UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PROGRAMA BIO-OCEANOGRÁFICO-PESQUERO

DE LA ZONA NORTE DE CHILE (18°S-23°S)

UNAP-CIAM

INFORME FINAL

CRUCERO BIO-OCEANOGRAFICO DE PRIMAVERA

DICIEMBRE DE 2019

REQUIRENTE
CENTRO DE INVESTIGACION APLICADA DEL MAR (CIAM)

EJECUTOR
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

AUTORES
LILIANA HERRERA CAMPOS
EDGARDO SANTANDER PULGAR

PROFESIONALES PARTICIPANTES
JEANNELLE JAQUE BAGINSKY
CRISTIAN AZOCAR SANTANDER
PAOLA MORENO GONZALEZ

MUESTREADORES
CRISTHIAN DANKO ARANCIBIA
AGUSTIN ARCOS ROJAS

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO 4

INTRODUCCIÓN 6

OBJETIVOS GENERALES 6

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6

MATERIAL Y METODOS 7

RESULTADOS 10

Condiciones físicas y químicas 10

Estructura de la Comunidad Planctónica 18

Fitoplancton 18

Zooplancton 26

Ictioplancton 30

Análisis Estadístico 34

DISCUSION Y CONCLUSIONES 38

LITERATURA CITADA 39

RESUMEN EJECUTIVO

Entre los días 17 y 22 de diciembre se realizó el crucero de primavera de 2019, con el objetivo de evaluar las condiciones oceanográficas y explorar su influencia sobre los primeros estadios de vida del recurso anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile (18°S-23°S).

En el área entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) se dispusieron cinco secciones perpendiculares a la costa con estaciones distribuidas entre 1 y 20 mn en Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), y hasta 10 mn de la costa en las restantes. Se obtuvieron registros verticales continuos de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto utilizando un CTDO SeaBird19V2, y muestras discretas de agua hasta 50 m de profundidad para determinar la abundancia y biomasa del fitoplancton. Para caracterizar la composición y abundancia del zooplancton e ictioplancton, se colectaron muestras verticales desde 60 m a superficie, utilizando una red WP-2 de 300 µm equipada con un flujómetro TSK. La información se analizó gráficamente y la influencia de los parámetros físicos, químicos y biológicos sobre los componentes ictioplanctónicos, se examinó mediante un modelo aditivo generalizado (GAM). Se realizó un análisis comparativo para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las variables registradas durante las primaveras de 2014 a 2019.

Toda la franja costera (1-5 mn) se encontró influenciada por temperaturas inferiores a 18°C y salinidades entre 34,65 y 34,96 ups, que se extendieron hasta las 10 mn frente a Mejillones (23°00'S). Valores mayores a 18°C y a 35 ups ocuparon las 20 mn entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), asociadas al ingreso desde el norte del ASS que se acercó a la costa en estas localidades. Desde Chucumata (20°30'S) al sur predominó el ASAA, entre 20 y 60 m, y el AESS en los estratos más profundos (>80 m).

El oxígeno en superficie fluctuó entre 3,5 y 6,8 mL/L. En la costa (1 mn), asociados a la elevación de las oxilíneas, valores inferiores a 4,0 mL O_2/L ocuparon la columna de agua, y hacia las 40 mn el estrato oxigenado (>4,0 mL O_2/L) se profundizó. De manera concordante, el límite superior de la ZMO ocupó su posición más somera a 1 mn, alcanzando un mínimo de 8 m frente a Mejillones (23°00'S) y un máximo de 50 m frente a punta Junín (19°40'S) a 20 mn de la costa.

El microfitoplancton presentó una abundancia máxima de 2.080 cél/mL, detectados a 10 mn frente a Chucumata (20°30'S). Las diatomeas, dominaron entre punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S), donde alcanzaron abundancias superiores a 1.000 cél/mL. Los microflagelados exhibieron un máximo de 88,8 cél/mL en Chipana (21°20'S), con un aporte porcentual superior al 70%. La biomasa fitoplanctónica presentó valores superiores a 10,0 µg Cl-a/L asociados a la presencia de diatomeas y la concentración más alta fue de 53,2 µg Cl-a/L, que se detectó en Chucumata (20°30'S).

El zooplancton presentó un máximo de 493 ind/10 m^2 en Chipana (21°20'S) a 1 mn de la costa, y un segundo foco de 256 ind/10 m^2 en Arica (18°25'S) a 1 mn de la costa. Los copépodos fueron el grupo dominante exhibiendo un máximo de 317,1 ind/10 m^2 en Chipana (21°20'S), y realizando un aporte promedio superior al 90%. De igual forma, el grupo Copepoda predominó en el rango entre 0,25 y 0,75 mm, aportando con el 83% a la abundancia total de esta categoría de tamaño.

Los estadios tempranos de *Engraulis ringens* aportaron con el 96,6 y 83,8% a la abundancia total de huevos y larvas respectivamente. Se registró la presencia de huevos en toda el área de estudio, alcanzando una abundancia máxima de 19.864 huevos/10 m^2 frente a Arica (18°25'S) a 10 mn de la costa, seguido de valores superiores a 16.000 en Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) a 5 mn de la costa. Mientras que las larvas de anchoveta en estado yolk-sac y pre-flexión se detectaron al norte de Chipana (21°20'S), con densidades máximas de 5.123 y 3.833 larvas/10 m^2 en Arica (18°25'S). El análisis de asociación no mostró correlaciones significativas entre los estadios de *E. ringens* y las variables físicas, químicas y biológicas.

Los resultados del análisis comparativo revelaron que la primavera del 2019 mostró temperaturas comparables a las de 2014, y que no se encuentran fuera de los rangos de la serie de tiempo. Las diferencias en las otras variables físico-químicas se debieron a que durante la primavera del 2015 se han registrado las mayores salinidades y mayor profundidad de localización de la capa de mezcla y del límite superior de la ZMO, a consecuencia del EN 2015-2016. Dentro del componente biológico, durante el presente crucero las diatomeas incrementaron su abundancia respecto de 2018, exhibiendo diferencias significativas. También aumentó la concentración de los nanoflagelados en comparación a las primaveras de 2014 a 2016. La densidad de huevos de anchoveta no presentó diferencias significativas, pero sí lo hizo la abundancia de las larvas, producto de los bajos valores registrados en la primavera de 2018.

En general, el sistema mostró un escenario similar a las primaveras previas, con un incremento de la producción biológica asociada a las diatomeas. Tomando en consideración el efecto remoto, durante el mes de enero se detectaron anomalías de la TSM en la región El Niño1+2, que fluctuaron entre 0,1 y 0,2°C, manteniéndose una condición neutra del ENOS.

INTRODUCCIÓN

El presente reporte contiene los resultados obtenidos de la realización del crucero de primavera de 2019, requerido por el Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM) y ejecutado por la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Aturo Prat.

OBJETIVOS GENERALES

- Comprender los mecanismos de interacción entre factores físicos, químicos y biológicos, que determinan las condiciones favorables para la reproducción y crecimiento de los principales recursos pesqueros pelágicos de la zona norte de Chile (18°S-23°S) y la sobrevivencia de sus estadios tempranos.

- Comprender el efecto de la variabilidad bio-oceanográfica sobre el comportamiento de los principales recursos de la zona norte (18°S-23°S) en sus diferentes estados de desarrollo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las condiciones oceanográficas físicas, químicas y biológicas imperantes en la zona norte de Chile (18°S-23°S) y su variabilidad espacial y temporal.
- Determinar la abundancia y distribución, espacial y temporal, de diferentes estadios de desarrollo de los principales recursos de la zona norte de Chile (18°S-23°S).
- Explorar la influencia de la variabilidad ambiental sobre los diferentes estadios de desarrollo de los principales recursos de la zona norte de Chile (18°S-23°S).

MATERIAL Y METODOS

Área de estudio

El área de estudio comprendió la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S), donde se establecieron 7 transectas perpendiculares a la costa con estaciones localizadas a 1, 5, 10, 20 y 40 millas náuticas (mn) de la costa (Figura 1).

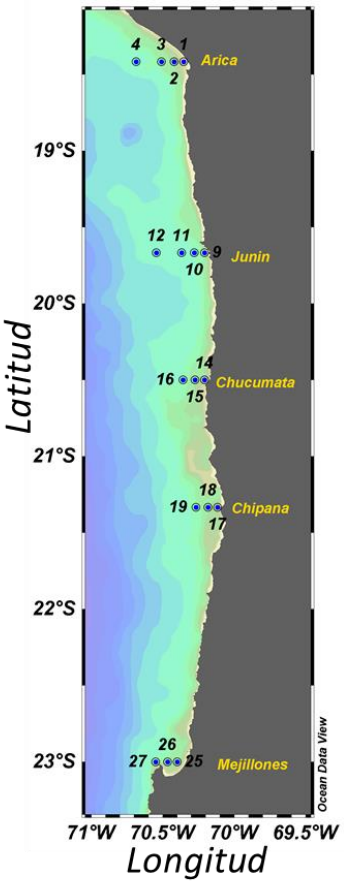

Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo del crucero bio-oceanográfico realizado entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

Muestreo y registro de información

El crucero se llevó a cabo entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019 en la embarcación artesanal "Don Alejandro II".

El área de estudio comprendió la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S), donde se establecieron 5 secciones perpendiculares a la costa con estaciones localizadas a 1, 5, 10 y 20 millas náuticas (mn) de la costa en las secciones de Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), mientras que en las restantes se establecieron tres estaciones a 1, 5 10 mn (Figura 1). En cada una de las estaciones se realizaron perfiles verticales de

temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto, utilizando un CTDO SBE-19V2. La profundidad máxima fue de 100 m en este crucero. Las muestras para estimación de biomasa fitoplanctónica se realizó con muestreo discreto a profundidades estándares (0, 5, 10, 25, 50 m). Para determinar la composición y abundancia del zooplancton e ictioplancton se tomaron muestras mediante arrastres verticales, entre los 60 m y la superficie, utilizando una red WP-2 de 300 µm de abertura de malla equipada con un flujómetro TSK.

La abundancia de fitoplancton se estimó de acuerdo a la metodología propuesta en UNESCO (1978) y Villafañe & Reid (1995) y la biomasa, expresada en términos de la concentración de clorofila-a, según Parsons *et al*. (1984). Los grupos, abundancia y espectro de tamaños del zooplancton se determinaron utilizando el programa ZooImage (Grosjean *et al.*, 2004). Los huevos y larvas de recursos pelágicos fueron separados y contados. Las abundancias se retrocalcularon de acuerdo a Horwood & Driver (1976) y las densidades fueron estandarizadas por 10 m^2 de superficie oceánica (Smith & Richardson, 1979).

Análisis de la información

La información de las variables físicas, químicas y biológicas fue analizada mediante gráficos de distribución horizontal y vertical, los cuales fueron elaborados utilizando el programa Ocean Data View (ODV) (Schlitzer, 2018).

Para caracterizar el escenario ambiental imperante durante los días del muestreo, se identificaron las masas de agua mediante la confección de pares T-S. Para esto se consideró la información proveniente de toda la zona y aquella registrada por sectores: norte entre Arica y punta Junín (18°25’S-19°40’S), centro entre Chucumata y Chipana (20°30’S-21°20’S), y sur entre Tocopilla y Mejillones (22°10’S-23°00’S).

Se estimó, además, la profundidad de la capa de mezcla (PCM), la profundidad de localización del límite superior de la ZMO (LS_ZMO) y el transporte de Ekman (TEk). Para determinar la PCM se utilizó como proxy la ubicación de la isoterma de 15°C, y la profundidad del LS_ZMO correspondió a aquella a la cual la concentración de oxígeno disuelto fue de 1,0 mL/L. Ambas se obtuvieron mediante el programa ODV (Schlitzer, 2018).

El transporte de Ekman (TEk) fue calculado como:

$$M_x = \frac{\tau_y}{f}$$

donde M_x es el Transporte Ekman (m^3/s/km), f es el parámetro de Coriolis y τ_y es el estrés del viento (Bowden, 1983). Se trabajó con la información de vientos horarios de los

aeropuertos de Arica, Iquique y Antofagasta proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile.

Análisis estadístico

Utilizando la función kruskal.test de la plataforma R, se aplicó el análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis para comparar la información de los parámetros físicos, químicos y biológicos registrada en el presente crucero con aquella obtenida durante las primaveras de 2014 a 2019. Cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas, se realizó la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para determinar el periodo que las generó, empleando la función kruskalmc. Los resultados se presentan en tablas y gráficos de cajas y bigotes.

RESULTADOS

Condiciones físicas y químicas

Temperatura

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre 16,1 y 22,1°C. La distribución espacial de la estructura termal mostró en las secciones al norte de Chipana (21°20'S), una banda costera, entre punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S), con menores temperaturas (<18°C), separada de una banda oceánica donde los valores superaron los 20°C, que se extendió desde de Arica (18°25'S) a Chucumata (20°30'S). En el sector de Mejillones (23°00'S) las temperaturas se mantuvieron inferiores a 18°C (Figura 2A). La profundidad de localización de la isoterma de 15°C se mantuvo sobre los 20 m en la franja costera (1-5 mn) entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), ocupando su posición más somera en Mejillones (23°00'S) entre 1 y 10 mn de la costa. Por el contrario a las 40 y 20 mn frente a Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S) se la registró sobre los 30 m de profundidad (Figura 2B).

La estructura vertical se caracterizó por presentar una columna de agua dividida en dos estratos por la termoclina. En las secciones de Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), en la estación de 20 mn, se detectó la presencia del agua cálida (>18°C) hasta 40 y 50 m de profundidad, respectivamente. En las estaciones ubicadas a 10 mn y hacia la costa, esta capa cálida se ubicó entre 10 y 15 m de profundidad, delimitada claramente por la isoterma de 15°C (Figura 3A y 3B). Las secciones de Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), mostraron una capa superficial con mayores temperaturas sobre los 20 m de profundidad, destacando que en la sección de Chucumata (20°30'S) valores mayores a 17°C se detectaron en la estación de 5 mn costa afuera (Figura 3C), mientras que en Chipana (21°20') la isoterma de 17°C se extendió sobre los 20 m de profundidad y a lo largo de toda la sección (Figura 3D). Mejillones (23°00'S) se caracterizó por la presencia de aguas con temperaturas mayores a 17°C en la estación de 5 mn, generando el hundimiento de la termoclina, con una condición más fría hacia la costa con valores inferiores a 15°C (Figura 3E).

Salinidad

La salinidad superficial fluctuó entre 34,2 y 35,3 ups. Valores superiores a 35 ups se distribuyeron por la banda de las 20 mn desde Arica (18°25'S) hasta Chucumata (20°30'S), y se asociaron a aguas cálidas (>20°C). Frente a punta Junín (19°40'S) se registró el máximo de 35,27 ups. En la costa (1-5 mn), la salinidad se mantuvo entre 34,8 y 34,9 ups, registrándose el valor mínimo (34,5 ups) en Chipana (21°30'S) en la forma de un foco que se extendió sobre las 10 mn. La zona de Mejillones (23°00'S) presentó salinidades en el orden de los 34,7 ups (Figura 2C).

La estructura vertical de la salinidad se caracterizó por la presencia de un estrato superficial (0-20 m) con salinidades menores a 34,7 ups, excepto en Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), donde se observó la presencia de valores mayores a 35 ups ocupando los primeros 20 m de profundidad a 20 mn (Figura 4A y 4B). En Chucumata (20°30'S) los primeros 20 m de la columna de agua estuvieron dominados por salinidades menores a 34,7 a 5 y 10 mn, mientras que en Chipana (21°20'S) lo hicieron a lo largo de toda la sección. En esta localidades, bajo los 20 m de profundidad, predominaron salinidades mayores a 34,8 ups, que se distribuyeron homogéneamente en toda la columna de agua entre la costa y las 10 mn (Figuras 4C y 4D). En Mejillones (23°00'S) la estructura halina mantuvo la misma tendencia, con una capa superficial con salinidades menores a 34,7 ups entre la superficie y los 20 m de profundidad, mientras que en la subsuperficial (>20 m) dominaron salinidades mayores a 34,8 ups en toda la columna de agua (Figura 4E).

Densidad

La densidad (sigma-t) en superficie presentó valores extremos de 24,0 y 26,4. Siguiendo la distribución de la temperatura y la salinidad, las menores densidades se observaron en superficie, asociada a mayores temperaturas y mayores salinidades. Densidades menores a 25,1 ocuparon el sector oceánico (20 mn) desde Arica (18°25'S) a Chucumata (20°30'S). En la banda costera (1-10 mn), los valores aumentaron observándose valore mayores a 25,0 entre punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S). En el sector de Mejillones (23°00'S) predominaron densidades mayores a 25, con una distribución homogénea (Figura 2D).

La distribución vertical mostró densidades inferiores a 25 ocupando los primeros 20 m de profundidad a 20 mn de la costa. En las secciones de punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S), entre 1 y 10 mn, se observó que el ascenso de agua subsuperficial condujo a la superficie densidades superiores a 25,75 que ocuparon la capa superficial de la columna de agua. La sección de Mejillones (23°00'S) presentó un patrón similar al antes descrito, destacando el bolsón de aguas más cálida, más salina y menos densa a 5 mn. Bajo los 50 m de profundidad predominaron densidades mayores a 26 (Figura 5).

Diagramas T-S

Al analizar los diagramas T-S, se registró la presencia de las tres masas de agua de la región: Agua Subtropical Superficial (ASS), Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). El ASS tuvo escasa participación, observándose una mayor influencia en el sector norte, entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), donde se registraron las mayores temperaturas (>20°C) y salinidades (>35 ups). De este diagrama, también se desprende una mayor participación del ASAA, especialmente en la capa superficial de las secciones analizadas, y que muestra claramente el patrón de distribución de la salinidad (Figura 6).

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto fluctuó entre 0,1 y 7,1 mL/L. En superficie predominaron concentraciones superiores a 5,5 mL O_2/L en el sector norte del área, entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S) y entre la costa y las 10 mn. Desde Chucumata (20°30'S) al sur, la franja de 1 mn exhibió valores inferiores a 4,5 mL O_2/L, los que se incrementaron levemente hacia el sector más oceánico (10 mn), pero no superando los 5,0 mL O_2/L (Figura 7A).

En la componente vertical, el oxígeno disuelto exhibió una somera capa (20 m) con valores superiores a 4,0 mL O_2/L, la que se profundizó hacia la región más oceánica (20-40 mn) frente a Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S) (Figura 8). De manera concordante, el LS_ZMO se localizó por sobre los 20 m de profundidad en toda la zona entre 1 y 10 mn de la costa, exhibiendo un hundimiento en el sector norte donde se registró cercano a los 60 m frente a punta Junín (19°40'S) (Figura 7B).

Transporte de Ekman (TEk)

Durante la primavera de 2019, el TEk promedio en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S) alcanzó los 933,9, 724,0 y 1.030,1 m^3/s/km respectivamente. La magnitud de estos valores indicaron la ocurrencia de surgencia de intensidad media a alta, condición que fue especialmente notoria en Chucumata (20°30'S), durante los días de realización del crucero (17-22 de diciembre) (Figura 9).

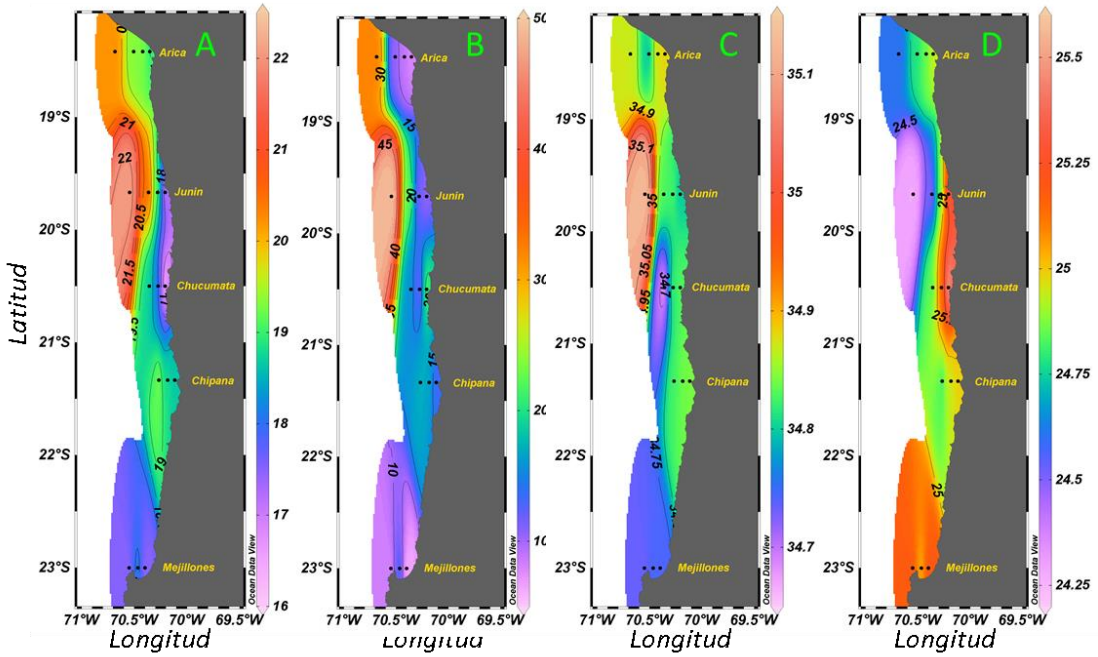

Figura 2. A: distribución superficial de Temperatura (°C), B: profundidad de localización de la isoterma de 15°C (m), C: distribución superficial de Salinidad (ups) y D: distribución superficial de Densidad (σ-t), entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

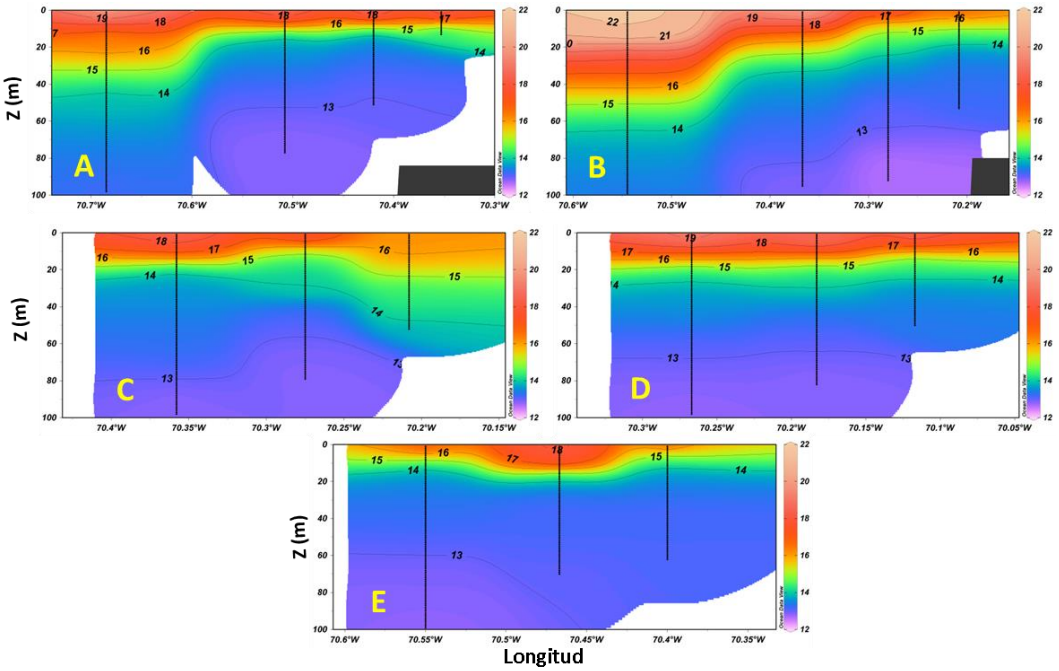

Figura 3. Distribución vertical de Temperatura (°C) entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. A: Arica (18°25'S), B: punta Junín (19°40'S), C: Chucumata (20°30'S), D: Chipana (21°20'S) y E: Mejillones (23°00'S).

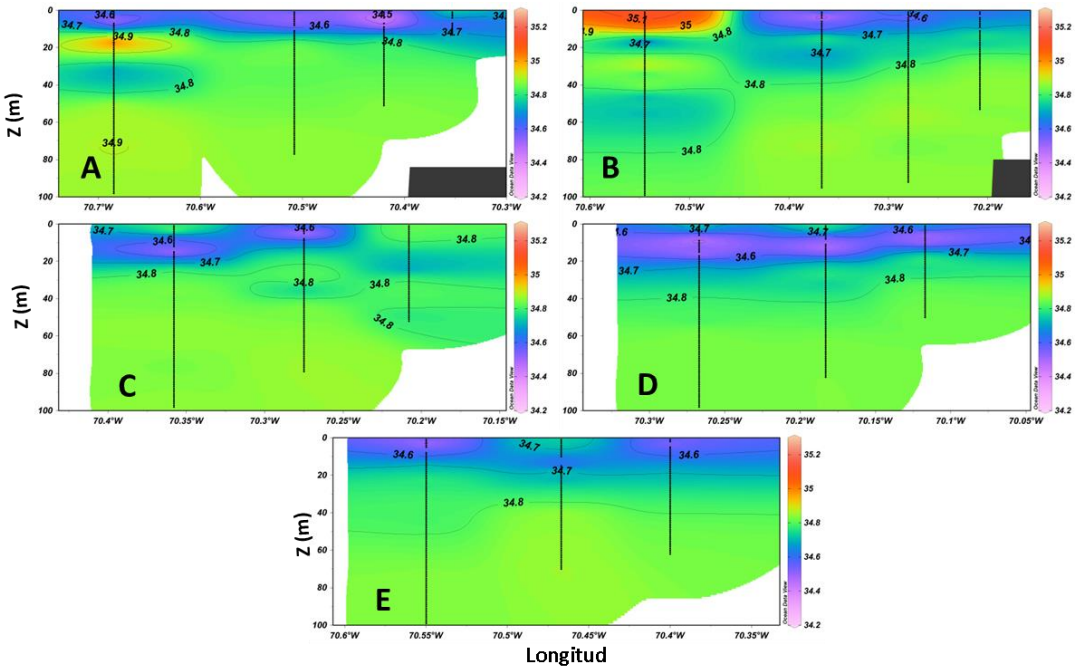

Figura 4. Distribución vertical de Salinidad (ups) entre los días 17 y22 de diciembre de 2019. A: Arica (18°25'S), B: punta Junín (19°40'S), C: Chucumata (20°30'S), D: Chipana (21°20'S) y E: Mejillones (23°00'S).

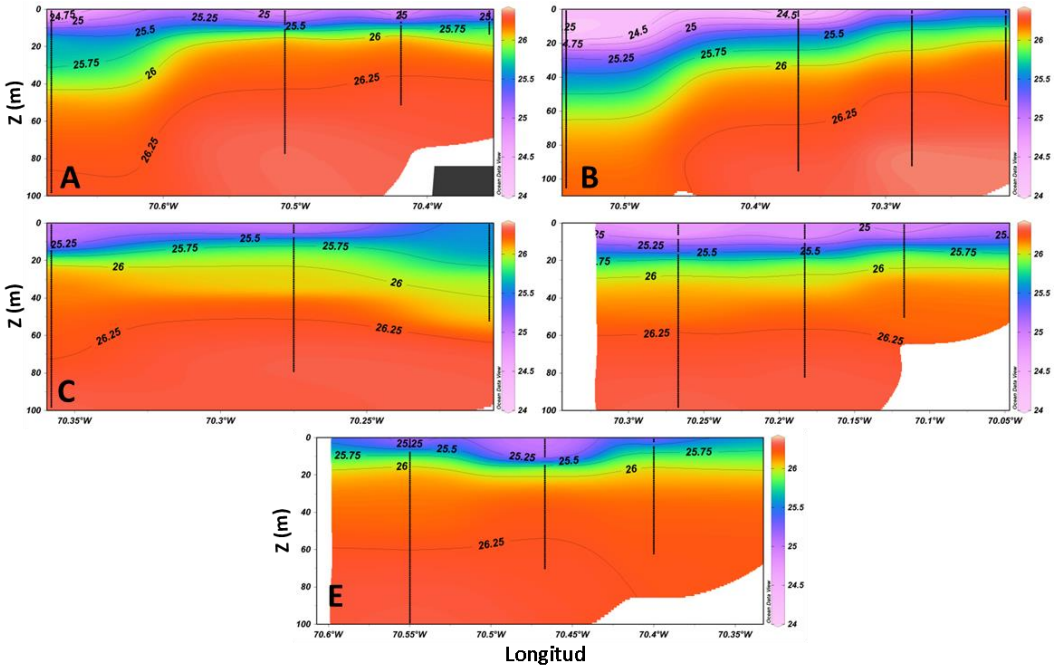

Figura 5. Distribución vertical de Densidad (σ-t) entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. A: Arica (18°25'S), B: punta Junín (19°40'S), C: Chucumata (20°30'S), D: Chipana (21°20'S) y E: Mejillones (23°00'S).

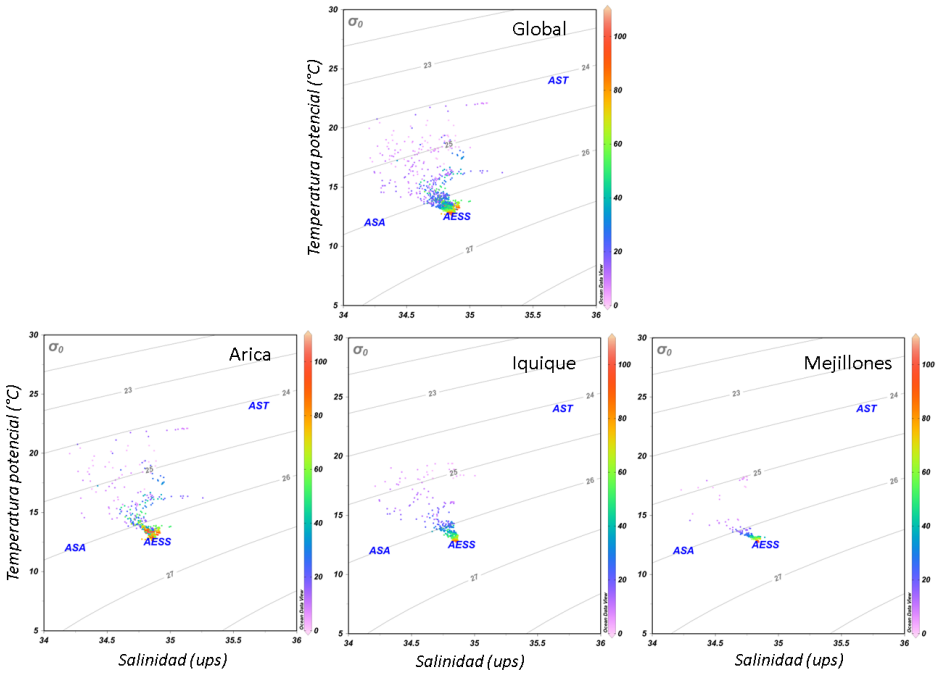

Figura 6. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para toda la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25'S-19°40'S, centro: 20°30'S-21°20'S y sur: 22°10'S-23°00'S (panel inferior), entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

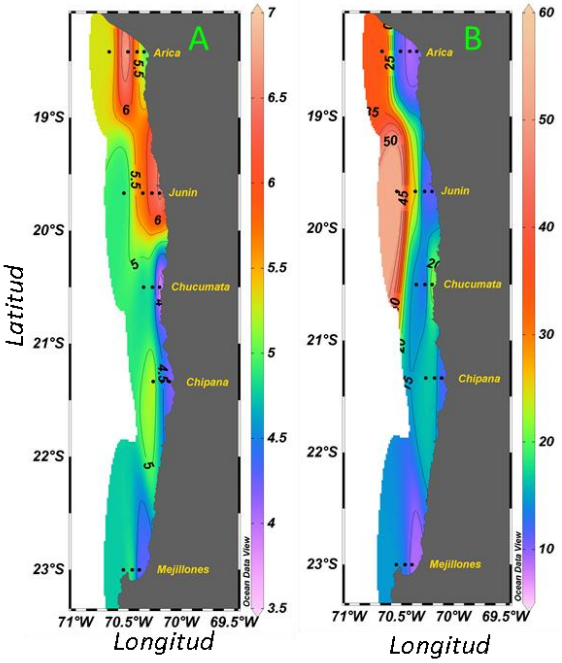

Figura 7. A: Distribución superficial de Oxígeno Disuelto (mL O_2/L) y B: profundidad de localización del LS_ZMO (m) entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

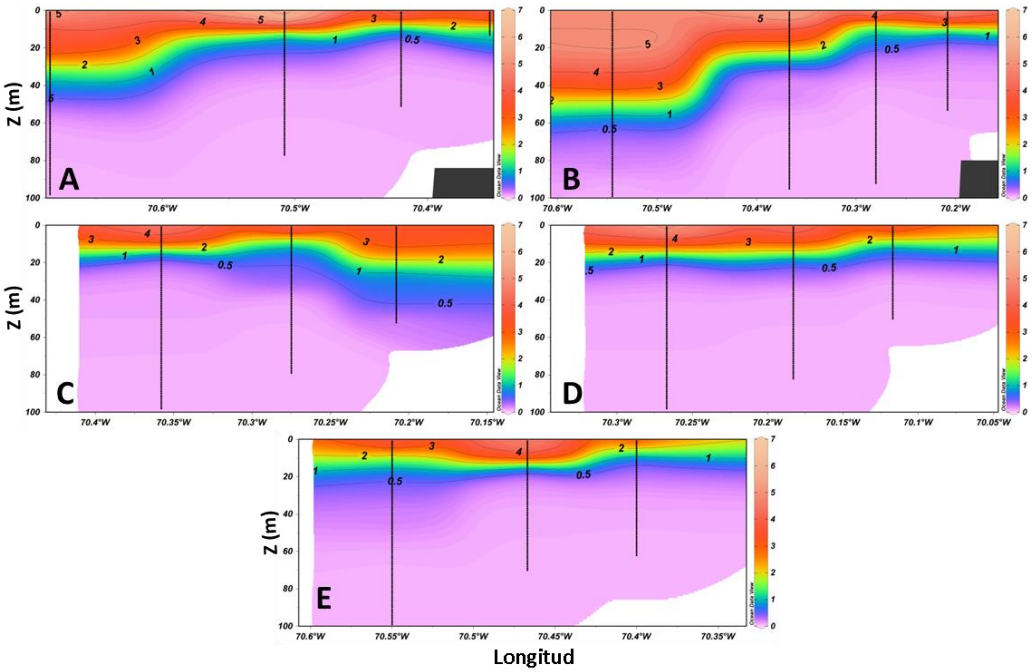

Figura 8. Distribución vertical de Oxígeno Disuelto (mL O_2/L) entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. A: Arica (18°25'S), B: punta Junín (19°40'S), C: Chucumata (20°30'S), D: Chipana (21°20'S) y E: Mejillones (23°00'S).

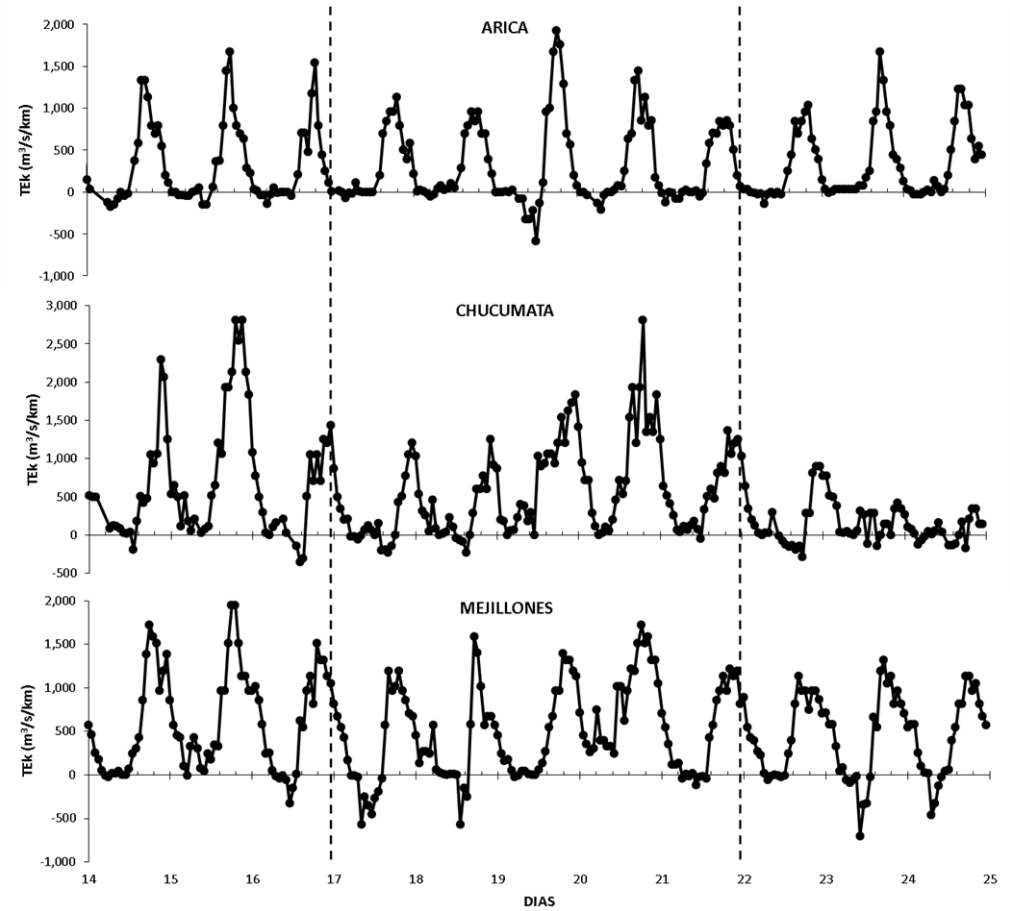

Figura 9. Transporte Ekman diario ($m^3/s/km$) en Arica, Chucumata y Mejillones, entre los días 14 y 25 de diciembre de 2019 (las líneas punteadas indican los días de realización del crucero).

Estructura de la Comunidad Planctónica

Fitoplancton

En relación a la composición específica, se identificó un total de 59 especies microfitoplanctónicas, de las cuales 25 correspondieron a diatomeas y 34 a flagelados. Entre las diatomeas, la especie *Guinardia delicatula* destacó por alcanzar la mayor abundancia (2.059 cél/mL) y por su distribución en toda el área de estudio, realizando sus mayores aportes entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S) asociada a las especies de *Thalassiosira minuscula* y *T. angustelineata*. En el sur predominaron especies de los géneros *Chaetoceros* y *Pseudo-nitzschia* (Tabla 1). Entre los flagelados, los dinoflagelados tecados del género *Ceratium* exhibieron un predominio entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), y en Arica destacó *Prorocentrum micans* con la mayor abundancia (53,6 cél/mL) y aporte porcentual (47,5%). Las formas atecadas del género *Gyrodinium* se registraron en toda el área, y junto a *Akashiwo sanguinea* dieron cuenta de las concentraciones observadas en Mejillones (23°00'S) (Tabla 2).

Respecto de su abundancia, el microfitoplancton total fluctuó entre 0,1 y 2.080,0 cél/mL. La concentración celular integrada entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostró la presencia de valores superiores a 100 cél/m^3 distribuidos entre la costa y las 20 mn, destacando magnitudes por sobre las 500 cél/mL en punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S). Las diatomeas aportaron con más del 90% a los totales registrados, mientras que los flagelados realizaron contribuciones importantes (>50%) sólo en Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S), pero sus abundancias fueron un orden de magnitud inferiores (Tabla 3).

Al analizar la distribución horizontal de la abundancia de las diatomeas, entre la superficie y los 5 m de profundidad se detectaron las mayores abundancias en la forma de dos focos que exhibieron valores superiores a 1.000 cél/mL. El primero se localizó entre punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S), donde se registró un máximo de 2.073,0 cél/mL, y un segundo núcleo frente a Mejillones (23°00'S), con un máximo de 1.049,0 cél/mL. En el estrato de los 10 m se observó un foco frente a Arica (18°25'S) de 901,6 cél/mL y hacia el sur las concentraciones descendieron de las 500 cél/mL. Entre los 25 y 50 m predominaron abundancias inferiores a 50 cél/mL (Figura 10). En la componente vertical, se observa el núcleo subsuperficial en Arica (18°25'S), muy restringido a los 10 m (Figura 11A), en punta Junín (19°40'S) el foco se mantuvo en las primeras 5 mn y los primeros 10 m de profundidad (Figura 11B), mientras que en Chucumata (20°30'S) éste se extendió hacia el sector más oceánico (10 mn) (Figura 11C). Chipana (21°20'S) exhibió abundancias desestimables en toda la columna de agua, y en Mejillones (23°00'S) las diatomeas presentaron la misma tendencia que en Chucumata (20°30'S) (Figuras 11D y 11E).

La distribución de los flagelados exhibió la presencia de tres focos que se mantuvieron entre la superficie y los 10 m de profundidad. El primero se localizó en Arica

(18°25’S), donde se registró un máximo de 66,8 cél/mL a los 10 m, el segundo, de 88,8 cél/mL, se detectó en Chipana (21°20’S) a los 5 m, y el tercero se ubicó frente a Mejillones (23°00’S) a los 5 m y alcanzó las 53,2 cél/mL. En los estratos de 25 y 50 m las concentraciones fueron inferiores a 5 cél/mL (Figura 12). En las secciones verticales se observa la presencia de los flagelados con abundancias importantes (>50 cél/mL) en Arica (18°25’S), Chipana (21°20’S) y Mejillones (23°00’S), muy plegados al margen costero (1-5 mn) y al estrato entre los 5 y 10 m de profundidad (Figura 13).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,1 y 53,2 µg Cl-a/L. Los valores integrados entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostraron las mayores concentraciones (>10,0 µg Cl-a/m^3) en Punta Junín (19°40’S) y Chucumata (20°3’S), distribuidas entre 1 y 10 mn de la costa. En Arica (18°25’S) éstas superaron no superaron los 3,0 µg Cl-a/m^3, mientras que en el resto del área predominaron biomasas superiores a 3,0 µg Cl-a/m^3 (Tabla 4).

Siguiendo los patrones de distribución de la abundancia de diatomeas, la biomasa fitoplanctónica mostró, entre la superficie y los 10 m de profundidad, la presencia de dos focos de concentraciones superiores a 10,0 µg Cl-a/L. El primero se localizó entre punta Junín (19°40’S) y Chucumata (20°30’S). Frente a punta Junín (19°40’S) a 1 mn de la costa, a y a los 10 m de profundidad se detectó el máximo de 53,2 µg Cl-a/L. Este foco se extendió hacia Chucumata (20°30’S) y hacia las 10 mn, donde se registró un máximo de 17,7 µg Cl-a/L. El segundo núcleo, de 16,6 µg Cl-a/L, se ubicó en Mejillones (23°00’S) a los 5 m de profundidad y restringido a las 10 mn de la costa. A los 25 m el foco en Chucumata (20°30’S) se mantuvo con 12,5 µg Cl-a/L, y en el resto del área, así como a los 50 m de profundidad, la biomasa descendió de 1,0 µg Cl-a/L (Figura 14).

En la componente vertical, la sección de Arica (18°25’S) se caracterizó por el predominio de biomasas inferiores a 1,0 µg Cl-a/L en toda la columna de agua (Figura 15A). En punta Junín (19°40’S) se observa el foco principal (53,2 µg Cl-a/L) restringido a la costa (1-5 mn) y al estrato entre los 5 y 10 m, mientras que en Chucumata (20°30’S) se aprecia éste localizado a 10 mn, pero alcanzando los 25 m de profundidad (Figuras 15B y 15C). En las secciones de Chipana (21°20’S) y Mejillones (23°00’S) la biomasa exhibió concentraciones similares en la columna de agua a las de Arica (18°25’S), excepto por el pequeño foco de Mejillones (23°00’S) restringido a las 10 mn y al estrato de los 5 m (Figura 15D y 15E).

Tabla 1. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de las especies y géneros de diatomeas que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

GRUPO	LOCALIDAD									
	Arica (18°25'S)		punta Junín (19°40'S)		Chucumata (20°30'S)		Chipana (21°20'S)		Mejillones (23°00'S)	
DIATOMEAS	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**
Guinardia delicatula	208,4	19,0	537,6	25,9	2.059,2	93,7	12,0	7,4	691,2	44,2
Thalassiosira minuscula	784,8	64,8	550,4	28,5						
Thalassiosira angustelineata			658,4	19,7	93,2	3,5				
Chaetoceros sp.							68,8	39,8		
Pseudo-nitzschia sp.							26,8	21,6	366,4	46,6

Tabla 2. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de las especies y géneros de flagelados que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

GRUPO	LOCALIDAD									
	Arica (18°25'S)		punta Junín (19°40'S)		Chucumata (20°30'S)		Chipana (21°20'S)		Mejillones (23°00'S)	
FLAGELADOS	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**
Ceratium furca	9,6	9,9	2,4	7,3	5,2	17,1	20,0	19,1		
Ceratium fusus	4,4	4,5	3,2	10,1	1,2	5,8	48,8	39,8		
Prorocentrum micans	53,6	47,5								
Akashiwo sanguinea									35,2	42,0
Gyrodinium sp.	8,0	6,9	4,8	29,5	5,2	17,5	14,4	18,2	15,0	29,6

Tabla 3. Abundancia fitoplanctónica integrada (cél/m^3) entre la superficie y los 10 m de profundidad y aporte porcentual (%) de diatomeas (DIATO) y microflagelados (M_FLAGE), entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. MF_TOTAL: microfitoplancton total, DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	MF_TOTAL	DIATO	M_FLAG	%DIATO	%M_FLAG
Arica (18°25´S)	1	68,7	48,1	20,6	70,0	30,0
	5	43,0	15,9	27,1	36,9	63,1
	10	288,1	272,5	15,6	94,6	5,4
	20	174,5	170,9	3,6	97,9	2,1
punta Junín (19°40´S)	1	899,4	887,3	12,1	98,7	1,3
	5	840,6	834,8	5,8	99,3	0,7
	10	90,2	89,2	1,0	98,9	1,1
	20	1,1	0,9	0,2	80,0	20,0
Chucumata (20°30´S)	1	239,4	231,1	8,3	96,5	3,5
	5	998,4	994,3	4,1	99,6	0,4
	10	912,7	907,5	5,2	99,4	0,6
Chipana (21°20´S)	1	61,3	6,9	54,4	11,3	88,7
	5	29,7	20,0	9,8	67,2	32,8
	10	37,1	35,9	1,2	96,8	3,2
Mejillones (23°00'S)	1	229,0	201,0	28,0	87,8	12,2
	5	647,3	644,7	2,6	99,6	0,4
	10	379,0	369,8	9,2	97,6	2,4

Tabla 4. Biomasa fitoplanctónica integrada (BFI) (µg Cl-a/m^3) entre la superficie y los 10 m de profundidad, entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	BFI (µg Cl-a/L)
Arica (18°25´S)	1	2,9
	5	1,7
	10	2,0
	20	1,8
punta Junín (19°40´S)	1	36,5
	5	24,7
	10	2,7
	20	0,2
Chucumata (20°30´S)	10	16,8
	5	9,0
	1	6,4
Chipana (21°20´S)	1	6,3
	5	4,7
	10	1,5
Mejillones (23°00'S)	1	3,8
	5	4,8
	10	11,2

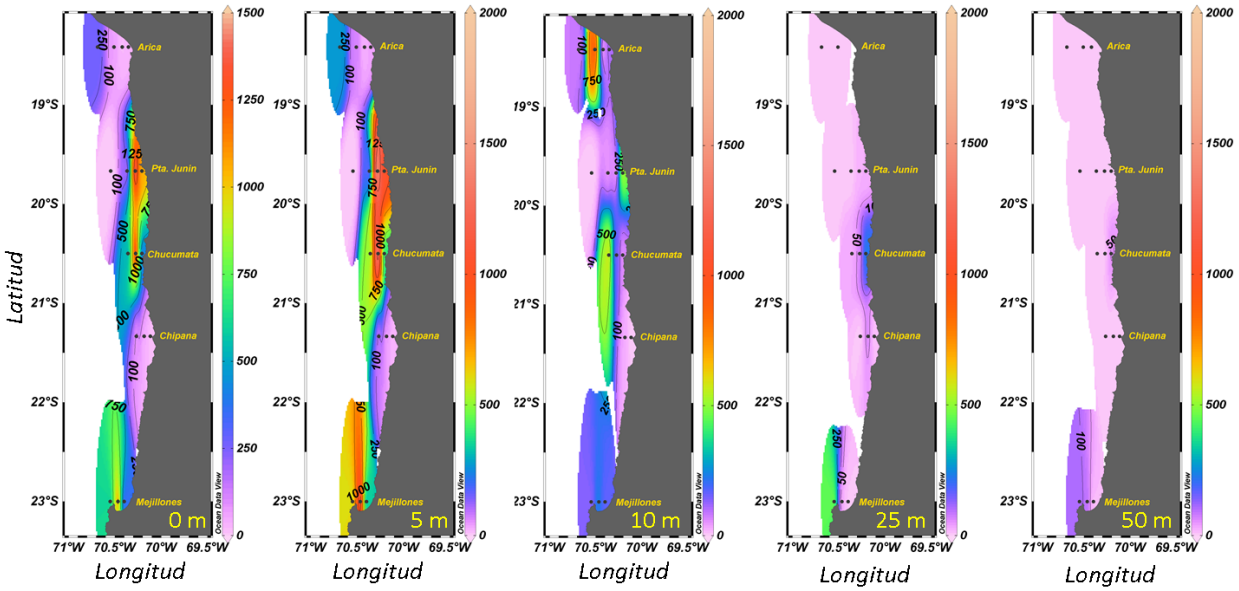

Figura 10. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre la superficie y los 50 m de profundidad, entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

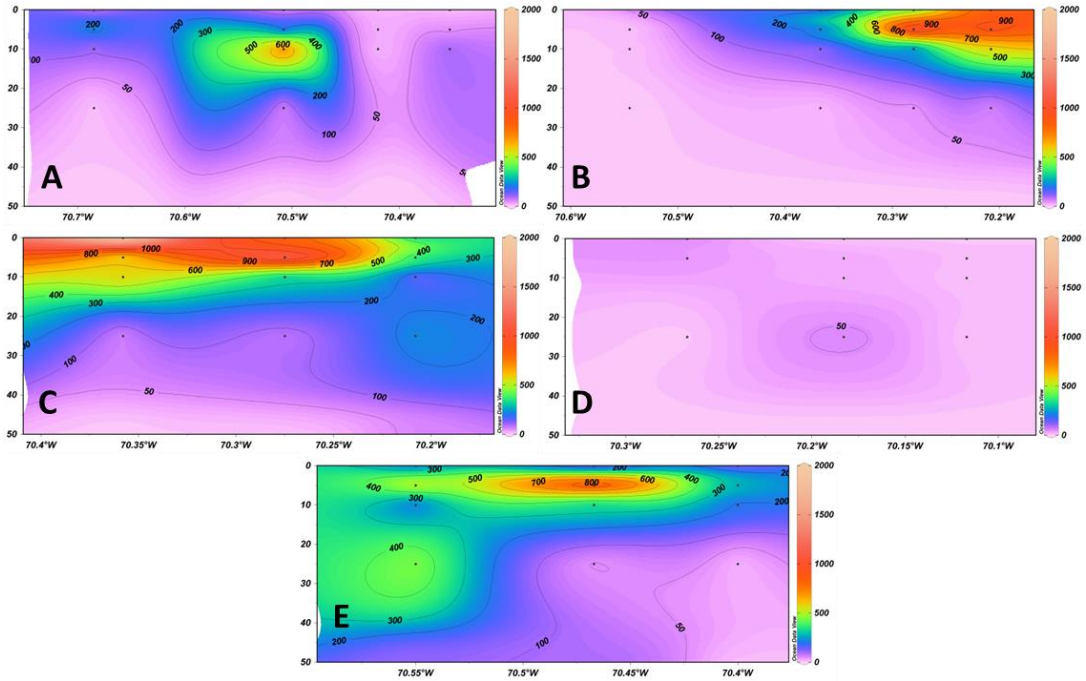

Figura 11. Distribución vertical de la abundancia (cél/mL) de diatomeas entre los días 17 y 22 de diciembre del 2019. A: Arica (18°25'S), B: punta Junín (19°40'S), C: Chucumata (20°30'S), D: Chipana (21°20'S) y E: Mejillones (23°00'S).

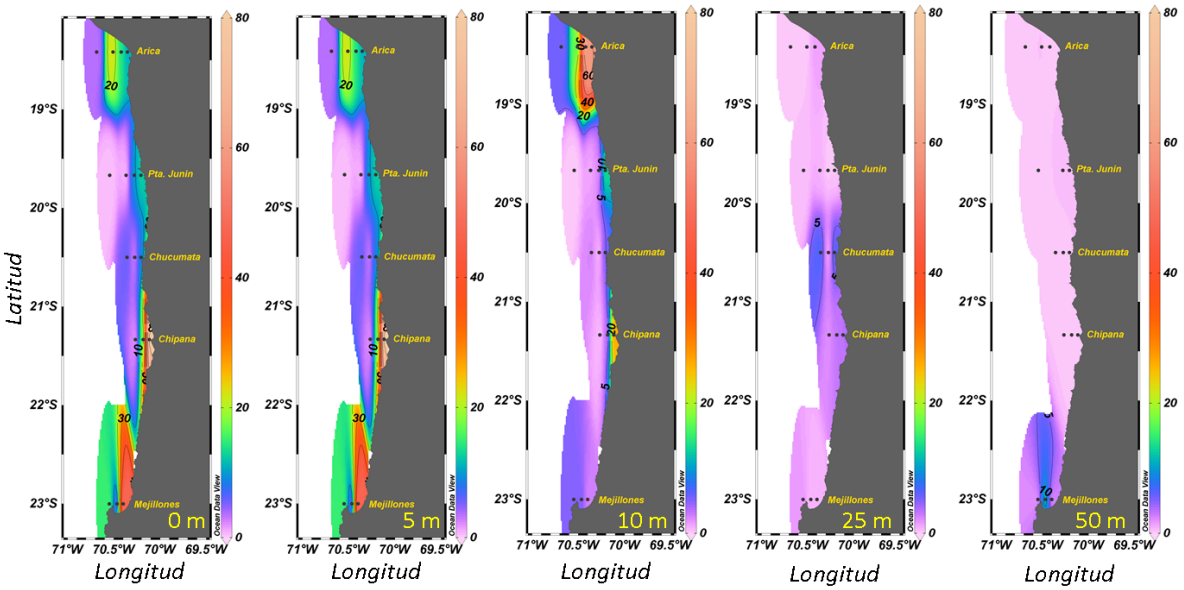

Figura 12. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) entre la superficie y los 50 m de profundidad, entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

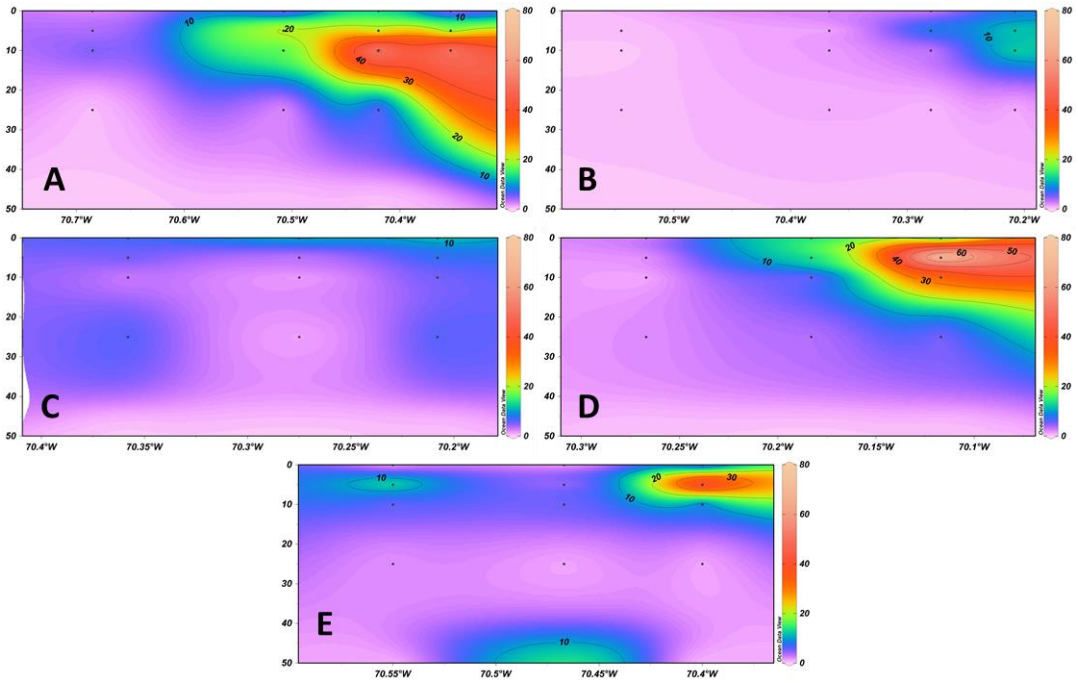

Figura 13. Distribución vertical de la abundancia (cél/mL) de microflagelados entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. A: Arica (18°25’S), B: punta Junín (19°40’S), C: Chucumata (20°30’S), D: Chipana (21°20’S) y E: Mejillones (23°00’S).

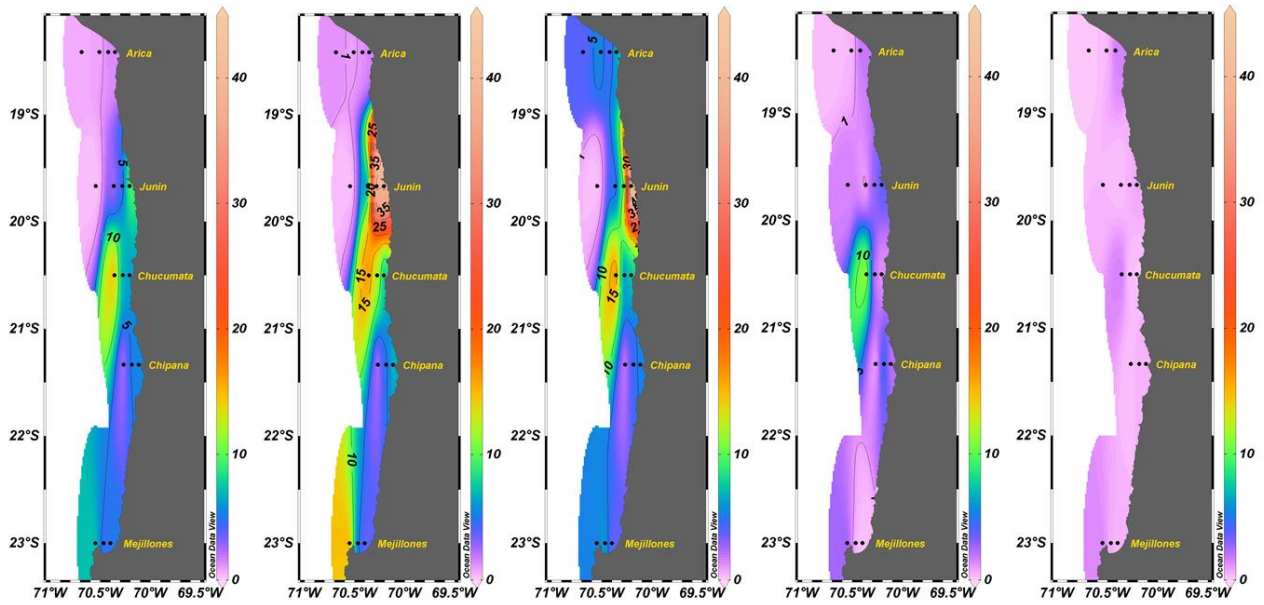

Figura 14. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre la superficie y los 50 m de profundidad, entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

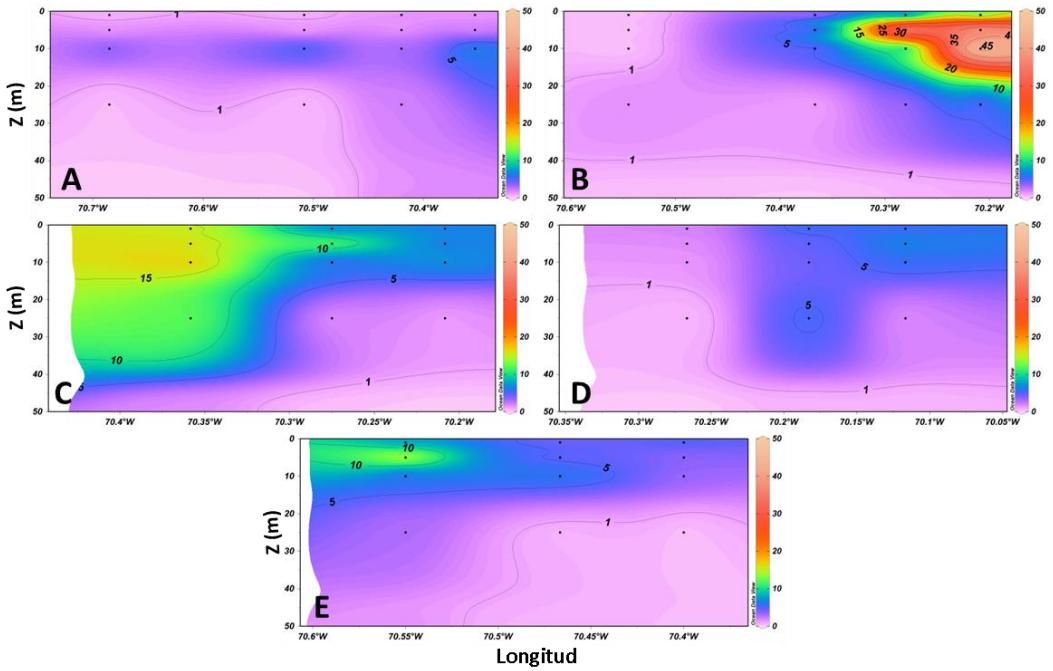

Figura 15. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. A: Arica (18°25’S), B: punta Junín (19°40’S), C: Chucumata (20°30’S), D: Chipana (21°20’S) y E: Mejillones (23°00’S).

Zooplancton

La abundancia total del zooplancton fluctuó entre 41 y 493 ind/10 m^2. En toda el área predominaron valores supriores a los 50 ind/10 m^2, registrándose magnitudes superiores a 400 ind/10 m^2 en Chipana (21°20'S) (Tabla 5).

Se identificó un total de 17 grupos, de los cuales Copepoda exhibió las mayores abundancias, con un máximo de 317 ind/10 m^2, y aportes porcentuales al total que superaron el 80% en gran parte de las estaciones. En segundo lugar se encontraron las larvas de anélidos, que superaron los 100 ind/10 m^2 asociadas a las mayores abundancias de copépodos, al igual que el conjunto de los otros componentes (Tabla 6).

En relación a los tamaños, se registraron organismos entre 0,25 y 10,75 mm. La categoría 0,25-0,75 mm exhibió las mayores densidades, las que fluctuaron entre 37 y 412 ind/10 m^2, siendo equivalente, en promedio, al 93 % de la abundancia total. Dentro de este rango de tamaño el grupo Copepoda contribuyó con aportes que variaron entre el 74 y el 93 % (Tabla 7).

La distribución de la abundancia total mostró valores superiores a 50 ind/10 m^2 entre 20 y 40 mn de la costa en punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S). Desde Chipana (21°20'S) al sur se registraron dos focos de máxima densidad (>100 ind/10 m^2), uno localizado a 5 mn frente a Chipana (21°20'S) que alcanzó los 204,1 ind/10 m^2 y el segundo en Mejillones (23°00'S), donde se detectó el máximo de 354,6 ind/10 m^2 a 10 mn de la costa (Figura 16A). Los copépodos mostraron la misma distribución, dando cuenta de los valores máximos detectados. En Chipana (21°20'S), a 5 mn de la costa, presentaron una abundancia de 177,8 ind/10 m^2, y en Mejillones (23°00'S), a 10 mn, el grupo exhibió un máximo de 326,0 ind/10 m^2 (Figura 16B).

Dada la dominancia de la categoría de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm, y del grupo Copepoda dentro de este rango de tamaño, se repitió la distribución de la abundancia, registrándose los focos principales a 5 mn en Chipana (21°20'S) y a 10 mn en Mejillones (23°00'S), donde los copépodos alcanzaron máximos de 175,9 y 325,6 ind/10 m^2 respectivamente (Figuras 17A y 17B).

Tabla 5. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m^2)
Arica (18°25´S)	1	256,4
	5	68,0
	10	82,5
	20	180,4
punta Junín (19°40´S)	1	113,2
	5	124,2
	10	163,5
	20	121,6
Chucumata (20°30´S)	1	58,3
	5	78,5
	10	41,4
Chipana (21°20´S)	1	492,9
	5	99,5
	10	72,1
Mejillones (23°00´S)	1	159,4
	5	105,3
	10	110,7

Tabla 6. Abundancia (ind/10 m^2) de Copepoda (COP), larvas de Annelida (LAnn) y de otros grupos zooplanctónicos (OG) y aporte porcentual de Copepoda (AP-COP) (%), entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	COP (ind/10 m^2)	LAnn (ind/10 m^2)	OG (ind/10 m^2)	AP-COP (%)
Arica (18°25´S)	1	235,8	15,6	4,9	92,0
	5	59,6	6,3	2,1	87,7
	10	72,9	4,0	5,6	88,4
	20	159,1	10,5	10,8	88,2
Punta Junín (19°40´S)	1	99,5	8,8	4,9	88,0
	5	105,4	5,2	13,6	84,9
	10	145,0	7,2	11,3	88,7
	20	97,8	7,0	16,7	80,5
Chucumata (20°30´S)	1	54,0	2,1	2,1	92,7
	5	66,3	3,1	9,1	84,4
	10	32,1	2,9	6,4	77,5
Chipana (21°20´S)	1	317,1	108,7	67,1	64,3
	5	73,9	9,1	16,6	74,2
	10	58,2	5,2	8,7	80,8
Mejillones (23°00´S)	1	143,1	7,7	8,6	89,8
	5	99,0	3,5	2,8	94,0
	10	99,2	6,1	5,4	89,6

Tabla 7. Abundancia zooplanctónica (ind/10 m^2) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual de Copepoda (AP-COP) (%) a la categoría 0,25-0,75 mm, entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-10,75
Arica (18°25´S)	1	253,8	1,1	0,2	
	5	66,2	1,0	0,1	0,1
	10	80,3	1,8	0,1	
	20	171,3	6,8	1,4	0,6
Punta Junín (19°40´S)	1	110,2	2,1	0,2	0,2
	5	112,1	7,7	2,3	1,8
	10	155,3	6,4	0,7	0,3
	20	113,8	6,0	0,6	0,5
Chucumata (20°30´S)	1	56,6	1,2	0,2	
	5	70,9	3,7	2,0	1,3
	10	37,1	2,4	0,5	0,9
Chipana (21°20´S)	1	412,2	58,1	12,9	7,7
	5	85,4	8,5	3,5	1,2
	10	62,4	6,9	1,8	0,5
Mejillones (23°00´S)	1	152,2	4,1	1,2	0,8
	5	103,3	1,1	0,2	
	10	107,3	1,3	0,6	0,3

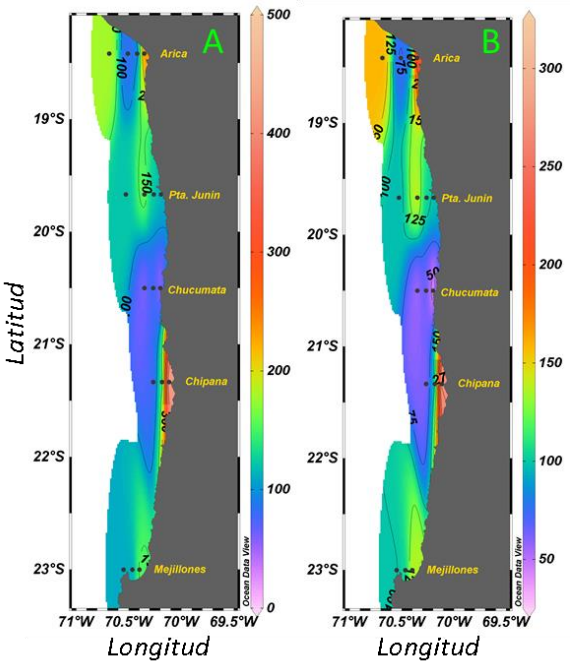

Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda, entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

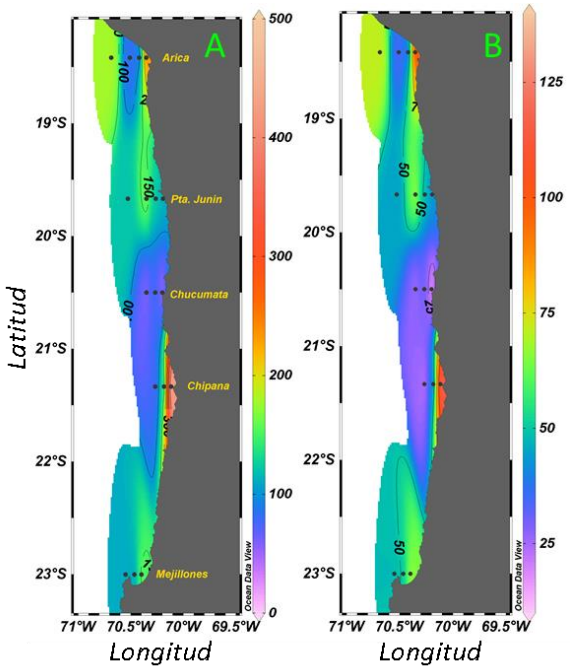

Figura 17. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda pertenecientes al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

Ictioplancton

Dentro del componente ictioplanctónico se registró una total de 95.723 huevos/10 m^2 y 14.552 larvas/10 m^2. Los estadios tempranos de *Engraulis ringens* representaron la mayor fracción, realizando aportes del 96,6 % y 83,8 % a huevos y larvas respectivamente. Entre las larvas destacó el estado de yolk-sac con 11.409 larvas/10 m^2, y aquellas en pre-flexión con 788 larvas/10 m^2 (Tabla 8).

La presencia de los estadios tempranos de *Engraulis ringens* se observó en todo el área de estudio, situación que se debió principalmente a la distribución de los huevos, ya que fue el único estadio registrado en Mejillones (23°00'S) (Figura 18).

Los huevos exhibieron una densidad máxima de 19.864 huevos/10 m^2 frente a Arica (18°25'S) a 10 mn de la costa, y máximos secundarios entre 14.000 y 16.000 huevos/10 m^2 se registraron a 5 mn en punta Junín (19°40'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) (Figura 19). Las larvas en estado yolk-sac se detectaron entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S), pero sólo en Arica (18°25'S) las densidades superaron las 1.000 larvas/10 m^2, con un máximo de 5.123 larvas/10 m^2 a las 10 mn (Figura 20). Las larvas en pre-flexión, presentes en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), sólo exhibieron concentraciones superiores a 100 larvas/10 m^2 en Arica (18°25'S) a 20 mn de las costa (Tabla 8).

Los huevos de otras especies se encontraron distribuidos de Arica (18°25'S) a Chipana (21°20'S), ocupando el área entre la costa (1 mn) y las 20 mn. Los huevos exhibieron un máximo de 2.683 huevos/10 m^2 frente a Arica (18°25'S) a 1 mn de la costa (Figura 21-panel izquierdo) y las larvas una densidad máxima de 549 larvas/10 m^2 también en Arica (18°25'S), pero a 20 mn (Figura 21-panel derecho).

Tabla 8. Abundancia de huevos y larvas (N°/10 m^2) de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies, entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019. L-YS: larvas en estado yolk-sac, L-PREF: larvas en estado de pre-flexión. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	*Engraulis ringens*			Otras Especies		Totales	
		Huevos	L-YS	L-PREF	Huevos	Larvas	Huevos	Larvas
Arica (18°25'S)	1	9.353	3.833		2.683	460	12.036	4.293
	5	1.748	175				1.748	175
	10	19.864	5.123				19.864	5.123
	20	4.076	1.333	627		549	4.076	2.508
punta Junín (19°40'S)	1	980	151				980	151
	5	14.181	228			76	14.181	303
	10				80	320	80	320
	20				88	525	88	525
Chucumata (20°30'S)	1	8.064	88		88		8.151	88
	5	16.286	479	80		80	16.286	639
	10							
Chipana (21°20'S)	1							
	5	16.056		81		81	16.056	161
	10	175			351	175	526	175
Mejillones (23°00'S)	1	988				90	988	90
	5	168					168	
	10	492					492	

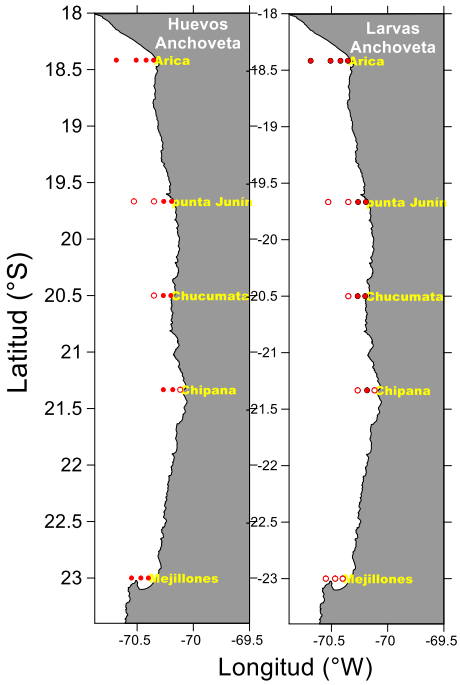

Figura 18. Estaciones positivas (círculos rellenos) para la presencia de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de *Engraulis ringens* entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

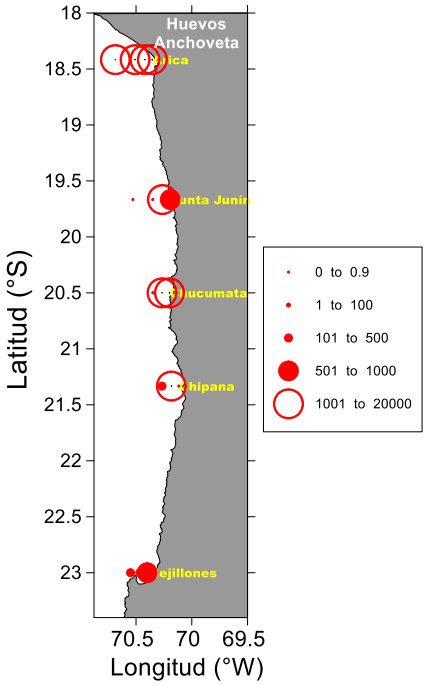

Figura 19. Distribución de la abundancia de huevos (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

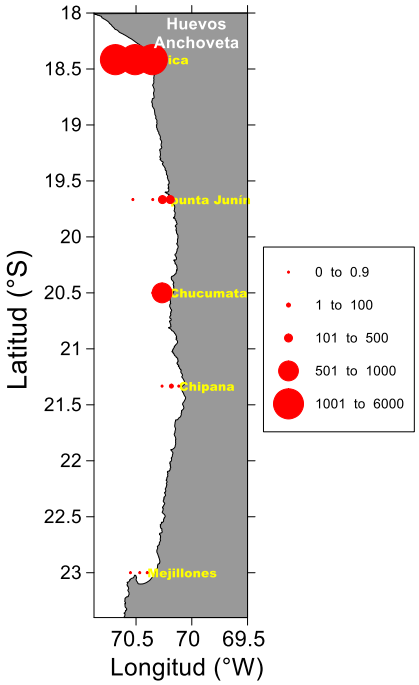

Figura 20. Distribución de la abundancia de larvas (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* en estado yolk-sac entre los días 17 y 22 de diciembre de 2019.

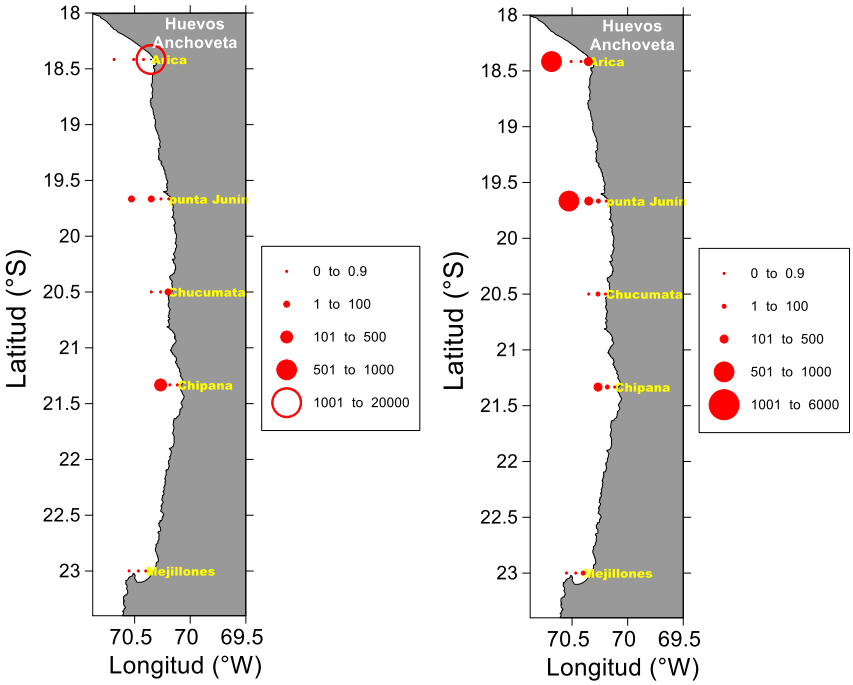

Figura 21. Distribución horizontal de la abundancia (N°/10 m^2) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 17 y 22 de diciembre del 2019.

Análisis Estadístico

El análisis de correlación entre la abundancia de huevos y larvas de anchoveta y las variables físicas, químicas y biológicas, no reveló ninguna asociación lineal significativa.

Los resultados del análisis comparativo global entre las variables registradas durante el periodo de primavera desde 2015 a 2019, mostraron diferencias estadísticamente significativas entre la temperatura, la salinidad, la profundidad de la capa de mezcla (PCM) y la profundidad del LS_ZMO, la abundancia de diatomeas, microflagelados y nanoflagelados, la biomasa fitoplanctónica y la abundancia de larvas de anchoveta (Tabla 9).

Las diferencias en la temperatura se debieron a las campañas de 2014 y 2018, siendo esta última la que ha exhibido las mayores temperaturas. Mientras que en la salinidad las diferencias resultaron de los menores valores registrados en las campañas de 2016 y 2019 respecto de 2015. Respecto de la profundidad de la capa de mezcla, durante la primavera de 2015 se han registrado los mayores valores, y en relación al LS_ZMO, en la primavera de 2019 se localizó a una menor profundidad en comparación a 2014, 2015 y 2016 (Tabla 10, Figura 22).

Dentro del componente biológico, la abundancia de las diatomeas en 2018 ha sido la más baja de la serie, mostrando diferencias significativas con la campaña de 2019. Los microflagelados también exhibieron diferencias debido a las mayores abundancias detectadas en 2018, especialmente respecto de 2015. Por otra parte, los nanoflagelados superaron en 2018 y 2019 a las concentraciones registradas en las primaveras previas. En tanto la biomasa fitoplanctónica registrada en 2015 resultó mayor a la de 2018 (Tabla 10, Figura 23). Para las larvas de anchoveta, la prueba de comparación múltiple de rangos identificó diferencias entre las campañas de 2014 y 2015 con relación a 2018, siendo ésta última la que ha mostrado los menores valores de la seria (Tabla 10, Figura 24).

Tabla 9. Resultados del análisis comparativo global entre las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante las primaveras de 2014 a 2019. K-W: estadístico de Kruskal-Wallis, NS: nivel de significancia.

VARIABLE	K-W	Valor *p*	NS
TEMPERATURA (°C)	18,78	0,002	< 0,05
SALINIDAD (ups)	40,37	0,000	< 0,05
PCM (m)	27,09	0,000	< 0,05
OXÍGENO DISUELTO (mL/L)	16,98	0,002	< 0,05
PROFUNDIDAD LS_ZMO (m)	18,63	0,001	< 0,05
ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)	16,16	0,006	< 0,05
ABUNDANCIA MICROFLAGELADOS (cél/mL)	24,66	0,000	< 0,05
ABUNDANCIA NANOFLAGELADOS (cél/mL)	84,02	0,000	< 0,05
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg Cl-a/L)	12,99	0,023	< 0,05
ABUNDANCIA LARVAS (N°/10 m^2)	17,72	0,003	< 0,05

Tabla 10. Resultados de la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante las primaveras del 2014 al 2019. dif.obs.: diferencias observadas, dif.crit.: diferencias críticas.

VARIABLE	PERIODO	dif.obs.	dif.crit.
TEMPERATURA (°C)	2014-2018	23.06	22.92
SALINIDAD (ups)	2015-2019	39.36	24.56
	2016-2014	24.19	22.92
	2016-2015	41.70	23.30
	2016-2018	25.38	22.92
PCM (m)	2015-2016	26.27	23.30
	2015-2019	34.37	24.56
OXÍGENO DISUELTO (mL/L)	2016-2018	27.88	22.92
	2016-2019	29.44	24.20
PROFUNDIDAD LS_ZMO (m)	2014-2019	25.49	24.20
	2015-2019	32.89	24.56
	2016-2019	25.70	24.20
ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)	2018-2019	26.28	24.20
ABUNDANCIA MICROFLAGELADOS (cél/mL)	2015-2018	24.83	23.30
ABUNDANCIA NANOFLAGELADOS (cél/mL)	2014-2018	26.75	22.92
	2014-2019	40.43	24.20
	2015-2016	33.30	23.30
	2015-2019	25.51	24.56
	2016-2018	45.13	22.92
	2016-2019	58.81	24.20
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg Cl-a/L)	2015-2018	24.03	23.30
ABUNDANCIA LARVAS (N°/10 m^2)	2014-2018	23.50	22.92
	2015-2018	23.49	23.30

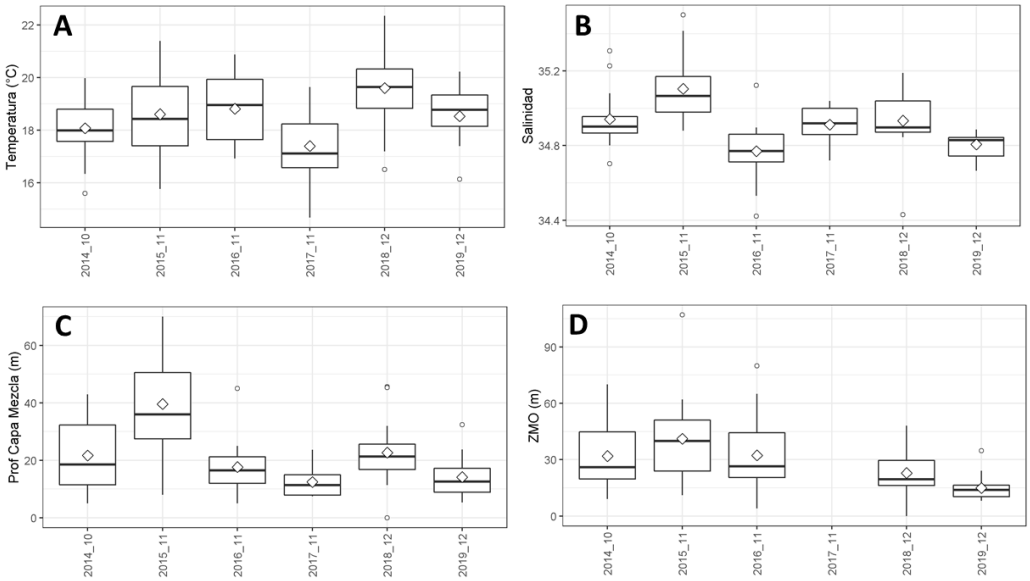

Figura 22. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de temperatura (°C), salinidad (ups), profundidad de la capa de mezcla (m) y profundidad del límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno (m), registrada durante las primaveras de 2014 a 2019.

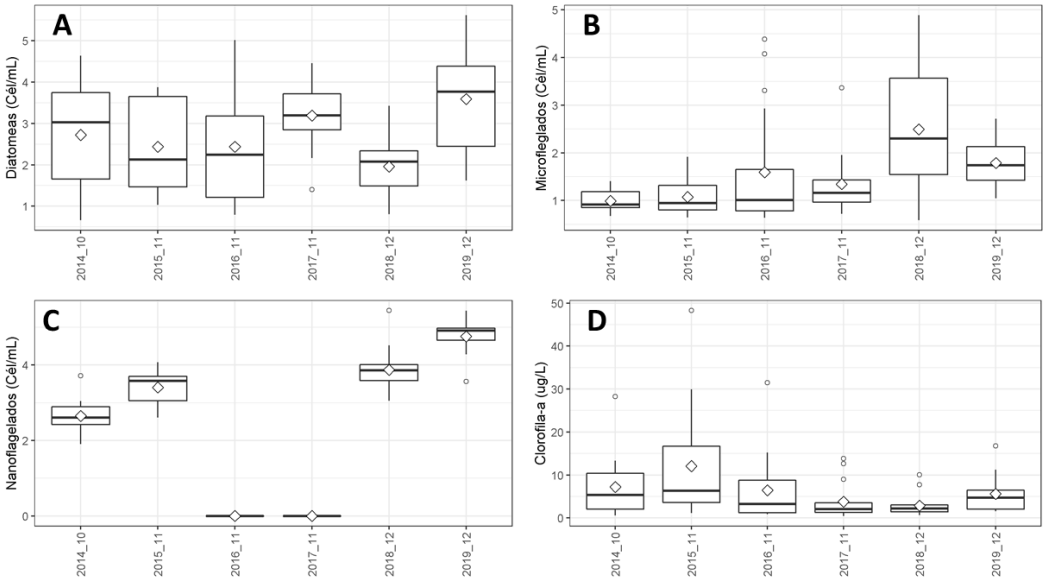

Figura 23. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de abundancia de diatomeas (cél/mL), abundancia de microflagelados (cél/mL), abundancia de nanoflagelados (cél/mL) y biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L), registrada durante las primaveras de 2014 a 2019.

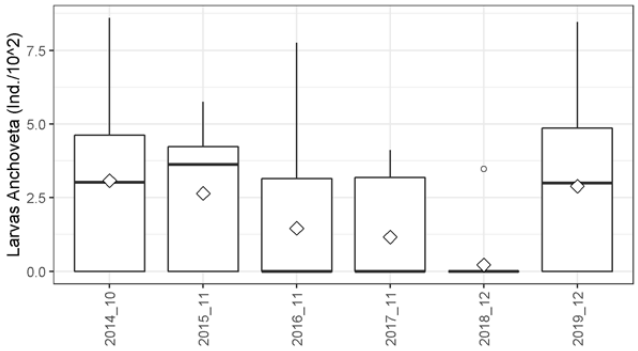

Figura 24. Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis comparativo global entre la información de abundancia de larvas de anchoveta (larvas/10 m^2) registrada durante las primaveras de 2014 a 2019.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

La primavera del 2019 mostró, en general, una condición similar a la registrada en las campañas previas, con excepción del año 2017 que presenta la estructura termal más fría de la serie de tiempo. Durante la campaña actual el ASS tuvo una baja influencia en la región, restringida al sector más oceánico (20 mn) y norte del área (18°25'S-19°40'S), sin embargo, se debe recordar que este crucero se realizó hasta las 20 mn de la costa en las secciones del norte y hasta 10 mn en el resto del área de estudio, lo cual impide evaluar la extensión latitudinal de esta masa de agua, la que habitualmente se distribuye por toda el área en la franja de las 20-40 mn. En el sector costero (1-10 mn de la costa) la estructura de la columna de agua evidenció la ocurrencia de procesos de surgencia, con el dominio del AESS, y en menor medida del ASSA especialmente desde Chucumata (20°30'S) al sur.

El componente fitoplanctónico, respondió a la condición ambiental con el dominio, en términos de abundancia, de las diatomeas, que presentaron la característica variabilidad latitudinal en las especies dominantes, que, además, dieron cuenta de los valores de biomasa registrados. Por otra parte, los flagelados que exhibieron las mayores concentraciones son especies propias del sistema que habitualmente generan eventos de discoloración tanto en Arica (18°25'S) como en Mejillones (23°00'S), destacando su presencia en Chipana (21°20´S), donde el grupo de las diatomeas estuvo prácticamente ausente. Dentro del zooplancton, se mantuvo la dominancia del grupo Copepoda y de la fracción de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm, y si bien su abundancia fue menor a la registrada en primaveras anteriores, no reveló diferencias estadísticamente significativas. Por otra parte, sus máximas concentraciones coincidieron con la una menor presencia de las de diatomeas, lo cual sugiere procesos tróficos importantes.

Respecto de los estadios tempranos de anchoveta, la actual campaña registró una mayor presencia espacial, con abundancia de huevos semejante a la detectada en la primavera de 2016. En el caso de las larvas, durante 2019 se registraron densidades

similares a las detectadas en 2014, concentrándose principalmente en el sector norte y centro del área, sin mostrar asociación con las variables físicas, químicas y biológicas.

En general, el sistema mostró un escenario similar a las primaveras previas, con una producción biológica, asociada a las diatomeas, superior a la de 2018. Tomando en consideración el efecto remoto en las condiciones oceanográficas, CIIFEN (boletín febrero 2020) informa que durante enero las temperaturas en el norte de Chile estuvieron ligeramente por sobre lo normal, registrándose durante el mes anomalías de la TSM en la región El Niño1+2, que fluctuaron entre 0,1 y 0,2°C, manteniéndose una condición neutra del ENOS. Las predicciones para el trimestre marzo-mayo de 2020, indican que la TSM estaría bajo lo normal en el Pacífico sudoriental y costa de Sudamérica.

LITERATURA CITADA

Bowden KF. 1983. Physical oceanography of coastal waters. Ellis Horwood Series on Marine Science. John Wiley & Sons, New York, 302 pp.

Grosjean P, M Picheral, C Warembourg & G Gorsky. 2004. Enumeration, measurement, and identification of net zooplankton samples using the ZOOSCAN digital imaging system. ICES Journal Marine Science, 61: 518-525.

Hasle G. 1969. An Analysis of Phytoplankton of the Pacific Southern Ocean: Abundance, Composition and Distribution during the Brategg Expedition, 1947-1948. Hvalradets skrifter, 52: 1-168.

Horwood J & R Driver. 1976. A note on a theorical subsampling distribution of Macroplankton. J. Cons. Int. Explor. Mer., 36(3):274-276 pp.

Parsons TR, Y Maita & CM Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. 173 pp.

Schlitzer, R. 2018. Ocean Data View, http://odv.awi.de.

Smith PE & SL Richardson. 1979. Técnicas estándar para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO, Doc. Téc. Pesca, (175): 107 pp.

UNESCO. 1978. Phytoplankton Manual. A Sournia (Ed.). Monogr. Oceanogr. Methodology, 6, 337 pp.

Villafañe VE & FMH Reid. 1995. Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: Manual de Métodos Ficológicos. K Alveal, ME Ferrario, EC Oliveira y E Sar (eds.). Universidad de Concepción, Concepción. 169-185 pp.