



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y
OCEANOGRÁFICAS**



**VARIABILIDAD EN LA HIDROGRAFÍA Y LA COMUNIDAD
ZOOPLANCTÓNICA DURANTE UN CICLO DIURNO EN EL CAÑÓN DEL
BIOBÍO**

Bárbara Lorena Riquelme Muñoz

Profesor Guía

Dr. Ramiro Riquelme-Bugueño

Seminario de Título presentado al
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Para optar al Título de
BIÓLOGO MARINO

Concepción - Chile

2024

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA

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

Profesor(a) Guía

Dr. Ramiro Riquelme Bugueño

Director de Tesis

Dr. Leonardo Castro Cifuentes

Co-Guía

Dra. Macarena Díaz Astudillo

Ha sido aprobada por la
Siguiente Comisión Evaluadora

Dra. Pamela Hidalgo Díaz

Dr. Gonzalo Saldías Yau

Jefe de Carrera

Dr. Ariel Valenzuela Saldías

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor guía Dr. Ramiro Riquelme, Co-guía Dra. Macarena Díaz y Director de Tesis Dr. Leonardo Castro, quienes me instruyeron en la realización de mi seminario de título y me dieron la posibilidad de realizar este trabajo. A los miembros de la comisión evaluadora Dra. Pamela Hidalgo y Dr. Gonzalo Saldías por ser parte de la evaluación y su disposición.

A los proyectos FONDECYT de Postdoctorado 3230183 y FONDECYT regular 1220167 por otorgarme las herramientas necesarias para la realización de este seminario. Al LOPEL y Krill Lab por abrirme sus puertas para la revisión de muestras.

INDICE

INDICE DE FIGURAS.....	vi
INDICE DE ANEXOS.....	vii
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Hipótesis.....	7
1.2 Objetivo general	7
1.3 Objetivos específicos	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.1 Área de estudio.....	9
2.2 Análisis de muestras biológicas.	9
2.3 <i>Backscatter</i> obtenido con ADCP	10
2.4 Datos hidrográficos.	12
2.5 Mareas, viento y descarga del Río Biobío.	13
2.6 Correlaciones.....	13
3. RESULTADOS.....	15
3.1 Caracterización de condiciones previas al muestreo y caracterización de la hidrografía.	15
3.2 Abundancia estandarizada de los grupos de zooplancton.	18
3.3 Abundancia, variables oceanográficas y clorofila-a integrada.	21
3.4 Intensidad del eco y promedios del Sv por capa.	23
3.5 Correlación entre grupos de zooplancton y el Sv por capa de profundidad.....	25
3.6 Ajuste de una función sinusoidal a los datos.	25
3.7 Correlaciones cruzadas.....	26

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	28
BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXOS	42

INDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Mapa del área de estudio.....	9
Figura N°2: Dirección del viento, descarga del Río Biobío y nivel del mar de enero del 2024.....	15
Figura N°3: Variación en el tiempo del viento, el nivel del mar, y en profundidad de la clorofila-a, temperatura, salinidad y densidad potencial.....	17
Figura N°4: Abundancia estandarizada de los grupos de zooplancton totales, quitinosos y gelatinosos durante el periodo de muestreo.....	19
Figura N°5: Abundancia estandarizada del zooplancton total mayor a 5 mm de longitud, quitinoso y gelatinoso, durante el periodo de muestreo.....	20
Figura N°6: Abundancia estandarizada del zooplancton total menor a 5mm de longitud, quitinoso gelatinoso.....	21
Figura N°7: Variación en la profundidad de las isolíneas de 5 mg/L de clorofila-a y de 11.25 °C en la temperatura, y la abundancia de quitinosos y gelatinosos.....	22
Figura N°8: Abundancia del zooplancton quitinoso grande en contraste con la clorofila-a integrada (mg/m ²) a 40 metros de profundidad.....	23
Figura N°9: Variación de la intensidad de la retrodispersión de volumen (Sv) en profundidad y tiempo.....	24
Figura N°10: Abundancia logarítmica en grupos de zooplancton quitinosos y gelatinosos con el Sv por capas de profundidad.....	25
Figura N°11: Ajuste a la función sinusoidal a la abundancia de zooplancton.....	26
Figura N°12: Correlaciones cruzadas.....	27

INDICE DE ANEXOS

Anexo N°1: Flujos horizontales promedio en el Cañón del Biobío.....	41
Anexo N°2: Análisis espectral del nivel del mar.....	42
Anexo N°3: Tabla de abundancia de zooplancton.....	43
Anexo N°4: Tabla de las correlaciones de Spearman.....	45
Anexo N°5: Tabla de parámetros de la función sinusoidal.....	46

RESUMEN

El zooplancton es importante en las cadenas tróficas marinas, regulando la abundancia de fitoplancton y transfiriendo materia orgánica a niveles tróficos superiores y a las profundidades por sus migraciones verticales. Su distribución vertical y abundancia están influenciadas por las mareas, los flujos oceánicos, la topografía y los procesos locales que se intensifican con la surgencia. Los cañones submarinos generan surgencia local que facilita la acumulación de zooplancton en la cabeza del cañón y se consideran como *hotspots* de biodiversidad. En Chile, no existen estudios hasta el momento que relacionen la distribución vertical del zooplancton con la dinámica de los cañones. Este estudio busca determinar cómo se estructura verticalmente el zooplancton, cuáles son los grupos dominantes y cómo influye la dinámica hidrográfica en el Cañón del Biobío, influenciada por el Río Biobío, en la abundancia y distribución vertical del zooplancton durante un ciclo diurno. El muestreo bio-oceanográfico se realizó en una estación fija en la ladera norte del Cañón del Biobío (36°49' S, 73°17' O), duró 27 horas entre el 22 y 23 de enero de 2024, donde se colectaron muestras biológicas de mesozooplancton cada 3 horas para completar un ciclo diario, y datos hidrográficos con un perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP) RDI Workhorse de 300 Hz y un perfilador de información hidrográfica (MIDAS CTD +). Se determinó que la abundancia del zooplancton está dominada por los copépodos y anfípodos, se observó que la marea está influenciando la distribución vertical y la abundancia del zooplancton. Aunque la correlación entre la intensidad del eco (Sv) del ADCP y la capa profunda bajo los 40 m caracterizada por baja temperatura, alta salinidad y densidad sugiere la influencia de otros procesos que estarían ocurriendo en otra frecuencia. También se pudo observar variaciones en la distribución del zooplancton asociadas a la migración vertical diaria por la variación del Sv, siendo más intenso durante la noche de la primera parte del muestreo en la capa más somera, y muy débil pasado el amanecer (6:00 h). Por último, se identificó un aumento de la clorofila-a, la temperatura y disminución en la salinidad y densidad en la capa más somera pasadas las 17:00 h del segundo día de muestreo, que podría explicarse por la manifestación de la pluma del Río Biobío o bien por el transporte lateral de fitoplancton. Los resultados de este trabajo

establecen una base para futuras investigaciones que permitan comprender a detalle el comportamiento del zooplancton y su interacción con el cañón.

ABSTRACT

Zooplankton are important in marine food webs, regulating the abundance of phytoplankton and transferring organic matter to higher trophic levels and to the depths by their vertical migrations. Their vertical distribution and abundance are influenced by tides, oceanic flows, topography and local processes that are enhanced by upwelling. Submarine canyons generate local upwelling that facilitates the accumulation of zooplankton at the head of the canyon and are considered biodiversity hotspots. In Chile, there are currently no studies that relate the vertical distribution of zooplankton to canyon dynamics. This study seeks to determine how zooplankton are vertically structured, which are the dominant groups and how hydrographic dynamics in the Biobío Canyon, influenced by the Biobío River, influence the abundance and vertical distribution of zooplankton during a diurnal cycle. Bio-oceanographic sampling was conducted at a fixed station on the northern slope of the Biobío Canyon (36°49' S, 73°17' W), lasting 27 hours between January 22 and 23, 2024, where biological samples of mesozooplankton were collected every 3 hours to complete a daily cycle, and hydrographic data were collected with a 300 Hz RDI Workhorse acoustic Doppler current profiler (ADCP) and a hydrographic information profiler (MIDAS CTD +). Zooplankton abundance was found to be dominated by copepods and amphipods, and the tide was observed to be influencing the vertical distribution and abundance of zooplankton. Although the correlation between the echo intensity (Sv) of the ADCP and the deep layer below 40 m characterized by low temperature, high salinity and density suggests the influence of other processes that would be occurring at another frequency. It was also possible to observe variations in the distribution of zooplankton associated with the daily vertical migration due to the variation of Sv, being more intense during the night of the first part of the sampling in the shallowest layer, and very weak after dawn (6:00 h). Finally, an increase in chlorophyll-a, temperature and decrease in salinity and density in the shallowest layer was identified after 17:00 h on the second day of sampling, which could be explained by the manifestation of the Biobío River plume or by the lateral transport of phytoplankton. The results of this study establish a basis for future research to understand in detail the behavior of zooplankton and their interaction with the canyon.

1. INTRODUCCIÓN

El zooplancton es clave en las tramas tróficas marinas, regulando la abundancia de fitoplancton (Lara-Lara & Matus-Hernández, 1997) y transfiriendo materia orgánica a niveles tróficos superiores y a las profundidades (Bandara et al., 2021). Las zonas con altos niveles de productividad primaria, como los Sistemas de Surgencia de Borde Oriental (o “EBUS” en inglés) fomentan el desarrollo de agregaciones de zooplancton abundantes y diversas, atrayendo a sus depredadores (Brodeur, 2001; Santora & Reiss, 2011) y sustentando grandes pesquerías (e.g. La pesquería de la anchoveta en el Sistema de Corrientes de Humboldt (SCH), (Montecino & Lange, 2009)) volviéndolos un foco de estudio (Antezana, 2010; Buchan et al., 2021; Graham et al., 2001; Gajbhiye, 2002).

Las agregaciones de zooplancton se han estudiado mediante redes (Mauchline, 1959) y métodos acústicos como las ecosondas científicas (Granata et al., 2020; Olivar et al., 2013). El perfilador acústico de corrientes Doppler (ADCP) también es una herramienta común para describir patrones espaciales y temporales en la distribución de la biomasa y abundancia de zooplancton (Bozzano et al., 2013; Cisewski et al., 2010; Ibáñez-Tejero et al., 2018; Valle-Levinson et al., 2014), en el que la frecuencia de la señal acústica limita el alcance y el rango de tamaños de los organismos detectables (Wiebe & Greene, 1994; Dwinovantyo et al., 2019).

Uno de los fenómenos conductuales característicos del zooplancton son las migraciones verticales que siguen patrones diarios y estacionales, siendo la migración diaria (o “diurna”) la más común, con el zooplancton moviéndose hacia mayores profundidades durante el día mientras que durante la noche se produce el ascenso a aguas poco profundas. También ocurre la migración inversa (Cohen & Forward, 2002), la migración vertical estacional (Bandara et al., 2021) y la migración ontogénica (Pillar et al., 1989). Estas se han atribuido principalmente a la intensidad de la luz (Ringelberg, 1995), aunque la hipótesis de la evasión de los depredadores visuales ha ganado aceptación (Pearre, 2003; Zaret & Suffern, 1976).

La distribución vertical y la abundancia del zooplancton están influenciadas por procesos físicos como la estratificación y las condiciones de mezcla (Haury et al., 1978; Lagadeuc

et al., 1997; Rawlinson et al., 2004; Lee et al., 2005; Díaz-Astudillo et al., 2017), que suelen intensificarse en algunas zonas costeras debido a procesos de mesoescala como la surgencia (Prairie et al., 2012). Este proceso, común en los Sistemas de Surgencia de Borde Oriental, enriquece las aguas con nutrientes esenciales (Dugdale, 1985; Mann & Lazier, 2006). Además, en sistemas influenciados por plumas de ríos, la estratificación y el aumento de la productividad biológica generan cambios en el comportamiento del zooplancton, específicamente con sus hábitos de alimentación.

Las mareas también influyen en la estratificación y la mezcla de la columna de agua, desempeñando un papel importante, especialmente en el transporte de larvas de meroplancton (Pineda, 1991; Pineda et al., 2007; Norcross, 1991), aunque se sabe poco sobre cómo afectan a otros organismos planctónicos. Por otro lado, Ibáñez-Tejero et al. observaron en la Bahía Todos Santos, México, que la biomasa de zooplancton estaba modulada por la profundidad de la termoclina, afectada tanto por mareas internas a una frecuencia semidiurna como por vientos favorables a la surgencia, que influyen en escalas de tiempo más largas.

Si bien hay transporte de larvas de meroplancton generado por las mareas. Manuel & O'dor (1997) plantean que los flujos oceánicos también favorecen la migración vertical, que a su vez se vería afectada por la topografía y procesos físicos locales (Genin, 2004), factores que explicarían las agregaciones en cañones submarinos (Boucher, 1984; Sánchez-Velasco & Shirasago, 1999). Estudios que evalúan las agregaciones biológicas en los cañones submarinos coinciden en la importancia de las corrientes verticales y horizontales durante las migraciones nocturnas del zooplancton, ya que desplazan a los organismos hacia zonas menos profundas (Brodeur, 2001).

Klinck (1989) explicó cómo los cañones submarinos alteran el flujo geostrófico provocando que se descompense, lo que favorece la formación de flujos verticales y horizontales que generan surgencia local (“upwelling”) o hundimiento (“downwelling”) potenciando la productividad primaria a escala local (Hickey, 1995). Un estudio basado en los cañones asociados al Sistema de Corrientes del Norte de California permitió estimar que la surgencia local en cañones submarinos aporta entre el 30-60% del nitrato que suele

aportar la surgencia clásica en este sistema (Connolly & Hickey, 2014). Esto genera la acumulación de zooplancton en la cabeza del cañón (Hooker et al., 1999), creando zonas de alimentación de ballenas (Santora & Reiss, 2011) y otros depredadores, por lo que se les considera como hotspots de biodiversidad. Los cañones influyen en procesos oceanográficos costeros, y mejoran el intercambio de material particulado (incluyendo sedimento y zooplancton) entre la plataforma y talud continentales (Allen & Durrieu de Madron, 2009). Además, aumentan significativamente el transporte de agua profunda a la superficie (Allen & Durrieu de Madron, 2009; Sobarzo et al., 2016), proceso que ha sido poco estudiado en el SCH. Investigaciones recientes (Buchan et al., 2024) han estudiado la distribución de ballenas alrededor de Isla Chañaral en relación con la presencia de un cañón, sin embargo, no hay claridad respecto a si el cañón altera los flujos por sí solo o si la Isla Chañaral influye en esta dinámica.

El Cañón del Biobío (36°49' S, 73°17' O), es uno de los cañones más profundos y largos de Chile. En la cabeza se encuentran profundidades de 10-20 m. Se extiende por 105 km en toda la plataforma continental hasta el talud, y alcanza los 1200 m de profundidad en el quiebre de la plataforma (Bernhardt et al., 2015). Este se encuentra en el Golfo de Arauco, una región de alta productividad que sustenta importantes servicios ecosistémicos costeros y pesquerías pelágicas artesanales (Daneri et al., 2000; Montero et al., 2007; Landaeta & Castro, 2002; Hernández & Castro, 2000). Esta alta productividad es resultado de la surgencia, que en el centro-sur de Chile está directamente influenciada por la migración estacional del anticiclón del Pacífico Sur, siendo más pronunciada durante la primavera y el verano australes (Montecino et al., 2006; Ancapichún & Garcés-Vargas, 2015; Rahn et al., 2015; Salcedo-Castro et al., 2015).

Dadas estas características, el Cañón del Biobío se convierte en un punto de interés para nuevas investigaciones. En este contexto, una campaña observacional sobre el cañón del Biobío en invierno de 2023 demostró que, luego de una ventana de vientos favorables para la surgencia, se observaba un flujo de entrada de agua importante a la costa por el cañón, que no se explica por las mareas, lo cual coincide con lo esperado según los modelos numéricos para cañones en el hemisferio norte (Saldías & Allen, 2020). En la capa

superficial se observó una salida de agua de menor salinidad hacia el mar que se desvía al noroeste que correspondería a la pluma del Río Biobío impulsada por el viento (ver Anexo 1).

En Chile, los estudios de comunidades de zooplancton y sus variaciones en la distribución vertical se han enfocado en la plataforma continental (Apablaza & Palma, 2006; Castro et al., 1991; Escribano et al., 2007) y en los fiordos de la Patagonia chilena (Castro et al., 2011; Díaz-Astudillo et al., 2017; Valle-Levinson et al., 2014; Pérez-Santos et al., 2018) y hasta el momento no existen estudios que relacionen la hidrodinámica en los cañones con la variación en la distribución vertical de las comunidades de zooplancton.

En base a estos antecedentes es que surgen las preguntas ¿Cómo se estructura verticalmente el zooplancton en el Cañón del Biobío?, ¿Cuáles son los grupos de zooplancton dominantes en este cañón? ¿Cómo influye la dinámica hidrográfica en el Cañón del Biobío, influenciada por el Río Biobío, en la abundancia y distribución vertical del zooplancton durante un ciclo diurno?

1.1 Hipótesis

La estratificación superficial que se produce en el Cañón del Biobío por la descarga del Río Biobío influye en la distribución vertical de las agregaciones de zooplancton, las cuales se posicionan durante la noche en la picnoclina, bajo la pluma.

1.2 Objetivo general

Determinar si la estructura hidrográfica y la presencia de la pluma del Río Biobío influyen en la migración y distribución vertical del zooplancton dentro del cañón en un ciclo diario.

1.3 Objetivos específicos

- a. Determinar la composición de las agregaciones de zooplancton en el cañón del Biobío y su variabilidad diurna.
- b. Caracterizar la columna de agua en el cañón del Biobío durante el periodo de muestreo con la medición de variables hidrográficas.

- c. Evaluar el impacto de la estratificación causada por la pluma del Río Biobío en la composición y variación de la distribución vertical del zooplancton.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio.

El estudio consistió en un muestreo bio-oceanográfico continuo de 27 horas en una estación fija de aproximadamente 90 metros de profundidad en la ladera norte del Cañón del Biobío (36°49' S, 73°17' O), situado al norte del Golfo de Arauco, a 300 metros de la costa (Figura 1), donde se colectaron muestras biológicas e hidrográficas entre el 22 y 23 de enero 2024 en el marco de los proyectos FONDECYT de Postdoctorado 3230183 de la Dra. Macarena Díaz y FONDECYT regular 1220167 del Dr. Gonzalo Saldías.

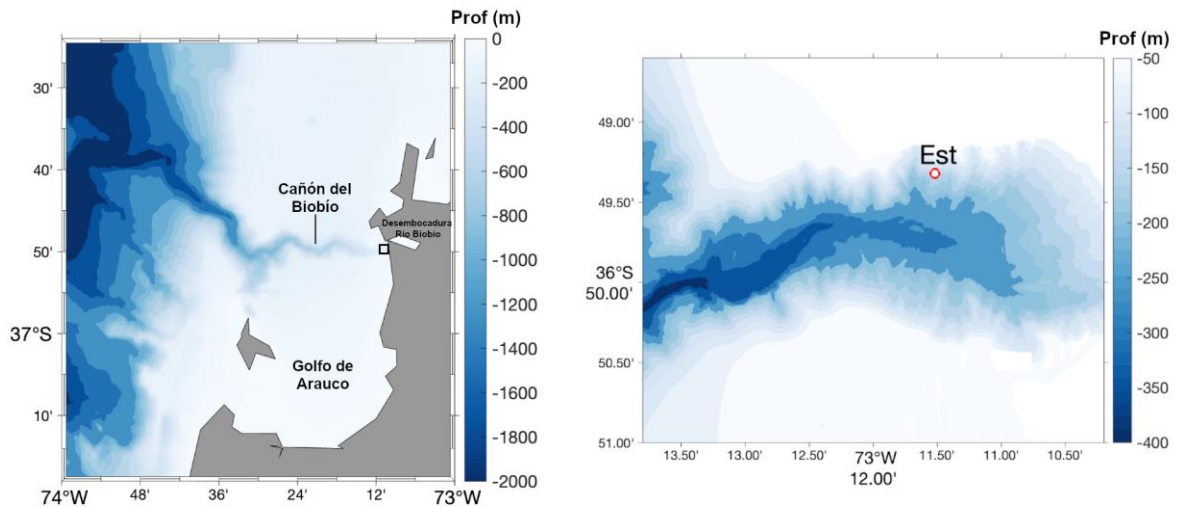


Figura 1: En el panel izquierdo está la ubicación del Cañón del Biobío (CBB). El área de estudio está señalada con un cuadrado de bordes negros en el panel izquierdo. En el panel derecho, el punto rojo indica la ubicación de la estación de muestreo en la ladera norte del CBB.

2.2 Análisis de muestras biológicas.

Se realizó un muestreo vertical de mesozooplankton de 25 horas en una estación fija (Figura 1), el cual se llevó a cabo utilizando una red tipo WP2 de 300 μm de apertura de red y 32.5 cm de diámetro de apertura de boca. Se tomaron muestras cada 3 horas obteniendo un total de 9 para completar un ciclo diario. Estas fueron fijadas en formaldehído al 5% tamponado con borato de sodio. En el laboratorio, se realizó la

revisión, conteo y la identificación de grupos mayores de zooplancton, agrupando por quitinosos, gelatinosos y otros. Además, las muestras se separaron por tamaño en organismos mayores y menores a 5 mm.

La identificación se realizó siguiendo las guías y claves de Rivera-Gómez y colaboradores (2023), Palma & Contreras (1993) y Conway (2012), y el conteo se facilitaron mediante el uso de un divisor de muestras Folsom, que divide las muestras en alícuotas sucesivas ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, etc.) hasta obtener una cantidad manejable para el conteo, y el resultado se multiplica por 2^m siendo m el número de divisiones, para estimar el número total de la muestra original (McEwen et al 1954). Este método ha mostrado buenos resultados en la revisión de muestras con altas concentraciones de zooplancton (Griffiths et al., 1984, Sell & Evans, 1982). Previamente, se realizó una revisión rápida para identificar los grupos presentes. Luego, se dividió en dos partes ($\frac{1}{2}$) para el conteo de grupos menos abundantes, seguido de una segunda división en dos partes ($\frac{1}{4}$) para el conteo de grupos muy abundantes como los copépodos y sifonóforos. La abundancia se estandarizó a individuos por m^3 y el volumen de agua filtrado por la red se calculó en base a la profundidad del lance y el radio de la boca de la red. También se calculó el promedio y desviación estándar de la abundancia para cada grupo.

2.3 *Backscatter* obtenido con ADCP

Se utilizaron los datos del perfilador de corrientes acústico Doppler (ADCP) RDI Workhorse de 300 kHz que fue montado boca a abajo en una plataforma adosada a la embarcación. Se identificaron cambios en la distribución vertical del zooplancton al correlacionar la intensidad del eco (“backscatter”) con la abundancia de zooplancton, convirtiendo el *backscatter* a “mean volume backscattering strength” o volumen de la señal retrodispersada (MVBS o Sv, dB re $1 m^{-1}$), siguiendo la ecuación propuesta por Deines (1999) y modificada por Mullison (2017) para obtener una unidad de volumen que se utiliza como proxy de biomasa de zooplancton (Brierley et al., 2006; Fielding et al., 2004), donde:

$$Sv = C + 10 \log_{10} [(Tx + 273.16)R^2] - 10 \log_{10} L - P_{DBW} + 2\alpha R + 10 \log_{10} (10^{K_c(E-E_r)/10}) - 1$$

Donde, C es un factor de escalamiento específico de cada equipo, Tx es la temperatura del transductor (°C), L es la longitud del pulso de transmisión, PDBW es el 10log10 de la potencia de salida, α es el coeficiente de absorción acústica variable en profundidad (dB m⁻¹), E es el control automático de ganancia registrado (AGC o "recuentos de eco"), y E_r es la referencia de eco, determinada como el AGC mínimo registrado para cada haz en ausencia de cualquier señal acústica. K_c es un coeficiente de sensibilidad específico del haz que se utiliza para convertir los datos brutos del eco en dB, y se calculó siguiendo a Bozzano et al. (2013) como:

$$Kc = \frac{127.3}{Tx + 273.16}$$

Por último, R es el rango de inclinación con respecto al intervalo de muestras (m), que utiliza la profundidad como corrección (Lee et al., 2004). Por lo tanto, R se expresa como:

$$R = \frac{B + \frac{L + d}{2} + ((n - 1)d) + \frac{d}{4} C^-}{(\cos \theta) C_I}$$

Donde B es la distancia de supresión, d es el tamaño de la celda de profundidad, n es el número de celda de profundidad de la capa de dispersión particular que se está midiendo, θ es el ángulo del haz, C⁻ es la velocidad media del sonido desde el transductor hasta la celda de profundidad y C_I es la velocidad nominal del sonido utilizada por el instrumento. De acuerdo con el manual del fabricante del ADCP, el rango máximo de datos aceptables (R_{max}) se define mediante:

$$R_{max} = H \cos \theta$$

Donde H es la distancia del instrumento al fondo. Se eliminaron todos los datos por debajo de R_{max}, lo que contribuyó a reducir cualquier ruido potencial del fondo marino. Una correlación mínima del 25% entre las vigas. Si el Sv de un haz dado superaba el Sv medio de los otros 3 haces en 5 dB, se descartaba el bin. Este proceso asegura la consistencia del conteo de eco entre los haces y elimina los dispersores grandes (Jiang et al., 2007). Se promediaron los 4 haces y se aplicó un filtro mediano para suavizar la señal. A continuación, el Sv final se grilloó con una resolución espacial horizontal de 40 m.

Después de analizar cuidadosamente la distribución vertical de los dispersores, se identificaron 3 capas en función de su Sv promedio y comportamiento diurno: una capa superficial desde la superficie hasta 20 m de profundidad, una capa de profundidad media de 20 a 40 m de profundidad y una capa profunda de 40 m a 60 m. Estas capas se utilizaron posteriormente para comparar los flujos Sv con la abundancia del zooplancton.

Debido a problemas con el anclaje de la embarcación, esta sufrió una leve deriva y reposicionamiento durante el periodo de estudio. Debido a eso, los datos de corrientes horizontales no serán presentados en este trabajo.

2.4 Datos hidrográficos.

La variabilidad hidrográfica y la identificación de la presencia de la pluma de agua dulce proveniente del Río Biobío se realizaron utilizando los datos del MIDAS CTD+ que midió hasta los 65 metros de profundidad aproximadamente, y que cuenta con sensor de temperatura, presión, conductividad y fluorescencia.

Se descartaron los datos correspondientes a los primeros 5 metros de profundidad, para evitar errores en la medición causados por la estabilización del equipo en esos primeros metros. Se transformaron los datos a hora local (UTC-3) para facilitar la comparación con los datos de abundancia de mesozooplancton. Además, se revisó la distribución de los datos apoyado de histogramas para descartar valores extremos.

Las secciones verticales de temperatura, salinidad, clorofila-a y densidad potencial, se construyeron en el programa Ocean Data View (ODV), seleccionando la isolínea que mostró mayor variación en profundidad a lo largo del tiempo para cada una de las variables. Para temperatura se seleccionó la isolínea de 11.25°C, para clorofila-a 5 mg/L, en salinidad 34.6 psu y para densidad potencial 1026.4 Kg/m³. Además, se calculó la concentración de clorofila integrada para los primeros 40 metros de profundidad siguiendo la metodología de Chen y colaboradores (2024) para relacionar su variación temporal con la abundancia de zooplancton:

$$Chla_{int} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{Chla_{(i)} + Chla_{(i+1)}}{2} \times (D_{i+1} - D_i)$$

Donde $Chla_{(int)}$ es la clorofila-a integrada (mg/m^2) en profundidad en la columna de agua, $Chla_{(i)}$ es la concentración de clorofila a (mg/L) en la capa (i), D_i es la profundidad de la capa (i) (m), y n es el número de capas. Esta se utiliza como un proxy de biomasa de fitoplancton (Behrenfeld & Falkowski, 1997).

2.5 Mareas, viento y descarga del Río Biobío.

Los datos de nivel del mar se obtuvieron del *Sea Level Station Monitoring Facility* de la UNESCO para la estación de Coronel (Figura 1). Los datos originales tuvieron una resolución de 1 segundo y fueron promediados a 1 hora. Los datos de viento se recopilaban de METEORED (Dirección Meteorológica de Chile) para la estación de Carriel Sur (Figura 1) los que tenían una resolución de 1 minuto y fueron promediados a 1 hora, mientras que los datos de la descarga del Río Biobío (m^3/s) se obtuvieron de la Dirección General de Aguas (DGA), todos correspondientes al mes de enero de 2024.

Para contextualizar las condiciones ambientales previas y durante el periodo de muestreo, se graficaron la componente zonal (u) y meridional (v) del viento, así como los datos de la descarga del río Biobío. También se aplicó un análisis espectral a los datos de nivel del mar (Anexo 2) para comprobar la presencia de la señal semidiurna (M2). Para evaluar si la abundancia de zooplancton presenta un patrón asociado a un régimen mareal (semidiurno), se ajustó una función sinusoidal con un período de 12.4 hrs. (M2) a las series de abundancia estandarizada por grupo, metodología ampliamente utilizada en estudios previos (Yannicelli et al., 2006; Castro et al., 2007; Castro et al., 2011).

2.6 Correlaciones.

Se realizaron correlaciones cruzadas entre la altura del nivel del mar y la profundidad de una isolínea seleccionada de cada variable, y entre el nivel del mar y el promedio horario del Sv por estratos de profundidad (<20 m, 20-40 m y 40-60 m) para ver si estas variables están respondiendo a la variación del nivel del mar durante el periodo de muestreo. Además, se realizaron correlaciones de Spearman entre la abundancia de zooplancton por grupo y el promedio del Sv en esos estratos, para determinar si existe relación entre estas

variables y determinar que grupos podrían predominar cada capa de profundidad del Sv.
El programa usado para realizar estas correlaciones fue RStudio (versión 4.4.1).

3. RESULTADOS

3.1 Caracterización de condiciones previas al muestreo y caracterización de la hidrografía.

Durante enero, predominó el viento suroeste (SW), favorable a la surgencia. Durante los 15 días previos al periodo de muestreo, el viento fue consistentemente en dirección noreste, cambiando a dirección suroeste (SW) el 22 de enero, justo previo al inicio del muestreo. El caudal del río Biobío mostró una disminución progresiva, típica del verano, con un leve aumento durante el periodo de muestreo. Además, el muestreo se realizó justo entre la segunda marea de cuadratura del 18 de enero y la sicigia del 25 de enero (Figura 2).

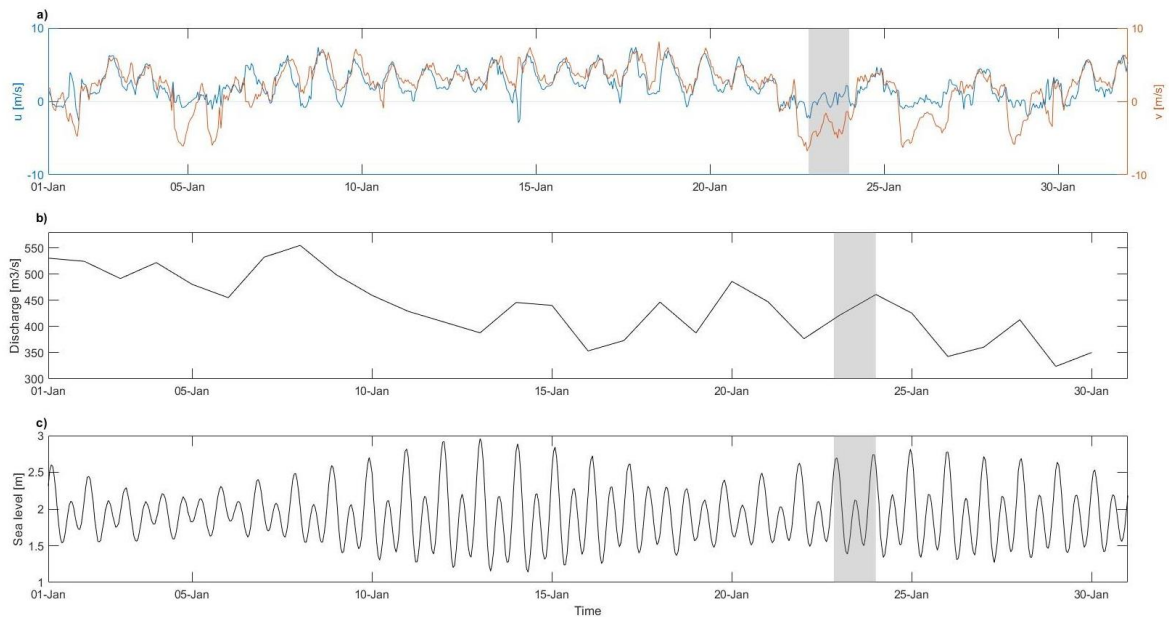


Figura 2: a) Dirección del viento en componente zonal en color azul (u) y meridional en color rojo (v) para datos del Carriel Sur (-36.78055° , -73.06639°). b) Descarga del Río Biobío. c) Nivel del mar en la estación de Coronel (-37.028605° , -73.151731°). El área sombreada corresponde al período de muestreo, el 22 y 23 de enero del 2024.

En la clorofila-a (ver Figura 3.c) se observó una fluctuación entre la capa superficial hasta los 20 m. Durante las primeras horas del muestreo, se registró un promedio de 10 mg/L en la capa superficial, que se profundizó llegando hasta los 40 m entre las 23:00 h y las 03:00 h, y disminuyó en profundidad a eso de las 10:00 h alcanzando los 15 m. Hacia el

final del estudio, la clorofila-a aumentó drásticamente, alcanzando valores de 25-30 mg/L y se profundizó a más de 40 m pasadas las 17:00 h. La isolínea de 5 mg/L fluctuó en profundidad durante todo el periodo de muestreo alcanzando profundidades bajo los 40 m a las 23:00 h y pasadas las 17:00 h, mientras que a las 10:00 h se hizo más somera alcanzando los 15 m aproximadamente.

La temperatura osciló entre los 11.25-13 °C en los primeros 20 m, disminuyendo a medida que aumentaba la profundidad (ver Figura 3.d). La capa bajo los 20 m se mantuvo en los 11°C aproximadamente. Sin embargo, entre las 23:00 h y las 03:00 h temperaturas sobre los 11°C alcanzaron los 40 m, registrándose hasta 11.5°C en esta profundidad. A las 10:00 h la temperatura disminuyó a 11°C cerca de los 15 m, pero aumentó rápidamente a lo largo de la columna de agua pasadas las 17:00 h, alcanzando 11.5°C bajo los 60 m. La isoterma de 11.25°C fluctuó en profundidad. Hacia el final del muestreo, la temperatura superficial aumentó considerablemente, registrando 13.25-13.5°C hasta los 10 m.

En la primera parte del muestreo, la salinidad se mantuvo entre los 34.3-34.5 PSU hasta los 30 m, con 34.3 PSU en superficie hasta las 04:00 h (Figura 3.e). La capa bajo los 30 m tuvo mayor salinidad alcanzando 34.6 PSU. A las 23:00 h se registraron 34.5 PSU hasta los 50 m. Mientras que a las 10:00 h la capa de alta salinidad se hizo más somera llegando a los 15 m, con valores de 34.6 PSU. Pasadas las 16:00 h, la salinidad disminuyó drásticamente bajo los 34.2 PSU en la capa sobre los 20 m.

La densidad potencial fue mayor en la capa profunda bajo los 40 m con 1026.4 kg/m³, esta isolínea se hizo más somera a las 10:00 h alcanzando los 15 m (Figura 3.f). Sobre los 20 m la densidad fluctuó entre los 1025-1026.3 kg/m³, esta gran variación en la densidad indicaría la ubicación de la picnoclina sobre los 20 m. Hacia el final del muestreo, pasadas las 16:00 h, la densidad desciende abruptamente sobre los 20 m, con valores entre 1026-1025.5 kg/m³.

Se detectó la presencia de una capa de agua con alta densidad y salinidad, pero baja temperatura bajo los 40 metros de profundidad, la que hizo más someras las isolíneas, alcanzando la profundidad más somera (<20m) entre las 08:00 y las 13:00 horas, que coincidió con el aumento del nivel del mar como se muestra en la Figura 3. Pasadas las

17:00 horas, la capa de agua con alta salinidad y baja temperatura, comenzó a profundizarse junto con las isolíneas bajo los 40 metros de profundidad (Figura 3). Esta fluctuación contempló un ciclo de 15 h aproximadamente. Por otro lado, en los primeros metros, pasadas las 17 h se observó la aparición de una capa de agua con altos niveles de clorofila-a superficial alcanzando valores cercanos a los 30 mg/L, con la temperatura superficial superando los 13°C y una notable disminución de salinidad y densidad, la cual indicaría la aparición de la pluma del Río Biobío en la zona de muestreo hacia el final del estudio, siendo coherente con el aumento del caudal del Río Biobío para la misma fecha.

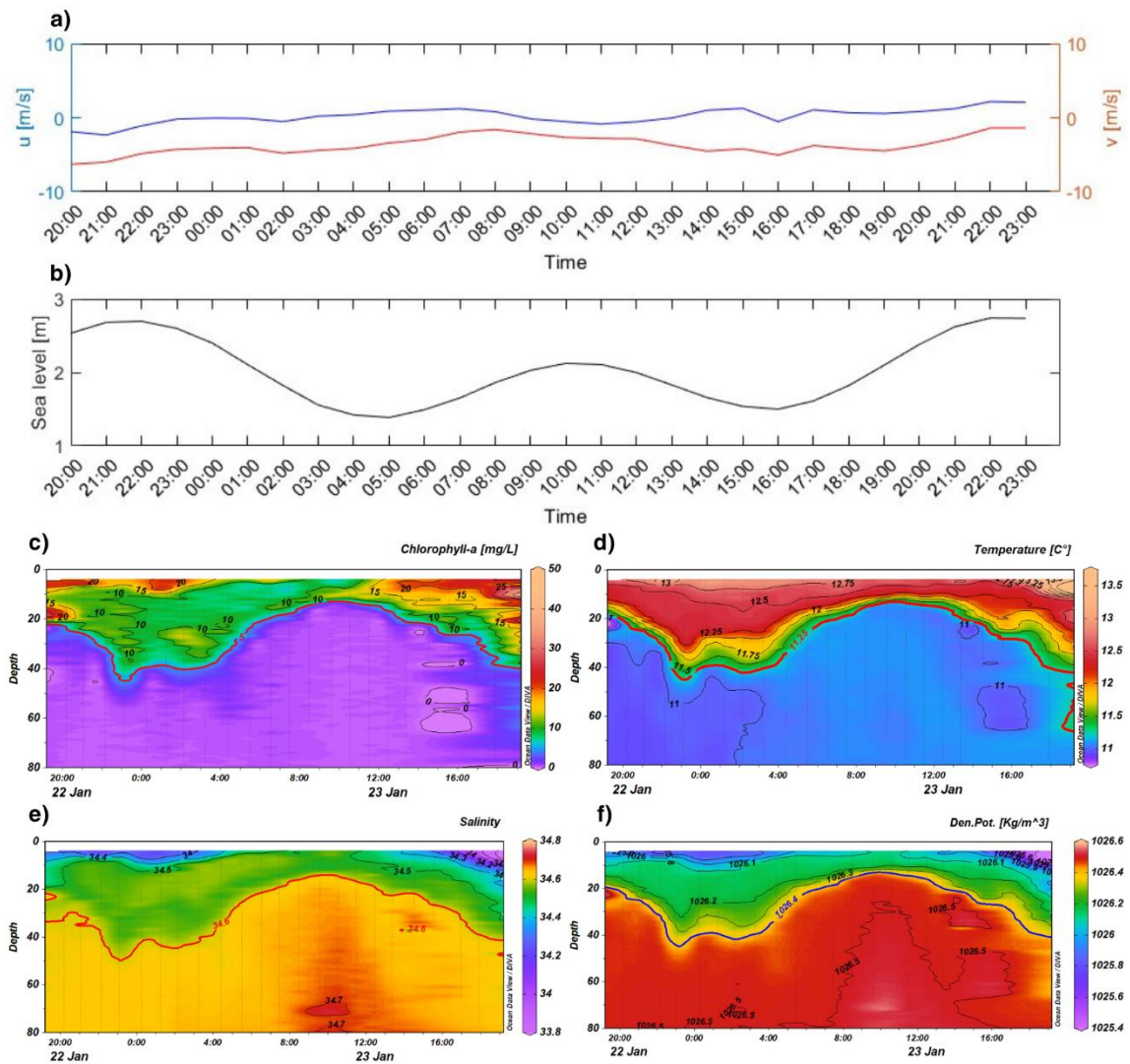


Figura 3: Variación en el tiempo de (a) el viento zonal (azul) y meridional (rojo), (b) el nivel del mar, y en profundidad de la (c) clorofila-a, (d) temperatura, (e) salinidad y (f)

densidad potencial. Colores cálidos indican valores más altos y colores fríos indican valores bajos.

3.2 Abundancia estandarizada de los grupos de zooplancton.

Los grupos más abundantes de mesozooplancton fueron los quitinosos, dominados por copépodos (42%) y anfípodos (26%), seguidos de las larvas de poliquetos (14%), y los sifonóforos (9%) dentro de los gelatinosos (Anexo 3). La abundancia total estandarizada (Figura 4.a) mostró un patrón semidiurno con un ciclo aproximado de 15 horas, alcanzando máximos ($>2000 \text{ ind m}^{-3}$) a las 8:00 y 23:45, y mínimos ($<750 \text{ ind m}^{-3}$) a las 22:00 del 22 de enero y a las 14:00 del 23 de enero. Los quitinosos totales (Figura 4.b) parecen seguir un ciclo semidiurno, fluctuando entre un mínimo de 275 y una máximo de 1457 ind m^{-3} . Por otro lado, los gelatinosos (Figura 4.c) presentan una mayor variabilidad en la abundancia, con un valor máximo (335 ind m^{-3}) a las 20:00 h del 23 de enero y múltiples valores mínimos ($< 100 \text{ ind m}^{-3}$).

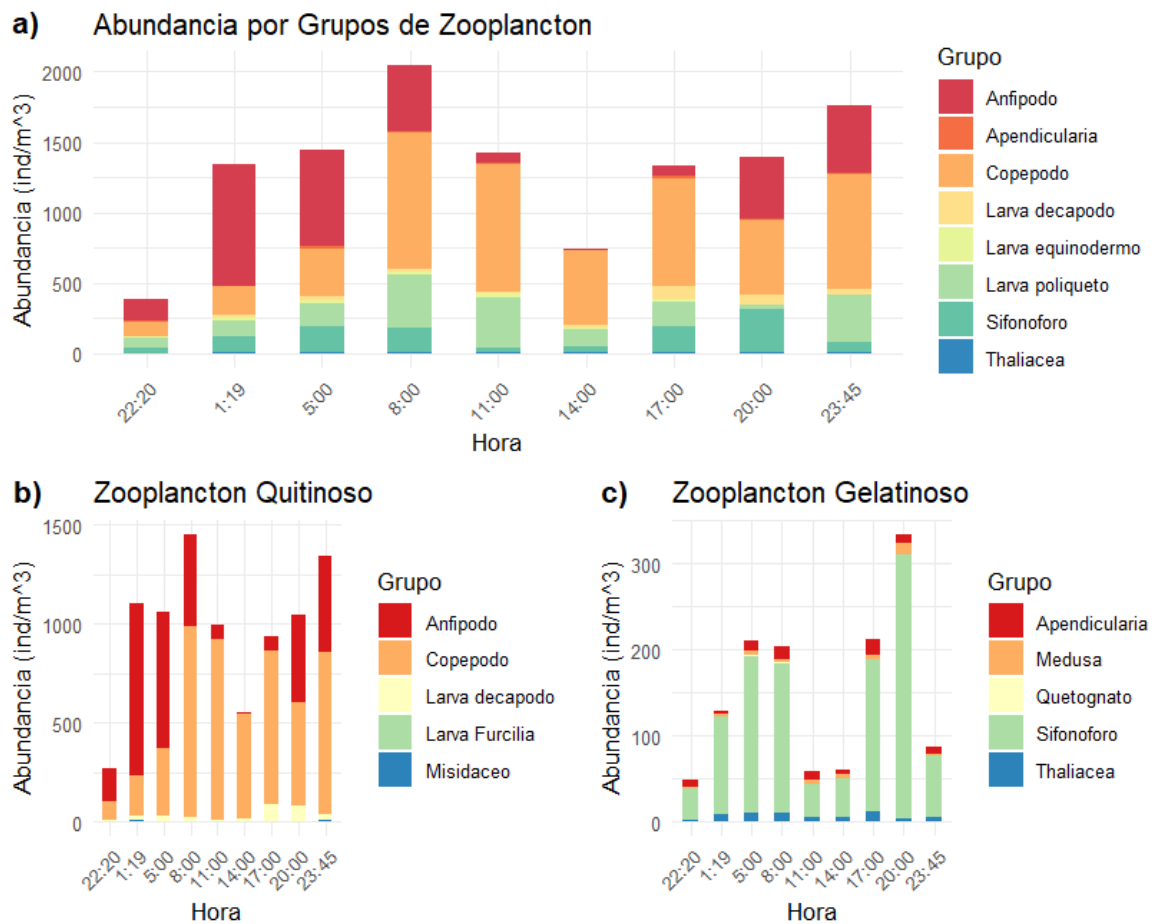


Figura 4: Abundancia estandarizada de los grupos de zooplancton (a) totales, (b) quitinosos y (c) gelatinosos durante el periodo de muestreo.

El zooplancton de mayor tamaño (>5mm) estuvo dominado por larvas de decápodos y mostró un patrón relativamente distinto al del zooplancton total (Figura 5) con dos máximos de abundancia a las 17:00 h (98 ind m⁻³) y a las 20:00 h (92 ind m⁻³). En el caso de los quitinosos (Figura 5.b), la abundancia fluctuó bajo los 50 ind m⁻³ las primeras horas del periodo de muestreo, alcanzando el mínimo de abundancia (<15 ind m⁻³) a las 11:00 h. A las 14:00 h aumenta, y se alcanza el máximo de abundancia (>90 ind m⁻³) a las 17:00 h, para luego disminuir nuevamente. Los gelatinosos (Figura 5.c), presentaron un aumento de 2 a 5 ind m⁻³ entre las 22:20-01:19 h, para luego fluctuar entre los 5-6 ind m⁻³ hasta las 20:00 h, donde se observó el máximo de abundancia (>11 ind m⁻³), y luego disminuyó drásticamente a las 23:45 h (<3 ind m⁻³).



Figura 5: Abundancia estandarizada del zooplancton total (a) >5 mm de longitud, (b) quitinoso y (c) gelatinoso, durante el periodo de muestreo.

El zooplancton pequeño (<5mm) estuvo dominado por los copépodos, seguido de los anfípodos (Figura 6), y mantuvo el patrón semidiurno observado en la abundancia total, con dos máximos, uno a las 08:00 h ($>2000 \text{ ind m}^{-3}$) y otro a las 23:45 h ($>1500 \text{ ind m}^{-3}$). Los quitinosos (Figura 6.b) presentan una fluctuación semidiurna con dos máximos de abundancia, el primero a las 08:00 h (1435 ind m^{-3}) y el segundo a las 23:45 h (1308 ind m^{-3}), y dos mínimos, a las 22:20 h ($<500 \text{ ind m}^{-3}$) y a las 14:00 h (542 ind m^{-3}). Mientras que los gelatinosos (Figura 6.c), dominados por los sifonóforos, presentaron un aumento en la abundancia durante las primeras horas del muestreo alcanzando abundancia $>200 \text{ ind m}^{-3}$ a las 05:00 y 08:00 h, para luego disminuir ($<100 \text{ ind m}^{-3}$) y volver a aumentar a las 17:00 h ($>200 \text{ ind m}^{-3}$) y alcanzar el máximo de abundancia a las 20:00 h ($>300 \text{ ind m}^{-3}$).

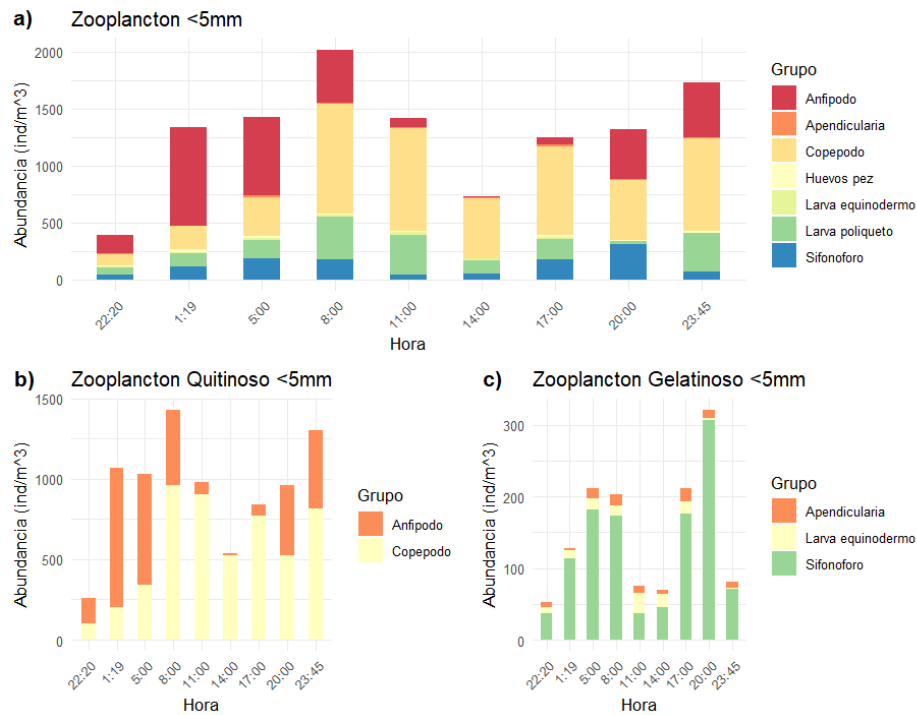


Figura 6: Abundancia estandarizada del zooplankton total (a) <5mm de longitud, (b) quitinoso y (C) gelatinosos.

3.3 Abundancia, variables oceanográficas y clorofila-a integrada.

Las isolíneas fluctuaron en profundidad, al inicio del periodo de muestreo se observó un aumento en la profundidad pasando de los 20 m a más de 40 m entre las 22:00-01:00 h, y se hicieron más someras a las 10:00 h llegando a los 15 m. Luego ambas isolíneas se profundizan, con la isolínea de 5 mg/L de clorofila-a llegando a los 40 m y la isoterma de 11.25°C superando los 50 m pasadas las 17:00 h.

El mesozooplankton quitinoso grande (>5mm) (Figura 7.a) tuvo un aumento en la abundancia a las 01:00 h ($>20 \text{ ind m}^{-3}$) cuando las isolíneas se profundizaron bajo los 40 m, y disminuyó su abundancia cuando las isolíneas se hicieron más someras cerca de los 15 m ($<20 \text{ ind m}^{-3}$). Alcanzaron el máximo de abundancia a las 17:00 h, coincidiendo con el aumento en profundidad de las isolíneas, con la isoterma de 11.25°C que supera los 50 m de profundidad pasadas las 17:00 h y la isolínea de clorofila-a que llega a los 40 m. En cuanto a los quitinosos pequeños (<5mm) (Figura 7.b), aumentaron su abundancia cuando las isotermas se profundizaron bajo los 40 m entre las 22:00-03:00 h ($>1000 \text{ ind m}^{-3}$), y

alcanzaron su máxima abundancia a las 08:00 h ($>1400 \text{ ind m}^{-3}$), poco antes de que las isolíneas alcancen la profundidad más somera a las 10:00 h, momento en el que la abundancia comienza a disminuir abruptamente ($<600 \text{ ind m}^{-3}$), y luego vuelve a aumentar a medida que las isolíneas vuelven a profundizarse.

Los gelatinosos grandes ($>5\text{mm}$) (Figura 7.c) aumentaron su abundancia ($>4 \text{ ind m}^{-3}$) cuando las isolíneas se encontraban bajos los 40 m a las 22:00 h, y disminuyeron la abundancia pasadas las 05:00 h. No hubo variaciones abruptas en la abundancia cuando las isolíneas alcanzaron la profundidad más somera. La abundancia volvió a aumentar abruptamente desde las 17:00 h, cuando las isolíneas se profundizaron, alcanzando el máximo de abundancia ($>12 \text{ ind m}^{-3}$) a las 20:00 h. Los gelatinosos pequeños ($<5\text{mm}$) (Figura 7.d) aumentaron su abundancia las primeras horas del muestreo hasta las 08:00 h, disminuyendo rápidamente a medida que las isolíneas se hicieron más somera a las 10:00 h, y alcanzaron el máximo de abundancia ($>300 \text{ ind m}^{-3}$) a las 20:00 h, justo después de que las isolíneas se profundizaron y la isoterma llegó bajo los 50 m.

En ambos casos los gelatinosos disminuyen su abundancia rápidamente pasadas las 20:00 h, sin embargo, los datos de las variables hidrográficas se midieron hasta las 19:00 h, por lo que no es posible hacer la relación con la variación en profundidad de las isolíneas en las últimas horas del muestreo de mesozooplankton.

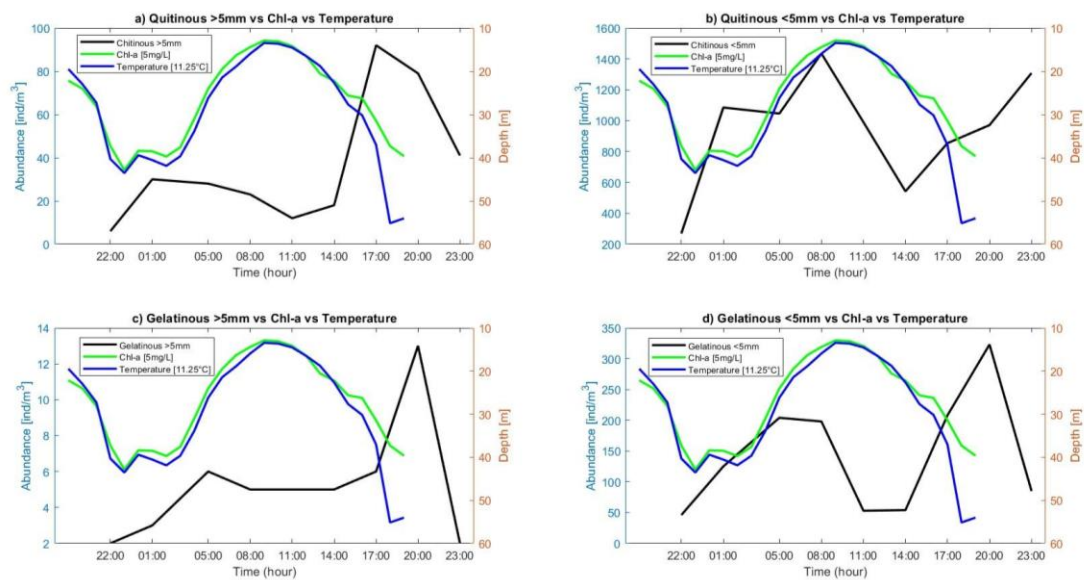


Figura 7: Variación en la profundidad de la clorofila-a a 5 mg/L y de la isoterma de 11.25 °C a lo largo del periodo de muestreo y contraste con la abundancia estandarizada de (a) quitinosos grandes, (b) quitinosos pequeños, (c) gelatinosos grandes y (d) gelatinosos pequeños.

El zooplancton quitinoso grande (>5mm) fue el grupo que mostró mayor coherencia con la clorofila-a integrada hasta los 40 metros de profundidad (Figura 8). Ambos mostraron tendencias similares en varios momentos durante el periodo de muestreo, como un aumento entre las 01:00 y 05:00 horas de la primera noche, luego disminuyeron entre las 11:00 y 14:00, con un leve desfase entre ellos, y un aumento considerable, cercano a las 20:00 horas.

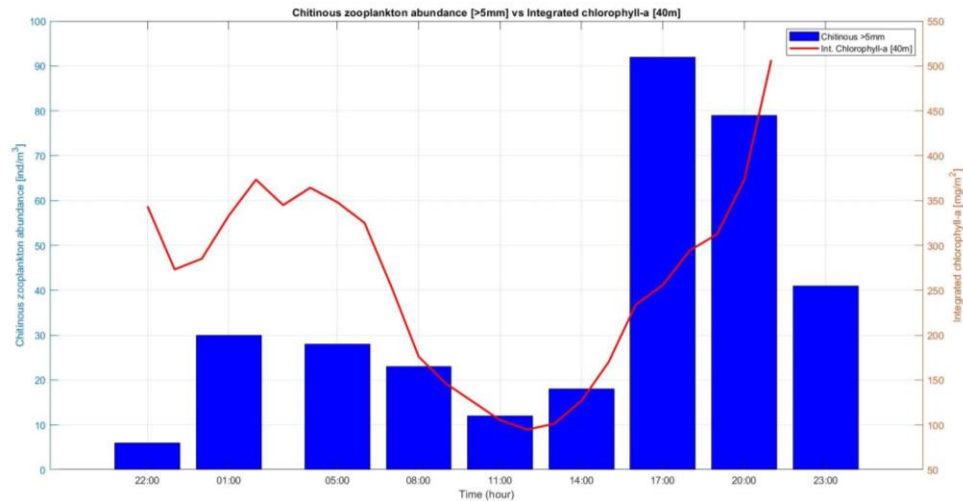


Figura 8: Abundancia del zooplancton quitinoso grande en contraste con la clorofila-a integrada (mg/m²) a 40 metros de profundidad.

3.4 Intensidad del eco y promedios del Sv por capa.

El Sv, utilizado como proxy de la abundancia de zooplancton, registró valores altos en la capa de los primeros 40 m durante la noche del 22 de enero (22:00-05:00 h), especialmente entre los 20 y 40 m (>-75 dB re m⁻¹). Esta señal se debilitó tras el amanecer, a partir de las 06:00 h (Figura 9.a). Durante el día, el Sv disminuyó drásticamente, presentando valores < -80 dB re m⁻¹. Este patrón contrasta con la abundancia total registrada a las 08:00 h, cuando se observa el máximo, lo que sugiere que el zooplancton podría estar

acumulándose cerca de la superficie, sobre los 5 m, fuera del rango considerado en el análisis. Una situación similar podría estar ocurriendo entre las 01:00 y 05:00 h, cuando se observa un Sv muy intenso cerca de los 10 m y que es cortado por el filtro de los datos en la capa somera.

Sin embargo, la intensidad del eco se incrementó nuevamente pasadas las 17:00 h a lo largo de la columna de agua (Figura 9.a). Los promedios de Sv por capa de profundidad (Figura 9.b), muestran que, antes de ese horario, el eco era más intenso en los primeros 40 m y menos intenso para la capa profunda. Posteriormente, la intensidad aumentó de forma considerable en todas las capas, en paralelo con el aumento progresivo de la abundancia total de zooplancton y el nivel del mar.

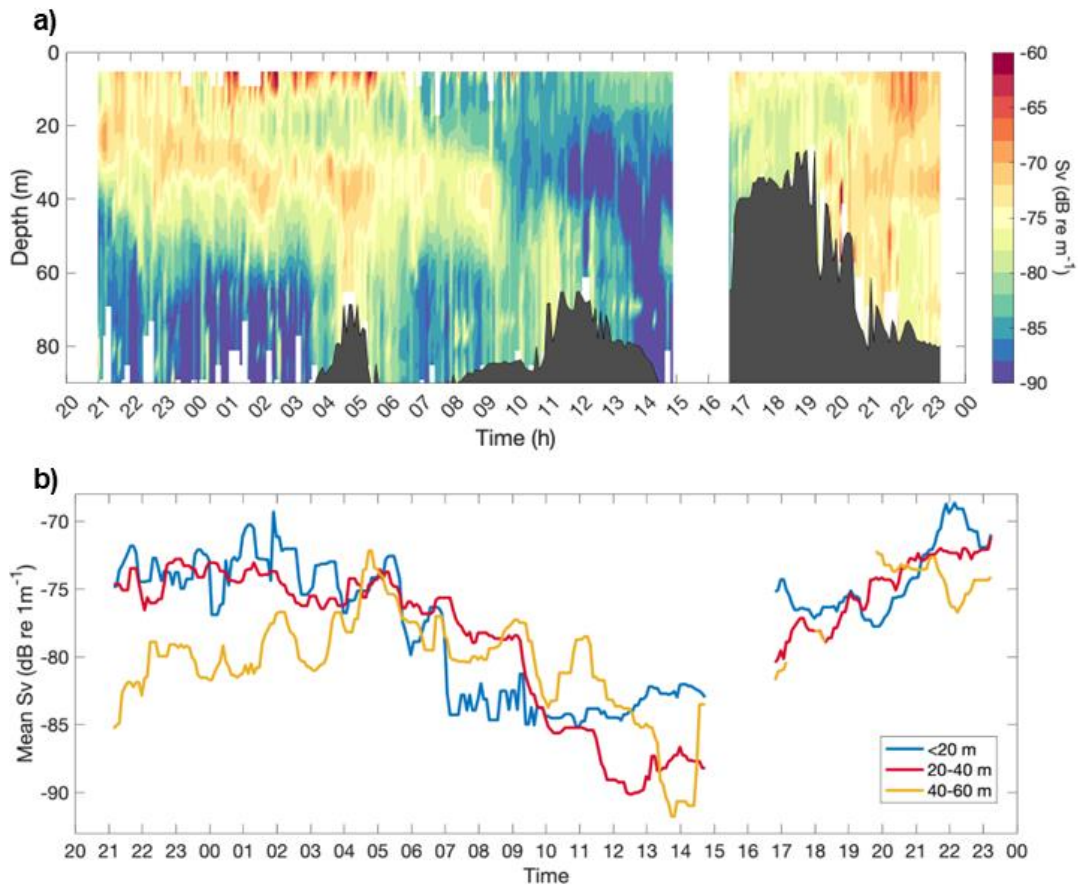


Figura 9: (a) Variación de la intensidad de la retrodispersión de volumen (Sv) en profundidad y tiempo. Colores cálidos (tonos rojos) indican mayor intensidad del Sv y colores fríos (tonos azulados) indican baja intensidad del Sv. El área en color gris

representa la batimetría en la zona de muestreo. (b) Promedios del Sv por capa de profundidad y su variación en el tiempo.

3.5 Correlación entre grupos de zooplancton y el Sv por capa de profundidad.

Los anfípodos mostraron correlaciones positivas y significativas en las capas profundas y la intermedia ($\rho=0.7$, $p=0.04$), siendo el único grupo que mostró correlaciones significativas. Las larvas de decápodo se correlacionaron positivamente con el Sv en la capa de 40-60 m ($\rho=0.5$, $p=0.1$) (Figura 10.c), al igual que la abundancia total de quitinosos ($\rho=0.6$, $p=0.07$), gelatinosos ($\rho=0.5$, $p=0.1$) y sifonóforos ($\rho=0.6$, $p=0.06$) (Anexo 4), lo que sugiere una posible preferencia de estos grupos por la capa profunda. Por el contrario, los copépodos, mostraron correlaciones negativas con todas las capas del Sv, siendo más fuerte en la capa más somera ($\rho=-0.6$, $p=0.09$) por lo que disminuyeron su abundancia a medida que aumentó el Sv en la capa menor a 20 m (Figura 10.a), al igual que las apendicularias ($\rho=-0.4$, $p=0.2$) y las medusas ($\rho=-0.4$, $p=0.2$), no obstante, ninguna de estas correlaciones fue significativa.

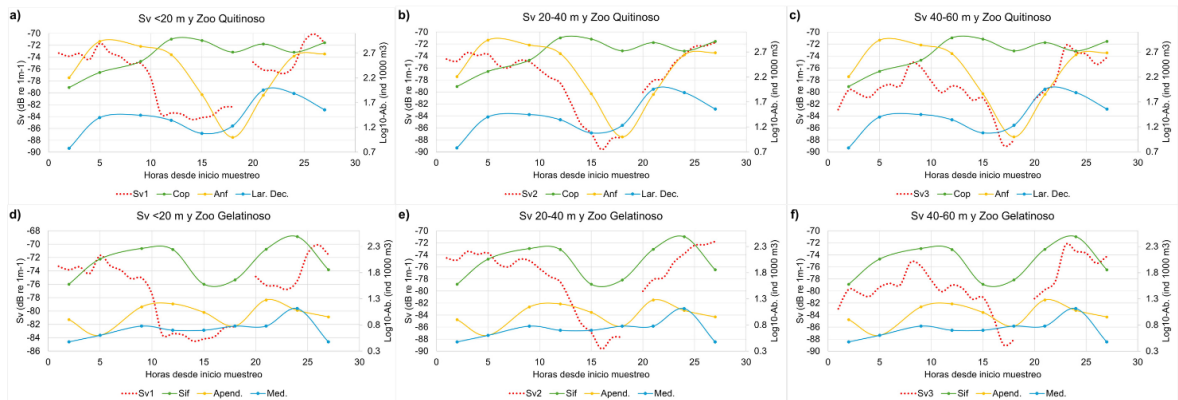


Figura 10: Abundancia logarítmica ($\log_{10}$) en grupos de zooplancton quitinosos y gelatinosos con el Sv por capas de profundidad de (a,d) <20m, (b,e) 20-40 m y (c,f) 40-60 m, durante el periodo de muestreo.

3.6 Ajuste de una función sinusoidal a los datos.

El ajuste de una función sinusoidal con un periodo de 12.4 horas (M2) a los datos de abundancia por grupo de zooplancton reveló un ajuste cercano al periodo seleccionado

para varios grupos (Figura 11, Anexo 5). Los gelatinosos totales mostraron el mejor ajuste con la función sinusoidal explicando el 85% de la variación en la abundancia ($R^2=0.85$). De la misma manera, tanto el zooplancton gelatinoso grande ($R^2= 0.53$) como el pequeño ($R^2= 0.85$) se ajustaron bien a esta señal, junto con los sifonóforos ($R^2=0.82$), los quitinosos grandes ($R^2= 0.56$) y las larvas de decápodos ($R^2=0.56$), con períodos que variaron entre 14 a 16 horas (Anexo 5).

Los anfípodos, si bien mostraron una oscilación semidiurna (ver Figura 11), el período registrado fue de 22.6 horas, más cercano a un ciclo de 24 horas, donde la función sinusoidal con este periodo explicó el 79% de los datos ($R^2= 0.79$).

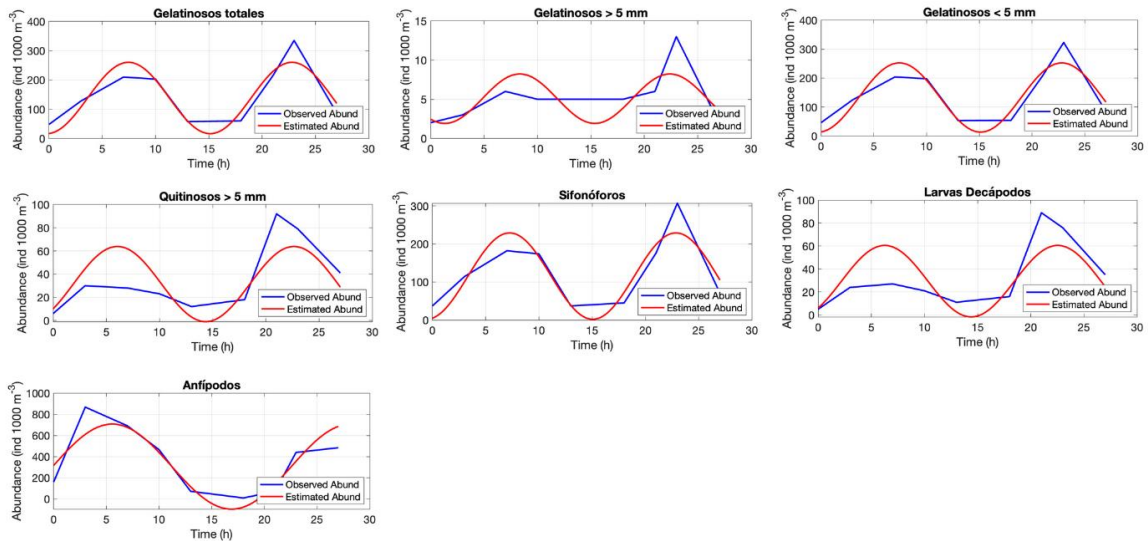


Figura 11: Variaciones en la abundancia de gelatinosos, quitinosos, sifonóforos, larvas de decápodos y anfípodos, y su ajuste a la función sinusoidal para estos datos. Los parámetros para cada grupo se encuentran en el Anexo 5.

3.7 Correlaciones cruzadas.

Las isolíneas mostraron correlaciones positivas y significativas con el nivel del mar. La clorofila-a (Figura 12.a) presentó la correlación más alta (0.62) y fue la que respondió más rápido al aumento del nivel del mar, con un desfase (lag) de 4 horas. Le siguieron la temperatura (Figura 12.b) y la salinidad (Figura 12.c), ambas con un desfase de 5 horas y correlaciones significativas (0.43 y 0.5 respectivamente). La densidad (Figura 12.d)

también mostró una correlación positiva y significativa (0.41) con el nivel del mar, respondiendo con un desfase de 6 horas.

En cuanto al Sv, el promedio en la capa más somera (Figura 12.e) presentó una correlación positiva y significativa (0.44), con un aumento del Sv de 3 horas aproximadamente después de aumento en el nivel del mar. En la capa de 20-40 m (Figura 12.f), el Sv respondió más lento (lag= +7) en comparación con la capa más somera (lag= +3), lo que sugiere que ambas capas se ven influenciadas por el aumento del nivel del mar. En la capa más profunda, el Sv (Figura 12.g) mostró un comportamiento distinto, con una correlación negativa (-0.67) y un desfase mayor (lag= +15), lo que indica que apenas responde al aumento del nivel del mar o que se ve influenciada por otras variables que oscilan en otra frecuencia.

Por último, la abundancia estandarizada de mesozooplankton, no presentó correlaciones significativas con el nivel del mar, posiblemente debido al tamaño reducido del conjunto de datos.

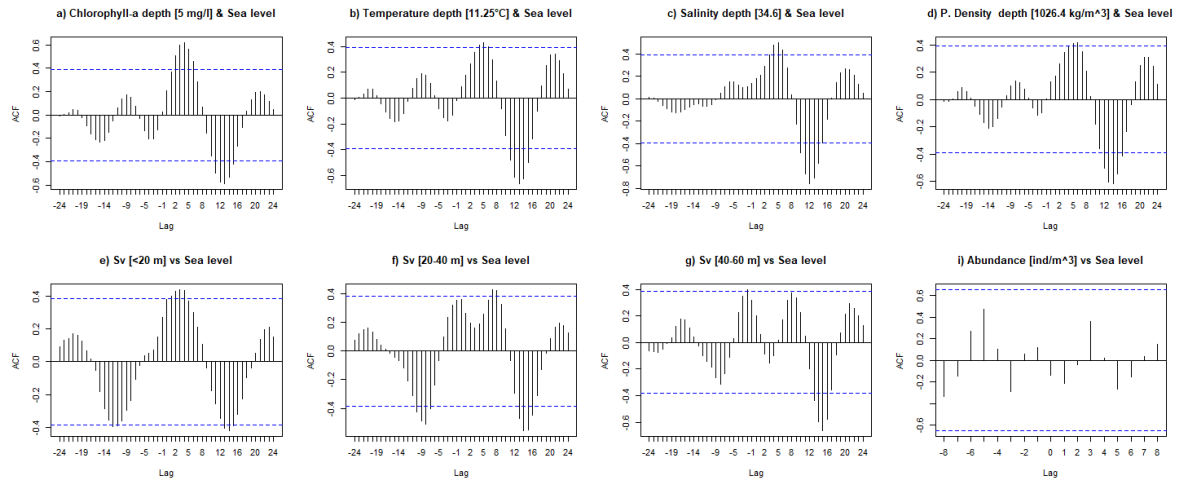


Figura 12: Correlaciones cruzadas entre el nivel del mar y las isolíneas de clorofila-a, temperatura, salinidad y densidad potencial, el Sv por capas y la abundancia estandarizada. Líneas azules indican la zona de correlación significativa.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El zooplancton desempeña un papel crucial en las tramas tróficas marinas, estando expuesto a una variedad de factores físicos y procesos de mesoescala que moldean su distribución vertical y su abundancia. Sin embargo, muchos de estos aspectos aún no han sido investigados en cañones submarinos en Chile, a pesar de asociarse estrechamente con el zooplancton al ser considerados estos ambientes como *hotspot* de biodiversidad.

Este estudio entrega una primera visión de la composición de las comunidades de zooplancton, que estarían siendo dominadas por los grupos quitinosos, específicamente por copépodos (42%) y anfípodos (26%), seguidos de los sifonóforos (14%) que domina la abundancia del zooplancton gelatinoso. El patrón semidiurno observado en la variación de la abundancia de mesozooplancton, manifestado también en grupos como el mesozooplancton pequeño y los quitinosos, sugiere una conexión directa con las mareas, siendo respaldado por la coincidencia de los máximos de abundancia, las correlaciones cruzadas, y el buen ajuste de la función sinusoidal con un periodo de 12.4 horas (componente M2) en ciertos grupos (como los gelatinosos y quitinosos grandes, incluyendo sifonóforos y decápodos). En contraste, los anfípodos, mostraron mayores abundancias de noche y muy bajas de día, y el ajuste respondió a un ciclo de ~24 h, con el máximo de abundancia durante la noche (entre las 00:00-01:00 h) y disminución considerable de la abundancia durante las horas de luz (15:00 h), siguiendo la fluctuación en la intensidad del Sv en la capa intermedia y profunda, sugiere que podría estar siguiendo el patrón típico de migración vertical diaria, sin mayor influencia de la marea, a diferencia de los demás grupos.

El mesozooplancton parece responder a la marea, con variaciones en su abundancia que van a la par de los cambios en la profundidad de las isolíneas. Cuando estas alcanzan profundidades someras (<20 m), se observa una disminución en la abundancia de mesozooplancton grande, patrón que también se observa en la abundancia de quitinosos y gelatinosos totales que disminuye abruptamente. Por otro lado, el zooplancton pequeño incrementa su abundancia, particularmente entre la 1:00 y las 8:00 am. Mientras que los quitinosos alcanzan máximos niveles de abundancia cuando las isolíneas alcanzan su

máxima profundidad. Esta relación entre la abundancia de zooplancton y las oscilaciones de la marea ha sido estudiada antes (Gagnon & Lacroix, 1981; Hill, 1991; Shanks 1983; Franks, 1997; Castro et al., 2011; Ibáñez-Tejero et al., 2018), demostrando cómo estos fenómenos influyen en la distribución y abundancia del zooplancton.

Los aumentos en la abundancia del mesozooplancton coinciden con el aumento de la temperatura y clorofila-a en la columna de agua desde las 17:00 h, momento en que también se observa un aumento de la biomasa de fitoplancton (clorofila-a integrada a los 40 m), esto amplía el rango de alimentación del mesozooplancton. Por otro lado, llama la atención el aumento de la clorofila-a superficial durante este periodo, acompañado de un incremento en la temperatura superficial, junto con una disminución de la salinidad y densidad. El incremento de la temperatura superficial se explicaría debido a la relajación del viento. Mientras que la disminución en la salinidad y densidad, junto con el aumento de la clorofila-a, podrían explicarse tanto por la manifestación de la pluma del Río Biobío, debido a que se observa un aumento de la descarga durante el periodo de muestreo, y se ha demostrado que aporta agua dulce rica en nutrientes al océano costero, favoreciendo la producción primaria (Avilés, 1993) y el aumento de la biomasa de fitoplancton en la pluma (Léniz et al., 2012), o bien, por el transporte lateral de fitoplancton (Malone et al., 1986; Huzzey et al., 1990; Martin, 2003), inducido por la corriente de marea o influenciado por los cambios en la intensidad y dirección del viento.

Por otro lado, los datos hidrográficos revelaron la presencia de una capa de agua profunda, situada por debajo de los 40 m, caracterizada por una alta densidad y salinidad, así como por bajas temperaturas y concentraciones de clorofila-a. Además, esta masa de agua mostró un ciclo de aproximadamente 15 h. Estas características sugieren la presencia de una onda interna, comunes en áreas con marcadas diferencias de densidad (Figura 3.f.) (Chiriguaya, 1989).

El Sv reflejó inicialmente el patrón clásico de migración diaria, con un eco intenso concentrado en los primeros 40 m durante la noche del 22 de enero, especialmente entre los 20 y 40 m (>-75 dB re m^{-1}). Este eco se debilitó después del amanecer pasadas las 06:00 h. Y la intensidad del eco aumentó nuevamente pasadas las 17:00 h en toda la

columna de agua, coincidiendo con la profundización de las isolíneas y un aumento de la biomasa de fitoplancton. Este aumento del Sv en gran parte de la columna de agua y no solo en la capa menos profunda hacia el final del periodo del muestreo, podría explicarse como una respuesta alimenticia del zooplancton, que habría ampliado su rango espacial de alimentación, en respuesta al aumento en la biomasa de fitoplancton. Por otro lado, la abundancia total del zooplancton no evidencia una fluctuación similar al Sv, registrando un máximo de abundancia pocas horas después del amanecer (08:00 h) durante el primer día del muestreo, aunque en la última parte del muestreo se da un aumento de la abundancia hacia el anochecer y se presenta el segundo máximo de abundancia a las 23:45 h.

Al analizar los promedios de Sv por capa de profundidad, se observó que la abundancia total de quitinosos se correlaciona positivamente con la capa más profunda (40-60 m). Los cuales están dominados por larvas de decápodos, que también se correlacionaron fuertemente con esta capa (aunque no significativamente). Esto sugiere que estas larvas podrían distribuirse en estas profundidades para aprovechar el transporte facilitado por la marea, un fenómeno común en larvas planctónicas (Pineda, 1991; Pineda et al., 2007) que ha sido estudiado en la zona central de Chile (Yannicelli et al., 2006; Vargas et al., 2003, 2004).

Los anfípodos mostraron una buena correlación con todas las capas de profundidad, alcanzando el valor más alto en la capa intermedia y profunda, donde la correlación fue significativa. Además, su abundancia tuvo un buen ajuste a una onda sinusoidal de aproximadamente 24 h, lo que sugiere que su comportamiento estaría más relacionado con la migración vertical diaria y no tanto con la marea. Esto podría deberse a su mayor capacidad natatoria (Raso & Ramírez, 2015), que les permite un mayor desplazamiento vertical en la columna de agua.

Los copépodos fueron el grupo más abundante y presentaron una fuerte correlación negativa con el Sv en la capa superficial (< 20 m), y correlaciones negativas débiles con las capas más profundas del Sv. Esto implica que la abundancia de copépodos fluctuó de manera inversa al Sv, aumentando cuando el Sv disminuyó la intensidad y viceversa,

aunque ninguna de estas correlaciones fue significativa. Es conocido que las especies de copépodos más abundantes y frecuentes en el Golfo de Arauco tienen la capacidad de soportar amplios rangos de temperatura y oxígeno (Castro et al., 2007). Si bien no se midieron datos de oxígeno, se registraron variaciones verticales en la temperatura lo que podría estar facilitando la alta abundancia de copépodos en el cañón. Por otro lado, la temperatura superficial en conjunto con la clorofila-a influyen en la distribución vertical de este grupo (Morales et al., 2010). Además, se ha registrado que independientemente de la hora del día, los copépodos tienden a permanecer cerca de la superficie durante eventos de surgencia y a su vez son arrastrados mar adentro (Escribano & Hidalgo, 2000).

Este trabajo proporciona una visión inicial de la composición y distribución vertical de la comunidad de zooplancton en el Cañón del Biobío, se determinó que la abundancia del zooplancton está dominada por los copépodos y anfípodos, se observaron fuertes correlaciones entre el Sv y el nivel del mar, que indican la influencia de la marea, confirmado con el ajuste de la señal semidiurna de 12.4 h a la abundancia de los grupos de zooplancton. Aunque la correlación entre el Sv y la capa profunda bajo los 40 m caracterizada por baja temperatura, alta salinidad y densidad sugiere la influencia de otros procesos que estarían ocurriendo en otra frecuencia. Se pudo observar variaciones en la distribución del zooplancton asociadas a la migración vertical diaria por la variación del Sv, siendo más intenso durante la noche de la primera parte del muestreo en la capa más somera y muy débil pasado el amanecer (6:00 h). Se identificó un aumento de la clorofila-a, la temperatura y disminución en la salinidad y densidad en la capa más somera pasadas las 17:00 h del segundo día de muestreo, que podría explicarse por la manifestación de la pluma del Río Biobío o bien por el transporte lateral de fitoplancton. En cuanto a la hipótesis propuesta, si bien no se contó con los datos de velocidad de las corrientes horizontales y verticales, para confirmar la presencia de la pluma del río Biobío y complementar los análisis, si se pudo identificar que la estratificación en la capa superficial estaría influyendo en la distribución vertical del zooplancton en conjunto con la marea. Este trabajo establece una base para futuras investigaciones que puedan profundizar en estos aspectos, lo cual es clave en esta zona para comprender el comportamiento del zooplancton y su interacción con el cañón y sus depredadores.

BIBLIOGRAFÍA

- Allen, S. E., & Durrieu de Madron, X. (2009). A review of the role of submarine canyons in deep-ocean exchange with the shelf. *Ocean Science*, 5(4), 607–620.
- Ancapichún, S., & Garcés-Vargas, J. (2015). Variabilidad del Anticiclón Subtropical del Pacífico Sudeste y su impacto sobre la temperatura superficial del mar frente a la costa centro-norte de Chile. *Ciencias marinas*, 41(1), 1-20.
- Antezana, T. (2010). *Euphausia mucronata*: A keystone herbivore and prey of the Humboldt Current System. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 57(7–8), 652–662.
- Apablaza, P., & Palma, S. (2006). Efecto de la zona de mínimo oxígeno sobre la migración vertical de zooplancton gelatinoso en la bahía de Mejillones. *Investigaciones Marinas*, 34(2).
- Bandara, K., Varpe, Ø., Wijewardene, L., Tverberg, V., & Eiane, K. (2021). Two hundred years of zooplankton vertical migration research. *Biological Reviews*, 96(4), 1547–1589.
- Behrenfeld, M. J., & Falkowski, P. G. (1997). Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and oceanography*, 42(1), 1-20.
- Bernhardt, A., Melnick, D., Jara-Muñoz, J., Argandoña, B., González, J., & Strecker, M. R. (2015). Controls on submarine canyon activity during sea-level highstands: the Biobío canyon system offshore Chile. *Geosphere*, 11(4), 1226-1255.
- Boucher, J. (1984). Localization of zooplankton populations in the Ligurian marine front: role of ontogenic migration. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 31(5), 469-484.
- Bozzano, R., Fanelli, E., Pensieri, S., Picco, P., & Schiano, M. E. (2013). Temporal variations of zooplankton biomass in the Ligurian Sea inferred from long time series of ADCP data. *Ocean Science*, 10(1), 93–105.
- Brierley, A. S., Saunders, R. A., Bone, D. G., Murphy, E. J., Enderlein, P., Conti, S. G., & Demer, D. A. (2006). Use of moored acoustic instruments to measure

short-term variability in abundance of Antarctic krill. *Limnology and Oceanography: Methods*, 4(2), 18–29.

- Brodeur, R. D. (2001). Habitat-specific distribution of Pacific Ocean perch (*Sebastes alutus*) in Pribilof Canyon, Bering Sea. *Continental Shelf Research*, 21(3), 207–224.
- Buchan, S. J., Pérez-Santos, I., Narváez, D., Castro, L., Stafford, K. M., Baumgartner, M. F., Valle-Levinson, A., Montero, P., Gutiérrez, L., Rojas, C., Daneri, G., & Neira, S. (2021). Intraseasonal variation in southeast Pacific blue whale acoustic presence, zooplankton backscatter, and oceanographic variables on a feeding ground in Northern Chilean Patagonia. *Progress in Oceanography*, 199, 102709.
- Buchan, S. J., Ramos, M., Oyanadel, J., Santos-Carvallo, M., Bedriñana-Romano, L., Valladares, M., Maldonado, M., Astudillo, O., Sepúlveda, M., Pearce, S., & Olavarría, C. (2024). Understanding the oceanographic dynamics of the Isla Chañaral baleen whale feeding ground, (Humboldt Archipelago, Northern Chile) to extend habitat protection. *Frontiers in Marine Science*, 10.
- Castro, L. R., Bernal, P. A., & González, H. E. (1991). Vertical distribution of copepods and the utilization of the chlorophyll a-rich layer within Concepcion Bay, Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 32(3), 243–256.
- Castro, L. R., Cáceres, M. A., Silva, N., Muñoz, M. I., León, R., Landaeta, M. F., & Soto-Mendoza, S. (2011). Short-term variations in mesozooplankton, ichthyoplankton, and nutrients associated with semi-diurnal tides in a patagonian Gulf. *Continental Shelf Research*, 31(3–4), 282–292.
- Castro, L.R., Troncoso, V.A., Figueroa, D.R. (2007). Fine-scale vertical distribution of coastal and offshore copepods in the Golfo de Arauco, central Chile, during the upwelling season. *Prog. Oceanogr.* 75, 486–500.
- Chen, Y., Zhao, H., & Han, G. (2024). Vertical and horizontal variations in phytoplankton chlorophyll-a in response to a looping super typhoon. *Limnology and Oceanography*, 69(9), 2085–2094.

- Chiriguaya, J. (1989). Aspectos teóricos sobre ondas internas. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 5(1).
- Cisewski, B., Strass, V. H., Rhein, M., & Krägersky, S. (2010). Seasonal variation of diel vertical migration of zooplankton from ADCP backscatter time series data in the Lazarev Sea, Antarctica. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 57(1), 78–94.
- Cohen, J. H., & Forward, R. B. (2002). Spectral Sensitivity of Vertically Migrating Marine Copepods. *The Biological Bulletin*, 203(3), 307–314.
- Connolly, T. P., & Hickey, B. M. (2014). Regional impact of submarine canyons during seasonal upwelling. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 119(2), 953–975.
- Conway, D.V.P. (2012). Marine zooplankton of southern Britain. Part 2: Arachnida, Pycnogonida, Cladocera, Facetotecta, Cirripedia and Copepoda (ed. A.W.G. John). Occasional Publications. Marine Biological Association of the United Kingdom, No 26 Plymouth, United Kingdom 163 pp.
- Daneri, G., Dellarossa, V., Quiñones, R., Jacob, B., Montero, P., & Ulloa, O. (2000). Primary production and community respiration in the Humboldt Current System off Chile and associated oceanic areas. *Marine Ecology Progress Series*, 197, 41-49.
- Deines, K.L. (1999). Backscatter estimation using Broadband acoustic Doppler current profilers. *Proceedings of the IEEE Sixth Working Conference on Current Measurement (Cat. No.99CH36331)*, 249-253.
- Díaz-Astudillo, M., Cáceres, M. A., & Landaeta, M. F. (2017). Zooplankton structure and vertical migration: Using acoustics and biomass to compare stratified and mixed fjord systems. *Continental Shelf Research*, 148, 208–218.
- Dirección General de Aguas. Disponible en: [MOP DGA División de Hidrología](#). Acceso 10 noviembre 2024.
- Dirección Meteorológica de Chile. Disponible en: [Servicios Climáticos](#). Acceso 3 de noviembre 2024.

- Dugdale, R. C. (1985). The effects of varying nutrient concentration on biological production in upwelling regions. *Sta*, 14(8).
- Dwinovantyo, A., Manik, H. M., Prartono, T., Susilohadi, S., & Mukai, T. (2019). Variación de la fuerza de retrodispersión del volumen medio del zooplancton de los instrumentos ADCP amarrados y móviles para la observación de la migración vertical de Diel. *Ciencias Aplicadas*, 9(9), 1851.
- Escribano, R., Hidalgo, P., González, H., Giesecke, R., Riquelme-Bugueño, R., & Manríquez, K. (2007). Seasonal and inter-annual variation of mesozooplankton in the coastal upwelling zone off central-southern Chile. *Progress in Oceanography*, 75(3), 470–485.
- Escribano, R., & Hidalgo, P. (2000). Spatial distribution of copepods in the north of the Humboldt Current region off Chile during coastal upwelling. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 80(2), 283–290.
- Franks, P. J. (1997). Spatial patterns in dense algal blooms. *Limnology and Oceanography*, 42(5part2), 1297-1305.
- Gagnon, M., & Lacroix, G. (1981). Zooplankton sample variability in a tidal estuary: An interpretative model 1. *Limnology and Oceanography*, 26(3), 401-413.
- Gajbhiye, S.N. (2002) Zooplankton-Study Methods, Importance and Significant Observations. *Proceedings of the National Seminar on Creeks, Estuaries and Mangroves Pollution and Conservation*, Mumbai, India, 28-30 November 2002, 21-27.
- Genin, A. (2004). Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *Journal of Marine Systems*, 50(1–2), 3–20.
- Graham, W.M., Pagès, F., & Hamner, W.M. (2001). A physical context for gelatinous zooplankton aggregations: a review. *Hydrobiologia*, 451, 199-212.
- Granata, A., Bergamasco, A., Battaglia, P., Milisenda, G., Pansera, M., Bonanzinga, V., Arena, G., Andaloro, F., Giacobbe, S., Greco, S., Guglielmo, R., Spanò, N., Zagami, G., & Guglielmo, L. (2020). Vertical distribution and diel migration of zooplankton and micronekton in Polcevera submarine canyon of the

Ligurian mesopelagic zone (NW Mediterranean Sea). *Progress in Oceanography*, 183.

- Griffiths, F. B., Brown, G. H., Reid, D. D., & Parker, R. R. (1984). Estimation of sample zooplankton abundance from Folsom splitter sub-samples. *Journal of Plankton Research*, 6(5), 721-731.
- Haury, L.R., McGowan, J.A., Wiebe, P.H., (1978). Patterns and processes in the time-space scales of plankton distributions. In: *Spatial Pattern in plankton communities*. NATO Conference Series. 3, 277–327.
- Hernández, E. H., & Castro, L. R. (2000). Larval growth of the anchoveta *Engraulis ringens* during the winter spawning season off central Chile. *Fishery Bulletin*, 98(4), 704-704.
- Hickey, B. M. (1995). Coastal submarine canyons. Topographic effects in the ocean, 95-110.
- Hill, A. E. (1991). A mechanism for horizontal zooplankton transport by vertical migration in tidal currents. *Marine biology*, 111, 485-492.
- Hooker, S. K., Whitehead, H., & Gowans, S. (1999). Marine protected area design and the spatial and temporal distribution of cetaceans in a submarine canyon. *Conservation biology*, 13(3), 592-602.
- Huzzey, L. M., Cioern, J. E., & Powell, T. M. (1990). Episodic changes in lateral transport and phytoplankton distribution in South San Francisco Bay. *Limnology and Oceanography*, 35(2), 472-478.
- Ibáñez-Tejero, L., Ladah, L. B., Sánchez-Velasco, L., Barton, E. D., & Filonov, A. (2018). Vertical distribution of zooplankton biomass during internal tidal forcing under mesoscale conditions of upwelling and relaxation. *Continental Shelf Research*, 171, 1–11.
- Jiang, S., Dickey, T. D., Steinberg, D. K., & Madin, L. P. (2007). Temporal variability of zooplankton biomass from ADCP backscatter time series data at the Bermuda Testbed Mooring site. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 54(4), 608-636.

- Klinck, J. M. (1989). Geostrophic adjustment over submarine canyons. *Journal of Geophysical Research*, 94(C5), 6133–6144.
- Lagadeuc, Y., Bouté, M., & Dodson, J. J. (1997). Effect of vertical mixing on the vertical distribution of copepods in coastal waters. *Journal of Plankton Research*, 19(9), 1183-1204.
- Landaeta, M. F., & Castro, L. R. (2002). Spring spawning and early nursery zone of the mesopelagic fish *Maurolicus parvipinnis* at the coastal upwelling zone off Talcahuano, central Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 226, 179-191.
- Lara-Lara, J. R., & Matus-Hernandez, M. E. (1997). Daily zooplankton grazing rates off the coast of baja california. *Ciencias Marinas*, 23(1), 71–81.
- Lee, C. J., Kim, W., Kim, C. Y., & Kim, D. G. (2005). Velocity and discharge measurement using ADCP. *Journal of Korea water resources association*, 38(10), 811-824.
- Lee, O., Nash, R. D. M., & Danilowicz, B. S. (2005). Small-scale spatio-temporal variability in ichthyoplankton and zooplankton distribution in relation to a tidal-mixing front in the Irish Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 62(6), 1021-1036.
- Léniz, B., Vargas, C. A., & Ahumada, R. (2012). Characterization and comparison of microphytoplankton biomass in the lower reaches of the Biobío River and the adjacent coastal area off Central Chile during autumn-winter conditions. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 40(4), 847-857.
- Malone, T. C., Kemp, W. M., Ducklow, H. W., Boynton, W. R., Tuttle, J. H., & Jonas, R. B. (1986). Lateral variation in the production and fate of phytoplankton in a partially stratified estuary. *Marine Ecology Progress Series*, 149-160.
- Mann, K. H., and Lazier, J. R. N. (2006). *Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-Physical Interactions in the Oceans*, 3rd Edn. Malden, MA: Blackwell Publication.
- Manuel, J. L., & O'Dor, R. K. (1997). Vertical migration for horizontal transport while avoiding predators: I. A tidal/diel model. *Journal of plankton research*, 19(12), 1929-1947.

- Martin, A. P. (2003). Phytoplankton patchiness: the role of lateral stirring and mixing. *Progress in oceanography*, 57(2), 125-174.
- Mauchline, J. (1959). IX.—The Biology of the Euphausiid Crustacean, *Meganyctiphanes norvegica* (M. Sars). *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section B. Biology*, 67(2), 141–179.
- Montecino, V., Paredes, M. A., Paolini, P., & Rutllant, J. (2006). Revisiting chlorophyll data along the coast in north-central Chile, considering multiscale environmental variability.
- Montecino, V., & Lange, C. B. (2009). The Humboldt Current System: Ecosystem components and processes, fisheries, and sediment studies. *Progress in Oceanography*, 83(1–4), 65–79.
- Montero, P., Daneri, G., Cuevas, L. A., González, H. E., Jacob, B., Lizárraga, L., & Menschel, E. (2007). Productivity cycles in the coastal upwelling area off Concepción: the importance of diatoms and bacterioplankton in the organic carbon flux. *Progress in Oceanography*, 75(3), 518-530.
- Morales, C. E., Torreblanca, M. L., Hormazabal, S., Correa-Ramírez, M., Nuñez, S., & Hidalgo, P. (2010). Mesoscale structure of copepod assemblages in the coastal transition zone and oceanic waters off central-southern Chile. *Progress in Oceanography*, 84(3-4), 158-173.
- Mullison, J. (2017). Backscatter estimation using broadband acoustic doppler current profilers-updated. In *Proceedings of the ASCE Hydraulic Measurements & Experimental Methods Conference*, Durham, NH, USA. 9-12.
- Norcross, B. L. (1991). Estuarine recruitment mechanisms of larval Atlantic croakers. *Transactions of the American Fisheries Society*, 120(6), 673-683.
- Olivar, M. P., Abelló, P., Quetglas, A., Castellón, A., Bernal, A., Molí, B., Sabatés, A., Iglesias, M., & Simao, D. (2013). Micronekton Groups Contributing to the Night Scattering Layers in the Western Mediterranean.
- Palma, Sergio & Contreras, Kaiser. (1993). *Plancton Marino de Aguas Chilenas*.
- Pearre, S. (2003). Eat and run? The hunger/satiation hypothesis in vertical migration: history, evidence and consequences. *Biological Reviews*, 78(1), 1–79.

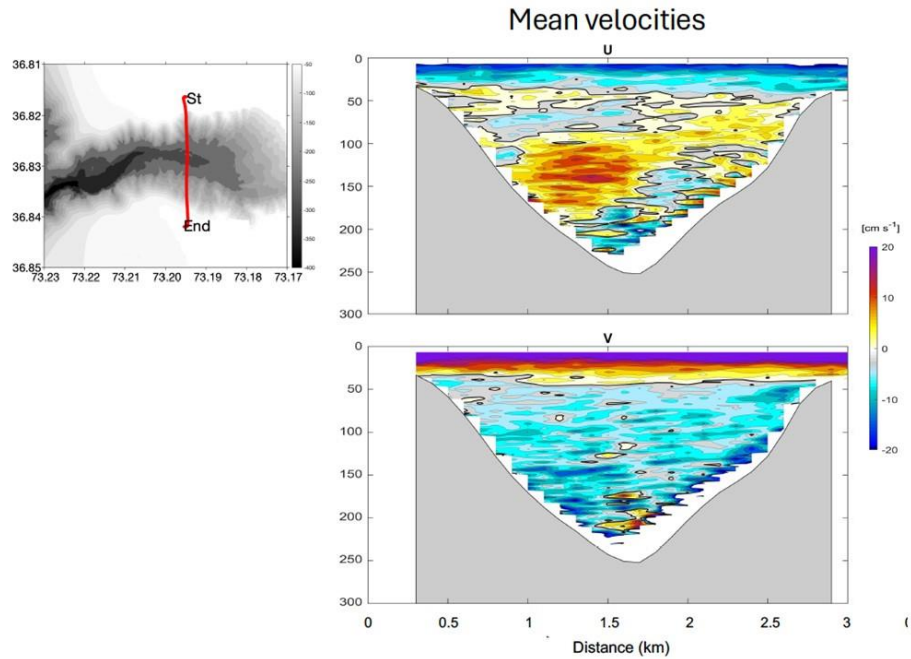
- Pérez-Santos, I., Castro, L., Ross, L., Niklitschek, E., Mayorga, N., Cubillos, L., Gutierrez, M., Escalona, E., Castillo, M., Alegría, N., and Daneri, G. (2018). Turbulence and hypoxia contribute to dense biological scattering layers in a Patagonian fjord system. *Ocean Science*, 14(5), 1185-1206.
- Pillar, S. C., Armstrong, D. A., & Hutchings, L. (1989). Vertical migration, dispersal and transport of *Euphausia lucens* in the southern Benguela Current. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 53(2), 179-190.
- Pineda, J. (1991). Predictable upwelling and the shoreward transport of planktonic larvae by internal tidal bores. *Science*, 253(5019), 548-549.
- Pineda, J., Hare, J.A., Sponaugle, S., (2007). Larval transport and dispersal in the coastal ocean and consequences for population connectivity. *Oceanography* 20 (3), 22–39.
- Prairie, Jennifer C., Sutherland, Kelly R., Nickols, Kerry J., Kaltenberg, Amanda M., (2012), Biophysical interactions in the plankton: A cross-scale review. *Limnology and Oceanography: Fluids and Environments*, 2, 10.1215/21573689-1964713.
- Rahn, D. A., Rosenblüth, B., & Rutllant, J. A. (2015). Detecting subtle seasonal transitions of upwelling in North-Central Chile. *Journal of Physical Oceanography*, 45(3), 854-867.
- Raso, J. E., & Ramírez, Á. M. (2015). Orden Amphipoda. *Revista Ibero Diversidad Entomológica Accesible IDE*, 82, 1-10.
- Rawlinson, K. A., Davenport, J., & Barnes, D. K. A. (2004). Vertical migration strategies with respect to advection and stratification in a semi-enclosed lough: A comparison of mero- and holozooplankton. *Marine Biology*, 144(5), 935–946.
- Ringelberg, J. (1995). Changes in Light Intensity and Diel Vertical Migration: a Comparison of Marine and Freshwater Environments. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 75(1), 15–25.
- Rivera-Gómez, M., Jerez-Guerrero, M., Valencia, B., y Giraldo, A. (2023). Guía de imágenes de grandes grupos del zooplancton. Programa editorial Grupo de Investigación en Ecología Animal, Universidad del Valle. Cali, Colombia.

- Salcedo-Castro, J., de Camargo, R., Marone, E., & Sepúlveda, H. H. (2015). Using the mean pressure gradient and NCEP/NCAR reanalysis to estimate the strength of the South Atlantic Anticyclone. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 71, 83-90.
- Saldías, G. S., & Allen, S. E. (2020). The influence of a submarine canyon on the circulation and cross-shore exchanges around an upwelling front. *Journal of Physical Oceanography*, 50(6), 1677–1698.
- Sánchez, G. E., Pantoja, S., Lange, C. B., González, H. E., & Daneri, G. (2008). Seasonal changes in particulate biogenic and lithogenic silica in the upwelling system off Concepción (~ 36° S), Chile, and their relationship to fluctuations in marine productivity and continental input. *Continental Shelf Research*, 28(18), 2594-2600.
- Sánchez-Velasco, L., & Shirasago, B. (1999). Spatial distribution of some groups of microzooplankton in relation to oceanographic processes in the vicinity of a submarine canyon in the north-western Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 56(1), 1-14.
- Santora, J. A., & Reiss, C. S. (2011). Geospatial variability of krill and top predators within an Antarctic submarine canyon system. *Marine Biology*, 158(11), 2527–2540.
- Sea Level Station Monitoring Facility. Disponible en: <https://www.ioc-sealevelmonitoring.org/station.php?code=crnl>. Acceso 27 septiembre de 2024.
- Sell, D. W., & Evans, M. S. (1982). A statistical analysis of subsampling and an evaluation of the Folsom plankton splitter. *Hydrobiologia*, 94, 223-230.
- Shanks, A. L. (1983). Surface slicks associated with tidally forced internal waves may transport pelagic larvae of benthic invertebrates and fishes shoreward. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, 13(2), 311-315.
- Sobarzo, M., Saldías, G. S., Tapia, F. J., Bravo, L., Moffat, C., & Largier, J. L. (2016). On subsurface cooling associated with the Biobio River Canyon (Chile). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 121(7), 4568–4584.

- Valle-Levinson, A., Castro, L., Cáceres, M., & Pizarro, O. (2014). Twilight vertical migrations of zooplankton in a Chilean fjord. *Progress in Oceanography*, 129, 114–124.
- Vargas, C. A., Araneda, S. E., & Valenzuela, G. (2003). Influence of tidal phase and circulation on larval fish distribution in a partially mixed estuary, Corral Bay, Chile. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83(1), 217-222.
- Vargas, C. A., Narváez, D. A., Piñones, A., Venegas, R. M., & Navarrete, S. A. (2004). Internal tidal bore warm fronts and settlement of invertebrates in central Chile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61(4), 603-612.
- Wiebe, P.H., Greene, C.H., (1994). The use of high frequency acoustics in the study of zooplankton spatial and temporal patterns. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 7, 133–157.
- Wunsch, C. (1975). Internal tides in the ocean. *Reviews of Geophysics*, 13(1), 167-182.
- Yannicelli, B., Castro, L.R., Valle-Levinson, A., Atkinson, L., Figueroa, D., (2006). Vertical distribution of decapod larvae in the entrance of an equatorward facing bay of central Chile: implications for transport. *J. Plankton Res.* 28 (1), 19–37.
- Zaret, T. M., & Suffern, J. S. (1976). Vertical migration in zooplankton as a predator avoidance mechanism¹. *Limnology and Oceanography*, 21(6), 804–813.

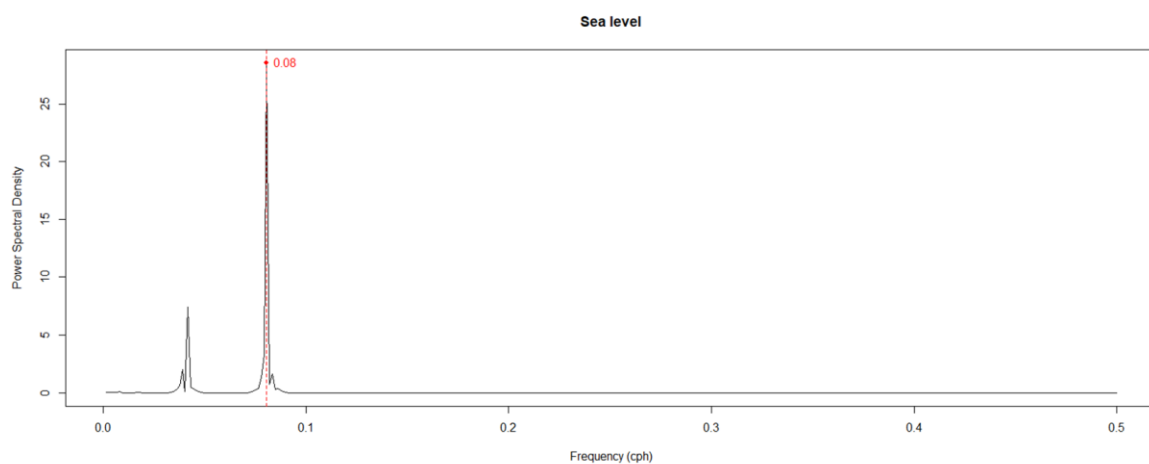
ANEXOS

Anexo 1. Flujos horizontales promedio en el Cañón del Biobío.



Flujos horizontales promedio en el Cañón del Biobío el 27 y 29 de julio de 2023. Cortesía del Dr. Manuel Castillo. A la izquierda se observa el transecto y recorrido realizado para las mediciones. A la derecha se ven los promedios de las velocidades en U y V. Velocidades en color cálido son positivas (ingreso del agua a la costa por el cañón se observa en U) y velocidades negativas en colores fríos (salida de agua de la costa).

Anexo 2. Análisis espectral del nivel del mar.



Análisis espectral aplicado a los datos del nivel del mar del mes de enero en Coronel. Se identifica un máximo en el poder espectral coincidente con una frecuencia de 0.08 cph que se asocia a la componente de marea semidiurna M2 con un periodo de 12.4 horas.

Anexo 3. Tabla de abundancia de zooplancton.

Se realizó la distinción entre zooplancton quitinoso, gelatinoso y otros grupos. Se ordenaron desde el grupo con mayor abundancia hasta el de menor abundancia. Se incluye el promedio por grupo, la desviación estándar y el valor total de abundancia estandarizada para cada grupo.

Abundancia estandarizada (indv/m ³)				
Taxa	$\bar{x}$	DS	max	%
Quitinosos				
Copépodos	573	312,54	5159	42,1
Anfipodos	327	302,22	3259	26,6
Larva decápodos	34	29,01	305	2,5
Nauplio cirripedio	4	2,45	35	0,3
Larva cypis	4	2,45	35	0,3
Misidáceo	2	2,27	20	0,2
Isópodo	1	0,84	11	0,1
Ostrácodo	1	0,33	5	0,0
Larva Furcilia	0,33	0,3	3	0,0
Cumáceo	0,12	0,25	1	0,0
Gelatinosos				
Sifonóforos	127	90,94	1143	9,3
Apendicularia	9	4,88	89	0,7
Thaliacea	6	3,34	61	0,5
Medusa	4	3,13	41	0,3
Quetognato	0,51	0,38	4	0,0
Ctenóforo	0,25	0,57	2	0,0
Otros				
Larva poliqueto	194	130,51	1746	14,2
Larva equinodermo	13	7,91	119	1,0
Huevos de pez	12	7,43	107	0,9
Larva Brachiopodo	8	3,75	84	0,7
Larva Gastropodo	2	1,12	20	0,2
Larva cifonauta	0,3	0,33	3	0,0
Larva de pez	0,17	0,18	1	0,0
Larva bivalvo	0,13	0,4	1	0,0

Anexo 4. Tabla de las correlaciones de Spearman.

Coeficientes de correlación de Spearman correspondientes a las correlaciones realizadas entre las profundidades del Sv en tres capas: <20 m, 20-40 m y 40-60 m, los grupos de zooplankton que contemplan los quitinosos y gelatinosos totales, las larvas de decápodos, anfípodos, copépodos, medusas, apendicularias y sifonóforos, y el p-value, debido a la corta longitud de los datos las correlaciones son significativas (<0.05) en muy pocos casos.

Grupo	Sv1 (<20m)	Sv2 (20-40m)	Sv3 (40-60m)	p-value (Sv1)	p-value (Sv2)	p-value (Sv3)
Quitinosos totales	0.183	0.383	0.633	0.643	0.312	0.076
Gelatinosos totales	0.000	0.200	0.550	1	0.613	0.132
Larvas de Decápodo	0.267	0.417	0.533	0.493	0.269	0.147
Anfípodo	0.617	0.700	0.700	0.085	0.043	0.043
Copépodo	-0.600	-0.417	-0.083	0.096	0.269	0.843
Medusas	-0.470	-0.393	0.034	0.201	0.295	0.930
Apendicularias	-0.417	-0.233	0.233	0.269	0.551	0.551
Sifonóforos	0.084	0.251	0.636	0.830	0.514	0.065

Anexo 5. Tabla de parámetros de la función sinusoidal.

Parámetros de la función sinusoidal ajustada a la abundancia de los grupos de zooplancton. Los parámetros son la amplitud, periodo, fase, offset y R^2 para el grupo de quitinosos grandes, gelatinosos totales, gelatinosos por tamaño grandes y pequeños, anfípodos, larvas de decápodos y sifonóforos.

Grupo	Amplitud	Periodo (h)	Fase	offset	R²
Quitinosos > 5 mm	32.47	16.60	-0.90	31.42	0.56
Gelatinosos totales	121.99	15.34	-0.81	138.41	0.85
Gelatinosos > 5 mm	3.16	14.04	-0.74	5.07	0.53
Gelatinosos < 5 mm	119.58	15.40	-0.81	133.09	0.85
Anfípodos	-402.24	22.65	-0.67	305.50	0.79
Larvas Decápodos	31.17	16.28	-0.88	29.38	0.56
Sifonóforos	113.61	15.62	-0.82	115.45	0.82