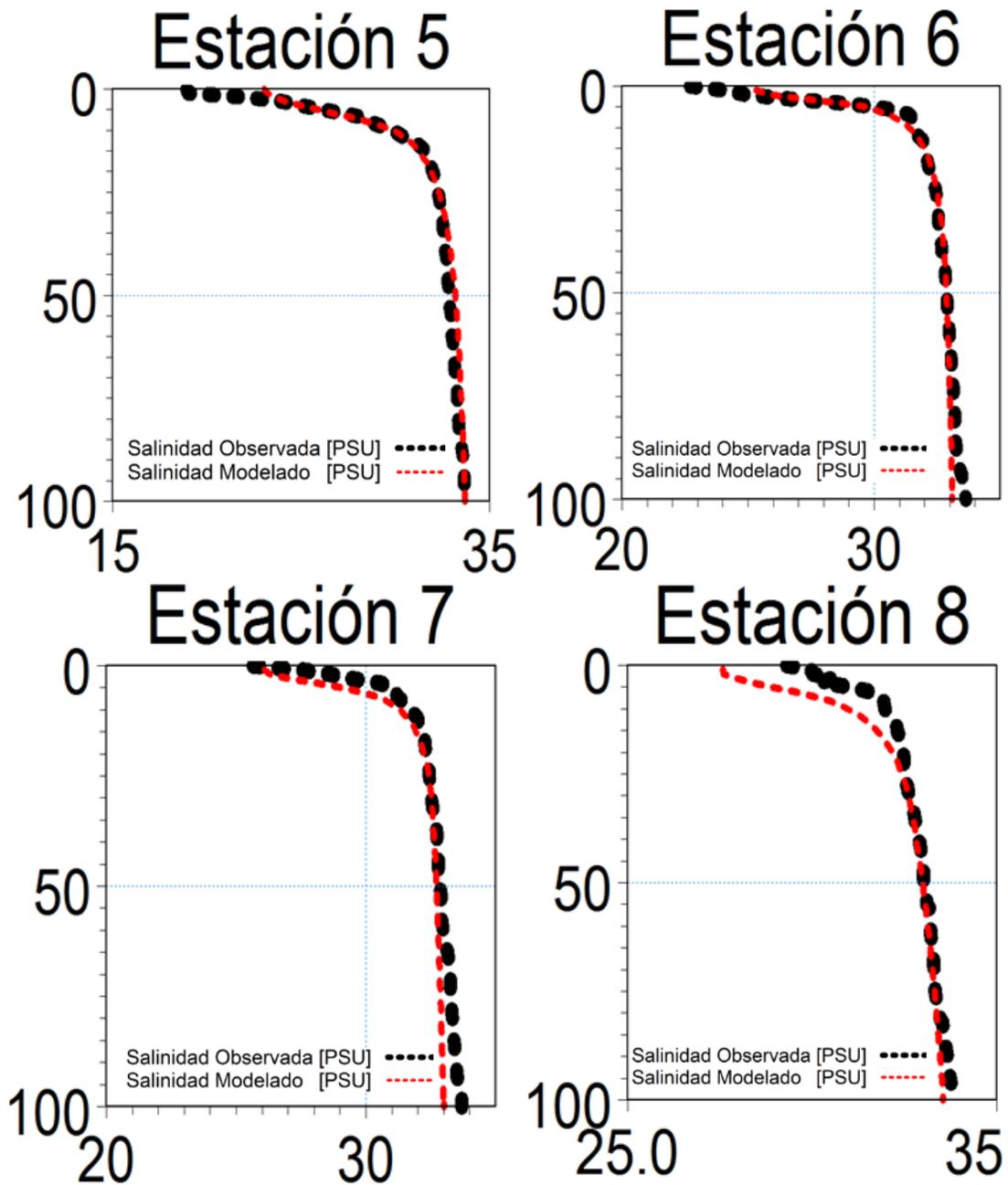


Figura 14. Comparaci3n perfiles de salinidad para distintas estaciones en canales Jacaf y Puyuhuapi.

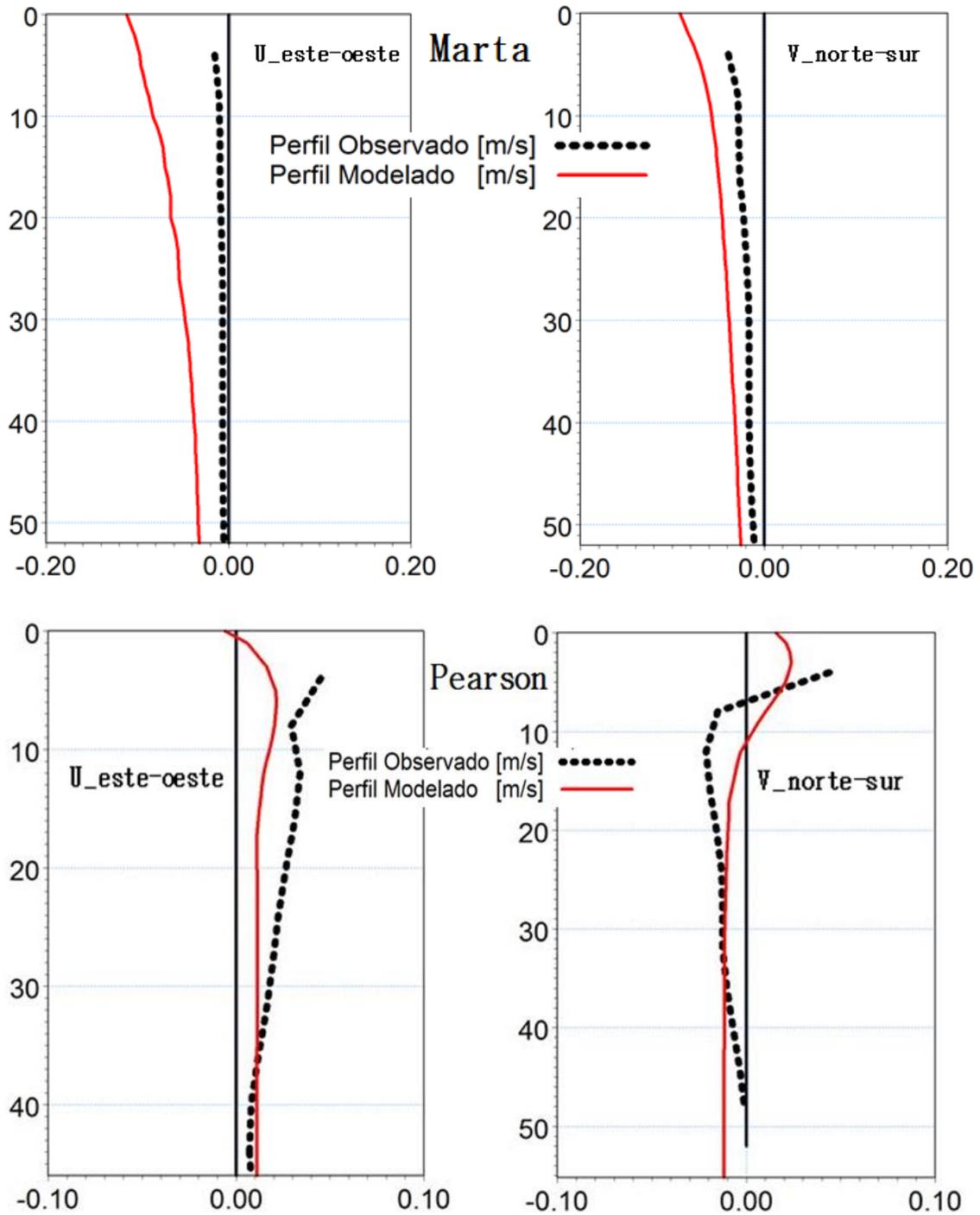
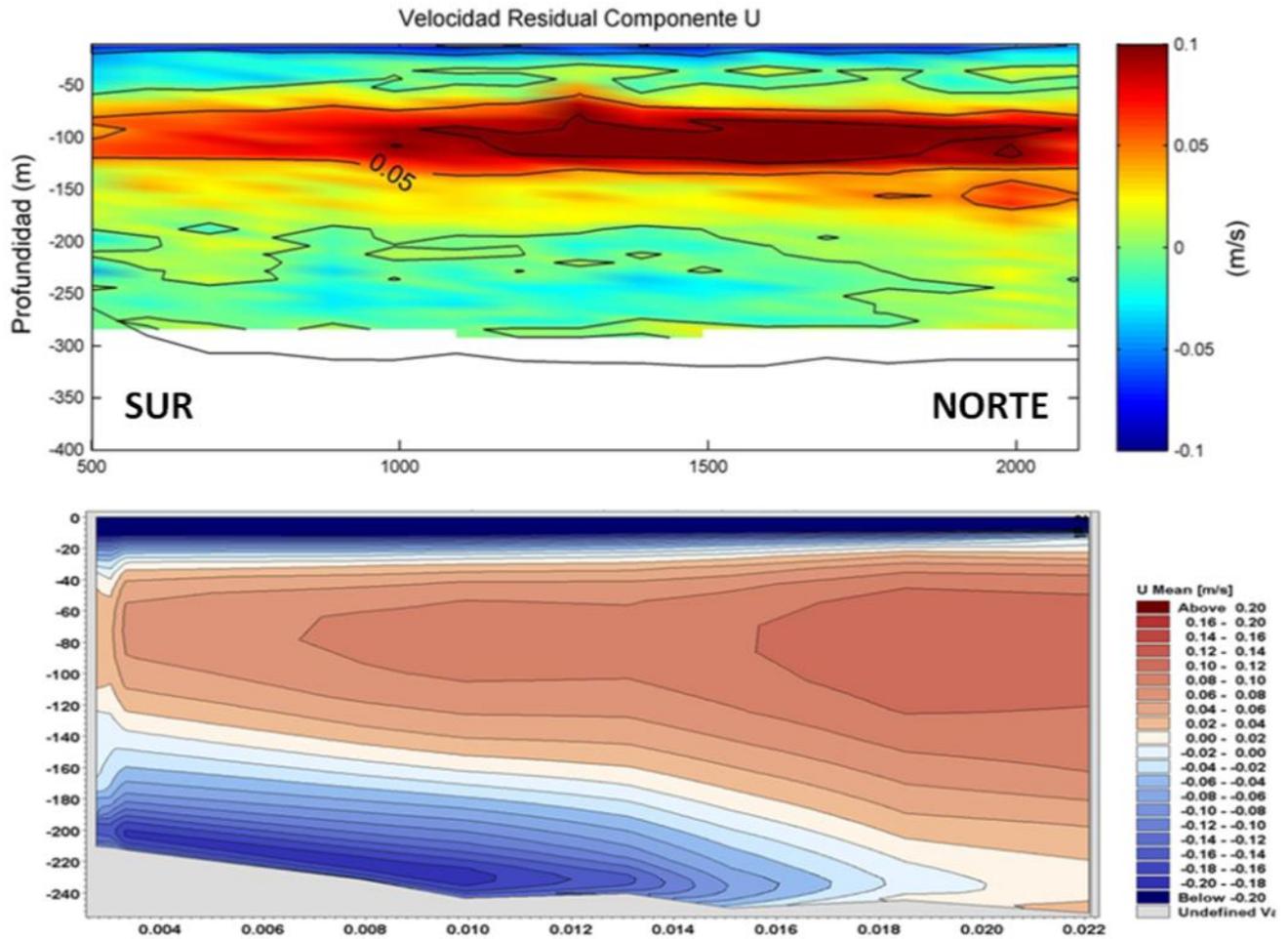


Figura 15. Comparaci3n perfiles promedios de corriente observado (negro) y modelado (negro) para sector de Marta (arriba) y Pearson (abajo).



**Figura 16.** Comparaci3n del flujo promedio observado (arriba) y modelado (abajo) en la boca del fiordo Puyuhuapi.



**Figura 17.** Ubicación de las secciones verticales para análisis de flujo a lo largo de los canales Jacaf y Puyuhuapi.

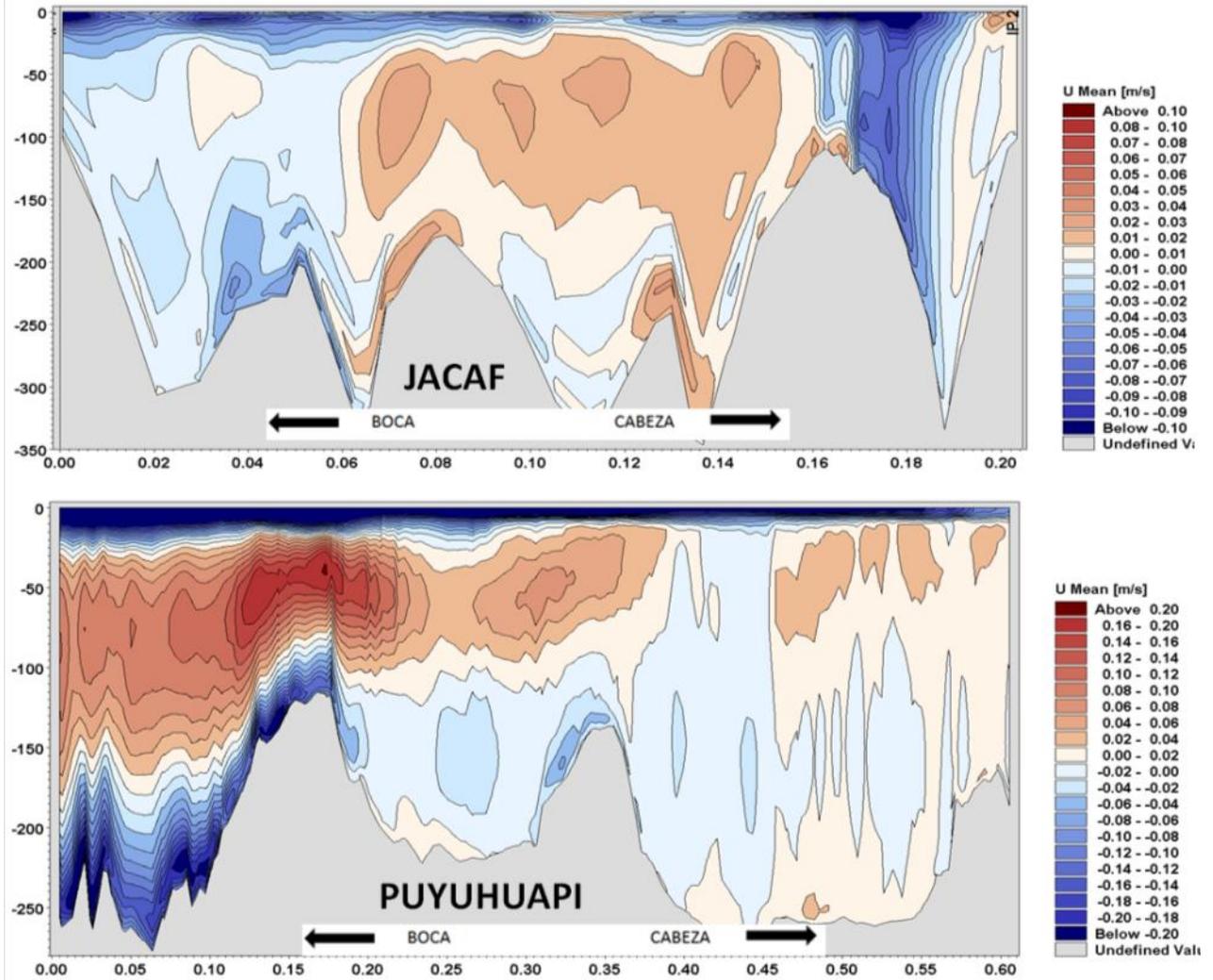


Figura 18. Flujo promedio modelado a lo largo de los fiordos Jacaf (arriba) y Puyuhuapi (abajo).

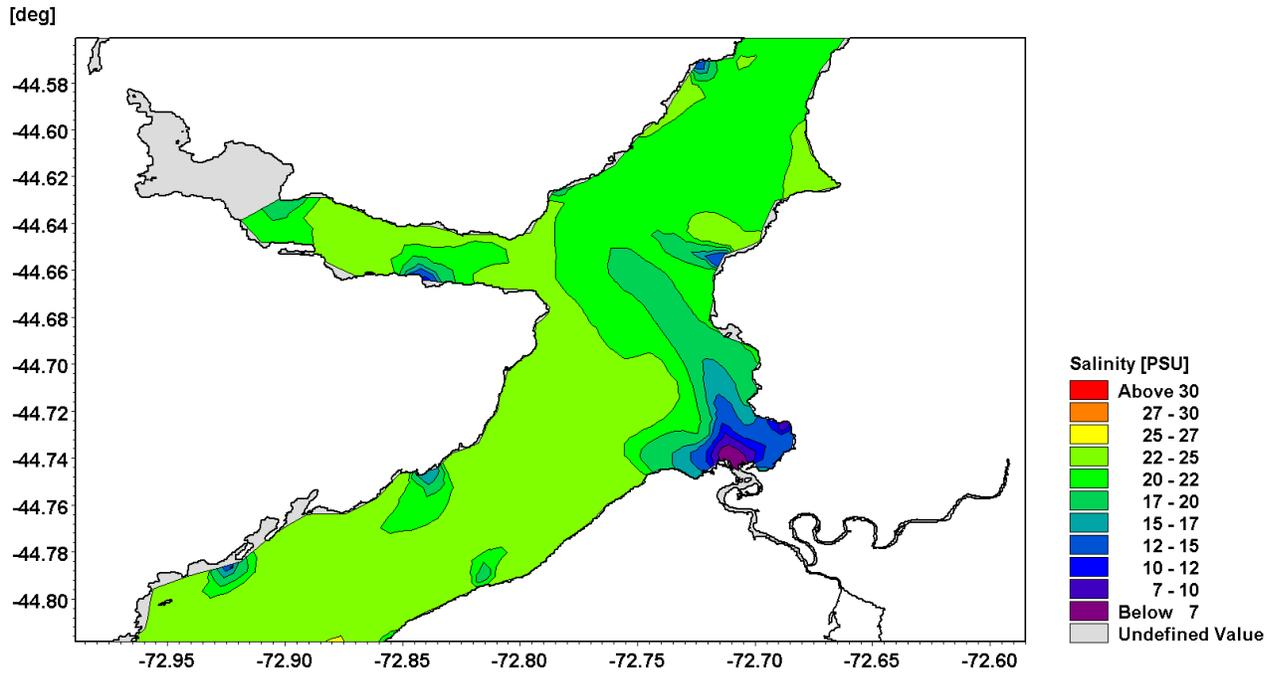


Figura 19. Pluma de descarga de rio Cisnes y vectores de corriente para escenario de viento SW.

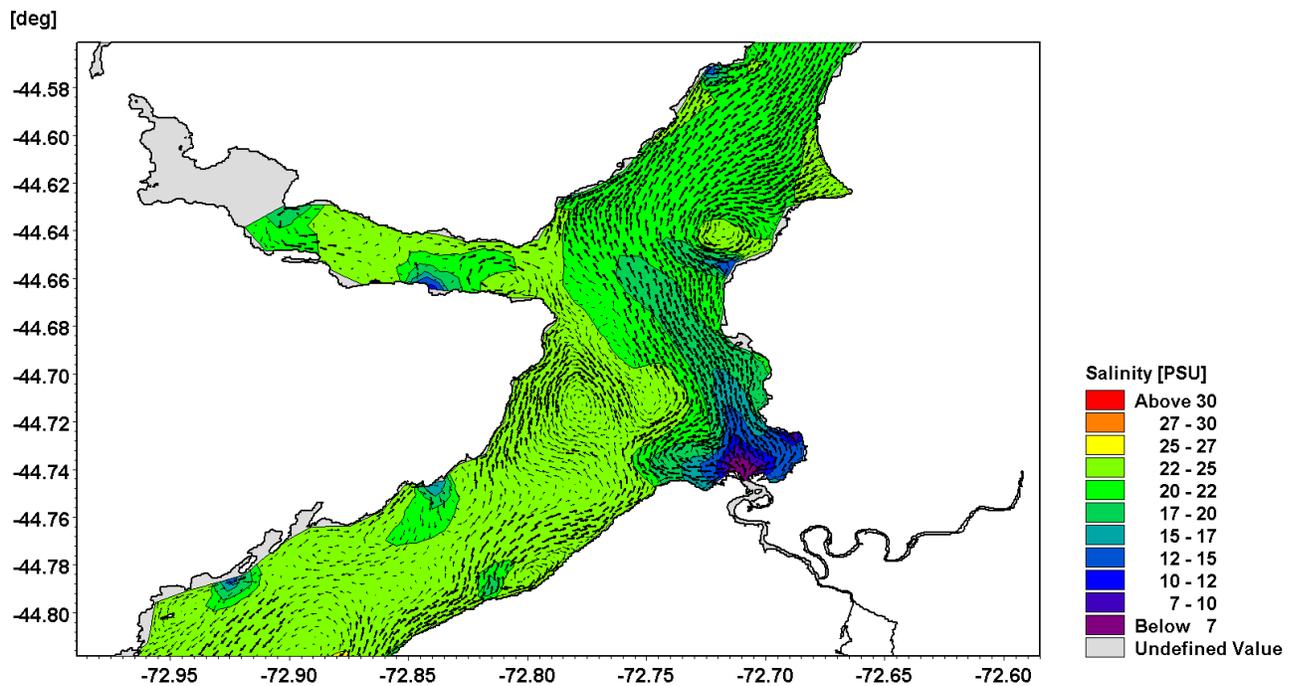


Figura 20. Pluma de descarga de rio Cisnes y vectores de corriente para escenario de viento SW.

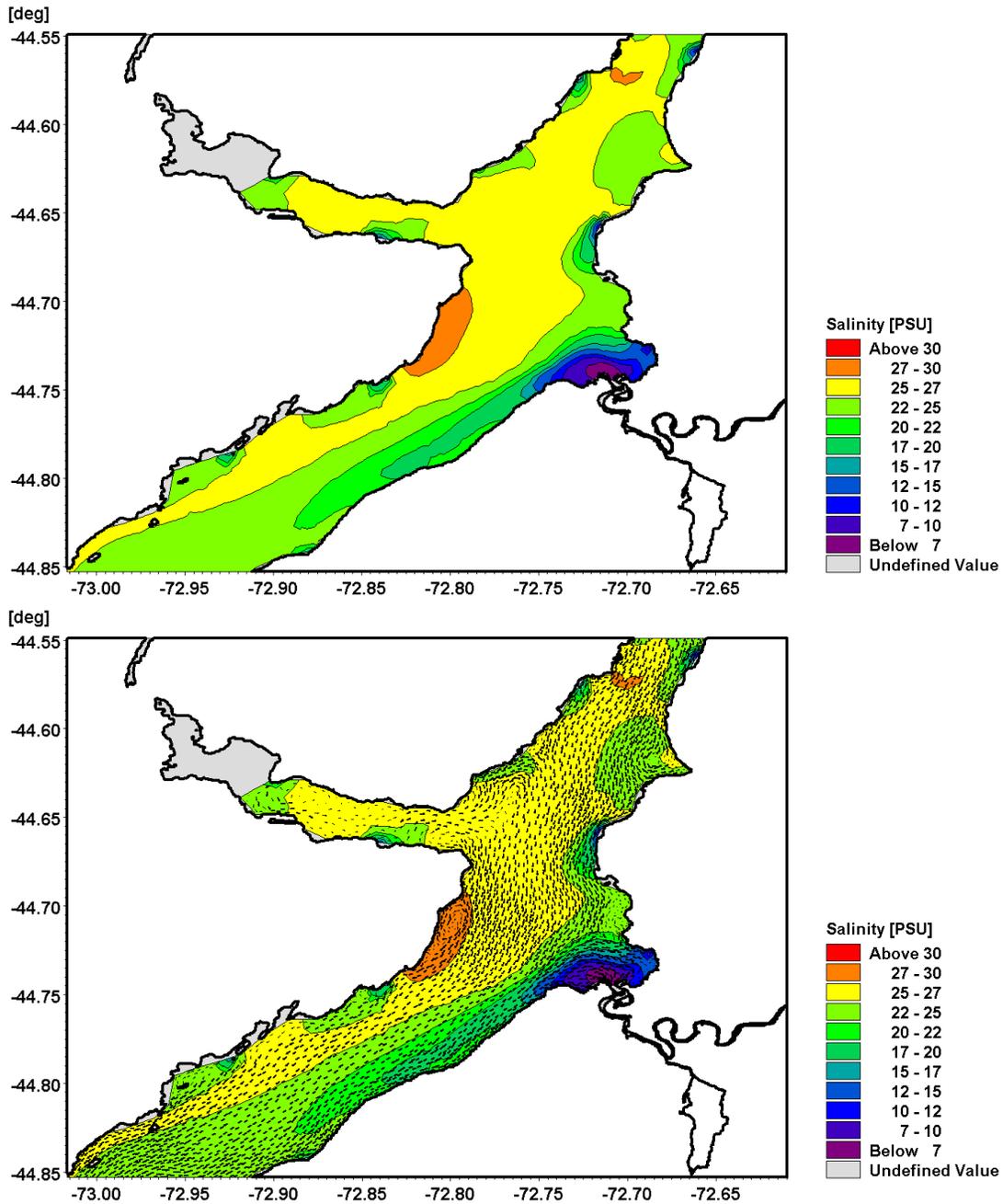


Figura 21. Pluma de descarga de rio Cisnes y vectores de corriente para escenario de viento Norte.

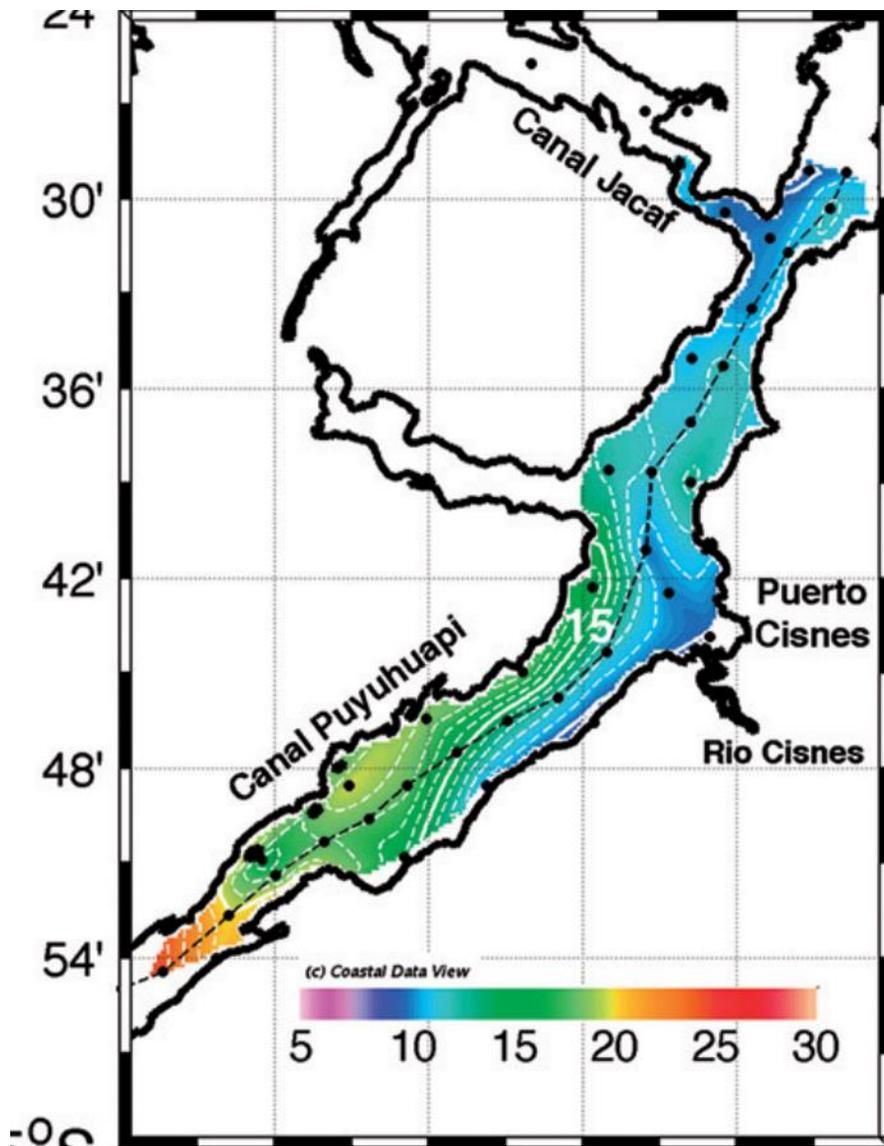


Figura 22. Salinidad superficial para el verano de 2009. (Schneider *et al.*, 2014).



# **A N E X O VII**

---

## Bases de Datos

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

- Base de datos archipiélago de las Gaitecas
  - Base de Datos Isla Magdalena ACHS
    - Base de datos XI Región
      - Bases Conectividad
        - Videos



## **A N E X O V I I I**

---

Ecuaciones involucradas en procesamiento  
de corrientes remolcadas.





El **Método de Joyce** (1989, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 6, 169-172)

y método de **Pollard & Reid** (1989) se basan en :

$$\tan \alpha = \frac{\langle u_{bt}v_{sh} - v_{bt}u_{sh} \rangle}{\langle u_{bt}u_{sh} + v_{bt}v_{sh} \rangle}$$

$$1 + \beta = [\langle u_{sh}^2 + v_{sh}^2 \rangle / \langle u_{bt}^2 + v_{bt}^2 \rangle]^{1/2}$$

$$u_{corr} = [1 + \beta] [u \cos \alpha - v \sin \alpha]$$

$$v_{corr} = [1 + \beta] [u \sin \alpha + v \cos \alpha]$$

Donde:

$u_{bt}$  componente Este de la velocidad del BT

$u_{sh}$  componente Este de la velocidad de navegación (del GPS)

$u$  componente Este de la velocidad de la corriente medida por el ADCP

$u_{corr}$  componente de velocidad Este corregida

< > Indica promedio a través de un transecto

- Para la **Rotación de los ejes de coordenadas** respecto al eje de mayor variabilidad se emplea lo siguiente (solo si es necesario)

$$x' = x \cos \varphi + y \sin \varphi,$$

$$y' = -x \sin \varphi + y \cos \varphi.$$



### Análisis Arm3nico

El flujo U puede ser representado como la suma de los arm3nicos:

$$u' = u_0 + \sum_{j=1}^M A_j \sin(\omega_j t + \phi_j)$$

**Donde:**

$u_0$  = velocidad residual.

$A$  = amplitud.

$\phi$  = fase.

$\omega$  = frecuencia angular.

Para un arm3nico M1 (constituyente diurna o semidiurnas)

$$u' = u_0 + A_1 \sin(\omega_1 t + \phi_1)$$

Luego:

$$u' = u_0 + a_1 \sin(\omega_1 t) + b_1 \cos(\omega_1 t)$$

si:

$$a_1 = A_1 \cos \phi_1$$

$$b_1 = A_1 \sin \phi_1$$

Error cuadrático:

$$\varepsilon^2 = \sum^N [u - u']^2 = u^2 - 2uu' + u'^2$$

Usando

$$u' = u_0 + a_1 \sin(\omega_1 t) + b_1 \cos(\omega_1 t)$$

Entonces:

$$\varepsilon^2 = \sum^N \{ u^2 - 2uu_0 - 2ua_1 \sin(\omega_1 t) - 2ub_1 \cos(\omega_1 t) + u_0^2 + 2u_0a_1 \sin(\omega_1 t) + 2u_0b_1 \cos(\omega_1 t) + 2a_1b_1 \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) + a_1^2 \sin^2(\omega_1 t) + b_1^2 \cos^2(\omega_1 t) \}$$

Entonces para encontrar la mínima distancia entre valores te3ricos y observados necesitamos minimizar el error con respecto a  $u_0, a_1, b_1$



$$\delta \varepsilon^2 / \delta u_0 = \Sigma^N \{-2u + 2u_0 + 2a_1 \sin(\omega_1 t) + 2b_1 \cos(\omega_1 t)\} = 0$$

$$\delta \varepsilon^2 / \delta a_1 = \Sigma^N \{-2u \sin(\omega_1 t) + 2u_0 \sin(\omega_1 t) + 2b_1 \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) + 2a_1 \sin^2(\omega_1 t)\} = 0$$

$$\delta \varepsilon^2 / \delta b_1 = \Sigma^N \{-2u \cos(\omega_1 t) + 2u_0 \cos(\omega_1 t) + 2a_1 \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) + 2b_1 \cos^2(\omega_1 t)\} = 0$$

$$\Sigma^N \{-2u + 2u_0 + 2a_1 \sin(\omega_1 t) + 2b_1 \cos(\omega_1 t)\} = 0$$

$$\Sigma^N \{-2u \sin(\omega_1 t) + 2u_0 \sin(\omega_1 t) + 2b_1 \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) + 2a_1 \sin^2(\omega_1 t)\} = 0$$

$$\Sigma^N \{-2u \cos(\omega_1 t) + 2u_0 \cos(\omega_1 t) + 2a_1 \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) + 2b_1 \cos^2(\omega_1 t)\} = 0$$

Reordenando:

$$\Sigma^N \{u = u_0 + a_1 \sin(\omega_1 t) + b_1 \cos(\omega_1 t)\}$$

$$\Sigma^N \{u \sin(\omega_1 t) = u_0 \sin(\omega_1 t) + b_1 \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) + a_1 \sin^2(\omega_1 t)\}$$

$$\Sigma^N \{u \cos(\omega_1 t) = u_0 \cos(\omega_1 t) + a_1 \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) + b_1 \cos^2(\omega_1 t)\}$$

$$\begin{bmatrix} \Sigma^N u \\ \Sigma^N u \sin(\omega_1 t) \\ \Sigma^N u \cos(\omega_1 t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \Sigma^N \sin(\omega_1 t) & \Sigma^N \cos(\omega_1 t) \\ \Sigma^N \sin(\omega_1 t) & \Sigma^N \sin^2(\omega_1 t) & \Sigma^N \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) \\ \Sigma^N \cos(\omega_1 t) & \Sigma^N \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) & \Sigma^N \cos^2(\omega_1 t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0 \\ a_1 \\ b_1 \end{bmatrix}$$



Si existen 2 armónicos:

A=

$$\begin{pmatrix}
 N & \sum^N \sin(\omega_1 t) & \sum^N \cos(\omega_1 t) & \sum^N \sin(\omega_2 t) & \sum^N \cos(\omega_2 t) \\
 \sum^N \sin(\omega_1 t) & \sum^N \sin^2(\omega_1 t) & \sum^N \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) & \sum^N \sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t) & \sum^N \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) \\
 \sum^N \cos(\omega_1 t) & \sum^N \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_1 t) & \sum^N \cos^2(\omega_1 t) & \sum^N \cos(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t) & \sum^N \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) \\
 \sum^N \sin(\omega_2 t) & \sum^N \sin(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t) & \sum^N \cos(\omega_1 t) \sin(\omega_2 t) & \sum^N \sin^2(\omega_2 t) & \sum^N \sin(\omega_2 t) \cos(\omega_2 t) \\
 \sum^N \cos(\omega_2 t) & \sum^N \sin(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) & \sum^N \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t) & \sum^N \sin(\omega_2 t) \cos(\omega_2 t) & \sum^N \cos^2(\omega_2 t)
 \end{pmatrix}$$

B=

$$\begin{pmatrix}
 \sum^N u \\
 \sum^N u \sin(\omega_1 t) \\
 \sum^N u \cos(\omega_1 t) \\
 \sum^N u \sin(\omega_2 t) \\
 \sum^N u \cos(\omega_2 t)
 \end{pmatrix}$$

X=

$$\begin{pmatrix}
 u_0 \\
 a_1 \\
 b_1 \\
 a_2 \\
 b_2
 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1} \mathbf{B}$$



Bondad de Ajuste:

$$\frac{\sum [ < u_{\text{obs}} > - u_{\text{pred}} ]^2}{\sum [ < u_{\text{obs}} > - u_{\text{obs}} ]^2}$$

Error medio cuadrático:

$$[ 1/N \sum (u_{\text{obs}} - u_{\text{pred}})^2 ]^{1/2}$$





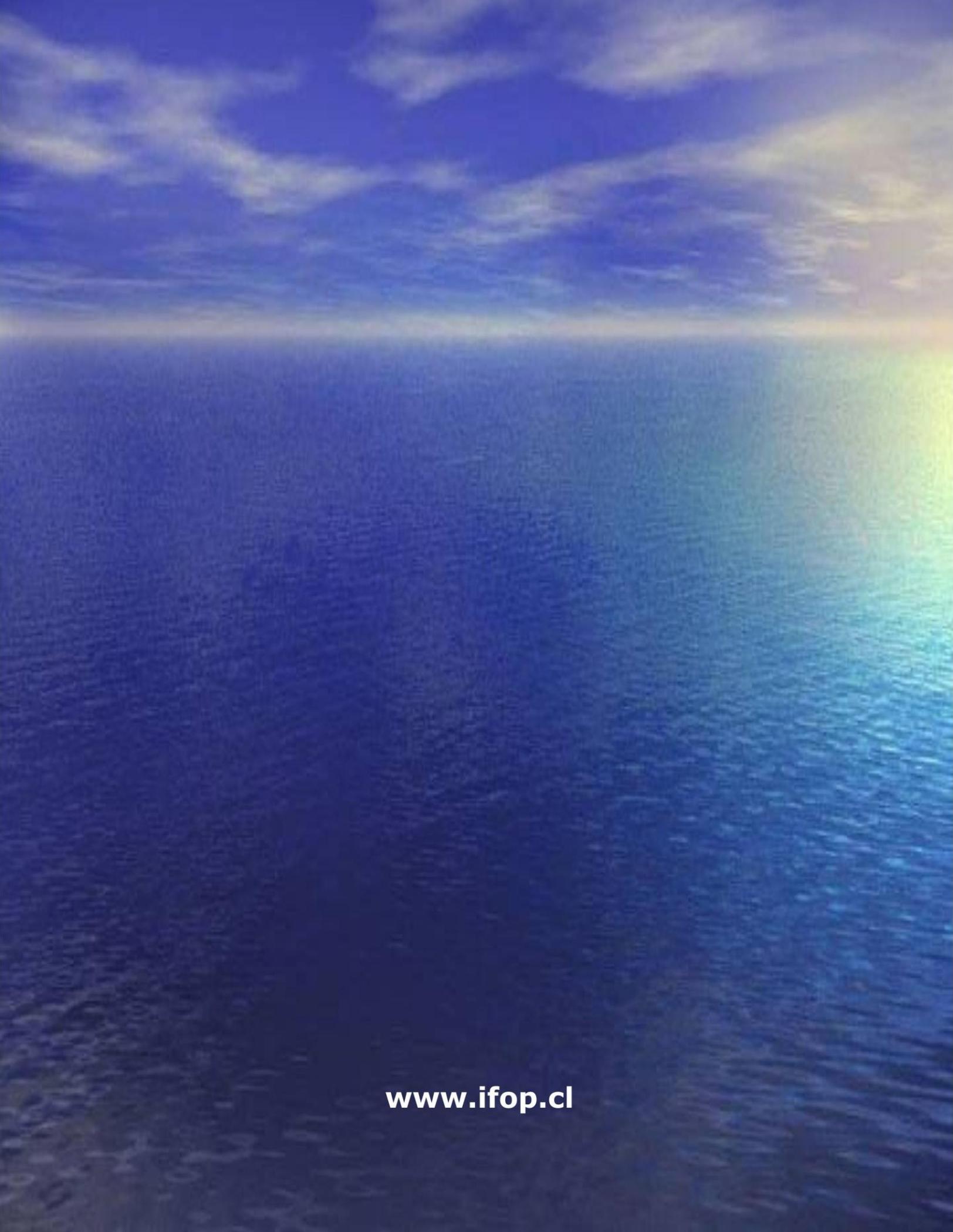
---

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**

Sección Ediciones y Producción  
Almte. Manuel Blanco Encalada 839,  
Fono 56-32-2151500  
Valparaíso, Chile  
[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)

---





[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)