



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
OCEANOGRÁFICAS



INFLUENCIA DEL CAÑÓN SUBMARINO DEL BÍOBÍO EN LA CIRCULACIÓN
COSTERA

Daniel Eduardo Reiman Durán



Seminario de título presentado al
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCION

Para optar al Título de
BIOLOGO MARINO

Concepción - Chile

2016

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

Este Seminario de Título ha sido realizado en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.

Profesor Guía

Dr. Marcus Sobarzo Bustamante

Ha sido aprobada por la
Siguiete Comisión
Evaluadora



Dr. Fabián Tapia Jorquera

Dr. Diego Narváez Rodríguez

Jefe de Carrera.

Dr. Ariel Valenzuela Saldías

DEDICATORIA

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”



A mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía Dr. Marcus Sobarzo, quien me instruyó en la realización de mi seminario de título y me dio la posibilidad de realizar este trabajo. A los miembros de la comisión evaluadora Dr. Fabían Tapia y Dr. Diego Narváez por ser parte de la evaluación.

A el Dr. Luis Bravo, Camila Soto y Claudio Iturra que me ayudaron y enseñaron a usar los programas para preprocesar y procesar los datos.

Al proyecto FONDECYT N° 1130648 denominado “The Influence of a submarine canyon on the poleward flow in a highly productive upwelling system (Central Chile)” por otorgar la posibilidad de realizar este seminario.



INDICE

INDICE DE FIGURAS	i
INDICE DE TABLAS	ii
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1.- INTRODUCCION	12
1.1 Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos.....	15
2.-MATERIALES Y METODOS	16
2.1 Área de estudio.....	16
2.2 Vientos y corrientes.....	16
2.3 Pre-procesamiento de datos.....	17
2.4 Metodologías de análisis.....	17
3.-RESULTADOS	18
3.1 Dispersión horizontal del viento.....	18
3.2 Dispersión horizontal y estructura vertical media de la corriente total.....	18
3.3 Estadística básica de las velocidades de corrientes totales.....	19
3.4 Análisis en el dominio de la frecuencia de las corrientes y el viento.....	20
3.5 Análisis armónico de mareas.....	21
3.6 Corrientes y vientos submareales.....	23
3.6.1 Diagramas de vector progresivo filtrados.....	23
3.7 Estructura vertical de la corriente subinercial (EOF).....	24
4.-DISCUSION	52
5.-CONCLUSIONES	54
6.-BIBLIOGRAFIA	55

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa general del área de estudio.....	25
Figura 2: Mapa de la cabecera del cañón submarino del río Biobío, M01 M02 son los ADCP, punto azul la estación meteorológica.....	25
Figura 3: Dispersión de la corriente total en 16 niveles de profundidad. Anclaje M02. En azul los ejes principales de variabilidad. La flecha negra muestra el flujo medio.....	26
Figura 4: Dispersión de la corriente total en 16 niveles de profundidad. Anclaje M01, En azul los ejes principales de variabilidad. La flecha negra muestra el flujo medio. Indicar fecha.....	27
Figura 5: Dispersión del viento. En rojo ejes principales de variabilidad. La flecha negra representa el eje de flujo medio.....	28
Figura 6: Resumen de los ejes de flujo medio en todas las profundidades. Anclaje M02.....	29
Figura 7: Resumen de los ejes de flujo medio en todas las profundidades. Anclaje M01.....	29
Figura 8: Promedio de la velocidad meridional y zonal en anclaje M02.....	30
Figura 9: Promedio de la velocidad meridional y zonal en anclaje M01.....	30
Figura 10: Espectro vectorial en anclaje M02.....	31
Figura 11: Espectro rotatorio en anclaje M02.....	31
Figura 12: Espectro vectorial en anclaje M01.....	32
Figura 13: Espectro rotatorio en anclaje M01.....	32
Figura 14: Espectro vectorial y rotatorio del viento.....	33

Figura 15: Porcentaje de varianza explicado por constituyentes mareales significativas en anclaje M02.....	33
Figura 16: Porcentaje de varianza explicado por constituyentes mareales significativas en anclaje M01.....	34
Figura 17: Series de tiempo submareales de viento, nivel del mar y componente zonal de las corrientes en anclaje M02.....	34
Figura 18: Series de tiempo submareales de viento, nivel del mar y componente meridional de las corrientes en anclaje M02.....	36
Figura 19: Series de tiempo submareales de viento, nivel del mar y componente zonal de las corrientes en anclaje M01.....	37
Figura 20: Series de tiempo submareales del viento, nivel del mar y componente meridional de las corrientes en anclaje M01.....	38
Figura 21: Diagramas de vector progresivo. Niveles 7-34 m en anclaje M02..	39
Figura 22: Diagramas de vector progresivo. Niveles 35-62 m en anclaje M02.	39
Figura 23: Diagramas de vector progresivo. Niveles 63-88 en anclaje M02....	40
Figura 24: Diagramas de vector progresivo. Niveles 89-120 en anclaje M02...	40
Figura 25: Diagramas de vector progresivo. Niveles 12-47 m en anclaje M01.....	41
Figura 26: Diagramas de vector progresivo. Niveles 48-83 m en anclaje M01.....	41
Figura 27: Diagramas de vector progresivo. Niveles 84-119 m en anclaje M01.....	42
Figura 28: Diagramas de vector progresivo. Niveles 120-150 m en anclaje M01.....	42

Figura 29: Amplitud modos verticales 1 y 2 para anclaje M02 y su relación con el nivel del mar y el viento submareal..... 43

Figura 30: Amplitud de modos verticales 1 y 2 y su relación con series submareales de corriente a tres profundidades para el anclaje M02.44

Figura 31: Amplitud modos verticales 1 y 2 para anclaje M01 y su relación con el nivel del mar y el viento submareal.45

Figura 32: Amplitud de modos verticales 1 y 2 y su relación con series submareales de corriente a tres profundidades para el anclaje M01.46



INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estadística básica de la corriente para anclaje M02.....	47
Tabla 2: Estadística básica de las corrientes para el anclaje M01.....	48
Tabla 3: Resumen información entregada por diagramas de vector progresivo para anclaje M02.....	49
Tabla 4: Resumen de información entregada por diagramas de vector progresivo para anclaje M01.....	50



RESUMEN

Según la teoría clásica se muestra que, para líneas de costa rectas y de batimetría sencilla, la circulación media en la plataforma interior se compone de un flujo superficial de corrientes hacia el ecuador, cuando los vientos favorables a surgencia se intensifican y flujos hacia el polo cuando estos vientos se relajan o cambian de dirección, y de una corriente subsuperficial hacia los polos. Los cañones submarinos representan una complicación para esta evidencia ya que constituyen valles submarinos de grandes dimensiones próximos a la costa que alteran el flujo costero. En particular, el cañón submarino del Biobío ubicado al suroeste de la desembocadura del río Biobío ($36^{\circ}52'S$), es uno de los más importantes de Chile Centro Sur, con una longitud de alrededor de 105 km, de ancho variable y con profundidades que van desde 20 m, en su lado costero más somero, hasta alrededor de 1200 m, en su lado oceánico más profundo. En este seminario se estudió la influencia de la cabecera de este cañón submarino sobre la circulación costera mediante el uso de dos perfiladores acústicos de corrientes (ADCP) anclados durante 30 días en la primavera del año 2013. Estas observaciones fueron acompañadas por mediciones de viento mediante una estación meteorológica instalada en punta Hualpén ($36^{\circ}46'S$; $73^{\circ}11'W$) y por mediciones de temperatura de la columna de agua en seis profundidades usando cadenas de termistores ancladas junto a los ADCP. Se observó que producto de la variación en el nivel del mar se produjeron flujos hacia el norte y que la cabecera del cañón submarino modificó la circulación produciendo eventos de surgencia dentro de la cabecera del cañón. Las corrientes se encuentran en equilibrio geostrofico ya que las corrientes mareales sólo explicaron cerca del 20% de la varianza de la corriente total y el viento no se logró correlacionar con la dirección de las corrientes. El análisis espectral indicó que la mayor parte de la energía se encuentra asociada a eventos de período mayor a las 24 h.

ABSTRACT

According to the classical theory it shows that for shorelines straight and simple bathymetry, the average circulation in the inner platform consists of a surface stream flows to the Ecuador, when favorable winds upwelling intensify and flows poleward when these winds relax or change direction, and a poleward undercurrent. Submarine canyons represent a complication to this evidence as they are large submarine valleys near the coast that alter the coastal flow dimensions. In particular, the submarine canyon of Biobio located southwest of the mouth of the Biobio River ($36^{\circ} 52'S$), is one of the most important in Chile South Centre, with a length of about 105 km, of variable width and depths ranging from 20 m in the shallower coastal side, until about 1200 m, in its deepest ocean side. In this seminar the influence of the head of this submarine canyon on the coastal circulation by using two acoustic current profilers (ADCP) anchored for 30 days in the spring of 2013. These observations were accompanied by wind measurements was studied by a weather station installed in Hualpén tip ($36^{\circ} 46'S$, $73^{\circ} 11'W$) and temperature measurements of the water column in six depths using thermistors chains anchored by ADCP. It was observed that the product of the variation in sea level occurred flows to the north and the head of the submarine canyon circulation producing modified upwelling events within the head of the canyon. The currents are in geostrophic balance as tidal currents only accounted for about 20% of the variance of the total current and the wind was not possible to correlate with the direction of the currents. Spectral analysis indicated that most of the energy is associated with events greater at 24 h period.

1.-INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el balance de Ekman, los sistemas atmosféricos anticiclónicos de latitudes medias, en las zonas de surgencia de borde oriental de los océanos, aportarán con vientos que inducirán corrientes hacia la alta presión con la consiguiente divergencia de aguas de la costa y la surgencia de aguas subsuperficiales.

En este escenario, la circulación costera sobre la plataforma continental frente a Concepción está dominada por un régimen de surgencia/hundimiento que se caracteriza por períodos de intensificación y relajación relacionados con el cambio en el forzamiento del viento (Mesias, 2003; Sobarzo *et al.*, 2007) y por generar una corriente superficial hacia el ecuador y una contra corriente de fondo hacia el sur (Sobarzo, 1999). Diversos estudios sobre surgencia estacional realizados en Chile central han permitido comprender el ciclo de surgencia y hundimiento costero y sus vientos asociados, además de la circulación de las corrientes asociada a estos ciclos (Letelier *et al.*,2009; Mesias, 2003; Sobarzo *et al.*, 2001; Sobarzo, 2004).

La circulación costera según la evidencia observacional sobre costas lisas y batimetría sencilla se compone principalmente de flujos superficiales de corrientes hacia el ecuador, cuando los vientos favorables a surgencia se intensifican, y flujos hacia el polo cuando los vientos favorables a surgencia se relajan o cambian y de una corriente subsuperficial hacia los polos (Neshyba *et al.*, 1989). Las corrientes superficiales hacia el ecuador involucran, principalmente, aguas frías, salinas, ricas en nutrientes y pobres en oxígeno disuelto (Sobarzo, 1999; Morales *et al.*, 2007).

La generación de corrientes cálidas hacia el polo después de la relajación de los vientos favorables a surgencia es, en general, una característica de los sistemas de surgencia de borde oriental (Melton *et al.*, 2009). Cuando los vientos desde el suroeste se relajan, el gradiente de presión meridional provoca una aceleración hacia el norte (sur) en el hemisferio norte (sur). Este mecanismo ha sido usado

para explicar la rápida reversión del flujo en la plataforma noroeste del Pacífico Norte (Hickey, 1984). Las corrientes hacia el polo desplazan temporalmente el agua de surgencia y causan aumentos bruscos de temperatura sobre la plataforma interior (Melton *et al.*, 2009).

Además de la influencia del viento, la circulación costera se ve afectada por las modificaciones introducidas por rasgos topográficos tales como cabos, cañones y bancos submarinos (Sobarzo, 1999). Aunque el efecto de la topografía en la inducción de la surgencia es un factor importante, la surgencia inducida por el efecto del viento tiene una influencia mucho más significativa y, por ende, se debe considerar el viento y su alta variabilidad cerca de la costa (Figueroa *et al.*, 2000). Los cañones submarinos son un tipo de valles submarinos de grandes dimensiones cuyo origen y evolución son temas de controversia en la geología marina (Pineda, 1999). Una de las teorías más aceptadas sobre su origen está relacionada con la erosión de laderas producto de derrumbes marinos y corrientes de turbidez (Harris *et al.*, 2011). El término cañón submarino se emplea para valles rectos o sinuosos que cortan el talud y la plataforma continental, generalmente tienen paredes con pendientes abruptas (Pineda, 1999). Los cañones submarinos son importantes para el ecosistema marino porque son vías de transporte de sedimentos y agua entre las zonas costeras y el océano abierto e influyen en los procesos oceanográficos costeros (Allen *et al.*, 2009).

Los cañones submarinos pueden actuar como canales que conducen aguas profundas y densas del océano hacia las zonas más bajas de la plataforma o como regiones de mayor mezcla que amplifican las ondas internas (Allen *et al.*, 2009). Además, pueden modificar las corrientes dependiendo de su geometría y estratificación. Si tenemos un cañón submarino perpendicular a la costa y un flujo supuestamente geostrofico que se mueve paralelo a la costa, éste puede ganar vorticidad relativa sobre el cañón, provocando que el balance geostrofico sea descompensado favoreciendo la generación de flujos verticales siguiendo el eje transversal del cañón y provocando surgencia o hundimiento en la costa (Klinck, 1989). También influye en la circulación el ancho del cañón submarino ya que si

este ancho es mayor que el número de Rossby baroclínico el efecto de la rotación será importante y la circulación se concentrará dentro del cañón. Si el cañón es estrecho relativo al radio de Rossby, la mayor parte del flujo pasará sobre el cañón con una perturbación mínima (Sobarzo, 1999).

Se han realizado diversos estudios y experimentos numéricos sobre la surgencia – hundimiento asociado a cañones submarinos (Haney, 1991; Allen *et al*, 2003; Boyer *et al*, 2004; Dawe and Allen, 2008). Sin embargo, debido a las topografías costeras complejas y a la estratificación del océano costero, es difícil la generación de modelos numéricos que caractericen exactamente la circulación. Klinck (1989), desarrolló un modelo analítico de la interacción de una corriente geostrófica homogénea con un cañón submarino transversal a la costa. El cañón fue representado por un canal rectangular en la parte inferior de un océano plano. El flujo fue impulsado por un gradiente de presión a lo largo del cañón. Las soluciones para un cañón de ancho arbitrario se componen de ondas sobre el cañón y ondas radiando a los lados del cañón. Se mostró que el ancho del cañón determina la fuerza de la corriente transversal del cañón y a su vez el efecto del cañón en la corriente costera. Otros estudios plantean que, en las capas en contacto con el fondo, donde el cañón cambia la profundidad, no hay flujo transversal a los contornos de profundidad, sino que el flujo tiende a seguir la batimetría, es decir la circulación de fondo sigue el sentido del cañón submarino (Sobarzo, 1999; Allen, 2000). La caracterización de la dinámica de cañones genéricos debe ser probada con cañones reales con topografía compleja, con estratificación real que varía en profundidad, con corrientes entrantes complicadas y con la rugosidad del fondo a todas las escalas espaciales y temporales. También se tienen que cuantificar los procesos y, en particular, cuantificar los flujos netos de nutrientes, carbono, calor y sal (Allen *et al.*, 2009).

En resumen, hay una gran variedad de procesos físicos asociados a los cañones submarinos, varios de los cuales no se conocen bien. En particular, observaciones temporales de corrientes dentro y cerca de los cañones submarinos son escasas. Estas corrientes pueden provenir de una variedad de

fuentes con una amplia gama de escalas de tiempo y espacio, incluyendo corrientes asociadas a la circulación de océano abierto, estructuras de mesoescala, corrientes impulsadas por el viento, efectos termohalinos, geostrofia y ondas de gravedad.

1.1 Hipótesis: El viento no influye en la circulación de la columna de agua en la cabecera del cañón submarino del Biobío.

1.2 Objetivo General

Caracterizar la circulación superficial y subsuperficial sobre la cabecera del cañón submarino del Biobío en relación con el ciclo de intensificación-relajación de los vientos durante primavera.

1.3 Objetivos específicos

- a. Caracterizar la variabilidad temporal del régimen de vientos durante un período de primavera.
- b. Caracterizar las corrientes marinas asociadas a la cabecera del cañón del Biobío.
- c. Evaluar la influencia de las corrientes subinerciales en la cabecera del cañón submarino.
- d. Evaluar el rol del cañón submarino sobre la circulación costera local.



2.- MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1 Área de Estudio:

El cañón submarino del Biobío se encuentra ubicado en medio de una línea de costa compleja ($36^{\circ}50'S$; $73^{\circ}15'W$) y hacia la parte norte del golfo de Arauco (Figura 1). Se dispone transversal a la plataforma continental alcanzando cerca de 105 km desde la costa hasta el talud continental. Su cabecera se ubica cerca de la desembocadura del río Biobío donde alcanza profundidades de hasta 200 m (Figura 2).

2.2.- Vientos y corrientes:

Los datos de vientos se obtuvieron de una estación meteorológica ubicada en la península de Hualpén, específicamente en el sector faro punta Hualpén ($36^{\circ}46'S$; $73^{\circ}11'W$) (Figura 2). A partir de esta estación se obtuvo una serie de tiempo con la magnitud y dirección del viento de dos meses de duración (noviembre y diciembre del año 2013) y con una frecuencia de muestreo de 10 minutos.

Las mediciones de magnitud y dirección de las corrientes se obtuvieron a partir de dos Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) de 300 KHz, modelo WORKHORSE, fabricados por RD Instruments. Estos instrumentos se anclaron en las cercanías del eje principal del cañón (Figura 2) y hacia la costa específicamente a 120 m (M02) ($36^{\circ}50.115'S$; $73^{\circ}11.219'W$) y 150 m (M01) ($36^{\circ}49.758'S$; $73^{\circ}13.55'W$). Los ADCPs realizaron mediciones a intervalos de 10 minutos, con celdas de tres (M02) y seis (M01) metros de resolución vertical, respectivamente. Junto a los ADCPs se anclaron dos cadenas de termistores equipadas con 5 sensores de temperatura HOBO Temp pro y un sensor de presión HOBO U20 water level, cada una. Todos estos instrumentos se programaron para realizar mediciones cada 10 minutos en el período comprendido entre el 9 de noviembre hasta el 18 de diciembre de 2013. Sólo se pudo recuperar los 2 ADCP y una cadena de termistores (M02).

2.3. Pre-procesamiento de datos.

Los datos de los ADCP, termistores ONSET y de la estación meteorológica fueron leídos y pre procesados a través de sus respectivos programas, vale decir, WIND RIVER I, HOBOWare y CAMPBELL, respectivamente.

2.4.- Metodologías de análisis.

Los datos de corrientes obtenidos de los ADCP fueron corregidos por la desviación magnética local, promediados en forma horaria y separados en sus componentes norte-sur y este-oeste. De la misma forma los datos de viento obtenidos de la estación meteorológica se descompusieron en componentes norte-sur y este-oeste. Primero se realizó una descripción básica de las corrientes totales y el viento en el dominio del tiempo mediante gráficos de dispersión y tablas de estadística básica. Luego se realizó un análisis de las corrientes totales y el viento en el dominio de la frecuencia usando un paquete de análisis de espectro vectorial y rotatorio. Para esto la serie de tiempo se dividió 6 trozos de 124 horas. Se utilizó el paquete de análisis T_TIDE (Pawlowics, 2002) para filtrar las mareas obteniendo una serie mareal y una serie de tiempo sin mareas (detided). Posteriormente a la serie detided se le aplicó un filtro coseno Lanczos de 121 pesos para obtener corrientes submareales. Este filtro posee una potencia de corte de 40 horas y elimina las frecuencias inerciales, semidiurnas y diurnas dejando solo las oscilaciones submareales en las que se centra este estudio. Este filtro se aplicó también a las series de tiempo de viento y temperatura.

3.- RESULTADOS

3.1 Dispersión horizontal del viento.

El viento se dispersó principalmente en su eje N-S con un flujo medio hacia el NNE (Fig. 5). Los ejes de flujo medio (EFM) para el anclaje M02 se orientaron hacia al sur-este en la superficie y hacia el oeste en el mayor parte de la columna de agua (Fig. 6). Los EFM para el anclaje M01 se orientaron hacia el este en la capa más superficial y la mayor parte de la columna de agua se movió hacia el sur (Fig. 7). La estructura vertical media de la corriente en M02 mostró un flujo hacia el este y el norte en la capa más superficiales variando su dirección a suroeste entre 40 y 80 m de profundidad y dirección noroeste bajo

3.2 Dispersión horizontal y estructura vertical media de la corriente total.

En el anclaje M02 la corriente total se distribuyó en forma circular aproximadamente hasta los 51 m (Fig. 3). En cambio, desde los 57 m hacia el fondo las corrientes se distribuyeron, cada vez más, en la dirección transversal a la costa, siguiendo el eje principal del cañón (Fig. 2). En el anclaje M01 las corrientes superficiales, hasta los 66 m, aproximadamente, se distribuyeron en un eje predominante SE-NO (Fig. 4). Desde los 100 m hacia el fondo, las corrientes totales tendieron nuevamente a una distribución a lo largo del eje principal del cañón.

los 80 m (Fig. 8). En el anclaje M01 el flujo medio superficial mostró dirección noreste, variando a sur en las capas más profundas (Fig. 9).

3.3 Estadística básica de las velocidades de corrientes totales.

Se realizó la estadística básica para los datos de velocidad de la corriente total del anclaje M02. Las velocidades medias en la componente zonal oscilaron entre 2,08 cm/s y -2,84 cm/s principalmente con dirección hacia el oeste. La desviación estándar varió entre 3,08 y 5,66 y disminuyó con el aumento de la profundidad

(Tabla 1). En la componente meridional los promedios de velocidad variaron entre 0,64 cm/s y -0,75 cm/s principalmente con dirección hacia el norte. La desviación estándar mostró valores entre 1,27 y 5,64 con menor dispersión de datos a medida que aumenta la profundidad. El anclaje M01 en su componente zonal mostró promedios de velocidad que oscilaron entre -0,22 cm/s y 4,49 cm/s, en promedio la corriente se dirigió hacia el Este (Tabla 2). La desviación estándar para la componente zonal (u) varió entre 4,94 y 6,09, con valores más altos que las mediciones del anclaje M02. La componente meridional (v) del anclaje M01 mostró promedios de velocidad de corriente entre -0,73 cm/s y -4,501 cm/s. la dirección promedio de la columna de agua en la componente meridional fue hacia el sur. Las desviaciones estándar variaron entre 4,35 y 8,22 disminuyendo con el aumento de la profundidad y con valores más altos que las del anclaje M02.

3.4 Análisis en el dominio de la frecuencia de las corrientes y el viento.

Se realizó análisis en el dominio de la frecuencia (espectros) para cada componente de la velocidad. Además, se construyeron espectros rotatorios para distinguir el sentido de rotación en frecuencias específicas. Para el anclaje M02 se tomaron 3 profundidades a 12 m, 96 m y 114 m (Fig. 10). En la capa superficial y en el espectro zonal se distinguieron tres señales de energía. La mayor fue M2 con $11 \text{ cm}^2/\text{s}^2$, seguido de una señal de baja frecuencia ($10 \text{ cm}^2/\text{s}^2$) y K1 con una energía de $8 \text{ cm}^2/\text{s}^2$. En la componente meridional sólo se distinguió una señal de baja frecuencia y de energía muy alta $18 \text{ cm}^2/\text{s}^2$. En las capas a media agua y fondos las señales en la componente zonal fueron parecidas, pero con menor energía y concentradas en K1 y M2. En cambio, en la componente meridional la capa de media agua mostró una sola señal más débil ($4 \text{ cm}^2/\text{s}^2$) de frecuencia más baja que K1. La capa de fondo mostró una leve señal en M2 de $1 \text{ cm}^2/\text{s}^2$. La mayor parte de la energía en ambas componentes estuvo por sobre las 24 hrs. En el espectro rotatorio la mayor parte de la energía se concentró en las capas superficiales y no tanto en las capas de media agua y fondo (Fig. 11). En el

espectro rotatorio positivo se distinguieron dos señales de energía con la más alta de $14 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ en frecuencias más bajas que K1 y la otra en M2 de $12 \text{ cm}^2/\text{s}^2$. Las capas de media agua y fondo mostraron el mismo patrón solo que con menor energía. En el espectro rotatorio negativo se distinguieron tres señales en la capa superficial. Una de $14 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ en frecuencias más bajas que K1, otra señal en K1 de $8 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ y una tercera señal de $4 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ en M2. Las capas a media profundidad y de fondo solo aparecieron señales inferiores a $5 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ que se concentraron en frecuencias más bajas que K1.

En el anclaje M01 se apreció una gran diferencia entre la energía contenida en la componente meridional con respecto de la componente zonal (Fig. 12), principalmente en la capa superficial y de media agua. En la componente zonal y en la capa superficial se distinguieron tres señales en baja frecuencia, K1 y M2 con energías de $30 \text{ cm}^2/\text{s}^2$, $25 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ y $20 \text{ cm}^2/\text{s}^2$, respectivamente. En la capa de media agua se apreciaron principalmente señales en K1 y M2. En la capa de fondo se distinguieron dos señales con frecuencia K1 y M2. En la componente meridional y en la capa superficial se pudo notar una enorme señal de energía superior a $80 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ en baja frecuencia y otra señal pequeña en M2 ($10 \text{ cm}^2/\text{s}^2$). En la capa de 96 m se apreció una gran señal en baja frecuencia de $30 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ y dos pequeñas señales de $10 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ entre K1 y M2. En la capa de fondo se observó solo una señal de $10 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ en baja frecuencia.

El espectro rotatorio positivo (Fig. 13) mostró una gran señal en baja frecuencia y mayor a $45 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ en la capa superficial. Una segunda señal de $20 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ en K1 y una tercera señal sobre $10 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ en M2. En la capa de media agua las señales estaban mezcladas y se apreció una señal inferior a K1 con una energía de inferior a $20 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ y dos señales entre K1 y M2 con energía similares a $15 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ y en la capa de fondo sólo se distinguió una gran señal de $10 \text{ cm}^2/\text{s}^2$ con frecuencia M2. El espectro rotatorio negativo mostró tres señales importantes en superficie. Baja frecuencia ($60 \text{ cm}^2/\text{s}^2$), M2 ($15 \text{ cm}^2/\text{s}^2$) y K1 ($15 \text{ cm}^2/\text{s}^2$). En la capa de media agua se identificaron dos señales, una en baja frecuencia ($25 \text{ cm}^2/\text{s}^2$) y K1 ($12 \text{ cm}^2/\text{s}^2$), En la capa de fondo se identificaron tres señales. Las

de mayor energía fueron en baja frecuencia y K1 con valores inferiores a $10 \text{ cm}^2/\text{s}^2$. El espectro rotario negativo concentró más energía que el espectro rotario positivo.

En el caso del viento, el espectro por componentes mostró diferencias entre ellas, especialmente en períodos mayores a 24 hrs (Fig. 14). Se apreciaron dos señales claras en ambas componentes en frecuencias de 1 cpd en la componente zonal menor a $4 \text{ m}^2/\text{s}^2$ y cercana a $10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ en la componente meridional. La segunda señal se pudo notar en frecuencias inferiores a 1 cpd en la componente zonal y una gran señal cercana a los $16 \text{ m}^2/\text{s}^2$ en la componente meridional. El espectro rotatorio del viento también presentó una mayor concentración de energía en torno al espectro positivo con una gran señal en frecuencias de 1 cpd en el espectro positivo y cercano a $3 \text{ m}^2/\text{s}^2$ en el espectro negativo. Una segunda señal de baja frecuencia importante fue cercana a $9 \text{ m}^2/\text{s}^2$ en ambos espectros.

3.5 Análisis armónico de mareas.

Se realizó análisis armónico de mareas a través de la herramienta T-TIDES En el caso de M02 la varianza total explicada por los constituyentes mareales significativos, promediando las dos componentes, fue de 19,25% (Fig. 15). Se pudo apreciar que, en la superficie, sobre los 20 m hay mayor varianza explicada llegando casi al 40%. Para el anclaje M01 la varianza total explicada fue de 18,10% (Fig. 16). Se pudo apreciar que sobre los 25 m de profundidad hubo mayor varianza (cercana al 30%). Entre los 25 y 50 m se apreció un leve aumento en la varianza explicada sobre el 20% para luego disminuir con la profundidad. Cercano al fondo (150 m) la varianza aumentó nuevamente superando levemente el 20%.

3.6 Corrientes y vientos submareales.

El viento zonal submareal mostró una dirección predominante hacia el este con valores cercanos los 3 m/s durante todo el período de estudio (Fig. 17). En el nivel del mar mostró oscilaciones del orden de 10 cm. Las corrientes zonales en M02 mostraron predominio hacia el oeste con valores menores a 10 cm/s. La componente meridional del viento mostró dirección favorable a surgencia costera durante todo el período (Fig.18).

El anclaje M01 presentó mayor variación en la circulación de las corrientes submareales (Figs. 19 y 20). En la componente zonal la capa entre 12-59 m osciló entre la dirección este y oeste con velocidades por sobre los 8 cm/s. Las capas intermedias se movieron principalmente en dirección oeste con velocidades bastante menores que la capa superficial. En la componente meridional (Fig. 20), la capa superficial entre 12-59 m osciló entre norte y el sur con velocidades de corrientes que bordearon los 15 cm/s la mayor parte del tiempo. La capa de agua entre 60-107 m entre los días 14 y 18 de noviembre se movió en dirección norte con velocidades cercanas a los 15 cm/s el resto del tiempo se movió en dirección sur con velocidades inferiores a 15 cm/s. En las profundidades entre 108-150 m el agua circuló hacia el sur con pequeñas variaciones hacia el norte salvo.

3.6.1 Diagramas de vector progresivo filtrados.

Los Diagrama de Vector Progresivo (DVP) mostraron la dirección y el desplazamiento de la columna de agua que pasa por el ADCP. Para el anclaje M02 las capas superficiales entre 7-34 m (Fig. 21) se movieron en espiral principalmente en el eje zonal la mayor parte del tiempo con dirección hacia el este con desplazamiento no superiores a los 60 km con excepción de la capa de 7 m y 11 m que describieron un recorrido totalmente diferente moviéndose en sentido noreste y se desplazan hasta 120 km. Para las capas de agua entre 35 m y 62 m (Fig. 22) la circulación en este estrato se movió en sentido oeste desplazándose alrededor de 70 km y 20 km hacia el sur aproximadamente, se

apreció que sigue la isobata. En las capas de agua entre 63 m y 88 m (Fig. 23) se pudo apreciar como la corriente empezó a tomar el sentido de la isobata de la cabecera del cañón submarino del Biobío y se movió principalmente en dirección oeste desplazándose sobre 80 km con una leve inclinación hacia el sur. Para las capas más profundas entre 89 m y 115 m (Fig. 24) se apreció una dirección oeste desplazándose más de 70 km y hacia el norte con desplazamiento entre 0 y 10 km con excepción de dos capas de agua que se desplazaron por sobre los 10 km.

Para el anclaje M01 los DVP, las capas entre los 12 m y 42 m (Fig. 25) se movieron en dirección sur con un desplazamiento de 90 km aproximadamente y hacia el oeste con desplazamiento de entre 10 y 40 km con excepción de la capa de 12 m que tiene un recorrido distinto y se movió en dirección noroeste con un desplazamiento sobre los 60 km. Las capas de agua entre 48 m y 78 m (Fig. 26) se movieron principalmente en dirección sur con un desplazamiento por sobre los 40 km su dirección zonal varía entre este y oeste. Para las profundidades comprendidas entre 84 m y 114 m (Fig. 27) el desplazamiento es espiral y se desplaza menor distancia sobre 40 km hacia el sur, pero es menor que en las capas más superficiales, el desplazamiento zonal varía entre este o este no superando los 20 km en cada sentido. Para las capas de agua más profundas entre 120 m y 144 m (Fig. 28) se apreció que el desplazamiento es circular y menor que las demás capas de agua. Su desplazamiento no es mayor a los 40 km, su sentido es principalmente hacia suroeste.

Se realizaron cálculos de trayectoria residual, dirección residual, velocidad residual, transporte residual y estabilidad de la corriente para cada profundidad en ambos anclajes M01 y M02. Como se puede ver en la tabla 3 en el anclaje M02 la capa superficial hasta los 13 m mostró un desplazamiento residual por sobre los 42 km con velocidad residual superiores a 1.90 cm/s con transporte residual relativamente alto sobre 0.02 m³/s. La estabilidad o parámetro de Neumann varió entre 51 y 56%, las capas de agua bajo los 13 m y hasta los 25 m experimentaron una disminución en el desplazamiento alcanzando valores

mínimos de 3,09 km, 0.14 cm/s, 0,01 m³/s y un porcentaje de estabilidad cercano al 4%. Luego experimentaron un aumento de sus parámetros hasta los valores máximos a los 75 m de profundidad con desplazamientos cercanos a los 60 km, velocidad residual 2.72 cm/s, transporte residual de 0,03 m³/s, pero se alcanzó mayor estabilidad se alcanza a los 97 m con 90 %. Cercano al fondo la columna de agua experimenta una disminución de los parámetros salvo la estabilidad que se mantiene casi constante.

Para el anclaje M01 (Tabla 4) el comportamiento de la columna de agua posee un desplazamiento residual promedio de 70.7 km, una velocidad residual promedio de 2.59 cm/s, un transporte residual promedio de 0.026 m³/s y una estabilidad promedio de 32.48 %. Los parámetros disminuyeron a medida que se acercan al fondo alcanzando a los 120 m valores mínimos de desplazamiento residual 7.76 km, velocidad residual 0.34 cm/s, transporte residual 0.001 m³/s y una estabilidad del 8.06 %.

3.7 Estructura vertical de la corriente subinercial (EOF).

El análisis de EOF para el anclaje M02 mostró que el modo 1 explica el 37.6 % de la variabilidad, el modo 2 explicar el 24.8 % y el modo 3 explica 18.5%, los modos mostraron señales un poco mezcladas, los tres modos explican en total 80.9 de la variabilidad de la serie de tiempo D_TIDE. Se compararon los modos 1 y 2 con el nivel del mar y los vientos filtrados (Fig. 29) y con las corrientes subinerciales a tres profundidades 9 m 63 y 114 m respectivamente (Fig. 30) se pudo apreciar que el modo 1 y 2 se correlaciona mejor con las corrientes subinerciales que con el viento o el nivel del mar. Para el anclaje M01 el análisis de EOF muestra que el modo 1 explicó más de la mitad de la variabilidad de la serie (51.4%), el modo 2 explica el 28.2% de la variabilidad. Se compararon los modos 1 y 2 con el nivel del mar y el viento filtrado (Fig. 31) y con las corrientes a tres profundidades 12 m, 82 m y 144 m respectivamente (Fig. 32) se apreció que los EOF se correlacionan mejor con las corrientes subinerciales.

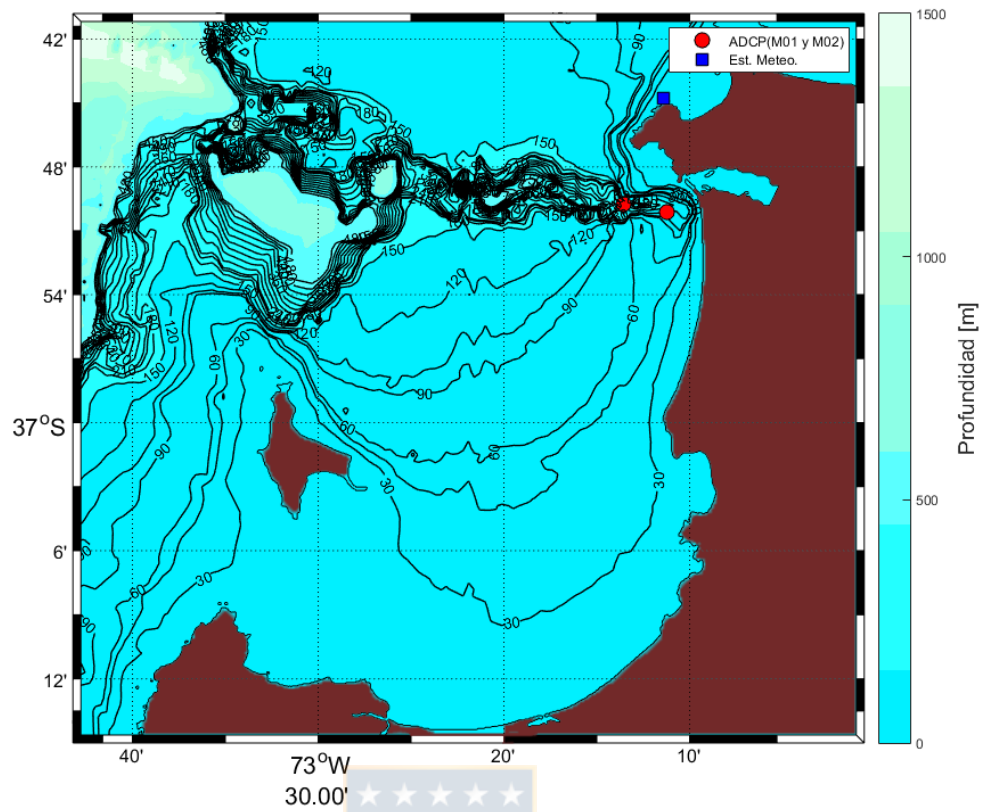


Figura 1: Mapa general del área de estudio.

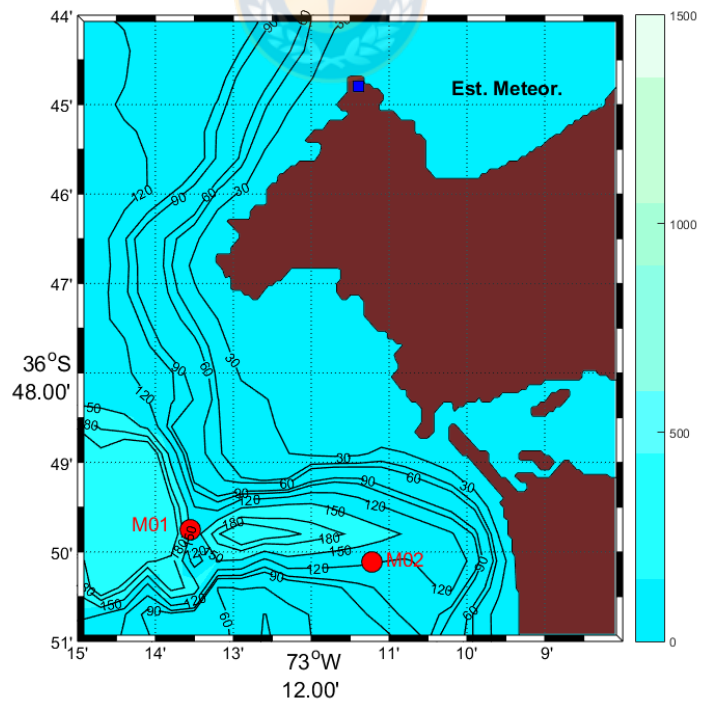


Figura 2: Mapa de la cabecera del cañón submarino del río Biobío, M01 M02 son los ADCP, punto azul la estación meteorológica.

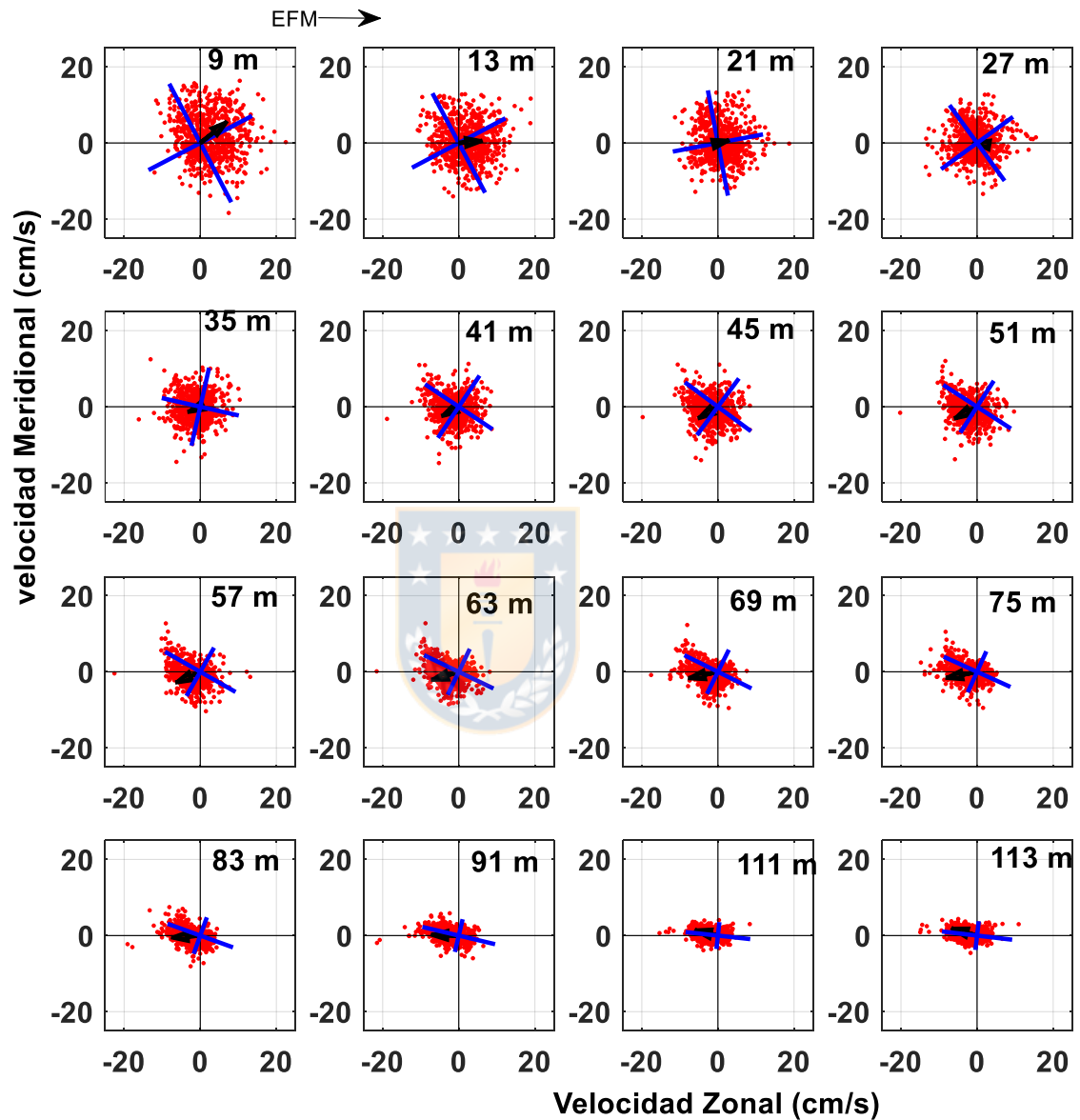


Figura 3: Dispersión de la corriente total en 16 niveles de profundidad. Anclaje M02. En azul los ejes principales de variabilidad. La flecha negra muestra el flujo medio.

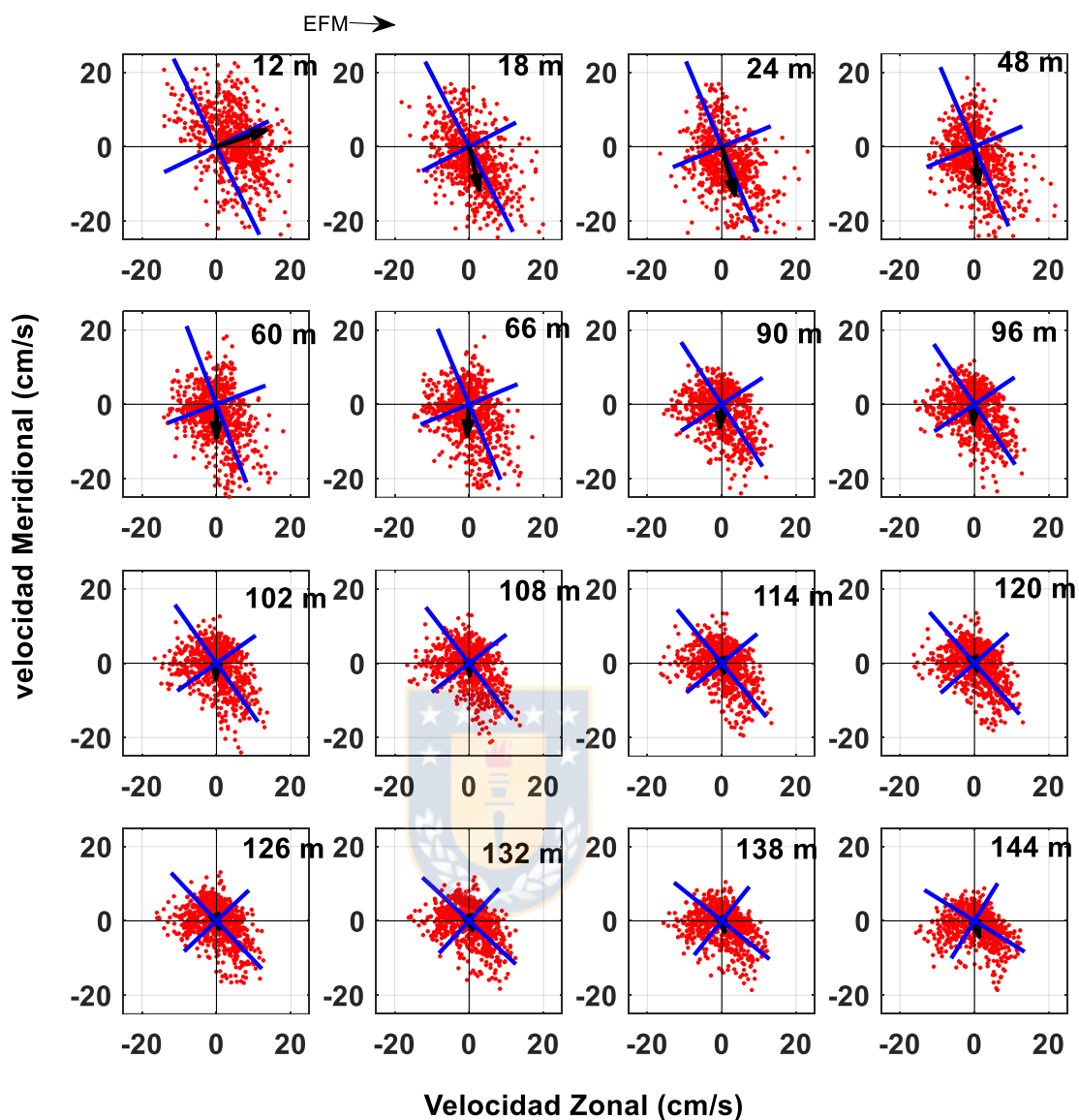


Figura 4: Dispersión de la corriente total en 16 niveles de profundidad. Anclaje M01, En azul los ejes principales de variabilidad. La flecha negra muestra el flujo medio. Indicar fecha.

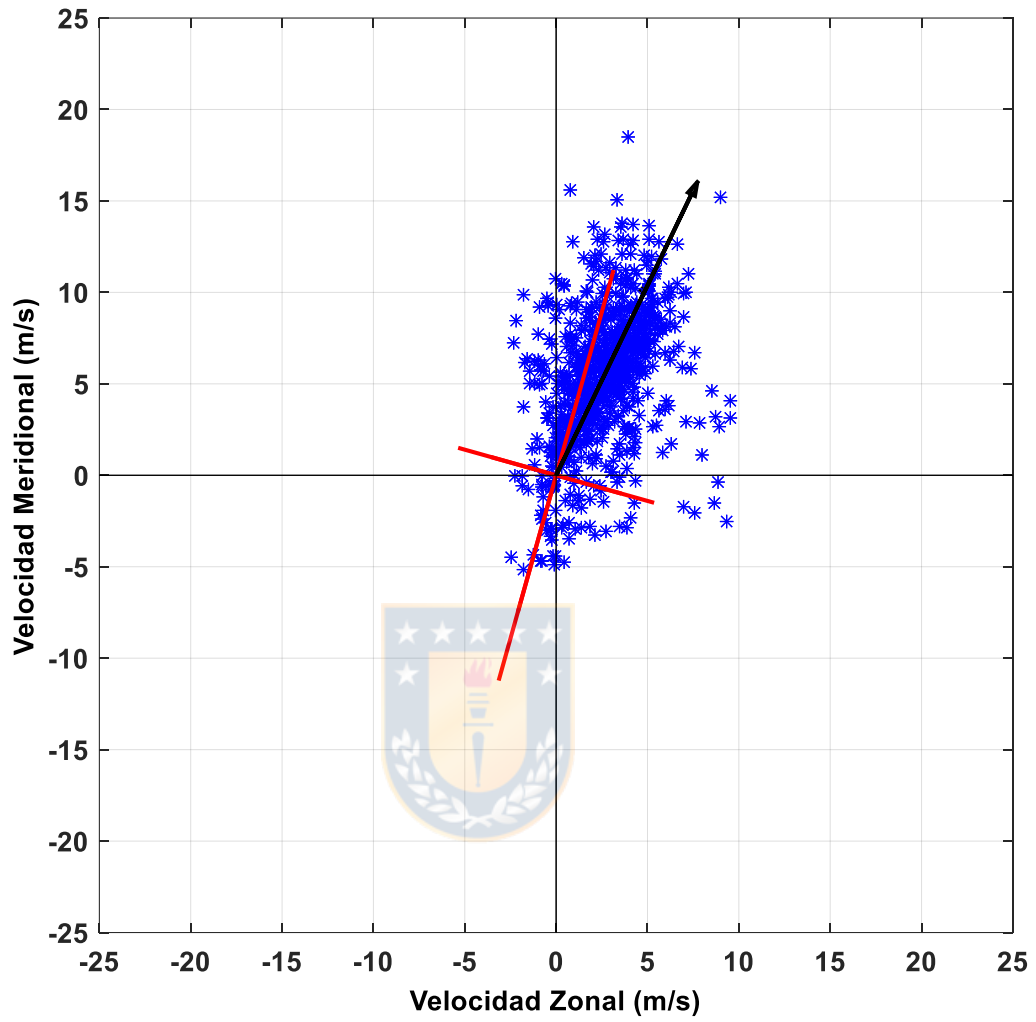


Figura 5: Dispersión del viento. En rojo ejes principales de variabilidad. La flecha negra representa el eje de flujo medio.

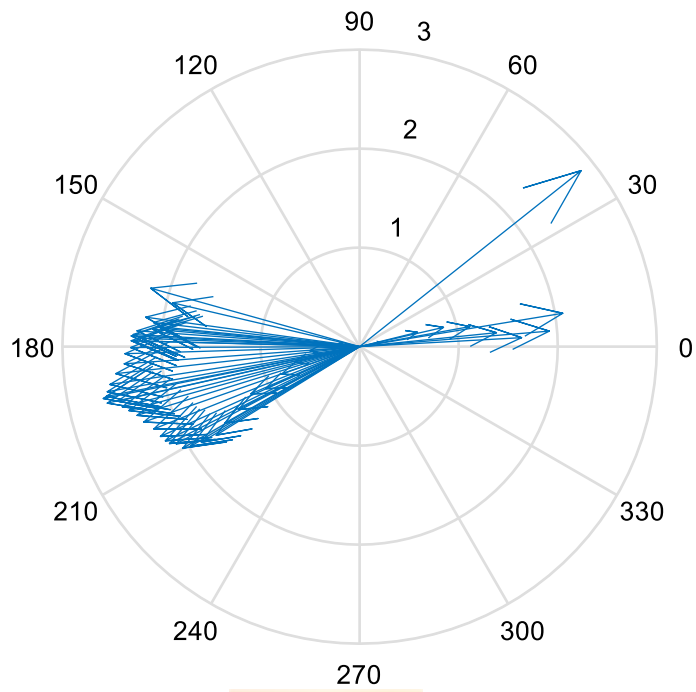


Figura 6: Resumen de los ejes de flujo medio en todas las profundidades. Anclaje M02.

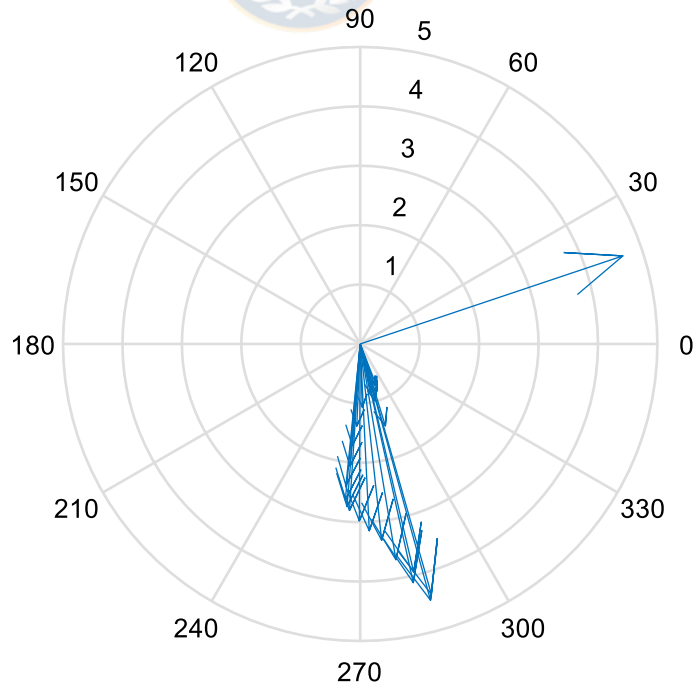
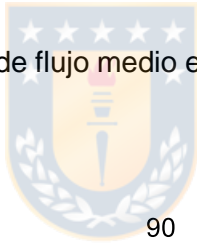


Figura 7: Resumen de los ejes de flujo medio en todas las profundidades. Anclaje M01.

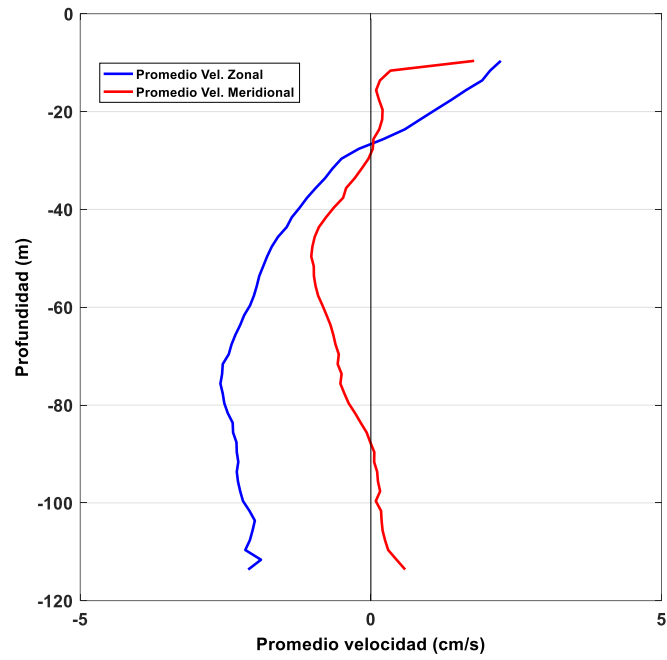


Figura 8: Promedio de la velocidad meridional y zonal en anclaje M02.

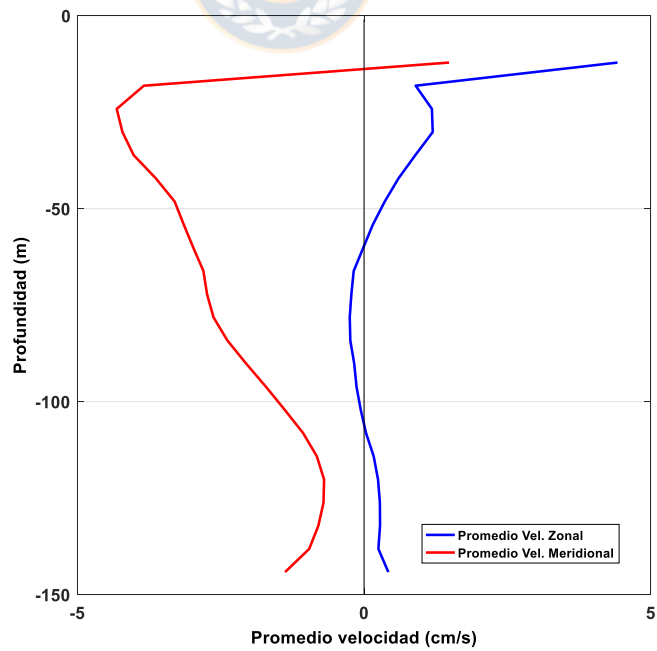


Figura 9: Promedio de la velocidad meridional y zonal en anclaje M01

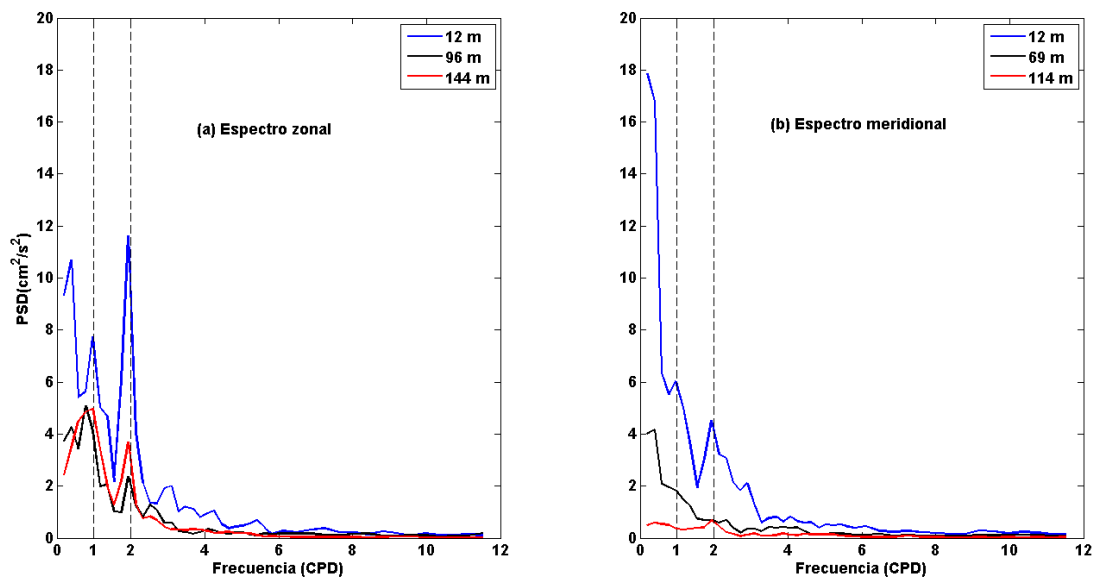


Figura 10: Espectro vectorial en anclaje M02.

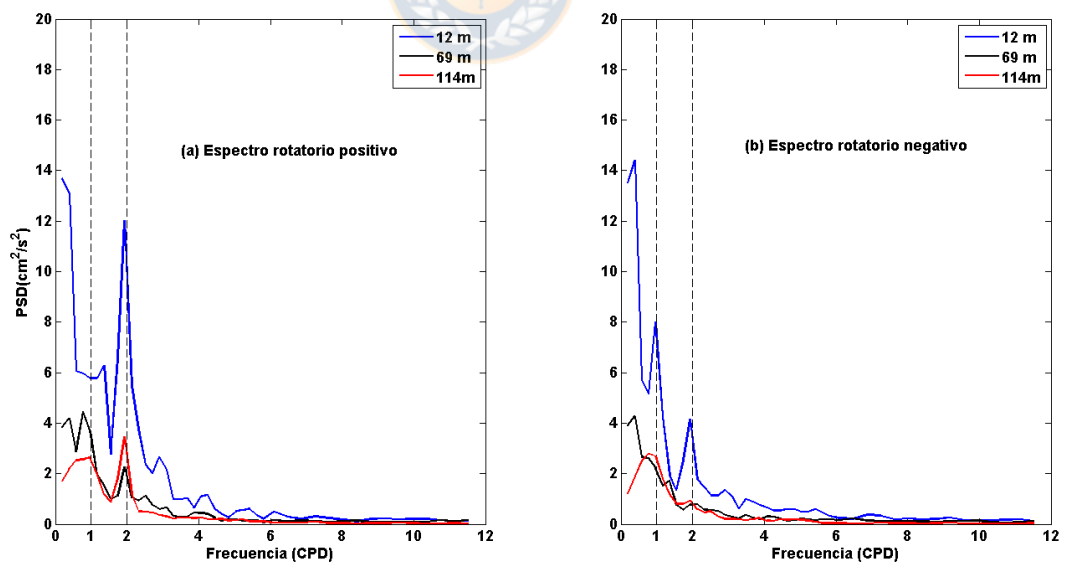


Figura 11: Espectro rotatorio en anclaje M02.

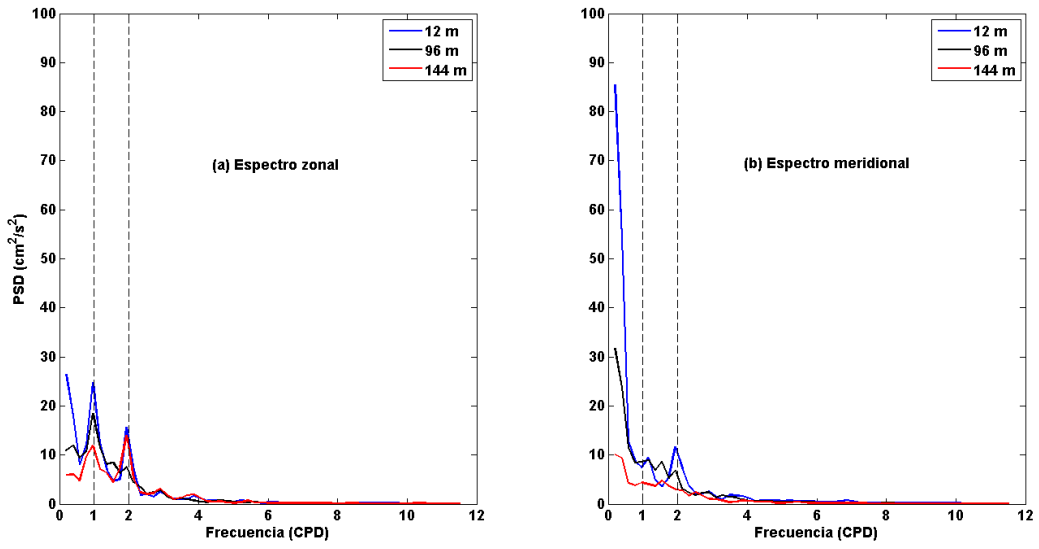


Figura 12: Espectro vectorial en anclaje M01.

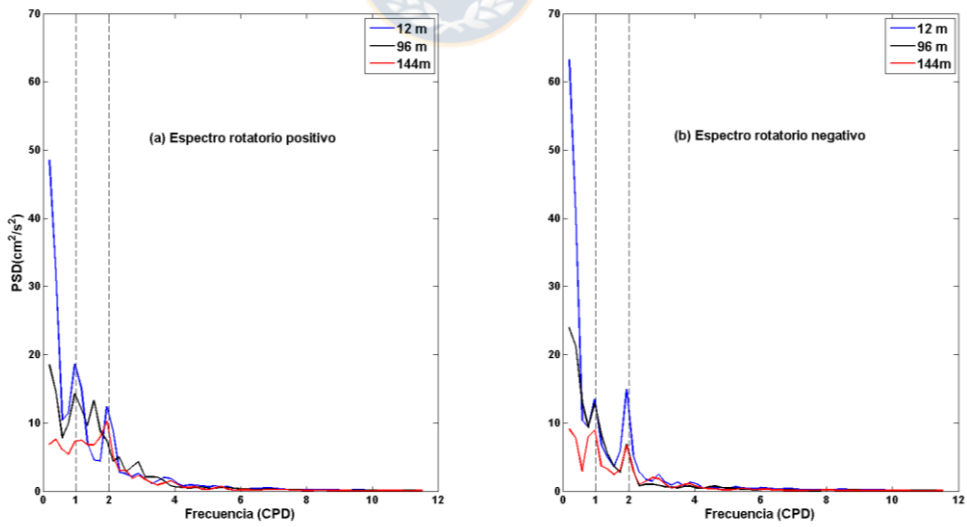


Figura 13: Espectro rotatorio en anclaje M01.

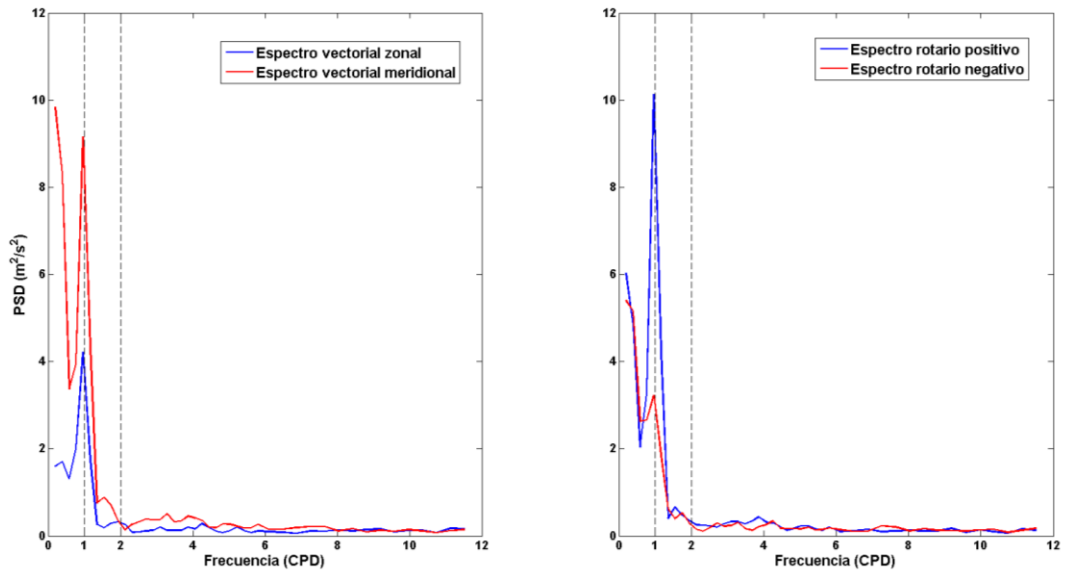


Figura 14: Espectro vectorial y rotatorio del viento.

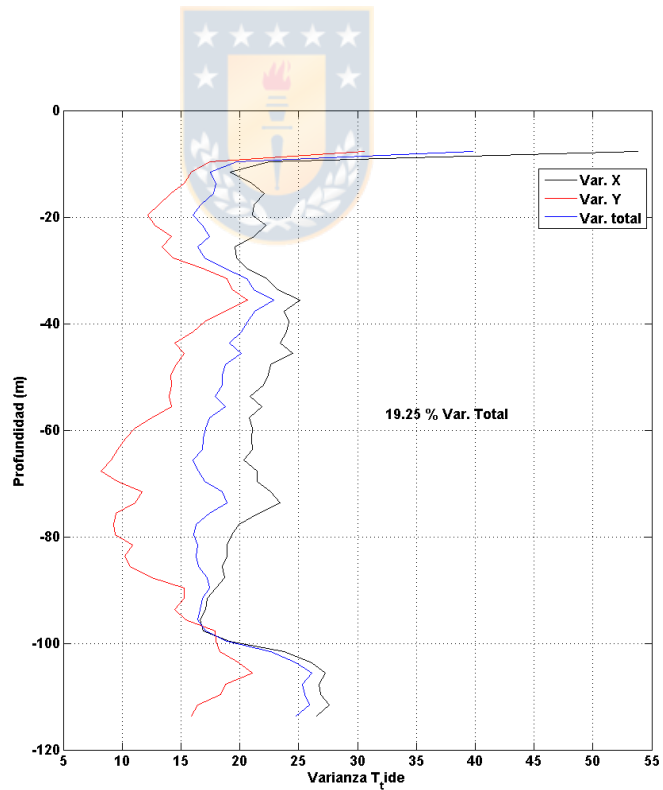


Figura 15: Porcentaje de varianza explicado por constituyentes mareales significativas en anclaje M02.

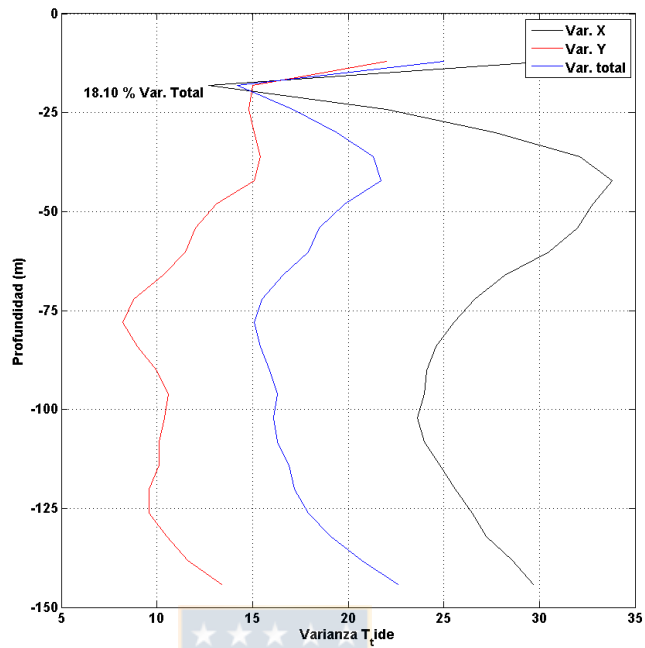


Figura 16: Porcentaje de varianza explicado por constituyentes mareales significativas en anclaje M01.

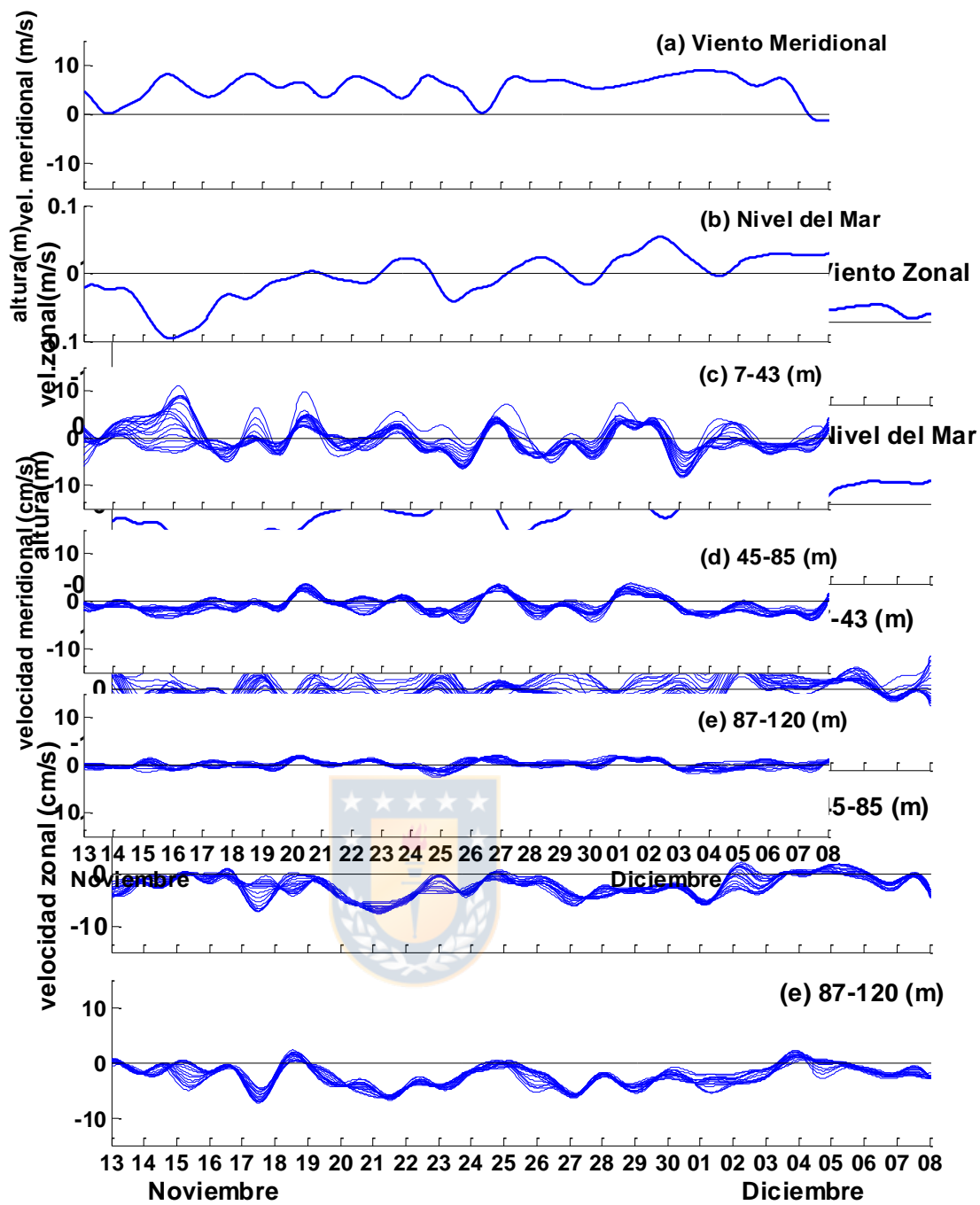


Figura 17: Series de tiempo submareales de viento, nivel del mar y componente zonal de las corrientes en anclaje M02.

Figura 18: Series de tiempo submareales de viento, nivel del mar y componente meridional de las corrientes en anclaje M02.



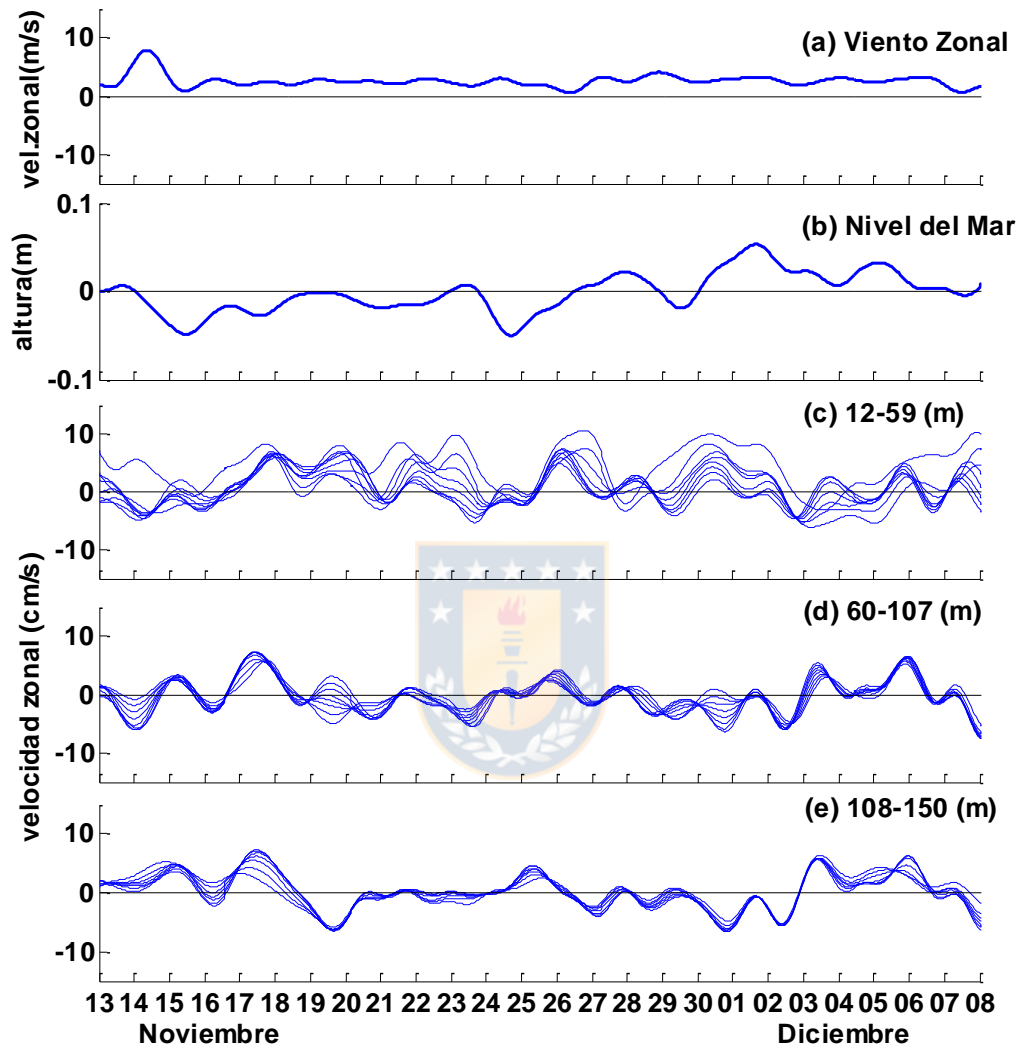


Figura 19: Series de tiempo submareales de viento, nivel del mar y componente zonal de las corrientes en anclaje M01.

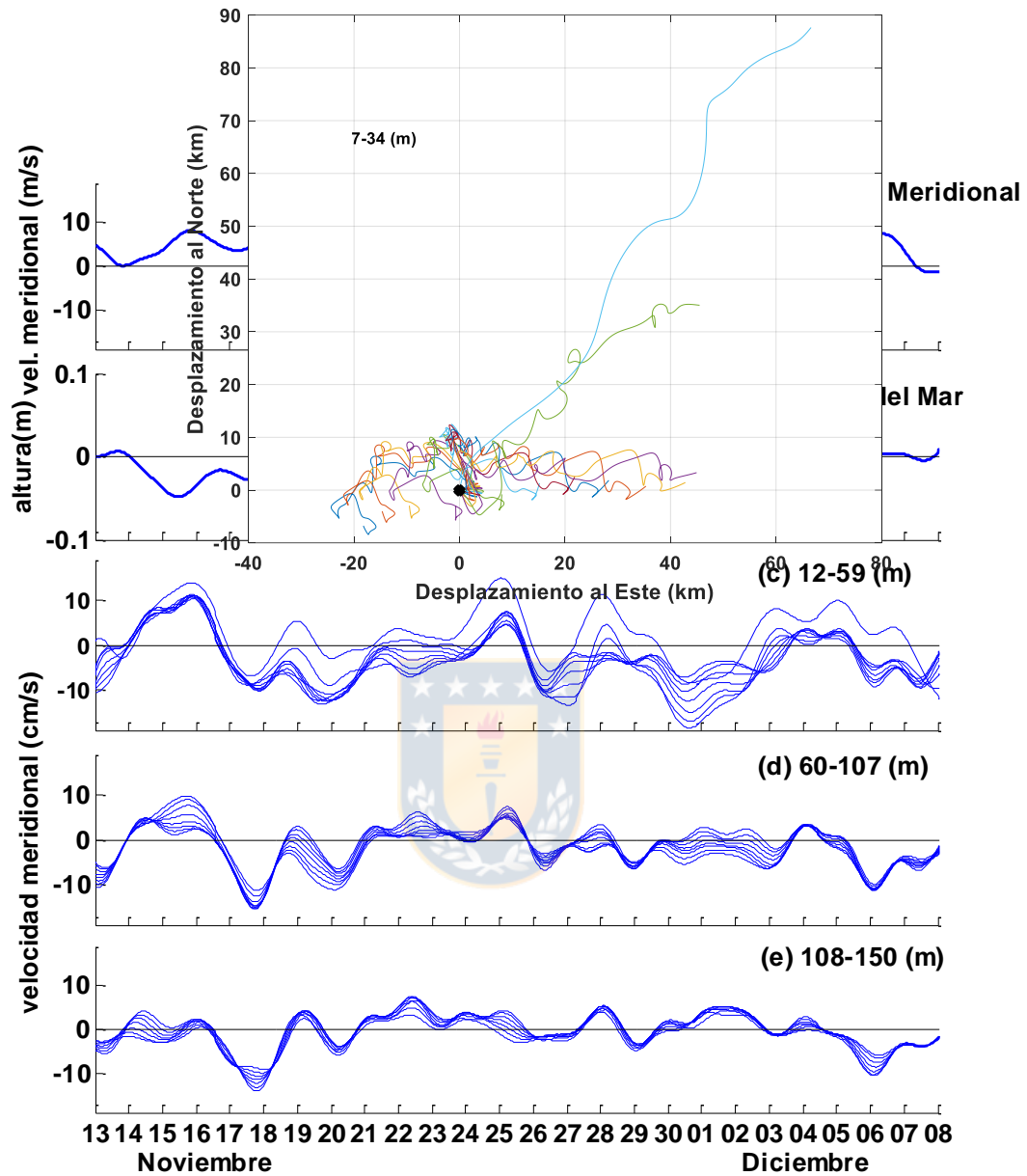


Figura 20: Series de tiempo submareales del viento, nivel del mar y componente meridional de las corrientes en anclaje M01.

Figura 21: Diagramas de vector progresivo. Niveles 7-34 m en anclaje M02.

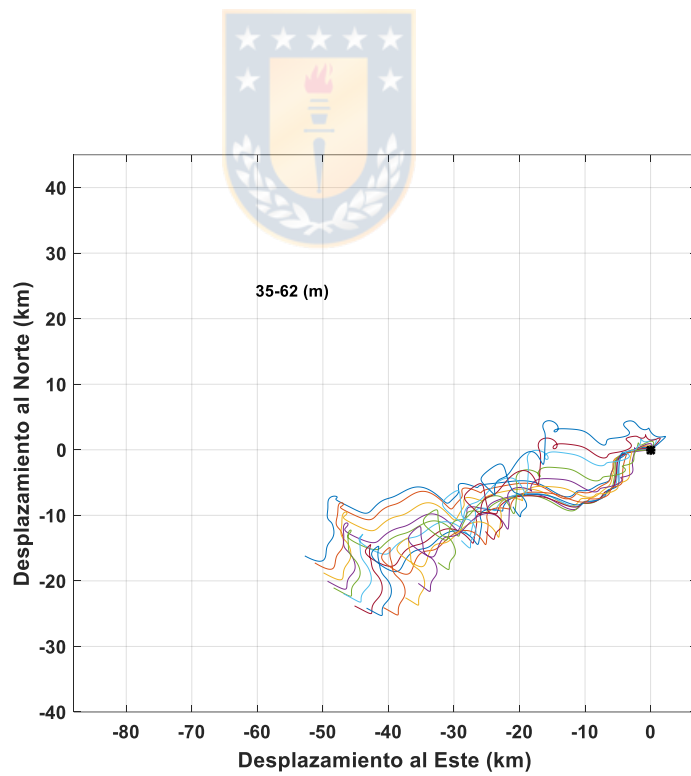


Figura 22:
vector
Niveles 35-62 m en anclaje M02.

Diagramas de
progresivo.

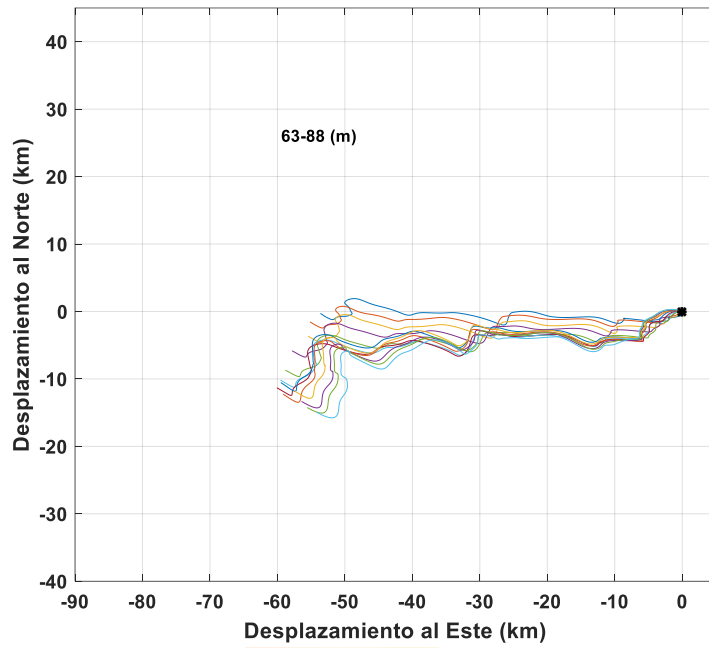


Figura 23: Diagramas de vector progresivo. Niveles 63-88 en anclaje M02.

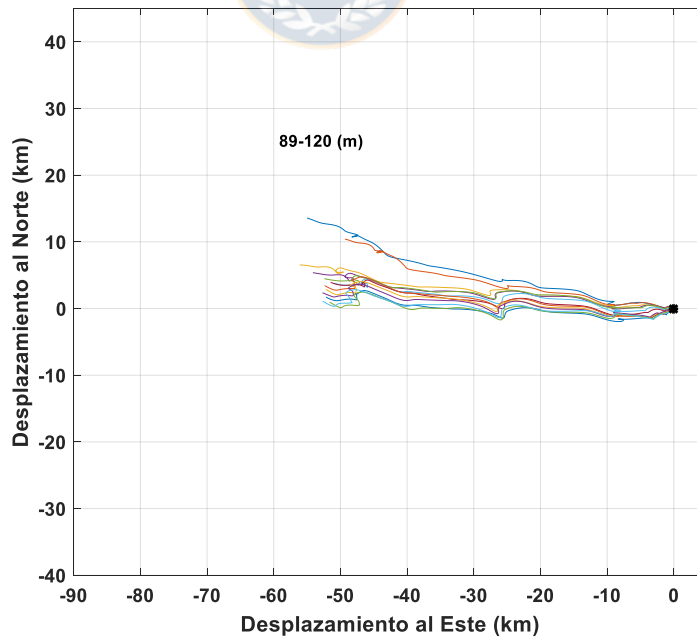


Figura 24: Diagramas de vector progresivo. Niveles 89-120 en anclaje M02.

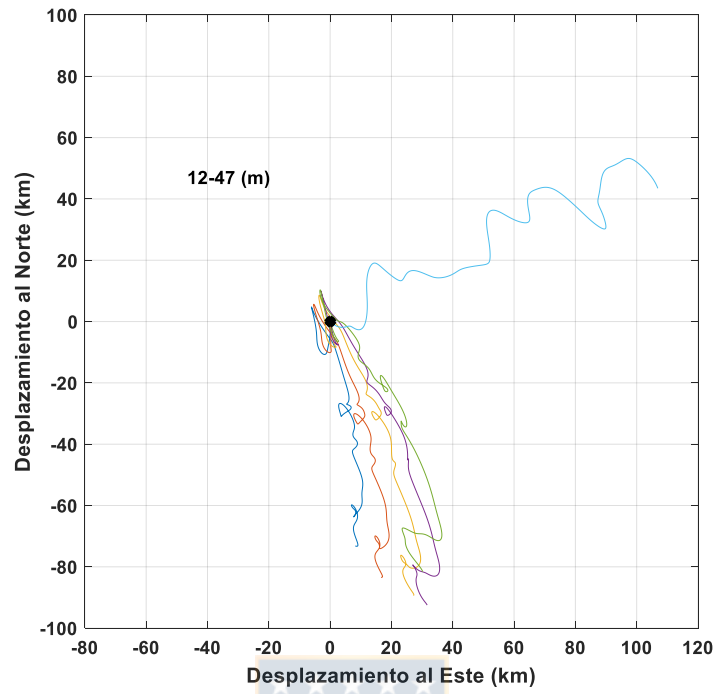


Figura 25: Diagramas de vector progresivo. Niveles 12-47 m en anclaje M01.

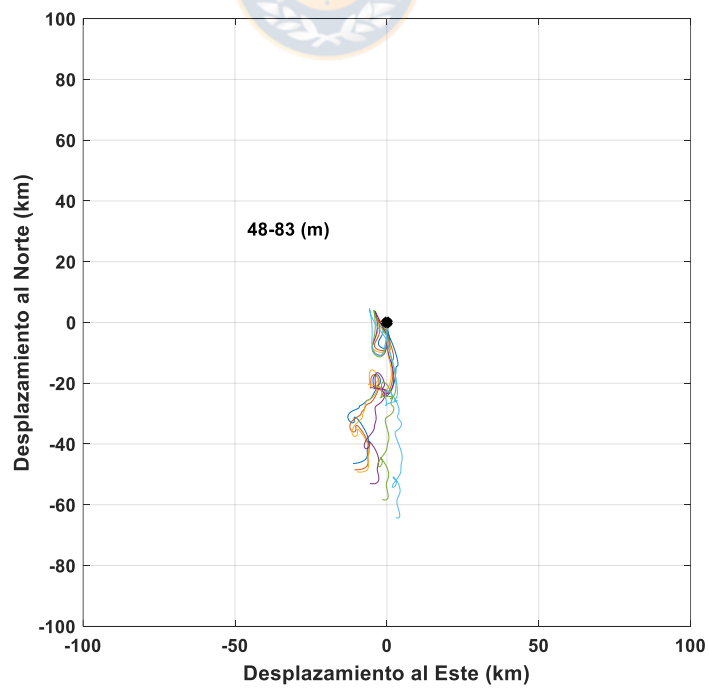


Figura 26: Diagramas de vector progresivo. Niveles 48-83 m en anclaje M01.

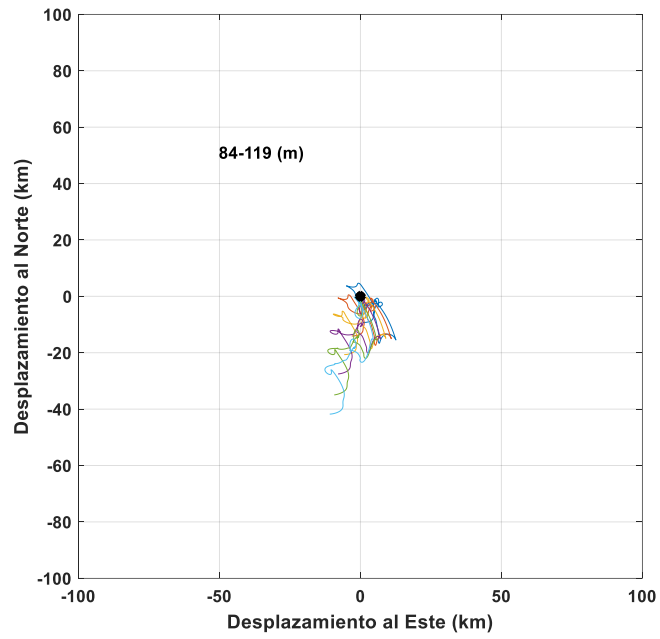


Figura 27: Diagramas de vector progresivo. Niveles 84-119 m en anclaje M01.

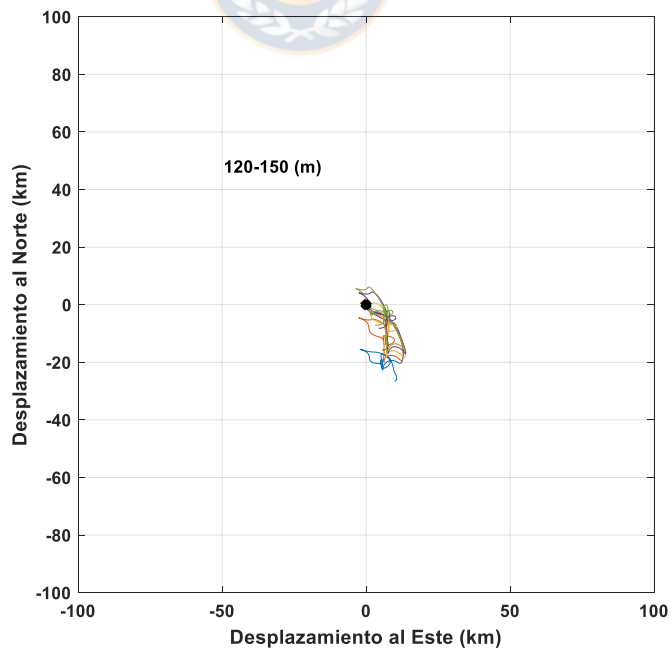


Figura 28: Diagramas de vector progresivo. Niveles 120-150 m en anclaje M01.

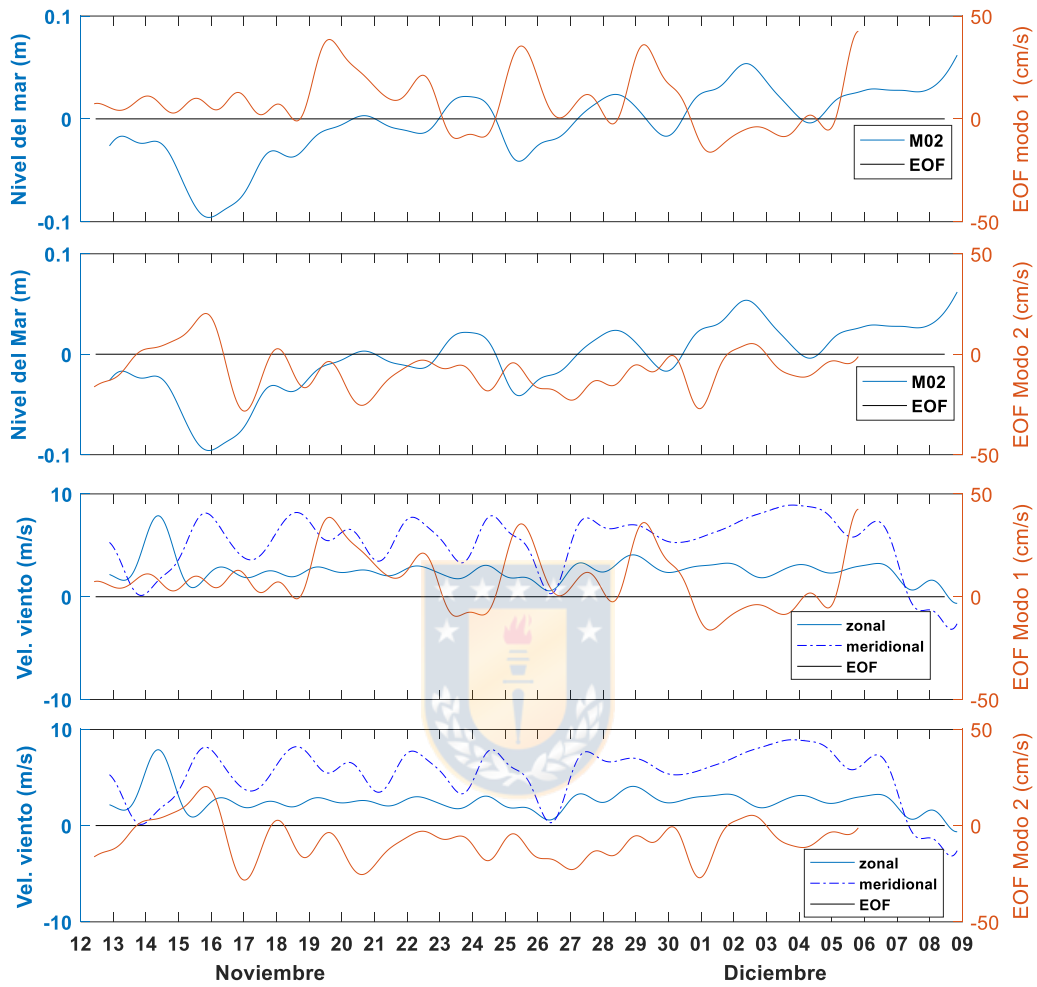


Figura 29: Amplitud modos verticales 1 y 2 para anclaje M02 y su relación con el nivel del mar y el viento submareal.

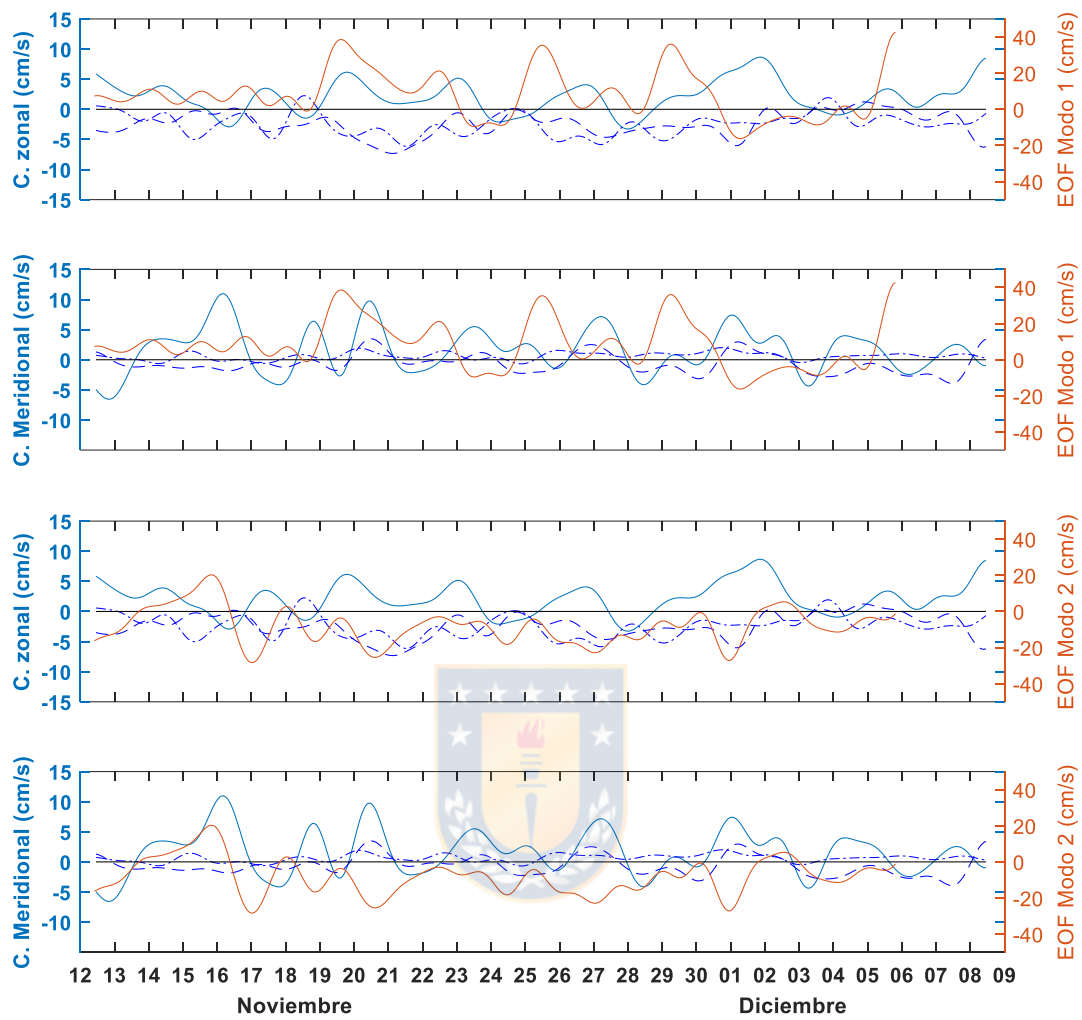


Figura 30: Amplitud de modos verticales 1 y 2 y su relación con series submareales de corriente a tres profundidades para el anclaje M02.

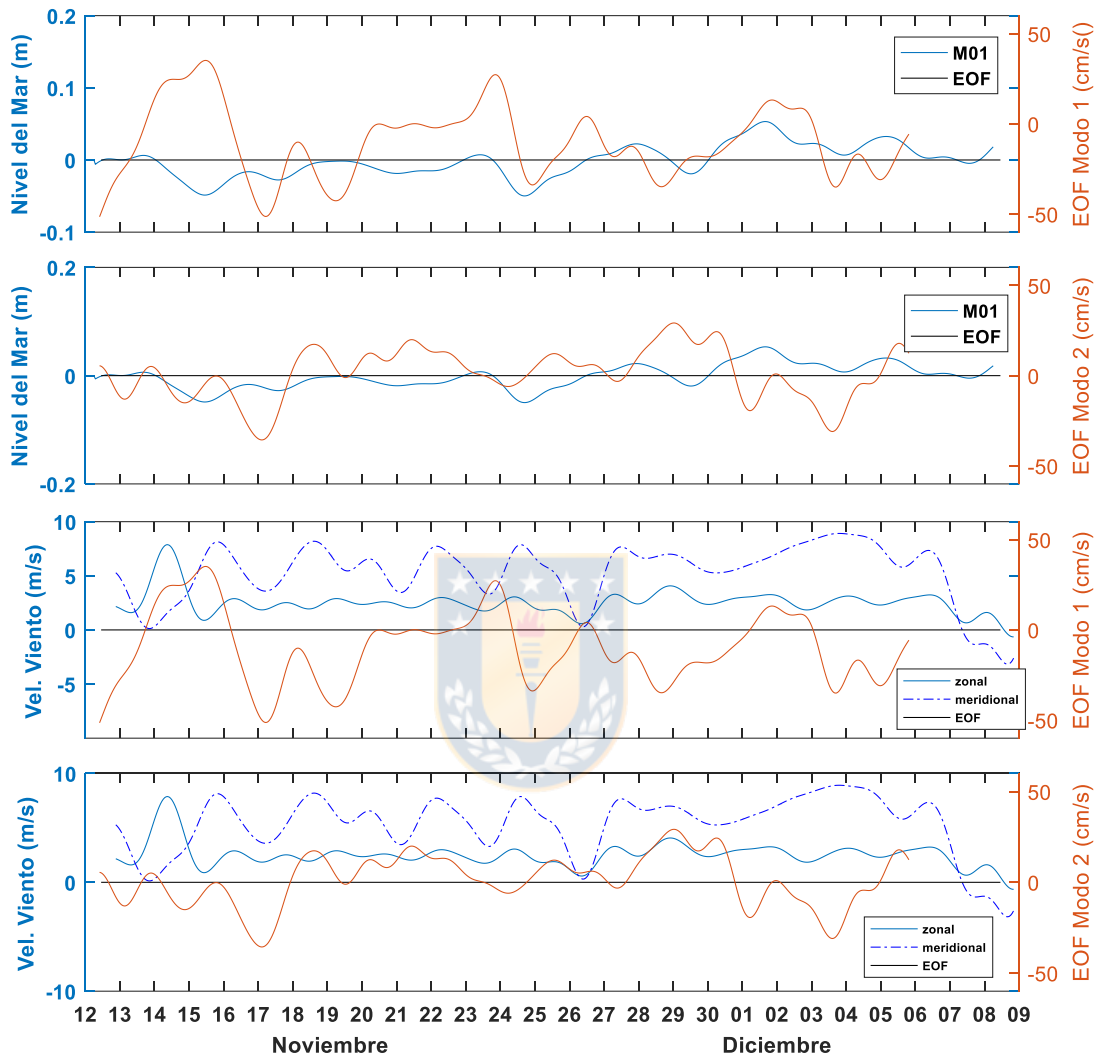


Figura 31: Amplitud modos verticales 1 y 2 para anclaje M01 y su relación con el nivel del mar y el viento submareal.

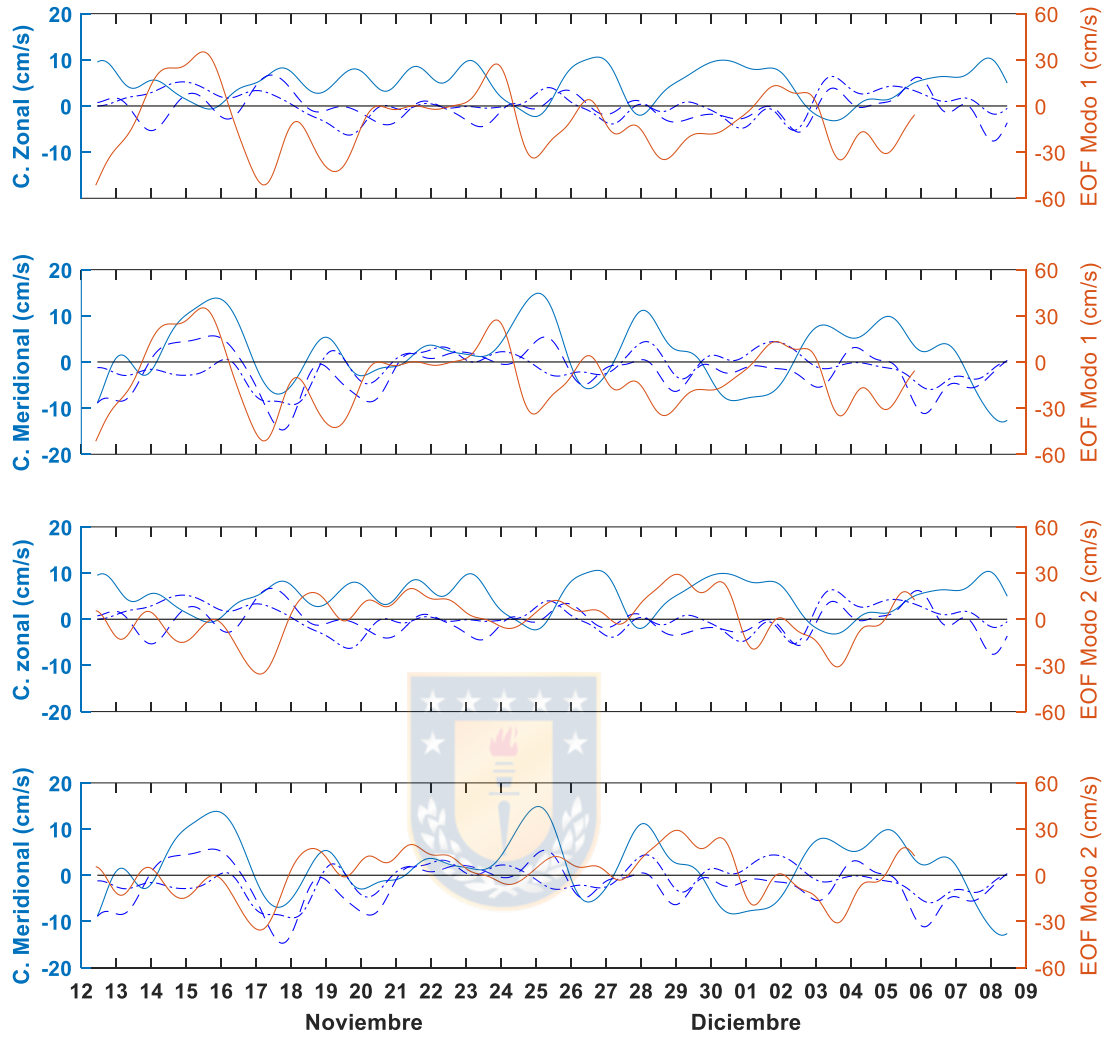


Figura 32: Amplitud de modos verticales 1 y 2 y su relación con series submareales de corriente a tres profundidades para el anclaje M01.

Tabla 1: Estadística básica de la corriente para anclaje M02.

Prof (m)	U Pro. (cm/s)	V Pro. (cm/s)	DesEst U	DesEst V	U min	V min	U max	V max	EMV
9	2,08	1,88	5,66	5,64	-12,02	-18,38	22,53	16,36	298
11	1,75	0,49	5,39	5,10	-12,03	-18,53	23,07	15,28	311
13	1,49	0,41	5,10	5,01	-12,39	-14,02	20,10	15,43	298
15	1,13	0,46	4,85	4,96	-12,57	-14,77	17,58	16,41	284
17	0,87	0,51	4,66	4,99	-13,56	-19,33	17,48	16,59	275
25	-0,13	0,26	4,33	4,39	-16,84	-15,49	15,97	13,36	297
27	-0,52	0,15	4,19	4,07	-16,82	-13,39	15,47	12,71	306
35	-1,15	-0,33	3,55	3,50	-16,15	-14,49	10,38	12,48	77
37	-1,28	-0,36	3,52	3,43	-17,93	-15,21	9,55	12,75	340
45	-1,78	-0,72	3,36	3,21	-19,77	-14,04	8,41	11,08	323
47	-1,90	-0,75	3,33	3,15	-18,57	-14,61	8,64	10,20	324
55	-2,23	-0,74	3,34	2,77	-21,91	-10,93	13,06	12,50	330
57	-2,30	-0,70	3,32	2,72	-22,56	-10,35	13,12	12,73	330
65	-2,63	-0,52	3,16	2,44	-20,67	-10,21	7,79	12,69	333
67	-2,69	-0,49	3,18	2,43	-19,02	-11,44	7,53	12,90	334
75	-2,84	-0,41	3,13	2,20	-14,76	-9,48	5,18	10,52	336
77	-2,79	-0,35	3,11	2,11	-17,15	-8,43	5,01	8,80	337
85	-2,62	-0,04	3,21	1,74	-23,28	-6,61	5,88	6,74	344
87	-2,58	0,03	3,28	1,71	-21,64	-6,49	6,42	6,44	345
95	-2,53	0,19	3,36	1,52	-19,33	-5,33	7,00	5,03	348
97	-2,48	0,23	3,33	1,56	-20,96	-6,58	7,31	7,84	347
105	-2,20	0,25	3,25	1,43	-14,57	-4,52	6,12	3,97	350
107	-2,21	0,29	3,28	1,40	-15,01	-4,81	7,91	4,39	353
109	-2,27	0,34	3,33	1,36	-13,87	-5,11	7,05	4,42	353
111	-2,05	0,47	3,08	1,19	-15,35	-3,85	8,37	4,30	354
113	-2,24	0,64	3,30	1,27	-14,94	-4,56	10,94	4,39	353

Tabla 2: Estadística básica de las corrientes para el anclaje M01.

Prof. (m)	U pro. (cm/s)	V pro. (cm/s)	DesEst. U	DesEst. V	min U	min V	max U	max V	EMV
12	4,49	1,37	6,09	8,22	-14,08	-23,61	22,00	22,44	296
18	1,05	-3,99	5,84	8,00	-18,16	-37,18	19,85	16,86	297
24	1,30	-4,50	5,50	7,98	-16,58	-38,56	23,06	16,87	293
30	1,29	-4,41	5,51	7,74	-14,09	-32,30	23,15	16,51	295
36	1,00	-4,22	5,51	7,56	-13,13	-27,16	22,98	16,98	297
42	0,70	-3,83	5,47	7,49	-18,02	-27,03	22,97	18,13	296
48	0,44	-3,49	5,28	7,48	-12,29	-25,27	21,70	18,52	293
54	0,21	-3,32	5,17	7,45	-12,82	-24,45	19,24	17,52	291
60	0,03	-3,13	5,16	7,28	-14,11	-24,88	17,92	18,25	291
66	-0,14	-2,94	5,18	7,05	-14,76	-22,72	16,96	18,15	293
72	-0,19	-2,86	5,25	6,75	-15,47	-22,14	13,88	16,10	296
78	-0,23	-2,73	5,25	6,46	-15,06	-23,24	13,57	10,10	300
84	-0,22	-2,48	5,20	6,22	-14,75	-23,97	12,92	9,90	302
90	-0,16	-2,14	5,16	6,06	-15,55	-25,31	13,20	10,44	303
96	-0,13	-1,78	5,11	5,91	-15,90	-25,13	13,38	11,73	304
102	-0,05	-1,45	5,10	5,78	-16,60	-24,02	13,60	12,58	305
108	0,03	-1,12	5,12	5,63	-16,65	-21,33	13,64	13,06	308
114	0,15	-0,87	5,11	5,46	-16,55	-19,47	13,33	13,40	310
120	0,21	-0,73	5,05	5,28	-16,26	-18,07	13,00	13,50	311
126	0,23	-0,73	4,99	5,08	-16,03	-16,70	12,61	13,08	313
132	0,23	-0,82	4,98	4,84	-16,28	-18,30	12,49	11,77	317
138	0,20	-0,97	4,94	4,59	-15,66	-18,62	12,14	10,44	321
144	0,38	-1,38	4,94	4,35	-15,73	-18,63	12,30	8,73	328

Tabla 3: Resumen información entregada por diagramas de vector progresivo para anclaje M02.

Profundidad	Desp. Residual	Direc. Residual	Vel. Residual	Trans. Residual	Estabilidad
9	57,42	52,42	2,55	0,03	56,34
11	45,06	85,79	2,00	0,02	50,71
13	42,82	88,08	1,90	0,02	51,20
15	35,34	88,79	1,57	0,02	43,61
17	28,35	86,24	1,26	0,01	35,34
19	21,98	83,33	0,98	0,01	27,56
21	15,21	85,07	0,68	0,01	19,71
23	8,06	95,75	0,36	0,00	10,81
25	3,09	193,52	0,14	0,00	4,16
27	9,96	252,79	0,44	0,00	13,54
29	15,20	254,68	0,68	0,01	21,02
31	19,44	249,64	0,86	0,01	27,91
33	22,72	247,52	1,01	0,01	33,84
35	28,10	243,69	1,25	0,01	42,01
37	32,02	244,37	1,42	0,01	47,43
39	36,72	242,05	1,63	0,02	52,34
41	40,89	240,10	1,82	0,02	56,91
43	43,69	238,89	1,94	0,02	59,90
45	47,34	239,44	2,10	0,02	64,28
47	49,62	240,86	2,21	0,02	66,58
49	51,06	242,20	2,27	0,02	69,61
51	51,73	244,88	2,30	0,02	71,26
53	52,75	246,46	2,34	0,02	71,77
55	53,21	247,87	2,36	0,02	72,15
57	53,32	249,38	2,37	0,02	72,97
59	54,06	251,38	2,40	0,02	75,21
61	55,18	252,94	2,45	0,02	77,22
63	56,19	254,58	2,50	0,02	78,40
65	57,38	255,62	2,55	0,03	79,69
67	57,98	256,70	2,58	0,03	80,10
69	58,66	258,40	2,61	0,03	80,92
71	60,43	258,29	2,69	0,03	81,92
73	60,42	259,95	2,69	0,03	83,32
75	61,14	259,34	2,72	0,03	84,46
77	60,41	260,29	2,68	0,03	85,51
79	59,46	261,59	2,64	0,03	86,32
81	58,12	264,24	2,58	0,03	87,88
83	55,58	266,22	2,47	0,02	87,49

85	55,19	268,40	2,45	0,02	89,20
87	53,62	269,70	2,38	0,02	87,79
89	52,68	271,22	2,34	0,02	89,03
91	51,63	271,09	2,29	0,02	88,33
93	52,74	272,58	2,34	0,02	89,59
95	52,24	273,15	2,32	0,02	89,18
97	52,47	273,76	2,33	0,02	90,09
99	52,20	271,89	2,32	0,02	89,93
101	51,61	274,37	2,29	0,02	90,01
103	51,08	274,27	2,27	0,02	87,67
105	52,59	274,89	2,34	0,02	88,87
107	54,39	275,68	2,42	0,02	89,07
109	56,48	276,64	2,51	0,03	90,15
111	50,40	281,91	2,24	0,02	90,61
113	56,65	283,87	2,52	0,03	90,73



Tabla 4: Resumen de información entregada por diagramas de vector progresivo para anclaje M01.

Profundidad	Despl. Residual	Dir. Residual	Vel. Residual	Trasp. Residual	Estabilidad
-12	115,38	67,87	5,13	0,05	61,03
-18	86,99	159,67	3,87	0,04	52,19
-24	97,75	161,12	4,34	0,04	60,15
-30	93,43	163,07	4,15	0,04	59,90
-36	85,08	168,75	3,78	0,04	58,50
-42	73,66	173,60	3,27	0,03	54,61
-48	64,26	177,32	2,86	0,03	50,53
-54	58,30	181,51	2,59	0,03	47,31
-60	53,26	186,02	2,37	0,02	44,87
-66	50,11	191,38	2,23	0,02	43,94
-72	49,60	192,44	2,20	0,02	45,28
-78	47,70	193,51	2,12	0,02	45,60
-84	43,15	194,60	1,92	0,02	43,20
-90	36,17	194,87	1,61	0,02	37,21
-96	28,65	196,07	1,27	0,01	29,59
-102	21,43	195,55	0,95	0,01	21,85
-108	14,36	192,33	0,64	0,01	14,60
-114	9,27	174,62	0,41	0,00	9,47
-120	7,76	156,65	0,34	0,00	8,06
-126	9,33	152,00	0,41	0,00	9,94
-132	12,44	155,08	0,55	0,01	13,57
-138	16,83	160,75	0,75	0,01	18,96
-144	28,27	159,65	1,26	0,01	33,35

4.- DISCUSIÓN

Los cañones submarinos son regiones donde se produce gran intercambio entre la plataforma continental y el océano profundo debido a que comúnmente poseen números de Rossby grandes (Allen *et al.*, 2009). En general los cañones submarinos transversales a la costa impulsan corrientes submareales siguiendo las isobatas. Estos pulsos de corrientes se deben a que el flujo geostrofico que pasa por sobre un cañón submarino queda descompensado debido a que la velocidad meridional dentro del cañón tiende a cero. En esta situación el gradiente de presión transversal a la costa genera un flujo hacia la costa cuando el flujo sobre el cañón pasa hacia el norte (Denman *et al.*, 1985; Hickey, 1997). La topografía de los cañones submarinos tiene influencia sobre la circulación costera (Sobarzo, 1999; Xu *et al.*, 2009). El cañón submarino del Bío-bío es relativamente estrecho en su cabecera y las corrientes son capaces de pasar sobre el cañón (Sobarzo *et al.*, 2001). En el cañón submarino del Bío-bío se aprecia que las corrientes a media agua tienden a seguir las isobatas mientras que las corrientes que se encuentran con las paredes del cañón tienden a generar un pequeño giro o a seguirlas. El flujo medio de la cabecera tiende a moverse cañón afuera hasta encontrarse con la topografía del cañón que cambia su sentido hacia el sur esto puede deberse a un gradiente de presión baroclínico, de similar comportamiento al del cañón submarino de Monterrey (Xu *et al.*, 2009).

La surgencia y el hundimiento en un cañón submarino provocan flujos medios a lo largo del cañón creando flujos oscilatorios. En la fase positiva del flujo oscilatorio el flujo diverge de la pared aguas arriba y fluye fuera del cañón (Allen *et al.*, 2009). El flujo geostrofico sobre isobatas convergentes pueden acelerarse hasta un punto donde el flujo ya no es geostrofico y es capaz de cruzar las isobatas (Allen, 2000). Este proceso ha explicado la surgencia en cañones largos y cercanos a la costa como el cañón del Bío-bío. Las dinámicas de la surgencia de los cañones submarinos son no lineales y complejas, pequeñas variaciones

en la topografía podrían modificar cambios en la velocidad y campos de densidad (Klinck et al., 1999). También a partir de la mayoría de los parámetros geométricos del cañón submarino se puede calcular la respuesta básica del fluido estratificado dentro y por encima del cañón (Allen et al., 2010).

El cañón submarino del Bío-bío producto de su topografía forma un cañón dividido la cabecera forma una especie de cañón pequeño hasta toparse con un relieve en la isobata de 150 m (Fig. 2). Esto explica la circulación en la cabecera del cañón submarino cerca de la desembocadura del río Bío-bío a media agua y fondo sigue el eje del cañón y en su parte más alejada tiene un flujo de media agua y fondo hacia el suroeste.



5.- CONCLUSIÓN.

1. Las corrientes submareales observadas no mostraron correlación con el viento a lo largo de la costa.
2. En todos los anclajes el nivel del mar medido con los ADCPs no se observó bien correlacionado con las corrientes submareales. La excepción a este punto fue lo observado en las corrientes meridionales del anclaje M01. Esto se debe a que se usó el nivel de mar obtenido de los ADCPs. Esta medición, a diferencia de la registrada con mareógrafos en la costa, integra tanto el nivel del mar como la estratificación de la columna de agua.
3. El anclaje M01 mostró la tendencia a que cuando el nivel del mar baja las corrientes submareales tiene dirección hacia el norte. Esto es consistente con corrientes a lo largo de la costa en balance geostrófico. Con nivel del mar bajo en la costa, el flujo geostrófico tiene dirección hacia el norte. Esto tiende a variar en el interior de la cabecera del cañón submarino debido a que las corrientes a lo largo de costa tienden a cero. Producto de esto el gradiente de presión transversal a la costa queda descompensado impulsando aguas hacia la costa y generando surgencia subsuperficial en la cabecera del cañón del Biobío

6.-REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen SE (2003) On vertical advection truncation errors in terrain-following numerical models: Comparison to a laboratory model for upwelling over submarine canyons. *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2001JC000978
- Allen SE, Durrieu de Madron (2009) A review of the role of submarine canyons in deep-ocean exchange with the shelf. *Ocean Science Discussions*. doi:10.5194/osd-6-1369-2009
- Allen SE (2000) On subinertial flow in submarine canyons: Effect of geometry. *Journal of Geophysical Research*, 105:1285–1297.
- Boyer DL, Sommeria J, Mitrovic AS, Chaitanya Pakala VK, Smirnov SA, Etling D (2004) The Effects of Boundary Turbulence on Canyon Flows Forced by Periodic Along-Shelf AND. *Journal of Physical Oceanography*, 36:813–826.
- Denman KL, Freeland HJ (1985) Correlation scales, objective mapping and a statical test of geostrophy over the continental shelf. *Journal of Marine Research*, 43: 517-539.
- Haney RL (1991) On the pressure gradient force over steep topography in sigma coordinate ocean models. *Journal of Physical Oceanography*, 21:610-619
- Harris PT, Whiteway T (2011) Global distribution of large submarine canyons: Geomorphic differences between active and passive continental margins. *Marine Geology* 285(2011) 69-86.
- Hickey BM, Pola NE (1984) The Seasonal alongshore pressure gradient on the west coast of the United States. *Journal of Geophysical Research*, 88:7623-7633

- Hickey BM (1997) The response of a steep-sided, narrow canyon to time-variable wind forcing. *Journal of Physical Oceanography*, 27: 697-726.
- Klinck J (1989) Geostrophic adjustment over submarine canyons. *Journal Geophysical Research*, 94:6133-6144
- Kundu PK, Allen JS, Smith RL (1975) Modal Decomposition of the Velocity Field near the Oregon Coast. *Journal of Physical Oceanography*, 5: 683–704.
- Letelier J, Pizarro O, Nuñez S (2009) Seasonal variability of coastal upwelling and the upwelling front off central Chile. *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2008JC005171
- Melton C, Washburn L, Gotschalk C (2009) Wind relaxations and poleward flow events in a coastal upwelling system on the central California coast. *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2009JC005397
- Mesias JM (2003) Dynamical analysis of the upwelling circulation off central Chile. *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2001JC001135
- Morales CE, González HE, Hormazabal SE, Yuras G, Letelier J, Castro LR (2007) The distribution of chlorophyll-a and dominant planktonic components in the coastal transition zone off Concepción, central Chile, during different oceanographic conditions. *Progress in Oceanography*. doi:10.1016/j.pocean.2007.08.026
- Neshyba SJ, Mooers CNK, Smith RL, Barber RT (1989) Poleward flows along Eastern Ocean Boundaries. *Coastal and Estuarine Studies*. Springer-Verlag 373 pp.
- Pawlowicz R, Beardsley B, Lentz S (2002) Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. *Computers Geosciences*. doi:10.1016/S0098-3004(02)00013-4
- Pineda MV (1999) El Cañón Submarino del Bío-Bío: Aspectos dinámicos y ambientales. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad de Concepción. 105pp

- Sobarzo M (1999) Surgencia Costera sobre una plataforma continental limitada por cañones submarinos, Concepción, Chile Central (36°40'S; 73°15'W). Tesis para optar al grado de Doctor En Oceanografía. Universidad de Concepción. 236 pp.
- Sobarzo M, Figueroa M, Djurfeldt L (2001) Upwelling of subsurface water into the rim of the Biobio submarine canyon as a response to surface winds. *Continental Shelf Research*, 21: 279–299.
- Sobarzo M, Djurfeldt L (2004) Coastal upwelling process on a continental shelf limited by submarine canyons, Concepción, central Chile. *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2004JC002350
- Xu JP, Noble MA (2009) Currents in Monterrey submarine canyon, *Journal of Geophysical Research*. doi:10.1029/2008JC004992

