Facultad de
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

ciam
Centro de Investigación
Aplicada del Mar

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 INVIERNO

SEPTIEMBRE DE 2018

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
ARIEL MARTINEZ MUÑOZ
AGUSTIN ARCOS ROJAS

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO 4

INTRODUCCIÓN 6

OBJETIVOS GENERALES 6

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6

MATERIAL Y METODOS 7

RESULTADOS 9

Condiciones físicas y químicas 9

Estructura de la Comunidad Planctónica 18

Fitoplancton 18

Zooplancton 29

Ictioplancton 36

Análisis Estadístico 42

DISCUSION 56

LITERATURA CITADA 58

RESUMEN EJECUTIVO

Entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018 se realizó el crucero bio-oceanográfico de invierno, con el objetivo de evaluar las condiciones oceanográficas y de explorar la influencia de las variables físicas, químicas y biológicas 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 seis transectas perpendiculares a la costa con estaciones distribuidas entre 1 y 40 mn. Se obtuvieron registros verticales continuos de temperatura, salinidad y densidad utilizando un CTDO SeaBird19, y se obtuvieron muestras discretas de agua hasta 75 y 50 m de profundidad para determinar la concentración de oxígeno disuelto y la abundancia y biomasa del fitoplancton respectivamente. 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 los inviernos de 2014 a 2018.

Los valores de temperatura y salinidad mostraron la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) localizada entre las 20 y 40 mn de la costa, desplazándose hacia el sur desde Arica (18°25'S) a Chucumata (20°30'S), donde ocupó los primeros 20 m de profundidad. El resto del área se encontró dominada por el Agua Subantártica (ASAA) y el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Toda la franja costera (1-5 mn) exhibió temperaturas inferiores a 17°C, lo que junto al ascenso de las isolíneas y la localización de la isoterma de 15°C a menos de 20 m de profundidad, evidenciaron la influencia de eventos de surgencia. De igual manera, valores de oxígeno disuelto mayores a 4,0 mL/L ocuparon los primeros 10 m en la costa (1-10 mn), profundizándose hacia las 40 mn. De manera concordante, la profundidad del límite superior de la ZMO se registró alrededor de los 20 m entre 1 y 5 mn y entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S).

El microfitoplancton presentó una abundancia máxima de 1.321 cél/mL. Las diatomeas dominaron la franja entre 1 y 5 mn con concentraciones superiores a 500 cél/mL en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), alcanzando un máximo de 1.316 cél/mL frente a Chucumata (20°30'S). Los microflagelados exhibieron focos que se extendieron hasta las 20 mn en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), donde alcanzaron abundancias superiores a 10 cél/mL. La biomasa fitoplanctónica presentó valores mayores a 20,0 µg Cl-a/L asociados a los focos de alta concentración fitoplanctónica, exhibiendo un máximo principal de 28,7 µg Cl-a/L en Mejillones (23°00'S) y uno secundario de 21,6 µg Cl-a/L en Arica (18°25'S). El zooplancton mostró las mayores densidades (>50 ind/10 m^2) desde Chucumata (20°30'S) al sur, registrándose un máximo de 167,0 ind/10 m^2 en Chucumata (20°30'S) a 1 mn de la costa. El grupo Copepoda fue dominante, aportando en promedio, con el 82,9% a la abundancia

total, y con el 88,5% a la abundancia del rango de tamaño entre 0,25 y 075 mm. Los huevos y larvas de anchoveta contribuyeron con un 96,3% y un 89,2% respectivamente, a la abundancia total del componente ictioplanctónico. Densidades de huevos mayores a 10.000 huevos/10 m^2 se registraron en Arica (18°25'S), Chucumata (21°20'S) y Chipana (21°20'S) detectándose en esta última localidad un máximo de 124.740 huevos/10 m^2 a 1 mn. Entre las larvas se detectaron los estadios yolk-sac, pre-flexión y flexión. El estado yolk-sac fue el más abundante (81,8%) con un máximo de 33.828 larvas/10 m^2 coincidente con la mayor densidad de huevos. Las larvas en pre-flexión alcanzaron un máximo de 9.856 larvas/10 m^2 y las larvas en flexión no superaron las 1.000 larvas/10 m^2. El análisis de asociación reveló correlaciones significativas entre la abundancia de huevos y larvas con el componente biológico, destacando la asociación entre los huevos y la abundancia de las diatomeas, y entre las larvas y la abundancia del zooplancton.

El análisis comparativo global reveló que el invierno de 2018 exhibió las menores temperaturas y salinidades de todos los periodos analizados. La capa de mezcla se registró más somera y las concentraciones de oxígeno disuelto descendieron. Por el contrario, dentro del componente biológico la abundancia de diatomeas y flagelados aumentó, al igual que el zooplancton respecto del invierno anterior, y la densidad de huevos y larvas de anchoveta superó los registros de los años 2014, 2016 y 2017. En el análisis por localidad, se detectó que las diferencias detectadas en las variables físicas y químicas se debieron a cambios en Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°30'S), mientras que en todas las localidades se detectaron diferencias en algún componente biológico, destacando Chucumata (20°30'S) donde todos exhibieron diferencias generadas por un incremento en las abundancias durante el invierno de 2018.

Las condiciones oceanográficas revelaron una condición fría asociada a la época invernal y a la influencia de las anomalías de la TSM junto a la costa de Sudamérica que se siguen manteniendo con valores negativos (-1,0°C). Los valores del TEk (>1.000 m^3/s/km) indicaron la ocurrencia de activos procesos de surgencia los días previos al crucero, a los cuales el componente fitoplanctónico respondió con altas abundancias. Los estadios tempranos de anchoveta, además de incrementar su abundancia respecto de inviernos anteriores, mostraron la típica distribución caracterizada por la presencia de las mayores densidades en las localidades descritas como áreas de desove y retención, entre las que destacó Chipana (21°20'S). Además, exhibieron una fuerte correlación con la abundancia del fitoplancton y del zooplancton, lo que sugiere una asociación por su dependencia al alimento disponible al momento de la primera alimentación.

De acuerdo con los modelos globales, se esperaría que para el periodo octubre-diciembre de 2018 la TSM junto a la costa de Sudamérica (Perú y Chile) retorne a sus valores típicos de la época.

PROGRAMA BIO-OCEANOGRÁFICO-PESQUERO DE LA ZONA NORTE DE CHILE (18°S-23°S)

INTRODUCCIÓN

El presente reporte contiene los resultados obtenidos mediante la realización del crucero de invierno de 2018, requerido por el Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM) y ejecutado por la Facultad de Recursos Naturales Renovables (FAREN) 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 seis transectas perpendiculares a la costa cada una con estaciones localizadas a 1, 5, 10, 20 y 40 millas náuticas (mn) (Figura 1).

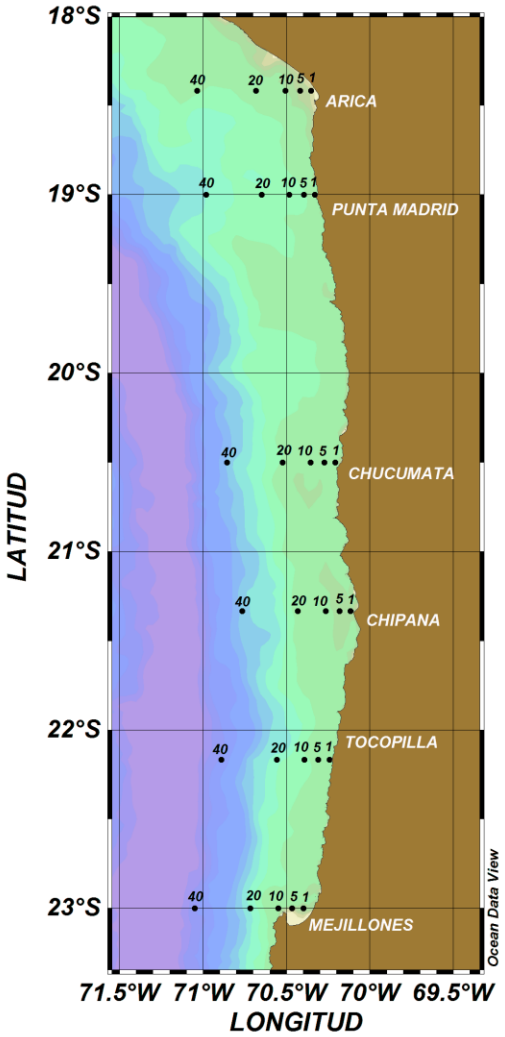

Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo del crucero bio-oceanográfico realizado entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

Muestreo y registro de información

El crucero se llevó a cabo entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018 a bordo de la embarcación PAM "Don Gino" proporcionada por la empresa pesquera CORPESCA S.A.

En cada una de las estaciones se realizaron perfiles verticales continuos de temperatura, salinidad y densidad, utilizando un CTDO SeaBird-19. Con el uso de botellas oceanográficas Niskin se obtuvieron muestras de agua desde 0, 5, 10, 25, 50 y 75 m para la determinación de la concentración de oxígeno disuelto, y hasta 50 m de profundidad para la medición de la abundancia y biomasa fitoplanctónicas. Se colectaron muestras de zooplancton e ictioplancton 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 concentración de oxígeno disuelto se determinó mediante el método Winkler (1888) modificado por Carritt y Carpenter (1966) (Parsons *et al*., 1984). 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 áreas: área Norte entre Arica y punta Madrid (18°25'S-19°00'S), área Centro entre Chucumata y Chipana (20°30'S-21°20'S), y área Sur entre Tocopilla y Mejillones (22°10'S-23°00'S).

Se estimó, además, la profundidad del límite superior de la ZMO (LS_ZMO) y el transporte de Ekman (TEk). La profundidad del LS_ZMO correspondió a aquella a la cual la concentración de oxígeno disuelto (OD) fue de 1,0 mL/L, y se obtuvo mediante el programa ODV (Schlitzer, 2018). El 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

Mediante un modelo aditivo generalizado (GAM), utilizando la plataforma R, se examinó la influencia de las variables ambientales y de los parámetros biológicos sobre los componentes ictioplanctónicos. El modelo permite determinar los efectos no lineales de las variables oceanográficas sobre los huevos y larvas de anchoveta. Para tal efecto los datos de abundancia del ictioplancton, fitoplancton y zooplancton fueron transformados calculando la cuarta raíz de cada valor.

Aplicando un análisis de varianza de una vía, se comparó la información de los parámetros físicos, químicos y biológicos obtenida en el presente crucero con aquella registrada durante los inviernos de 2014, 2015, 2016 y 2017. La comparación se realizó con toda la información (global) y por localidad: Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S). Cuando se detectaron diferencias, se aplicó el test de diferencias honestamente significativas de Tukey para determinar el periodo que las generó.

RESULTADOS

Condiciones físicas y químicas

Temperatura

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre un mínimo de 14,5 °C y un máximo de 17,6 °C. La distribución horizontal reveló la presencia de valores inferiores a 16°C ocupando toda la franja entre 1 y 10 mn, los que se extendieron costa afuera entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), localidad donde se detectó el mínimo (14,5°C) y temperaturas menores a 15,5°C a lo largo de toda la transecta. En el sector norte, entre 20 y 40 mn, se detectó el máximo valor (17,6°C) asociado a la intrusión, desde la región oceánica, de aguas más cálidas que se extendieron entre Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S) (Figura 2A).

En la componente vertical, las secciones de Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S) mostraron valores superiores a 17°C ocupando los primeros 20 m de profundidad entre las 20 y 40 mn, mientras que en el resto de las secciones predominaron valores cercanos a 16°C. En la costa (1-10 mn) se registró el ascenso de las isotermas, evidenciando procesos de surgencia los que fueron más evidentes en Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) donde se detectaron las mínimas temperaturas en superficie (Figura 3-panel izquierdo). La localización de la isoterma de 15°C se mostró concordante con la estructura termal en

superficie, registrándose en la banda costera (1-5 mn) profundidades inferiores a 20 m, las que se incrementaron costa afuera hasta valores superiores a 40 m en el sector norte (Figura 5A).

Salinidad

La salinidad superficial fluctuó entre 34,81 y 35,18 ups. Asociados al agua de mayor temperatura, valores superiores a 35 ups se detectaron entre las 20 y 40 mn extendiéndose desde Arica (18°25'S) a Chucumata (20°30'S). En el resto del área predominaron salinidades cercanas a 34,9, excepto en Mejillones (23°00'S) donde se registró el mínimo superficial (34,81 ups) manteniéndose dentro del mismo rango a lo largo de toda la transecta (Figura 2B).

La distribución vertical mostró la presencia de las altas salinidades (>35 ups) en un estrato que se extendió hasta los 40 m de profundidad en Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S). En el resto de la columna de agua y en las otras localidades se observó el predominio de valores superiores a 34,8, observándose la intrusión, desde la región oceánica, y entre los 40 y 60 m de profundidad, de un agua de baja salinidad (<34,7) que se extendió hacia la zona costera (Figura 3- panel derecho).

Densidad

La densidad (σ-t) en superficie fluctuó entre 25,30 y 25,93. Los menores valores (<25,6) se encontraron asociados a la presencia del agua de mayor temperatura y salinidad. En la franja costera (1-5 mn) desde Chucumata (20°30'S) al sur, la densidad aumentó, observándose en Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S) valores superiores a 25,7 a lo largo de toda la transecta, registrándose la máxima (25,93) en Mejillones (23°00'S) a 10 mn de la costa (Figura 2C).

La distribución vertical, coincidente con la salinidad, mostró en Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S) densidades inferiores a 25,5 entre la superficie y los 40 m de profundidad, mientras que en las otras secciones predominaron valores cercanos a 26. Hacia los estratos más profundos la densidad se incrementó, registrándose un máximo de 26,44 en Mejillones (23°00'S) a 100 m de profundidad (Figura 4-panel izquierdo).

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto en superficie presentó valores extremos de 3,0 y 6,1 mL/L. La distribución mostró el predominio de valores superiores a 4,5 mL O_2/L en toda el área, registrándose el máximo (6,1 mL O_2/L) en Arica (18°25'S) a 1 mn de la costa. Entre Chipana (20°30'S) y Mejillones (23°00'S), en la zona costera (1-10 mn), las concentraciones descendieron hasta el mínimo de 3,0 mL O_2/L registrado a 10 mn frente a Mejillones (Figura 2D).

La distribución vertical mostró el ascenso de las oxilíneas en la costa (1-10 mn), generando entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S) la profundización de la capa superficial oxigenada (>4,0 mL O_2/L) hacia el sector oceánico, donde alcanzó los 20 m de profundidad. En Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00') el estrato oxigenado (>4,0 mL O_2/L) se hizo más somero y se restringió a las 20 y 40 mn, predominando bajo los 20 m concentraciones inferiores a 3,0 mL O_2/L (Figura 4-panel derecho). De manera concordante, el límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno (LS_ZMO) exhibió una profundización costa afuera, localizándose alrededor de los 30 m en la costa (1-5 mn) hasta más allá de los 50 m a 40 mn en Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 5-B).

Diagramas T-S

El diagrama T-S global, reveló la presencia de las tres masas de agua en la zona: Agua Subtropical Superficial (ASS), Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). El ASS ocupó principalmente los primeros 20 m de profundidad, mezclándose con el ASAA que se localizó alrededor de los 40-60 m, mientras que a mayor profundidad predominó el AESS (Figura 6-panel superior). Al realizar el análisis por área, se observa la mayor influencia del ASS en el área Norte (18°25'S-19°00'S), cuya presencia quedó evidenciada por las condiciones de temperatura y salinidad, en el área Centro (20°30'S-21°20'S), esta masa de agua no se registró, al igual que en el sector sur (22°10'S-23°00'S), donde predominó el ASAA en la mayor parte de la columna de agua, mezclándose con el AESS en los estratos más profundos (Figura 6-panel inferior).

Transporte de Ekman (TEk)

En todas las localidades, los días previos al crucero (01-02 de septiembre), se registraron máximos del TEk que superaron los 1.000 m^3/s/km, revelando procesos de surgencia intensos. Durante la realización del muestreo, el TEk en Arica se mantuvo alrededor de los 500 m^3/s/km, mientras que en Iquique descendió a valores cercanos a 200 m^3/s/km e inferiores, indicando surgencia de baja intensidad, y en Antofagasta si bien se detectaron máximos superiores a 1.000 m3/s/km, los valores negativos alcanzaron igual magnitud (Figura 7).

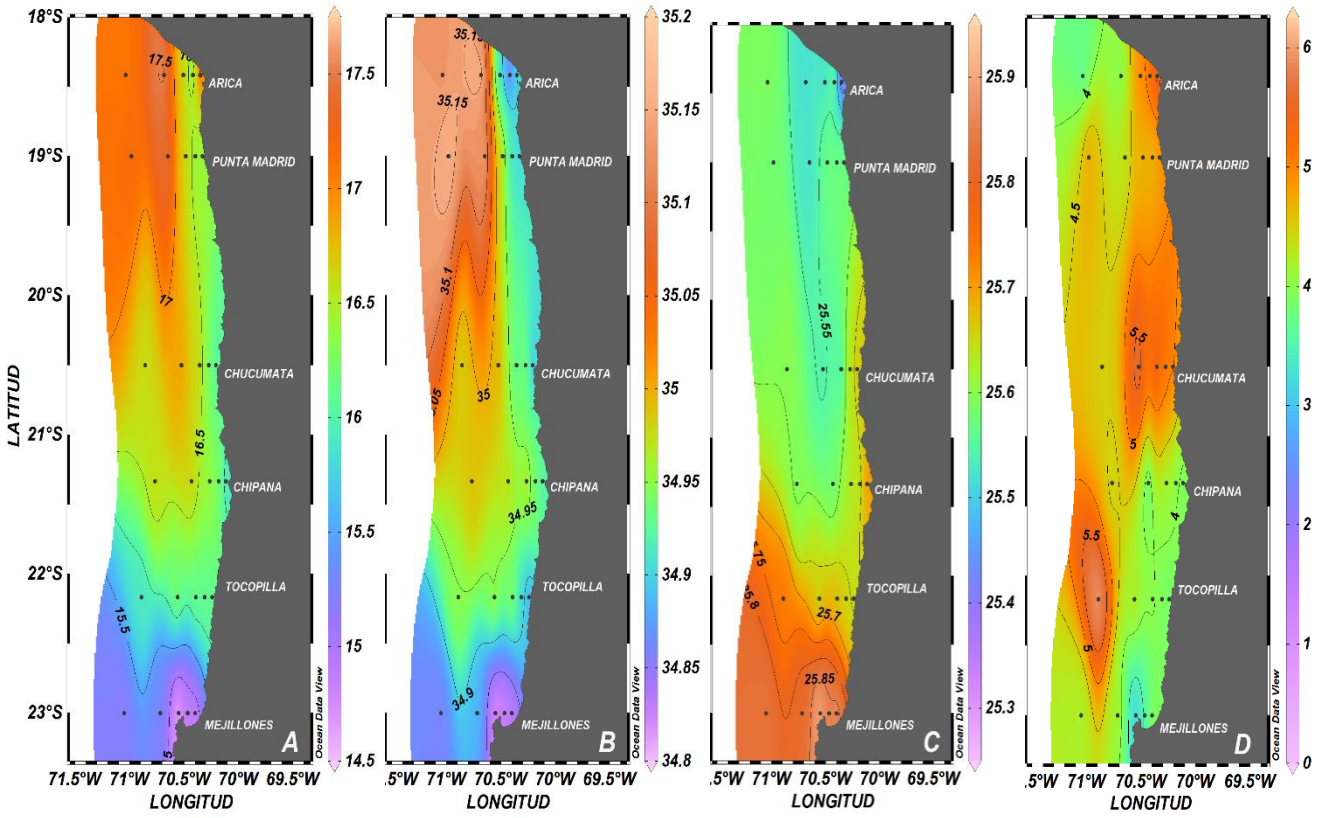

Figura 2. Distribución superficial de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups), C: Densidad (σ-t) y D: Oxígeno disuelto (mL/L), entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

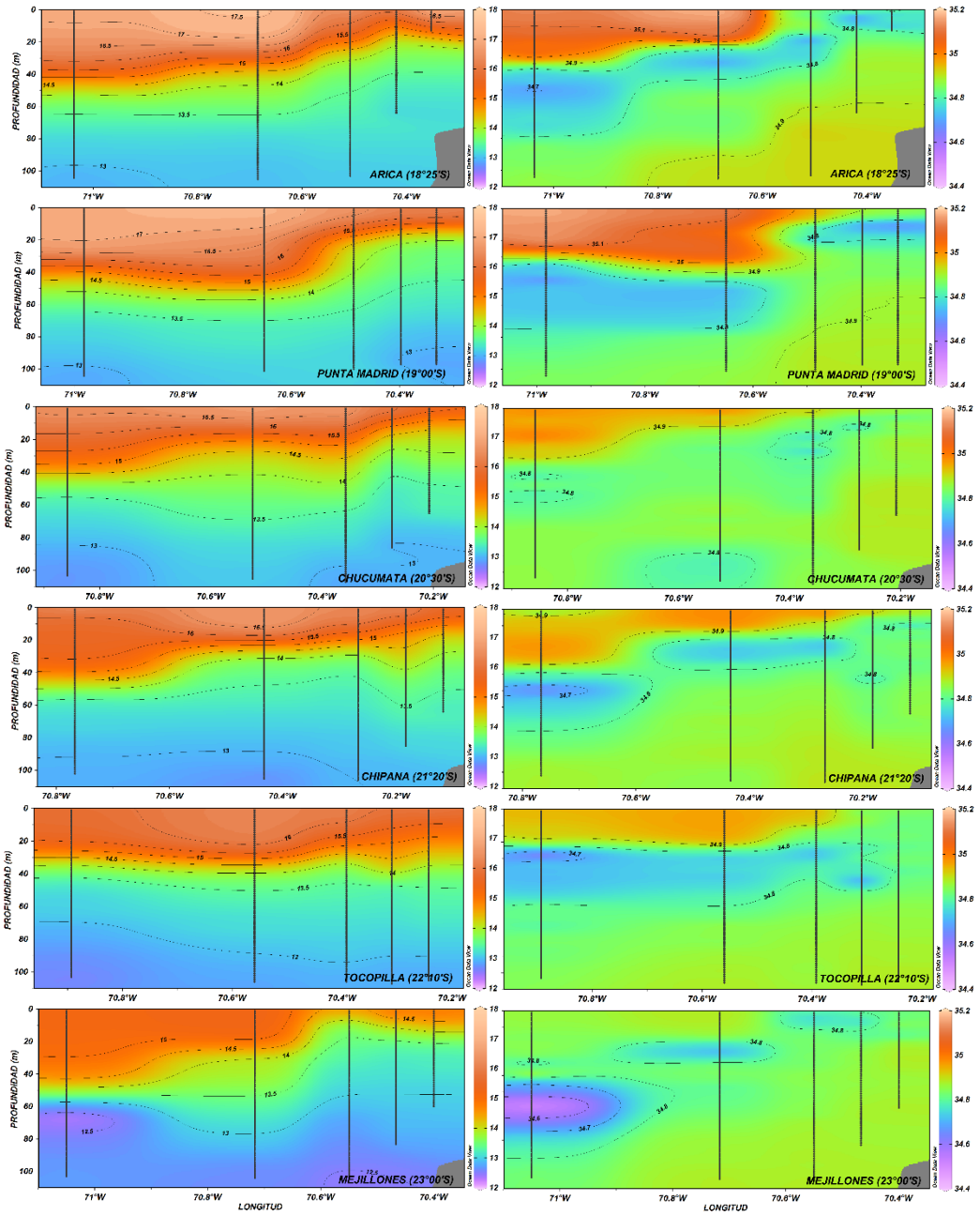

Figura 3. Secciones verticales de Temperatura (°C) (panel izquierdo) y Salinidad (ups) (panel derecho), 03 y 06 de septiembre de 2018.

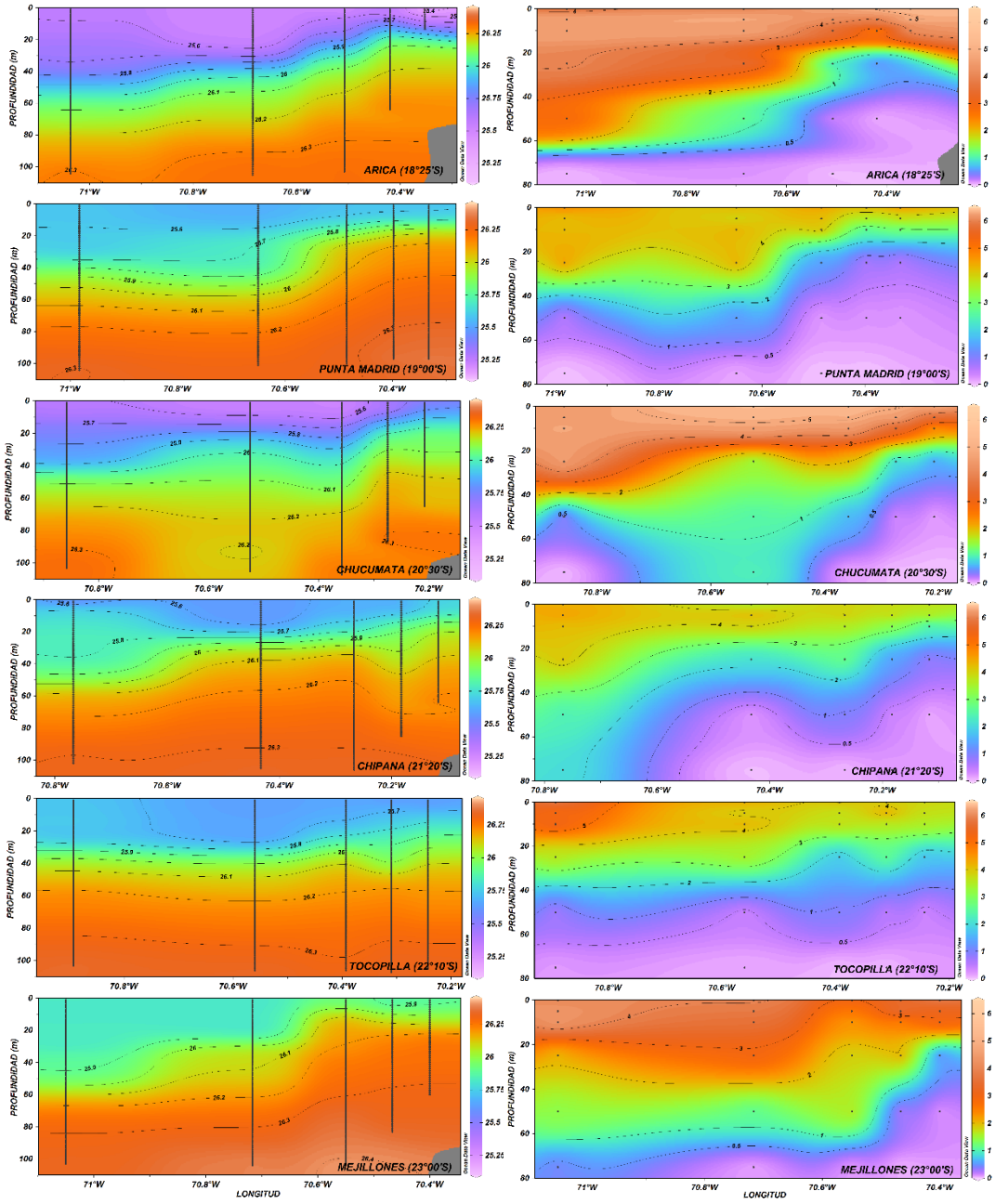

Figura 4. Secciones verticales de Densidad (σ-t) (panel izquierdo) y Oxígeno Disuelto (mL/L) (panel derecho), entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

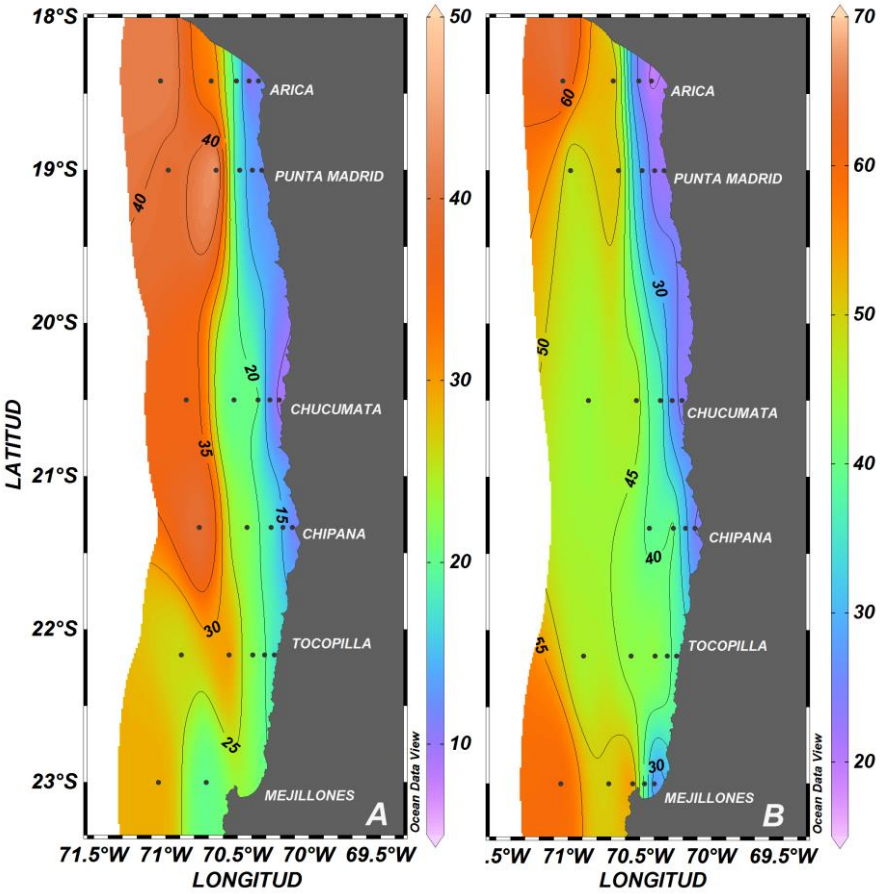

Figura 5. A: Profundidad de la isoterma de 15°C (m) y B: profundidad del LS_ZMO (m) (panel-derecho) entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

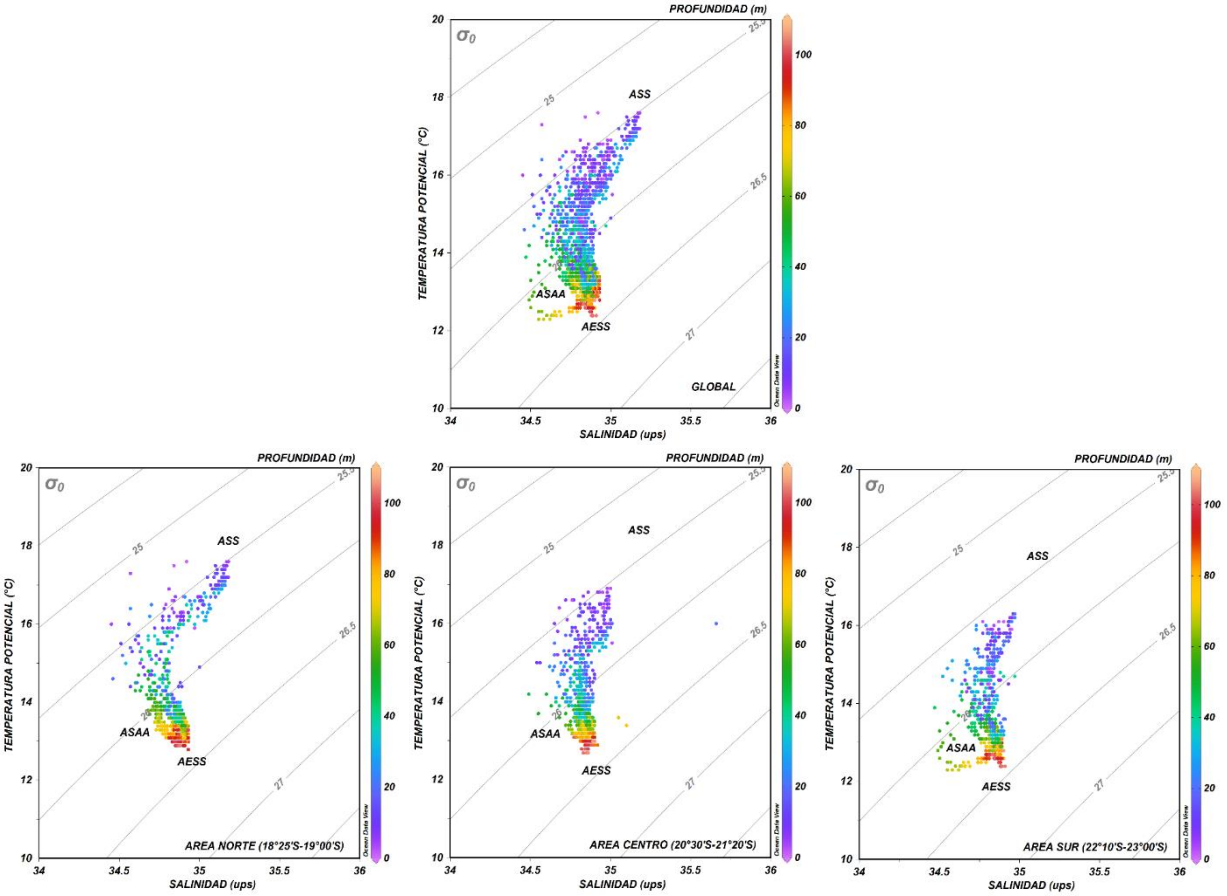

Figura 6. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para la zona entre Arica (18°25’S) y Mejillones (23°00’S) (panel superior) y para las áreas Norte (18°25’S-19°00’S), Centro (20°30’S-21°20’S) y Sur (22°10’S-23°00’S) (panel inferior), entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

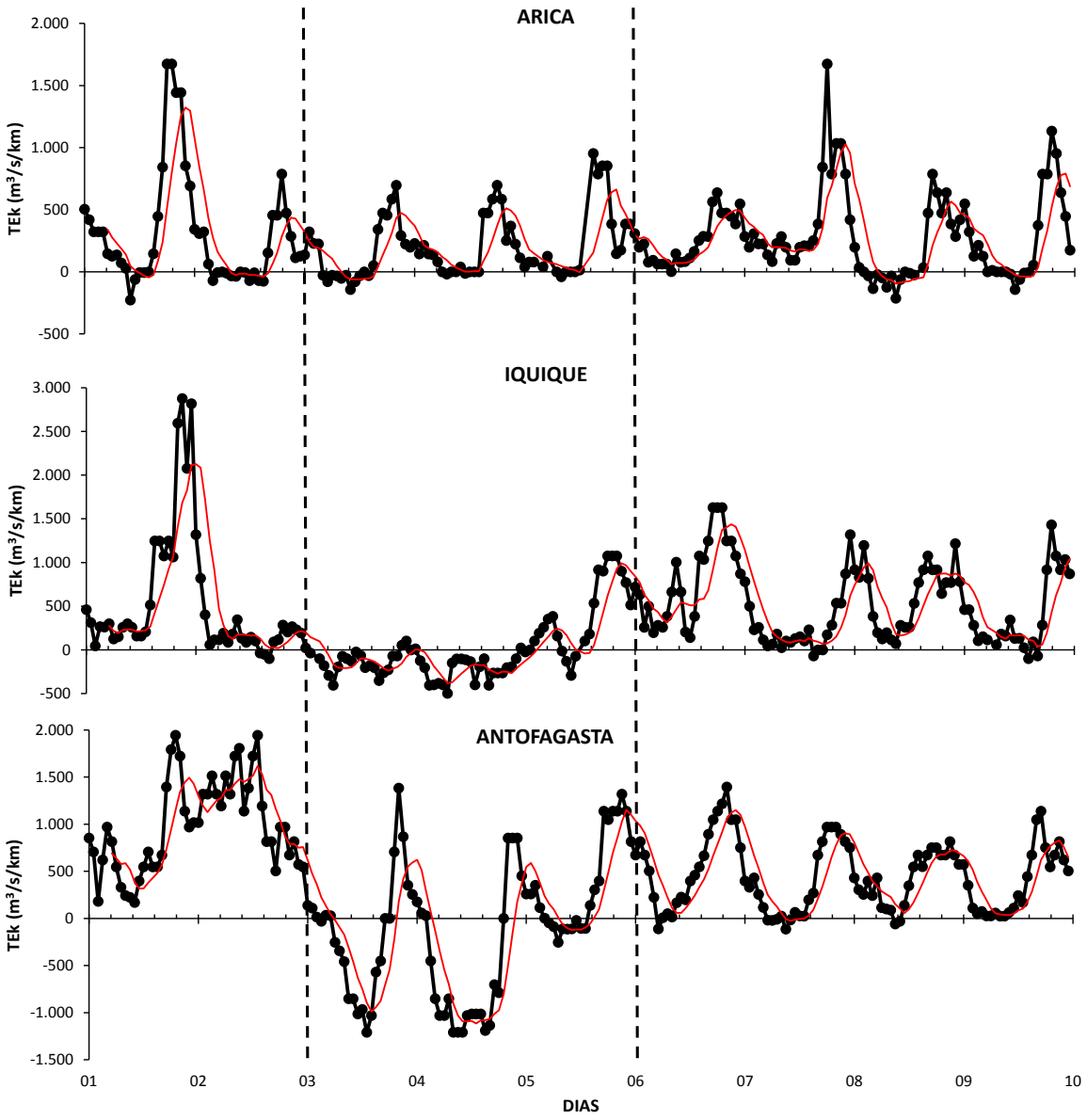

Figura 7. Transporte Ekman diario ($m^3/s/km$) en Arica, Iquique y Antofagasta, entre los días 01 y 09 de septiembre de 2018 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).

Estructura de la Comunidad Planctónica

Fitoplancton

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,1 y 1.321,2 cél/mL. Los valores integrados entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostraron concentraciones superiores a 500 cél/m^3 a lo largo de toda la franja de 1 mn, con máximos sobre las 700 cél/m^3 en Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S). Estos valores coincidieron con las mayores concentraciones de las diatomeas, grupo que aportó con más del 95% a la abundancia total en la mayoría de las estaciones. Los flagelados escasamente superaron las 5,0 cél/m^3, sus mayores abundancias coincidieron con las de las diatomeas y su contribución porcentual no superó el 10% en promedio (Tabla 1).

La distribución horizontal de la abundancia de las diatomeas entre la superficie y los 10 m de profundidad, se caracterizó por la presencia de focos de altos valores (>500 cél/mL) en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) que se extendieron entre la costa (1 mn) y las 10 mn. El principal se localizó frente a Chucumata (20°30'S) donde se registró un máximo de 1.316,0 cél/mL a 5 m de profundidad y a 5 mn, y uno secundario de 1.115,2 cél/mL se observó en Chipana (21°20'S) a nivel superficial y a 1 mn. Los focos de Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) se localizaron a 1 mn de la costa y alcanzaron máximos de 720,6 y 1.004,4 cél/mL en superficie y a 10 m de profundidad respectivamente. En el resto del área las abundancias fueron inferiores a 200 cél/mL. A 25 m se mantuvo un máximo cercano a 200 cél/mL frente a Chipana (21°20'S) a 10 mn de la costa, y en el resto del área las abundancias descendieron de las 10 cél/mL al igual que a 50 m de profundidad (Figura 8). Las secciones verticales de Arica (18°25'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) mostraron la abundancia máxima muy restringidas a la costa (1 mn), pero alcanzando casi los 30 m con valores superiores a 200 cél/mL, mientras que el foco principal, localizado en Chucumata (20°30'S), ocupó los primeros 10 m de profundidad con valores superiores a 500 cél/mL y se extendió entre la costa y las 10 mn. En las otras localidades predominaron abundancias menores a 10,0 cél/mL en toda la columna de agua (Figura 9).

La distribución de los microflagelados, entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostró un patrón similar, con focos de alta concentración (>10 cél/mL) en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S). El foco principal, de 16,2 cél/mL, se registró en Chucumata (20°30'S) a 5 m de profundidad y a 1 mn de la costa, extendiéndose hasta las 20 mn con valores superiores a 5,0 cél/mL. En Arica (18°25'S), siempre a los 5 m, se detectaron máximas de 13,2 y 11,2 cél/mL a 1 y 10 mn respectivamente, y en Chipana (21°20'S) la mayor abundancia se localizó a 10 m y a 1 mn de la costa y alcanzó las 11,6 cél/mL. En el resto del área, las concentraciones fueron inferiores a 2,5 cél/mL. A 25 m el foco alcanzó valores levemente superiores a 1,0 cél/mL y a los 50 m de profundidad se registró un máximo de 2,9 cél/mL frente a Tocopilla (22°10'S) a 20 mn de la costa (Figura 10). La distribución vertical mostró la presencia de las concentraciones superiores a 5,0 cél/mL

restringidas a los primeros 10 m de profundidad, pero extendiéndose entre la costa y las 20 mn, especialmente en Chucumata (20°30'S) (Figura 11).

El análisis de la composición específica reveló la presencia de 99 especies microfitoplanctónicas, 57 de las cuales fueron diatomeas y 42 formas flageladas. Las especies que aportaron más del 50% a la abundancia total exhibieron una distribución latitudinal diferenciada, dando lugar a los focos descritos en Arica (18°25'S) y desde Chucumata (20°30'S) al sur, destacando la distribución en toda el área del género *Pseudo-nitzschia* (Tabla 2). Las especies de microflagelados también presentaron una distribución latitudinal diferenciada, excepto las formas atecadas, de los géneros *Gymnodinium* y *Gyrodinium*, que mostraron abundancias importantes en toda la zona (Tabla 3).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,04 y 28,7 µg Cl-a/L. Los valores integrados entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostraron concentraciones superiores a 10,0 µg Cl-a/m^3 en Arica (18°25'S), Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), las que se distribuyeron entre 1 y 5 mn de la costa, en el resto del área predominaron biomasas inferiores a 10,0 µg Cl-a/m^3 (Tabla 4).

La distribución horizontal, entre la superficie y los 10 m de profundidad, coincidente con la de ambos grupos fitoplanctónicos, exhibió la presencia de dos focos de altos valores (>20,0 µg Cl-a/L). El principal, donde se registró la máxima concentración (28,7 µg Cl-a/L) se detectó frente a Mejillones (23°00'S) a 5 mn y a nivel superficial, y el segundo se localizó en Arica (18°25'S) y alcanzó los 21,6 µg Cl-a/L a 1 mn y 5 m de profundidad. Frente a Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) valores superiores a 10,0 µg Cl-a/L, pero inferiores a 20,0 µg Cl-a/L, ocuparon la franja costera (1-5 mn), donde los máximos fueron de 17,2 y 15,2 µg Cl-a/L a 10 y 5 m de profundidad respectivamente. A 25 y 50 m predominaron biomasas inferiores a 5,0 µg Cl-a/L (Figura 12).

La distribución vertical mostró en la sección de Mejillones (23°00'S) la presencia de un foco costero (1-5 mn) que se extendió hasta los 10 m de profundidad con valores superiores a 10,0 µg Cl-a/L, pero la máxima biomasa (27,8 µg Cl-a/L) se restringió a la superficie y a las 5 mn. En Arica (18°25'S), en la costa (1 mn), se registraron biomasas mayores a 10,0 µg Cl-a/L hasta cerca de los 30 m de profundidad, asociadas al foco secundario (21,6 µg Cl-a/L) que se restringió a 1 mn. En Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) se observan los focos levemente superiores a 10,0 µg Cl-a/L, distribuidos entre 1 y 5 mn de la costa y entre la superficie y los 10 m de profundidad, mientras que en punta Madrid (19°00'S) y Tocopilla (22°10'S) toda la columna de agua se encontró influenciada por valores menores a 5,0 µg Cl-a/L (Figura 13).

Tabla 1. 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 03 y 06 de septiembre de 2018. MF_TOTAL: microfitoplancton total, DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	MF_TOTAL	DIATO	M_FLAGE	%DIATO	%M_FLAGE
Arica (18°25'S)	1	550,8	542,5	8,4	98,5	1,5
	5	107,4	103,8	3,6	96,6	3,4
	10	51,7	45,1	6,6	87,2	12,8
	20	3,3	2,9	0,4	88,5	11,5
punta Madrid (19°00'S)	1	50,1	47,9	2,2	95,7	4,3
	5	29,8	27,7	2,1	92,9	7,1
	10	7,6	6,6	1,0	86,8	13,2
	20	34,5	32,9	1,7	95,2	4,8
Chucumata (20°30'S)	1	492,5	479,9	12,6	97,4	2,6
	5	1.106,3	1.102,3	4,0	99,6	0,4
	10	713,5	706,0	7,6	98,9	1,1
	20	334,0	327,8	6,2	98,1	1,9
Chipana (21°20'S)	1	904,7	895,8	8,9	99,0	1,0
	5	123,6	122,4	1,3	99,0	1,0
	10	31,5	29,4	2,1	93,3	6,7
	20	33,9	26,5	7,4	78,2	21,8
Tocopilla (22°10'S)	1	255,2	252,4	2,9	98,9	1,1
	5	55,7	53,3	2,4	95,7	4,3
	10	8,3	7,1	1,2	85,5	14,5
	20	5,5	4,8	0,7	86,5	13,5
Mejillones (23°00'S)	1	511,9	508,6	3,3	99,4	0,6
	5	342,2	338,3	4,0	98,8	1,2
	10	153,9	153,4	0,6	99,6	0,4
	20	0,9	0,7	0,2	73,9	26,1

Tabla 2. 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 03 y 06 de septiembre de 2018. *Dfragilissimus: Dactyliosolen fragilissimus, Gstriata: Guinardia striata, Bdelicatulum: Bacteriastrum delicatulum, Ccompressus: Chaetoceros compressus, Dpumila: Detonula pumila, Ccurvisetus: Chaetoceros curvisetus, Cprotuberans: Chaetoceros protuberans, Csocialis: Chaetoceros socialis*.

GRUPO	**LOCALIDAD**											
	Arica (18°25'S)		**punta Madrid (19°00'S)**		**Chucumata (20°30'S)**		**Chipana (21°20'S)**		**Tocopilla (22°10'S)**		**Mejillones (23°00'S)**	
DIATOMEAS	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**
Dfragilissimus	337,6	46,3	14,8	10,7								
Gstriata	278,8	27,4										
Bdelicatulum					759,6	57,3	153,2	12,7	32,8	4,3		
Ccompressus					364,0	22,9	198,4	12,6	28,8	4,4	173,2	8,7
Dpumila							488,4	40,6				
Ccurvisetus									135,6	23,7	284,8	19,5
Cprotuberans									34,4	6,2	188,8	9,9
Csocialis									46,3	9,3	218,4	11,7
Pseudo-nitzschia	79,2	10,8	42,2	62,6	30,8	2,2	76,4	5,8	66,8	27,0	167,2	17,0

Tabla 3. 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 03 y 06 de septiembre de 2018. *Cfurca: Ceratium furca, Dspeculum: Distephanus speculum, Gspinifera: Gonyaulax spinifera*.

GRUPO	**LOCALIDAD**											
	Arica (18°25'S)		**punta Madrid (19°00'S)**		**Chucumata (20°30'S)**		**Chipana (21°20'S)**		**Tocopilla (22°10'S)**		**Mejillones (23°00'S)**	
DIATOMEAS	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**	**AM**	**AP**
Cfurca	337,6	46,3	14,8	10,7								
Dspeculum	278,8	27,4										
Gspinifera					759,6	57,3	153,2	12,7	32,8	4,3		
Atecados					364,0	22,9	198,4	12,6	28,8	4,4	173,2	8,7

Tabla 4. Biomasa fitoplanctónica integrada (µg Cl-a/m^3) entre la superficie y los 10 m de profundidad, entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	BF (µg Cl-a/m^3)
Arica (18°25'S)	1	19,3
	5	5,6
	10	4,4
	20	0,6
punta Madrid (19°00'S)	1	5,8
	5	4,0
	10	2,5
	20	1,4
Chucumata (20°30'S)	1	8,8
	5	9,0
	10	4,9
	20	2,8
Chipana (21°20'S)	1	14,1
	5	3,1
	10	1,6
	20	1,5
Tocopilla (22°10'S)	1	5,5
	5	1,8
	10	1,3
	20	1,5
Mejillones (23°00'S)	1	12,2
	5	15,8
	10	5,8
	20	0,5

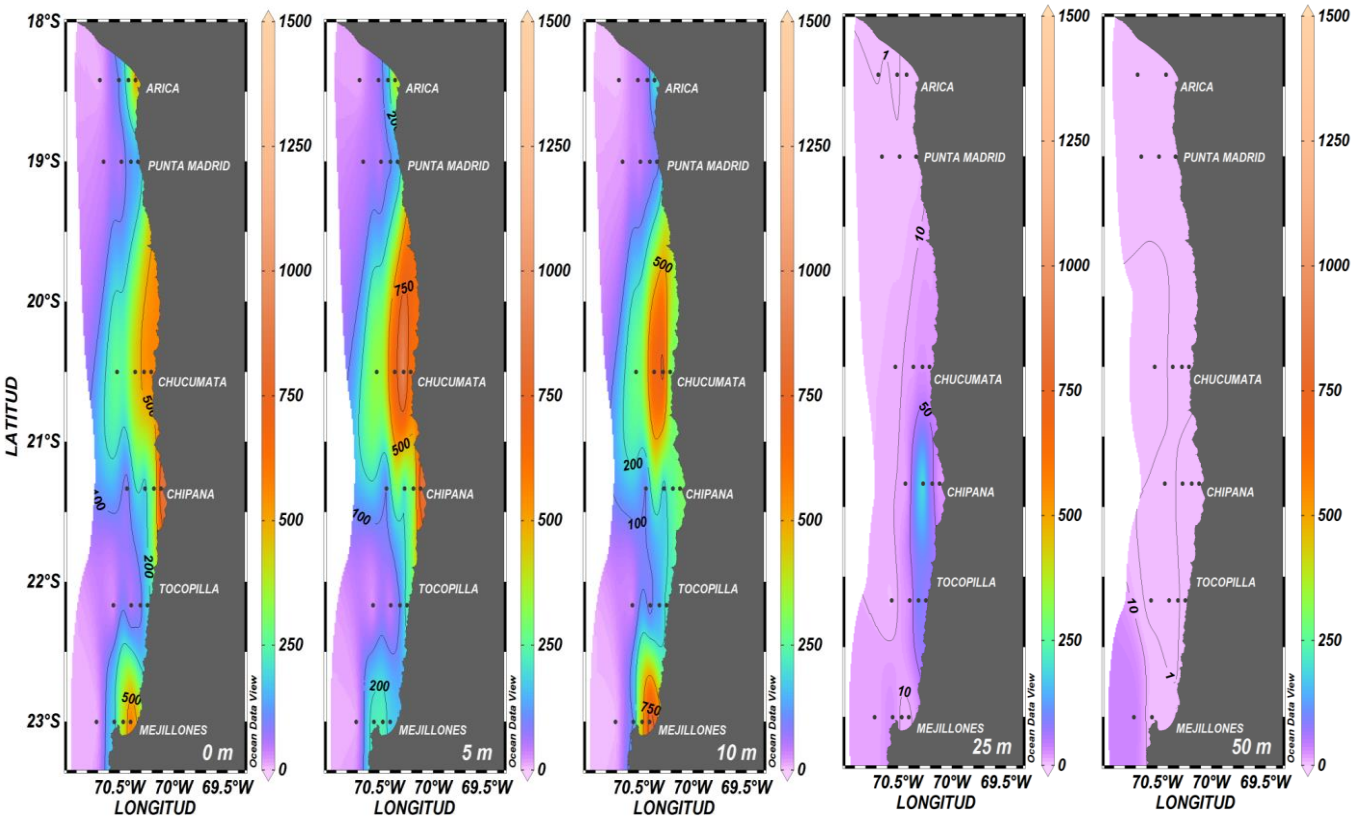

Figura 8. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 03 y 068 de septiembre de 2018.

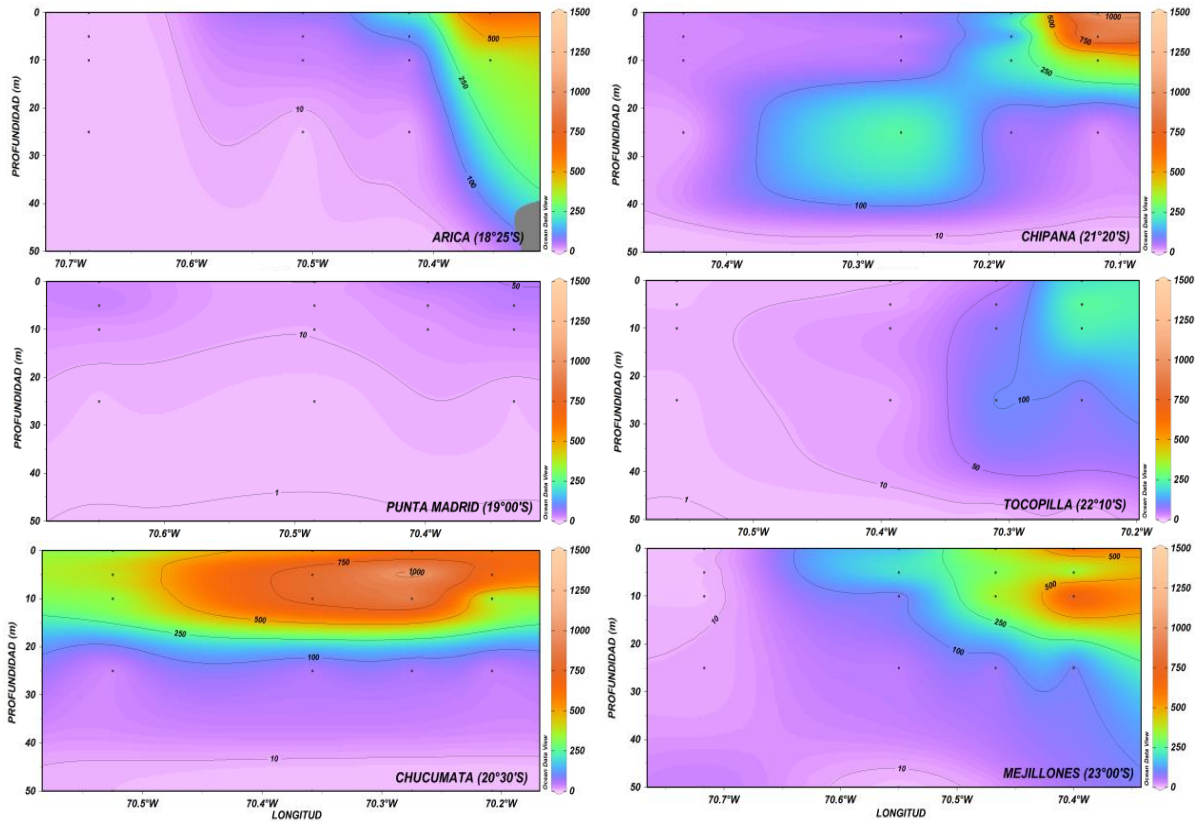

Figura 9. Secciones verticales de la abundancia (cél/mL) de diatomeas entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

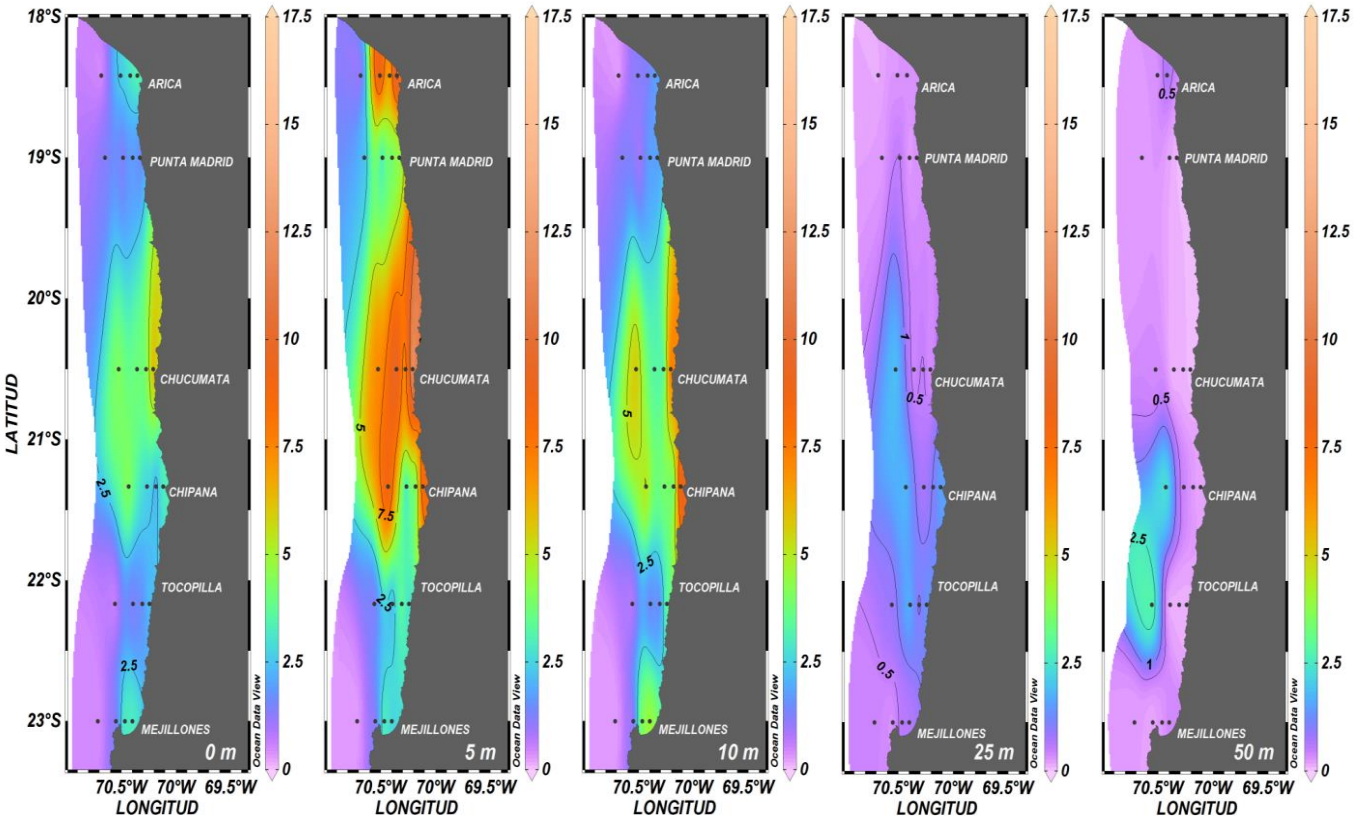

Figura 10. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

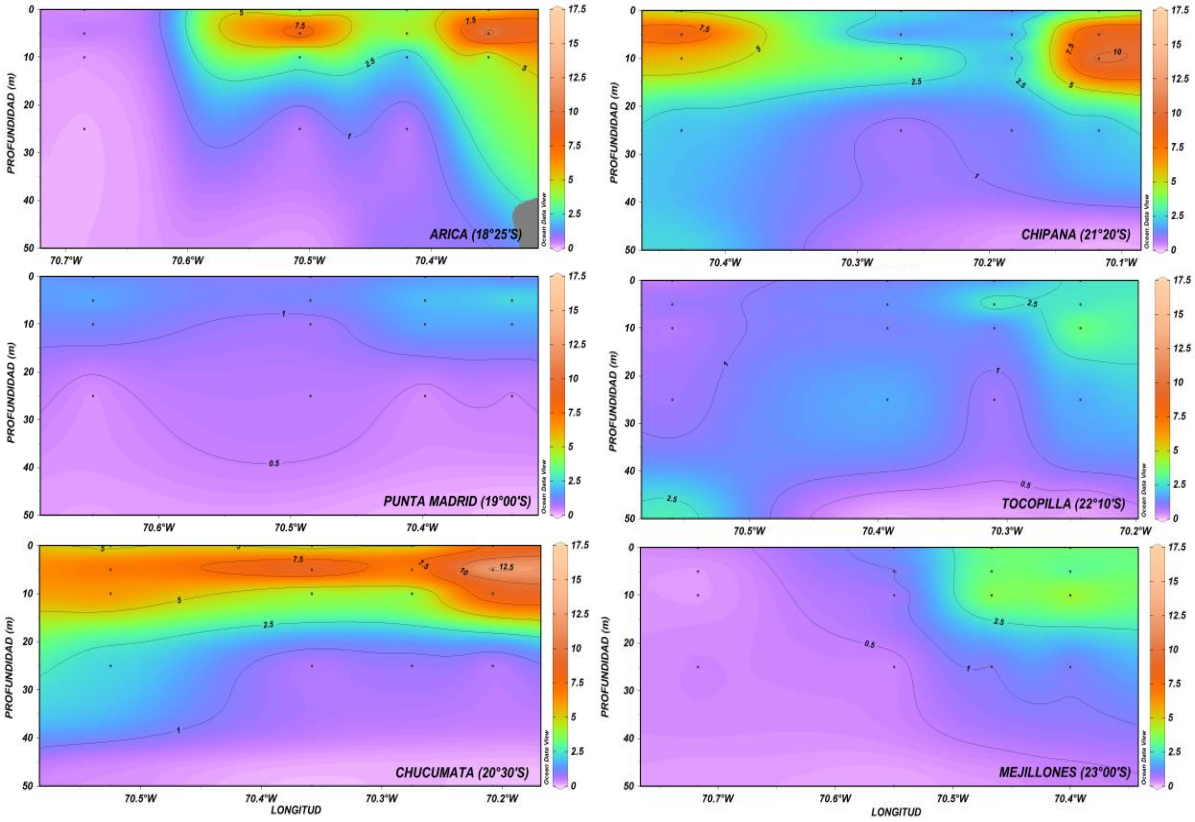

Figura 11. Secciones verticales de la abundancia (cél/mL) de microflagelados entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

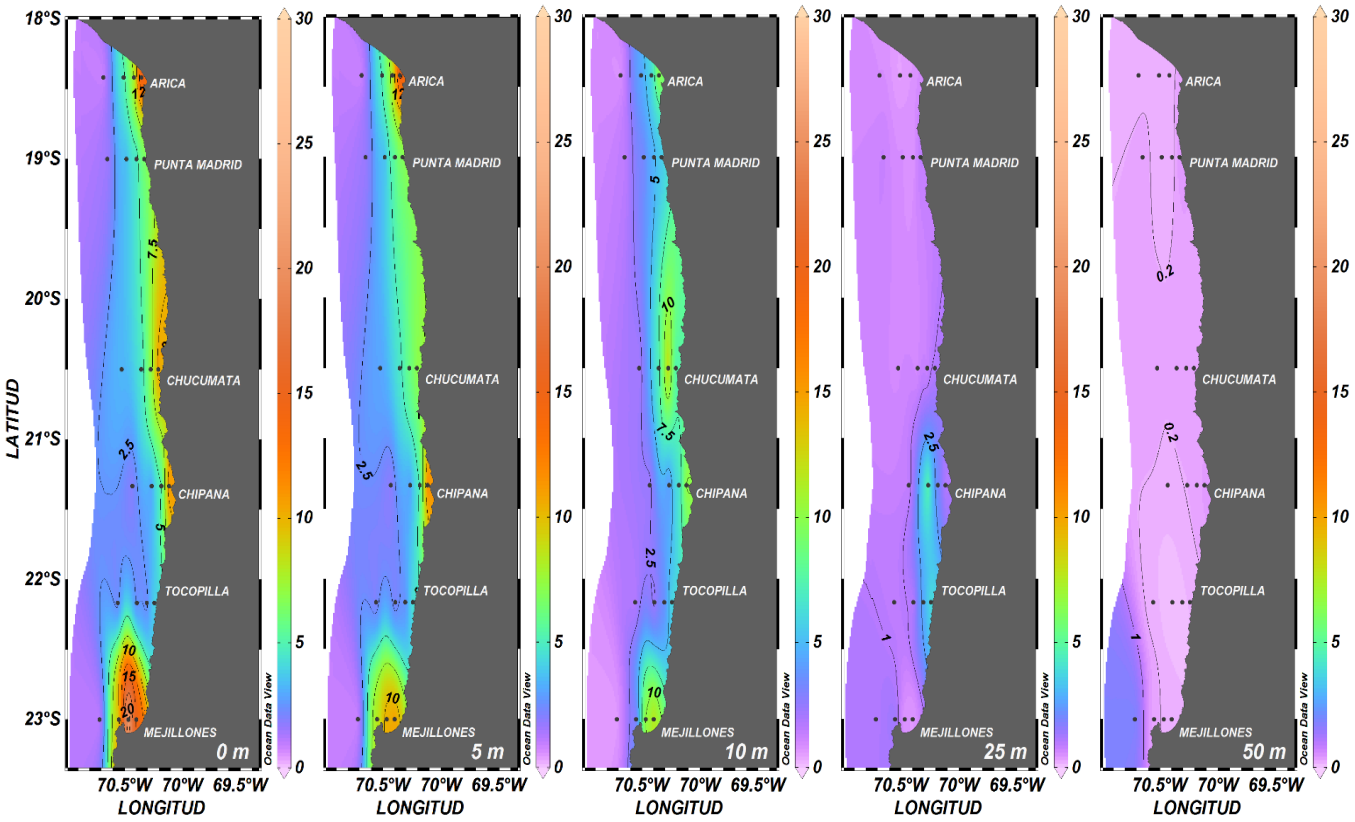

Figura 12. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

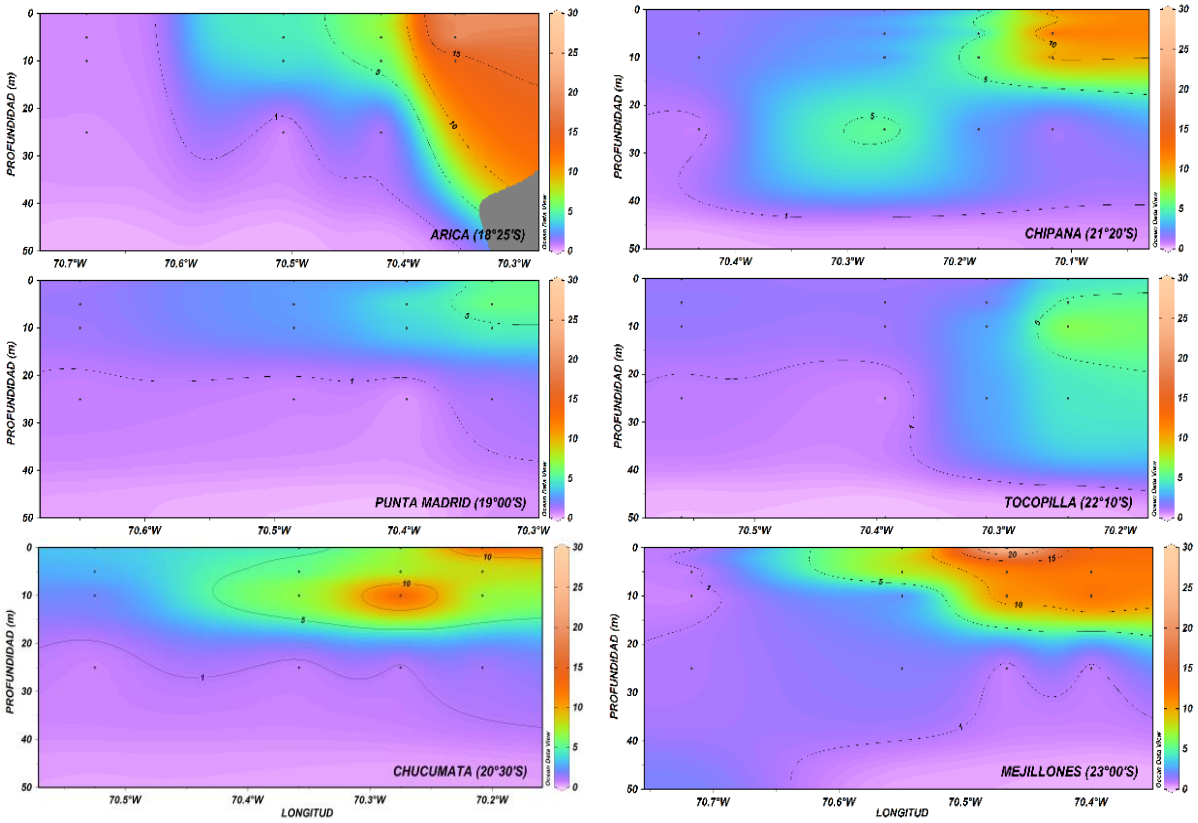

Figura 13. Secciones verticales de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

Zooplancton

La abundancia total de zooplancton fluctuó entre 8,3 y 167,0 ind/10 m^2, registrándose, en general, el predominio de valores inferiores a 100 ind/10 m^2 en toda el área, con las menores densidades (<50 ind/10 m^2) entre Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S) (Tabla 5).

De los 14 grupos zooplanctónicos identificados, Copepoda fue el más abundante, con un máximo de 131,1 ind/10 m^2 y aportes porcentuales al total que fluctuaron entre 55,1 y 93,0%. Destacaron también las larvas de anélidos que exhibieron abundancias superiores a 10,0 ind/10 m^2 desde Chucumata (20°30'S) al sur y alcanzaron un máximo de 15,1 ind/10 m^2. El conjunto del resto de los componentes, escasamente alcanzó densidades superiores a 20 ind/10 m^2, coincidiendo con los mayores valores del grupo Copepoda (Tabla 6).

En relación a los tamaños, se registraron individuos en el rango entre 0,25 y 9,75 mm. La mayoría de los grupos (>10) estuvieron representados en la categoría entre 0,25 y 3,75 mm, destacando, entre los de menor longitud (0,25-0,75 mm) los copépodos y las larvas de anélidos (Tabla 7). La fracción 0,25-0,75 mm exhibió las mayores abundancias, las que fluctuaron entre 8,2 y 144,4 ind/10 m^2 y donde Copepoda realizó aportes entre un 48,9 y 95,8%. Muy en segundo lugar se ubicó el rango 1,27-1,75 mm que alcanzó una densidad máxima de 15,7 ind/10 m^2 (Tabla 8).

La distribución de la abundancia total del zooplancton se caracterizó por la presencia de un foco restringido a las primeras 5 mn frente a Chucumata (20°30'S) donde se registró la máxima densidad del grupo (167,0 ind/10 m^2). Valores inferiores a 50 ind/10 m^2 se observaron en Arica (18°25'S), punta Madrid (19°00'S) y Mejillones (23°00'S), los que se extendieron entre la costa (1 mn) y las 20 mn. A 40 mn se detectaron densidades superiores a 50 ind/10 m^2, con un máximo secundario de 102,3 ind/10 m^2 localizado frente a Tocopilla (22°10'S) (Figura 14A).

Como grupo dominante la abundancia de Copepoda exhibió la misma distribución, con la máxima densidad (131,1 ind/10 m^2) localizada en Chucumata (20°30'S) representando el 75,8% del total. En la máxima secundaria (102,3 ind/10 m^2), detectada frente a Tocopilla a 40 mn, este grupo contribuyó sólo con el 50%, mientras que el resto correspondió a la presencia de larvas de anélidos y sifonóforos (Figura 14B).

Al analizar la distribución de la abundancia del rango de tamaño entre 0,25-0,75 mm y de los copépodos pertenecientes a ésta se observó la misma tendencia, con la mayores densidades (>100 ind/10 m^2) localizadas en la costa (1-5 mn) frente a Chucumata (20°30'S) y en Tocopilla (22°10'S) a 40 mn (Figuras 15A y 15B).

Tabla 5. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m^2)
Arica (18°25'S)	1	31,9
	5	11,0
	10	8,3
	20	26,3
	40	65,4
punta Madrid (19°00'S)	1	15,4
	5	40,3
	10	31,4
	20	26,5
	40	63,6
Chucumata (20°30'S)	1	167,0
	5	85,4
	10	81,1
	20	67,2
	40	73,3
Chipana (21°20'S)	1	78,0
	5	83,3
	10	35,5
	20	15,6
	40	50,9
Tocopilla (22°10'S)	1	34,2
	5	68,3
	10	78,2
	20	55,0
	40	102,3
Mejillones (23°00'S)	1	29,1
	5	49,6
	10	30,5
	20	73,0
	40	80,0

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 03 y 06 de septiembre de 2018. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	COP	LAnn	OG	AP-COP (%)
Arica (18°25'S)	1	29,6	2,2	0,1	92,8
	5	9,4	1,5	0,2	85,0
	10	7,2	0,7	0,3	87,7
	20	21,0	1,9	3,4	79,9
	40	56,7	3,5	5,2	86,7
punta Madrid (19°00'S)	1	14,1	1,1	0,2	91,6
	5	36,4	2,1	1,8	90,5
	10	27,8	3,0	0,6	88,6
	20	23,3	2,0	1,2	87,9
	40	53,8	6,7	3,1	84,6
Chucumata (20°30'S)	1	131,1	15,1	20,8	78,5
	5	70,4	10,0	5,0	82,4
	10	69,4	9,4	2,4	85,5
	20	55,7	7,9	3,6	82,9
	40	50,4	6,0	16,9	68,7
Chipana (21°20'S)	1	54,9	14,5	8,6	70,4
	5	71,4	8,2	3,8	85,7
	10	28,5	3,1	4,0	80,1
	20	12,2	1,4	2,1	78,0
	40	39,3	3,6	8,0	77,2
Tocopilla (22°10'S)	1	31,7	1,7	0,8	92,8
	5	63,2	2,6	2,5	92,4
	10	65,9	5,9	6,4	84,3
	20	45,7	3,7	5,6	83,0
	40	56,4	11,4	34,5	55,1
Mejillones (23°00'S)	1	27,1	1,1	0,9	93,0
	5	42,4	5,0	2,1	85,6
	10	25,3	2,3	2,9	83,0
	20	56,7	4,8	11,4	77,8
	40	61,3	6,3	12,3	76,7

Tabla 7. Abundancia relativa de los grupos zooplanctónicos por rango de tamaño (mm) entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

GRUPOS	RANGOS DE TAMAÑO (mm)				
	0,25-0,75	**1,25-1,75**	**2,25-2,75**	**3,25-3,75**	**4,25-9,75**
Anfipodos	1,9	6,0	1,8	0,3	0,2
Annelida		0,4	0,4	0,8	1,1
Appendicularia	25,5	1,4			
Chaetognata	2,5	3,0	1,7	0,8	1,0
Cnidaria	0,1	1,0	1,1	0,5	2,3
Copepoda	1302,0	29,5	1,9	0,3	
Ctenoforos	0,7	6,8	4,2	1,5	3,7
Eufausiacea		0,1	0,6	0,4	1,0
Larva_annelida	138,9	9,3			
Megalopas		1,0	0,9	0,7	0,6
Mysidacea	3,4	12,1	0,2		
Salpas	16,5	7,3	0,1		
Sifonoforos	4,7	20,5	14,7	4,9	3,4
Stomatopoda	0,1	1,1	0,5	0,2	
Zoeas	2,1	2,6	0,5		

Tabla 8. 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 03 y 06 de septiembre de 2018. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	RANGOS DE TAMAÑO (mm)					AP-COP (%)
		0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-3,75	4,25-9,75	0,25-0,75
Arica (18°25'S)	1	31,7	0,1				93,2
	5	19,2	0,1				48,7
	10	8,2	0,0				87,8
	20	25,4	0,7	0,0		0,0	80,3
	40	61,4	2,7	0,7	0,4	0,0	86,9
punta Madrid (19°00'S)	1	15,3	0,1				91,9
	5	39,0	1,0		0,0	0,1	90,9
	10	30,8	0,4				89,2
	20	24,4	1,6	0,3	0,0	0,0	88,4
	40	59,3	3,1	0,7	0,2		84,9
Chucumata (20°30'S)	1	144,4	15,7	4,8	1,0	0,8	78,6
	5	79,2	4,8	0,5	0,2	0,5	82,6
	10	78,5	2,0	0,2	0,1	0,2	85,7
	20	64,1	1,7	0,3	0,1	0,5	83,4
	40	61,0	9,6	1,9	0,5	0,3	68,8
Chipana (21°20'S)	1	67,2	7,1	1,9	0,8	0,7	70,7
	5	80,2	2,5	0,3	0,1	0,2	85,8
	10	31,0	3,6	0,7	0,0	0,0	80,4
	20	13,1	1,8	0,3	0,1	0,2	78,4
	40	43,4	5,3	1,1	0,5	0,5	77,4
Tocopilla (22°10'S)	1	33,5	0,4	0,0		0,0	93,6
	5	65,9	1,6	0,5	0,1	0,1	92,6
	10	71,7	4,8	0,9	0,2	0,3	84,5
	20	49,9	3,3	1,4	0,3	0,0	83,3
	40	70,6	15,6	6,7	2,8	6,7	55,1
Mejillones (23°00'S)	1	28,8	0,2	0,0	0,0	0,0	93,2
	5	48,1	1,2	0,1	0,0	0,1	85,8
	10	28,4	1,7	0,2		0,0	83,3
	20	63,1	4,9	2,7	1,3	0,9	77,8
	40	69,9	4,6	2,7	1,4	1,1	77,1

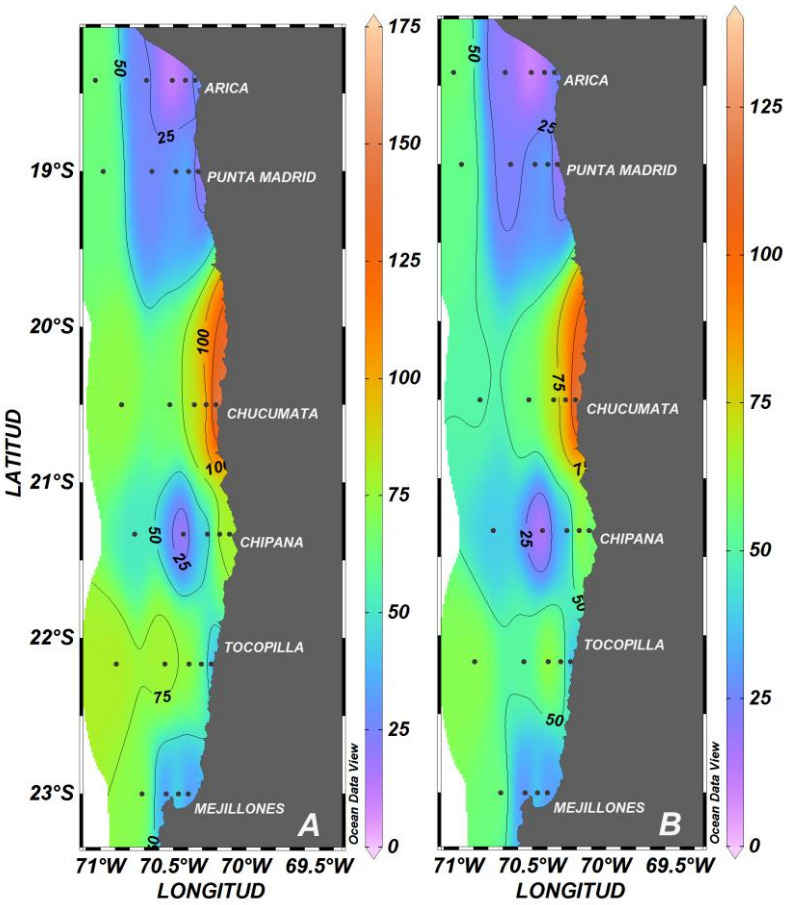

Figura 14. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda, entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

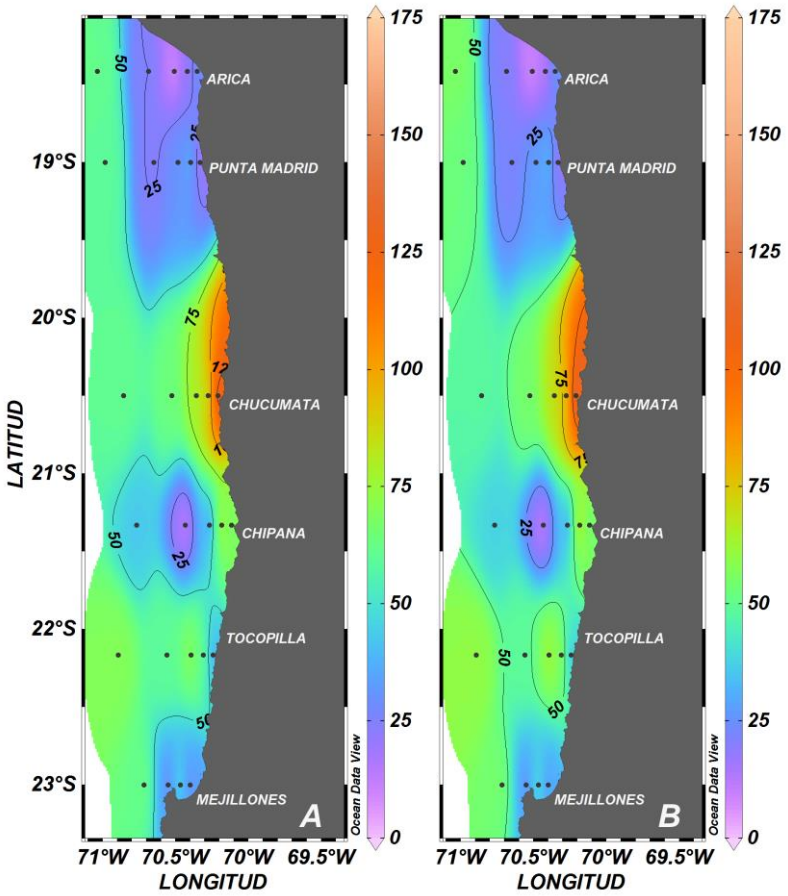

Figura 15. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda pertenecientes al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

Ictioplancton

Se registró un total de 256.832 huevos/10 m^2 y 100.072 larvas/10 m^2 a los cuales los estadios tempranos de *Engraulis ringens* aportaron con un 96,3% y un 89,2% respectivamente (Tabla 9).

Se registraron larvas de anchoveta en estado yolk-sac, pre-flexión y flexión. Las más abundantes fueron las larvas yolk-sac con un total de 73.003 larvas/10 m^2, realizando una contribución porcentual de 81,8% a la abundancia total de larvas de esta especie y de 73,0% a la abundancia total de larvas. Las larvas en pre-flexión y flexión presentaron una densidad total de 14.999 y 1.237 larvas /10 m^2 respectivamente (Tabla 9).

Respecto de su distribución, en todas las localidades se registraron estadios tempranos de *Engraulis ringens* distribuidos entre 1 y 40 mn de la costa (Figura 16).

La mayor densidad de huevos (124.740 huevos/10 m^2) se registró en Chipana (21°20'S) a 1 mn de la costa. En Arica (18°25'S) se detectó un máximo de 15.256 huevos/10 m^2 a 1 mn de la costa, y en Chucumata (20°30'S) densidades cercanas a 17.000 huevos/10 m^2 ocuparon la franja entre 10 y 20 mn. En el resto del área los valores no superaron los 10.000 huevos/10 m^2 (Figura 17-panel izquierdo).

Las larvas en estado yolk-sac exhibieron sus mayores densidades (>1.000 larvas/10 m^2 a 10 mn) desde Chucumata (20°30'S) al sur, con un máximo de 33.828 larvas/10 m^2 coincidente con la mayor densidad de huevos. Valores superiores a 2.000 larvas/10 m^2 se observaron entre la costa (1 mn) y las 20 mn en Chucumata (20°30'S), donde se detectó un máximo de 9.341 larvas/10 m^2 a 10 mn, de manera similar en Mejillones (23°00'S) se registraron 5.913 larvas/10 m^2 a 20 mn (Figura 17-panel derecho).

El estado pre-flexión se concentró desde Chucumata (20°30'S) al sur, con un predominio de densidades inferiores a 1.000 larvas/10 m^2, excepto por el máximo de 9.856 larvas/10 m^2 registrado a 20 mn de la costa frente a Mejillones (23°00'S) (Figura 18-panel izquierdo). Las larvas en flexión se detectaron a 40 mn sólo en punta Madrid (19°00'S) y Chucumata (20°30'S), con densidades de 868 y 369 larvas/10 m^2 respectivamente (Figura 18-panel derecho).

Los huevos de otras especies se registraron en todas las localidades ocupando principalmente la zona entre 20 y 40 mn. Sus densidades no superaron los 1.000 huevos/10 m^2, excepto por un máximo de 6.230 huevos/10 m^2 registrado a 1 mn en Chucumata (20°30'S) (Figura 19-panel izquierdo). Las larvas se distribuyeron desde Chucumata (20°30'S) al sur, exhibiendo densidades superiores a 1.000 larvas/10 m^2 entre 1 y 20 mn, y alcanzando un máximo de 3.548 larvas/10 m^2 a 20 mn en Mejillones (23°00'S) (Figura 19-panel derecho).

Tabla 9. Abundancia de huevos y larvas (N°/10 m^2) de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies, entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018. Larvas Y-S: larvas en estado yolk-sac, Larvas Pre-Flex: larvas en estado de pre-flexión, Larvas Flex: larvas en estado de flexión. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	*Engraulis ringens*				Otras Especies		Totales	
		Huevos	Larvas Y-S	Larvas Pre-Flex	Larvas Flex	Huevos	Larvas	Huevos	Larvas
Arica (18°25'S)	1	15.256	201			201		15.457	201
	5	246				246		493	
	10								
	20	1.429	89					1.429	89
	40	7.909						7.909	
punta Madrid (19°00'S)	1								
	5								
	10	587	59					587	59
	20	3.927	218				73	3.927	291
	40			193	868	289	193	289	1.253
Chucumata (20°30'S)	1	3.115	5.711	692		6230	1.731	9.345	8.133
	5	14.028	2.698	405				14.028	3.102
	10	17.524	9.341	77			232	17.524	9.650
	20	17.448	7.400	234				17.448	7.633
	40	277		738	369	277	185	554	1.292
Chipana (21°20'S)	1	124.740	33.828	969		88	2.555	124.828	37.351
	5	26.470	1.170	630			90	26.470	1.891
	10	1.571					71	1.571	71
	20	1.837		272		204	68	2.041	340
	40					639		639	
Tocopilla (22°10'S)	1								
	5	195	1.460	195			195	195	1.849
	10	88		88			88	88	176
	20					262		262	
	40					183		183	
Mejillones (23°00'S)	1	297	1.388					297	1.388
	5	8.787	2.079			661	472	9.448	2.551
	10	1.256	1.449	290			1.063	1.256	2.802
	20	296	5.913	9.856			3.548	296	19.317
	40			361		271	271	271	632
TOTAL		247.282	73.003	14.999	1.237	9.550	10.833	256.832	100.072
AP (%)		96,3	73,0	15,0	1,2	3,7	10,8		

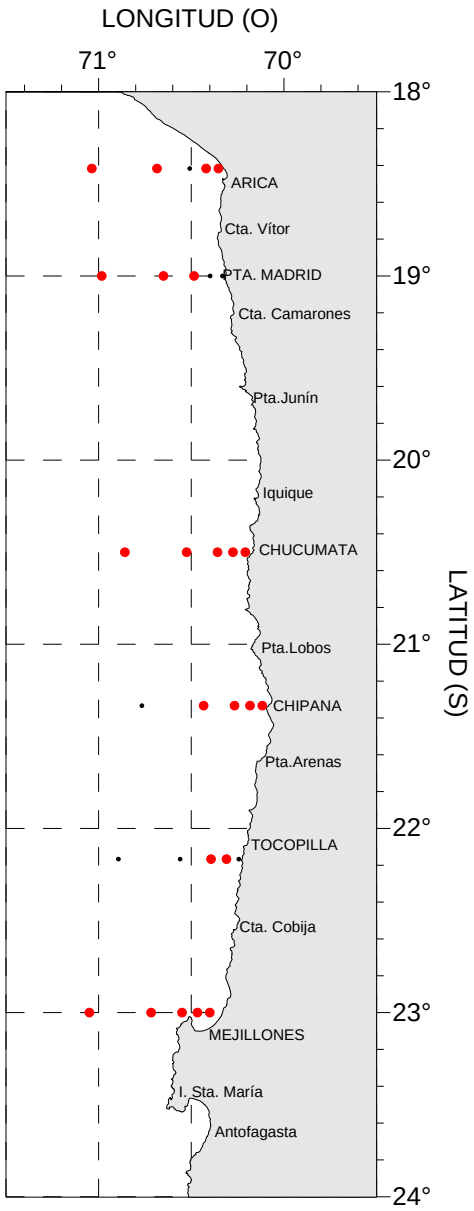

Figura 16. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

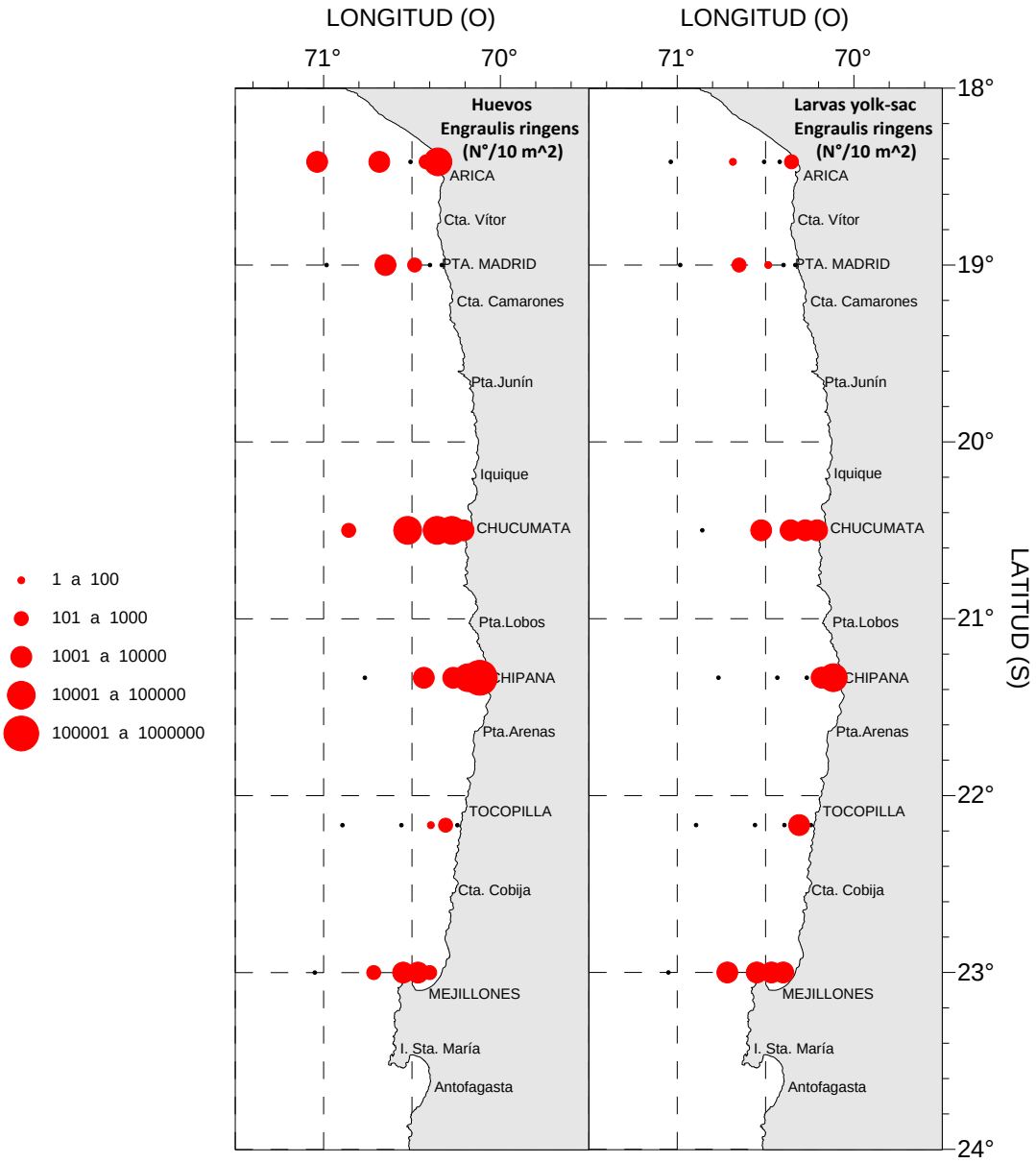

Figura 17. Distribución de la abundancia de huevos (N°/10 m^2) (panel derecho) y larvas en estado yolk-sac (panel-izquierdo) de *Engraulis ringens* entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

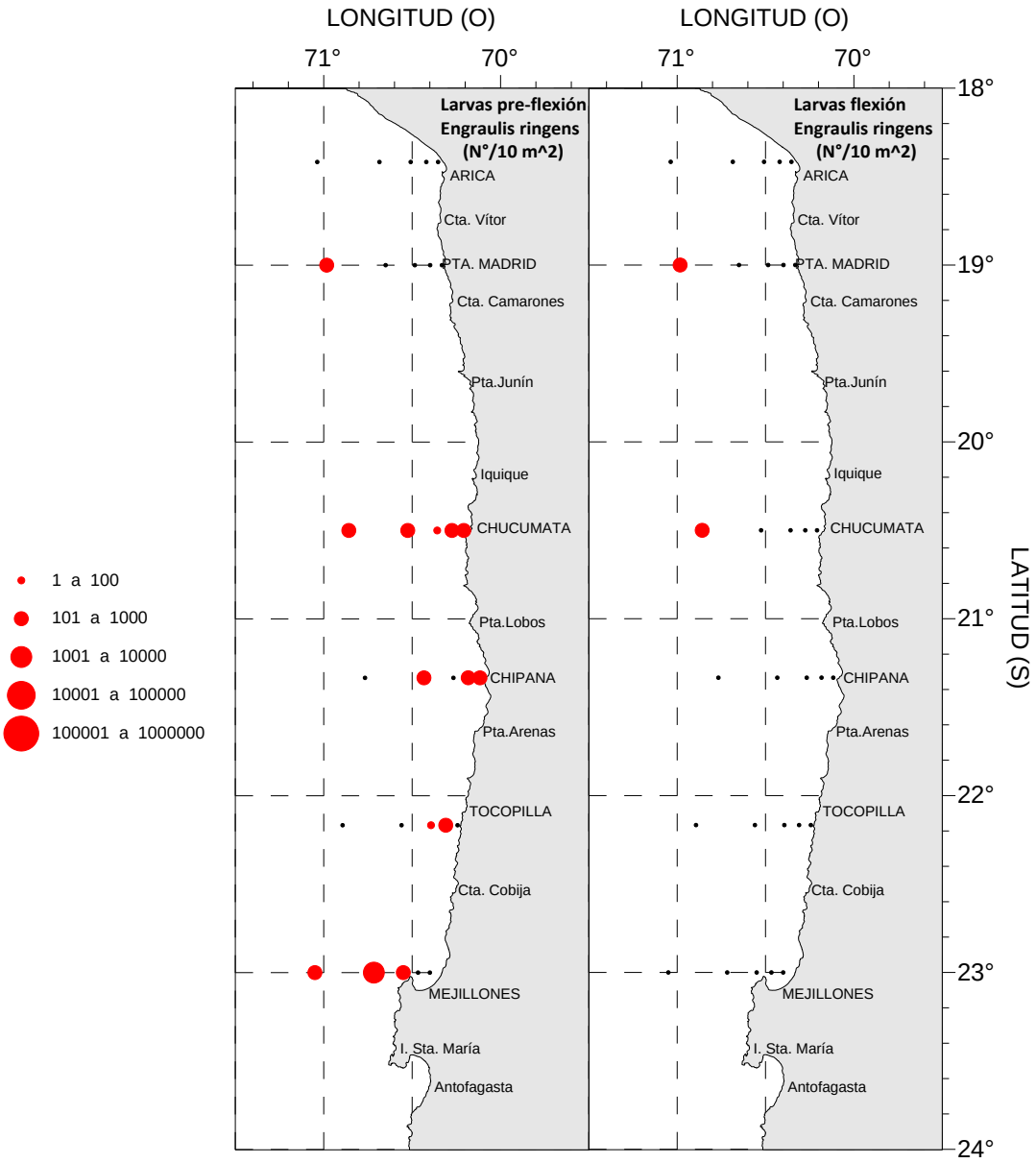

Figura 18. Distribución de la abundancia de larvas (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* en estado pre-flexión (panel izquierdo) y flexión (panel derecho) entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

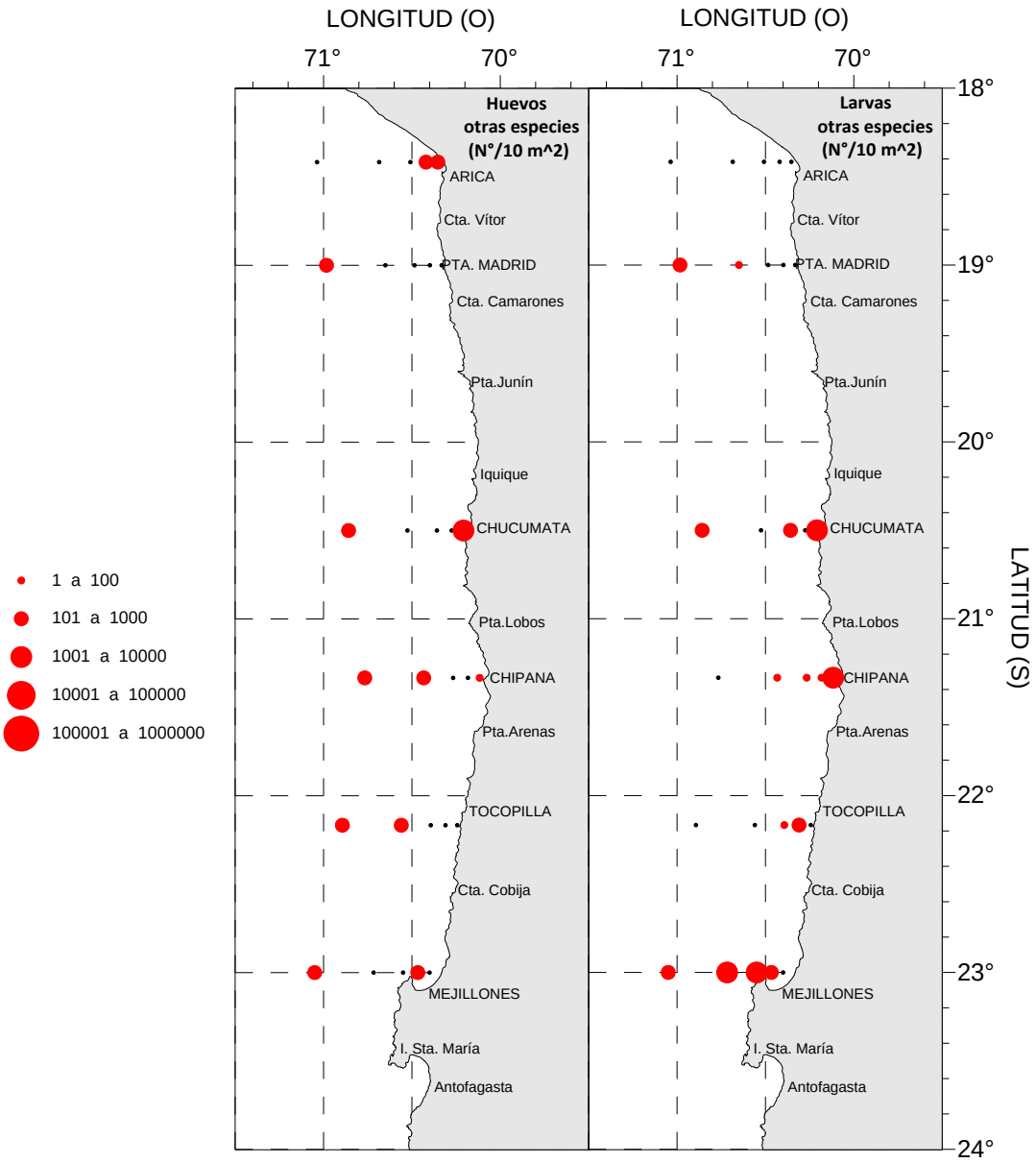

Figura 19. Distribución horizontal de la abundancia (N°/10 m^2) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 03 y 06 de septiembre de 2018.

Análisis Estadístico

El análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta y las variables físicas, químicas y biológicas, reveló asociaciones significativas sólo con el componente biológico, entre los cuales destacaron la abundancia de diatomeas ($r=0,61$, $p<0,01$), de microflagelados ($r=0,41$, $p<0,01$) y de zooplancton ($r=0,46$, $p<0,01$) (Figura 20). Lo mismo se observó con la abundancia de las larvas, que mostró correlaciones significativas con la abundancia del zooplancton ($r=0,67$, $p<0,01$), de diatomeas ($r=0,49$, $p<0,01$) y de nanoflagelados ($r=0,47$, $p<0,01$) (Figura 21).

El análisis comparativo global, entre el invierno de 2018 y los de 2014 a 2017, mostró diferencias estadísticamente significativas entre la temperatura, salinidad, profundidad de la capa de mezcla (isoterma de 15°C) y concentración de oxígeno disuelto, y entre los componentes biológicos abundancia de diatomeas, de nanoflagelados, y de huevos y larvas de anchoveta (Tabla 10).

Las diferencias en la temperatura se debieron a los años 2015 y 2016 que corresponden a los más cálidos de la serie, y en la salinidad el año 2014 exhibió los mayores valores. Respecto de la profundidad de la capa de mezcla este año exhibió la posición más somera y el oxígeno disuelto descendió en relación a 2016 (Tabla 11, Figura 22). En el componente biológico, la abundancia de diatomeas durante 2018 exhibió valores superiores a los de 2014, 2016 y 2017, y los nanoflagelados aumentaron respecto de 2014. La abundancia de zooplancton fue menor a la de 2014, pero mayor a la del invierno de 2017, y la densidad de huevos y larvas de anchoveta superó los registros de los años 2014, 2016 y 2017 (Tabla 11, Figura 23).

Al realizar el análisis comparativo por localidad, las variables temperatura, salinidad, profundidad de la capa de mezcla y oxígeno disuelto, revelaron diferencias significativas en Chipana (21°20’S) y Mejillones (23°30’S), mientras que en todas las localidades se detectaron diferencias en algún componente biológico, particularmente en Chucumata (20°30’S) (Tabla 12).

Las diferencias en la temperatura se debieron a que el invierno de 2018 exhibió menores valores en Chipana (21°20’S) y Mejillones (23°30’S) respecto de 2015, 2016, 2017 y la salinidad fue más baja en Chipana (21°20’S) en relación a 2014 (Tabla 13, Figura 24). La profundidad de la capa de mezcla se presentó más somera este año en Mejillones (23°30’S) y el oxígeno disuelto bajó en Chipana (21°20’S) en comparación a todos los periodos anteriores, y en Mejillones (23°30’S) en relación a 2015 y 2016 (Tabla 13, Figura 25).

Dentro de las variables biológicas, la abundancia de diatomeas mostró diferencias significativas en Chucumata (20°30’S) debido a un incremento durante 2018 respecto de 2014, 2016 y 2017. En esta misma localidad los microflagelados aumentaron en relación a 2014, al igual que en Chipana (21°20’S) donde resultaron más abundantes que en 2016 y 2017 (Tabla 14, Figura 26). El grupo de los nanoflagelados mostró este año mayor

abundancia en Arica (18°25’S) y Chucumata (20°30’S), comparado con el invierno de 2014. La biomasa fitoplanctónica exhibió un incremento en Chucumata (20°30’S) en relación a 2014, al igual que en Chipana (21°20’S) y Mejillones (23°00’S) donde las concentraciones fueron superiores al invierno de 2017. En relación a la abundancia del zooplancton, ésta fue menor en Arica (18°25’S) comparada al invierno de 2014, pero en Chucumata (20°30’S) y Chipana (21°20’S) fue mayor que en 2016 y 2017 (Tabla 14, Figura 27). De igual manera en estas dos localidades, la densidad de huevos de anchoveta en 2018 se incrementó respecto de 2014, y 2016 y 2017 respectivamente, y las larvas en Chucumata (20°30’S) presentaron abundancias que superaron a todos los inviernos anteriores (Tabla 14, Figura 28).

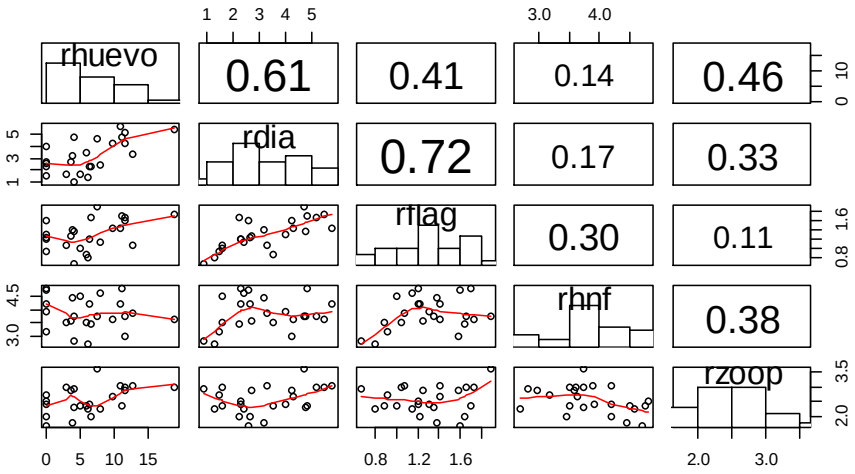

Figura 20. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (rhuevo) (N°/10 m^2) y las variables abundancia de diatomeas (rdia) (cél/m^3), abundancia de microflagelados (rflag) (cél/m^3), abundancia de nanoflagelados (rhnf) (cél/m^3) y abundancia de zooplancton (rzoop) (ind/10 m^2), registradas entre el 03 y 06 de septiembre de 2018.

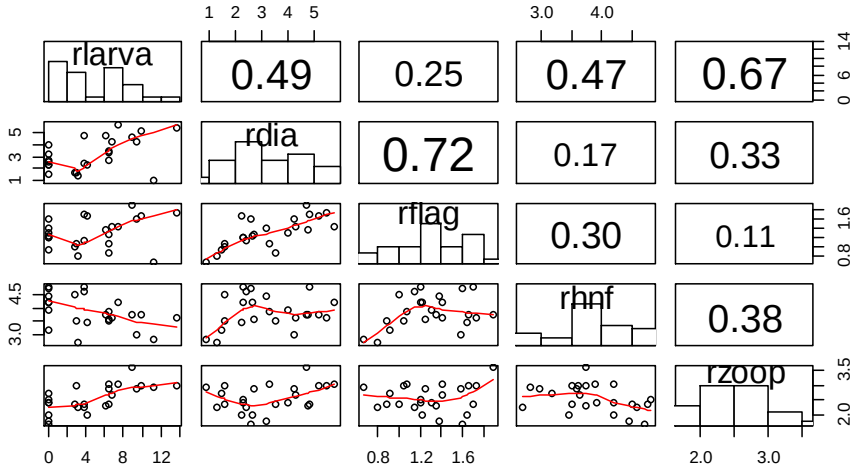

Figura 21. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (rlarva) (N°/10 m^2) y las variables abundancia de diatomeas (rdia) (cél/m^3), abundancia de microflagelados (rflag) (cél/m^3), abundancia de nanoflagelados (rhnf) (cél/m^3) y abundancia de zooplancton (rzoop) (ind/10 m^2), registradas entre el 03 y 06 de septiembre de 2018.

Tabla 10. Resultados del análisis comparativo global entre las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante el de invierno de 2018 y durante los inviernos de 2014 a 2017. NS: nivel de significancia.

Variable	F	Valor *p*	NS
TEMPERATURA (°C)	15,03	0,000	<0,001
SALINIDAD (ups)	5,67	0,001	<0,001
PROFUNDIDAD CAPA MEZCLA (m)	6,60	0,007	<0,01
OXIGENO DISUELTO (mL O_2/L)	5,78	0,000	<0,001
DIATOMEAS (cél/mL)	9,66	0,000	<0,001
NANOFLAGELADOS (cél/mL)	10,18	0,000	<0,001
ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	23,64	0,000	<0,001
HUEVOS (larvas/10 m^2)	7,13	0,000	<0,001
LARVAS (larvas/10 m^2)	5,15	0,001	<0,001

Tabla 11. Resultados del test de Tukey para el análisis comparativo global realizado entre las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante el invierno de 2018 y los invierno de 2014 a 2017.

Variable	Campañas	Diferencia	Lím. inf.	Lím. sup.	Valor *p*
TEMPERATURA (°C)	2018-2015	-0,041	-0,062	-0,019	0,000
	2018-2016	-0,047	-0,068	-0,025	0,000
SALINIDAD (ups)	2018-2014	-0,003	-0,006	-0,001	0,001
PROFUNDIDAD CAPA MEZCLA (m)	2018-2014	-0,733	-1,189	-0,277	0,000
	2018-2015	-0,800	-1,229	-0,370	0,000
	2018-2016	-0,749	-1,178	-0,319	0,000
	2018-2017	-0,675	-1,104	-0,245	0,000
OXIGENO DISUELTO (mL O_2/L)	2018-2016	-0,087	-0,159	-0,016	0,009
DIATOMEAS (cél/mL)	2018-2014	2,249	0,836	3,662	0,000
	2018-2016	2,057	0,749	3,366	0,000
	2018-2017	1,694	0,386	3,002	0,005
NANOFLAGELADOS (cél/mL)	2018-2014	1,217	0,571	1,862	0,000
ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	2018-2014	-0,797	-1,271	-0,323	0,000
	2018-2017	0,774	0,335	1,213	0,000
HUEVOS (N°/10 m^2)	2018-2014	5,593	0,700	10,486	0,017
	2018-2016	5,103	0,573	9,634	0,019
	2018-2017	5,121	0,590	9,651	0,019
LARVAS (N°/10 m^2)	2018-2014	4,953	1,387	8,520	0,002
	2018-2016	3,184	-0,118	6,487	0,064
	2018-2017	4,326	1,024	7,628	0,004

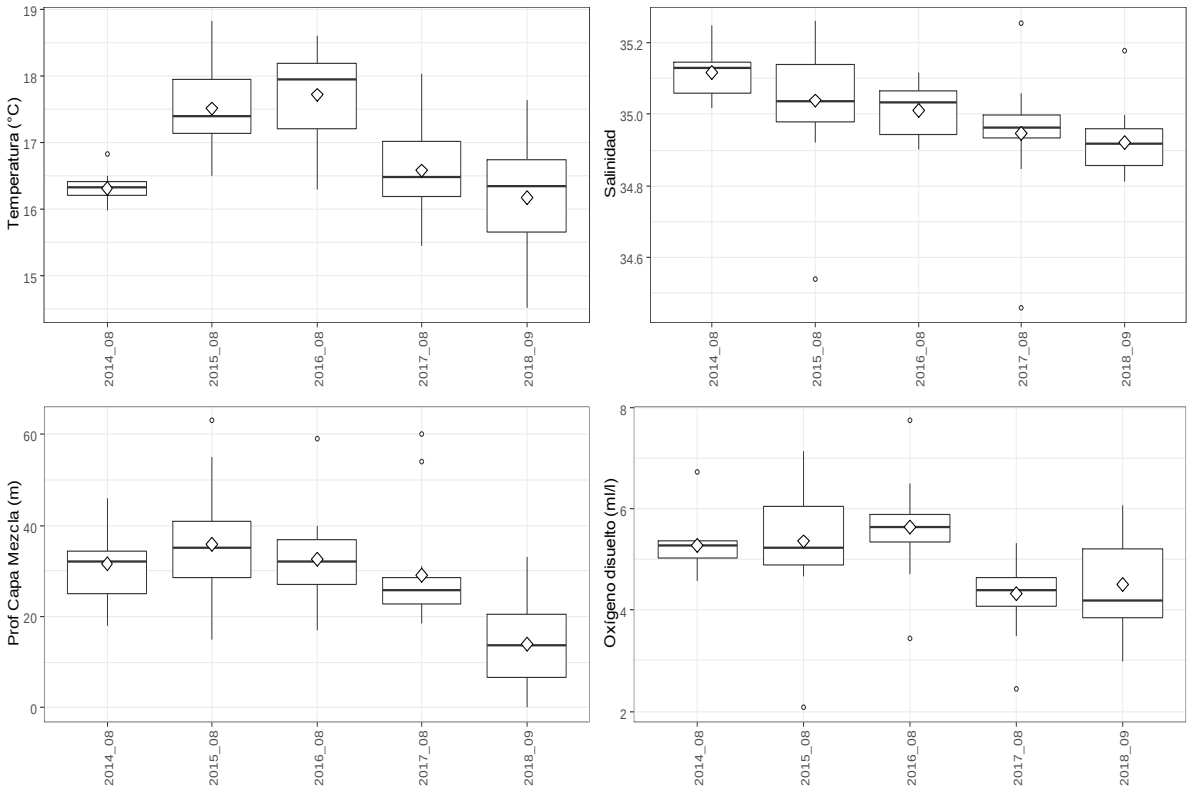

Figura 22. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de temperatura (°C), salinidad (ups), profundidad de la capa de mezcla (m) y oxígeno disuelto (mL O_2/L) registrada durante el invierno de 2018 y los inviernos de 2014 a 2017.

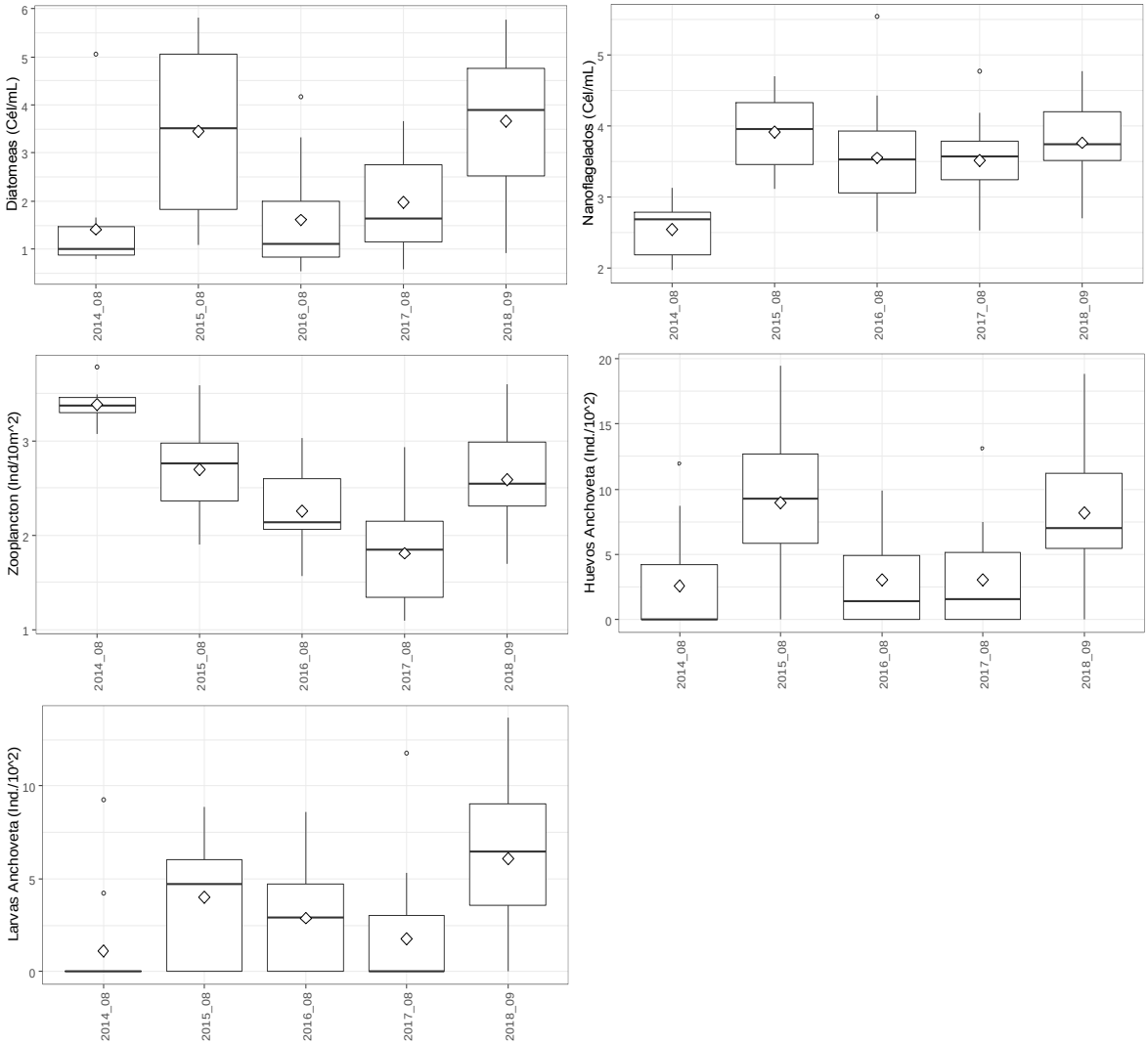

Figura 23. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de abundancia de diatomeas (cél/mL), de nanoflagelados (cél/mL), de zooplancton (ind/10 m^2) y de huevos y larvas de anchoveta (N°/10 m^2), registrada durante el invierno de 2018 y los inviernos de 2014 a 2017.

Tabla 12. Resultados del análisis comparativo realizado por localidad entre las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante el de invierno de 2018 y durante los inviernos de 2014 a 2017. NS: nivel de significancia.

Localidad	Variable	F	Valor *p*	NS
ARICA (18°25'S)	NANOFLAGELADOS (cél/mL)	3,69	0,028	<0,05
	ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	13,58	0,000	<0,001
CHUCUMATA (20°30'S)	DIATOMEAS (cél/mL)	19,96	0,000	<0,001
	MICROFLAGELADOS (cél/mL)	3,42	0,035	<0,05
	NANOFLAGELADOS (cél/mL)	6,64	0,003	<0,01
	BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	7,05	0,002	<0,01
	ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	13,55	0,000	<0,001
	HUEVOS (N°/10 m^2)	7,96	0,001	<0,01
	LARVAS (N°/10 m^2)	13,37	0,000	<0,001
CHIPANA (21°20'S)	TEMPERATURA (°C)	15,09	0,000	<0,001
	SALINIDAD (ups)	4,23	0,017	<0,05
	OXIGENO DISUELTO (mL O_2/L)	14,67	0,000	<0,001
	MICROFLAGELADOS (cél/mL)	5,47	0,006	<0,01
	BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	11,57	0,000	<0,001
	ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	14,04	0,000	<0,001
	HUEVOS (N°/10 m^2)	5,49	0,006	<0,01
MEJILLONES (23°00'S)	TEMPERATURA (°C)	53,39	0,000	<0,001
	PROFUNDIDAD CAPA MEZCLA (m)	11,12	0,001	<0,01
	OXIGENO DISUELTO (mL O_2/L)	10,29	0,001	<0,01
	BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	5,40	0,014	<0,05

Tabla 13. Resultados del test de Tukey para el análisis comparativo realizado por localidad entre las variables físicas y químicas registradas durante el invierno de 2018 y los invierno de 2014 a 2017.

Variable	Localidad	Cruceros	Diferencia	Lím. inf.	Lím. sup.	Valor *p*
TEMPERATURA (°C)	CHIPANA (21°20'S)	2018-2015	-0,037	-0,060	-0,014	0,001
		2018-2016	-0,042	-0,065	-0,019	0,000
		2018-2017	-0,028	-0,051	-0,005	0,013
	MEJILLONES (23°00'S)	2018-2015	-0,062	-0,080	-0,043	0,000
		2018-2016	-0,069	-0,087	-0,050	0,000
		2018-2017	-0,023	-0,041	-0,004	0,017
SALINIDAD (ups)	CHIPANA (21°20'S)	2018-2014	-0,003	-0,006	0,000	0,030
PROFUNDIDAD CAPA MEZCLA (m)	MEJILLONES (23°00'S)	2018-2015	-1,907	-3,062	-0,751	0,002
		2018-2016	-1,919	-3,075	-0,763	0,002
		2018-2017	-1,621	-2,777	-0,465	0,006
OXIGENO DISUELTO (mL O_2/L)	CHIPANA (21°20'S)	2018-2014	-0,117	-0,190	-0,045	0,001
		2018-2015	-0,172	-0,244	-0,100	0,000
		2018-2016	-0,124	-0,196	-0,052	0,001
		2018-2017	-0,095	-0,167	-0,022	0,008
	MEJILLONES (23°00'S)	2018-2015	-0,124	-0,240	-0,008	0,035
		2018-2016	-0,160	-0,276	-0,044	0,007

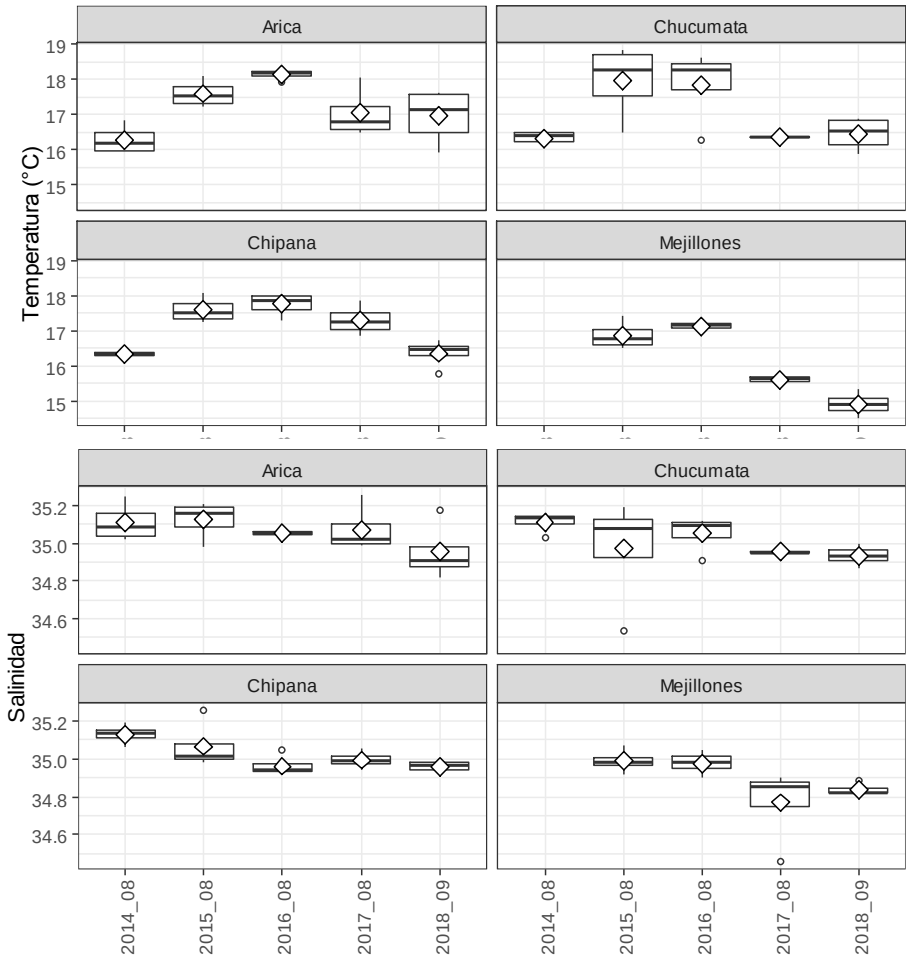

Figura 24. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por localidad entre la información de temperatura (°C) (panel superior) y salinidad (ups) (panel inferior) registrada durante el invierno de 2018 y los inviernos de 2014 a 2017.

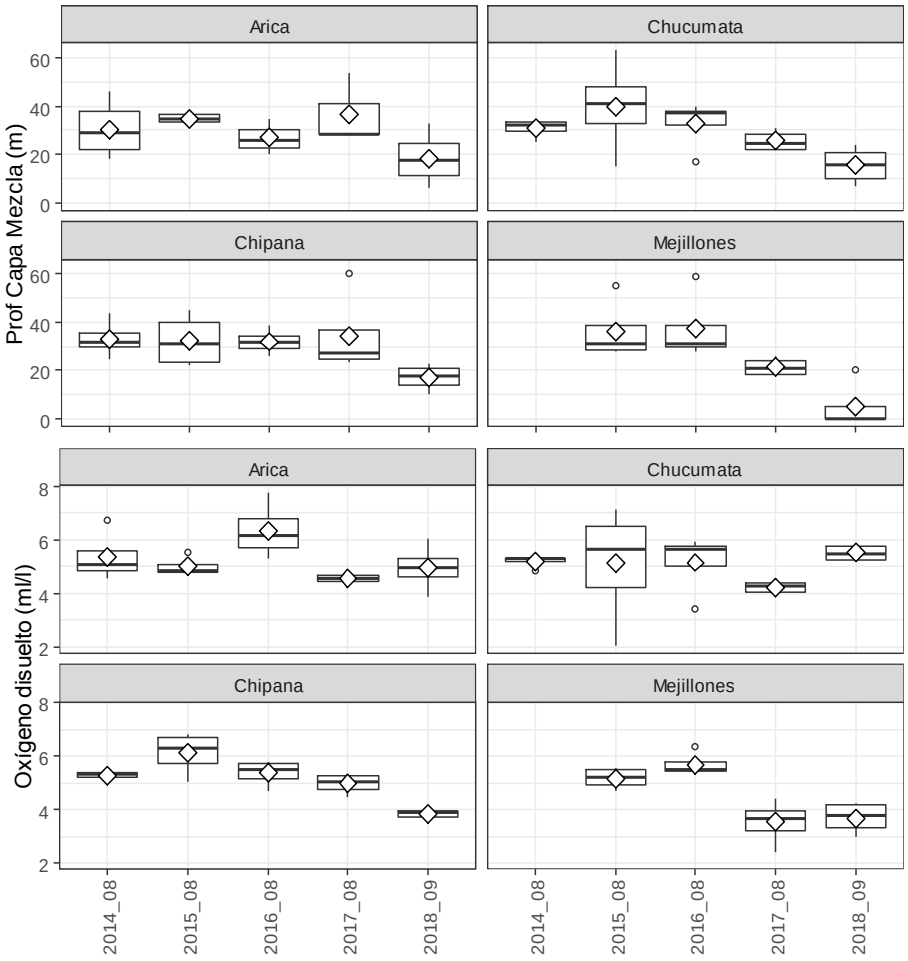

Figura 25. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por localidad entre la información de profundidad de la capa de mezcla (m) (panel superior) y oxígeno disuelto (mL O_2/L) (panel inferior) registrada durante el invierno de 2018 y los inviernos de 2014 a 2017.

Tabla 14. Resultados del test de Tukey para el análisis comparativo realizado por localidad entre las variables biológicas registradas durante el invierno de 2018 y los invierno de 2014 a 2017.

Variable	Localidad	Cruceros	Diferencia	Lím. inf.	Lím. sup.	Valor *p*
DIATOMEAS (cél/mL)	CHUCUMATA (20°30'S)	2018-2014	3,922	2,223	5,620	0,000
		2018-2016	3,903	2,205	5,602	0,000
		2018-2017	2,243	0,544	3,941	0,007
MICROFLAGELADOS (cél/mL)	CHUCUMATA (20°30'S)	2018-2014	0,726	0,075	1,376	0,025
	CHIPANA (21°20'S)	2018-2016	0,634	0,054	1,214	0,029
		2018-2017	0,710	0,130	1,291	0,013
NANOFLAGELADOS (cél/mL)	ARICA (18°25'S)	2018-2014	1,594	0,028	3,160	0,045
	CHUCUMATA (20°30'S)	2018-2014	1,165	0,230	2,101	0,012
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	CHUCUMATA (20°30'S)	2018-2014	0,618	0,042	1,193	0,033
	CHIPANA (21°20'S)	2018-2017	0,879	0,119	1,638	0,020
	MEJILLONES (23°00'S)	2018-2017	0,911	0,069	1,754	0,033
ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	ARICA (18°25'S)	2018-2014	-1,481	-2,303	-0,659	0,000
	CHUCUMATA (20°30'S)	2018-2016	1,171	0,399	1,944	0,002
		2018-2017	1,273	0,500	2,045	0,001
	CHIPANA (21°20'S)	2018-2017	0,956	0,130	1,781	0,020
HUEVOS (N°/10 m^2)	CHUCUMATA (20°30'S)	2018-2014	10,338	2,256	18,420	0,010
	CHIPANA (21°20'S)	2018-2016	10,375	1,140	19,609	0,024
		2018-2017	11,098	1,863	20,332	0,015
LARVAS (N°/10 m^2)	CHUCUMATA (20°30'S)	2018-2014	7,844	3,648	12,041	0,000
		2018-2015	4,399	0,202	8,595	0,038
		2018-2016	6,423	2,226	10,619	0,002
		2018-2017	8,902	4,705	13,098	0,000

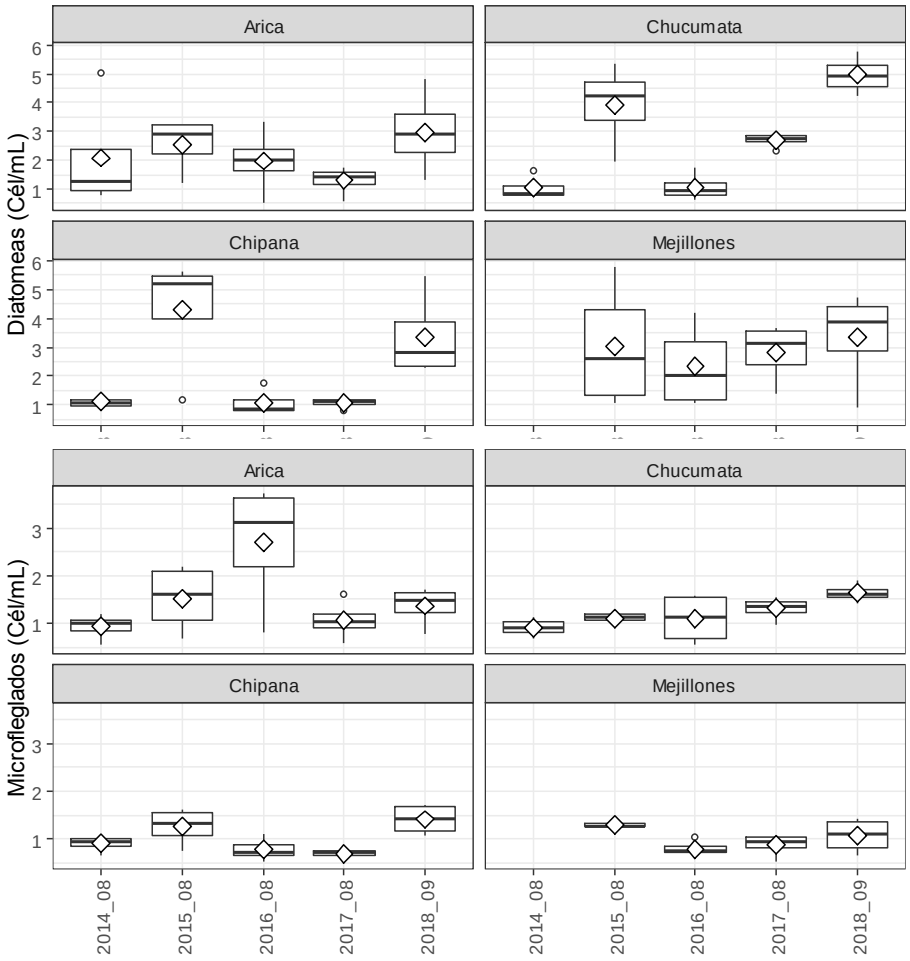

Figura 26. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por localidad entre la información de abundancia de diatomeas (cél/mL) (panel superior) y abundancia de microflagelados (cél/mL) (panel inferior) registrada durante el invierno de 2018 y los inviernos de 2014 a 2017.

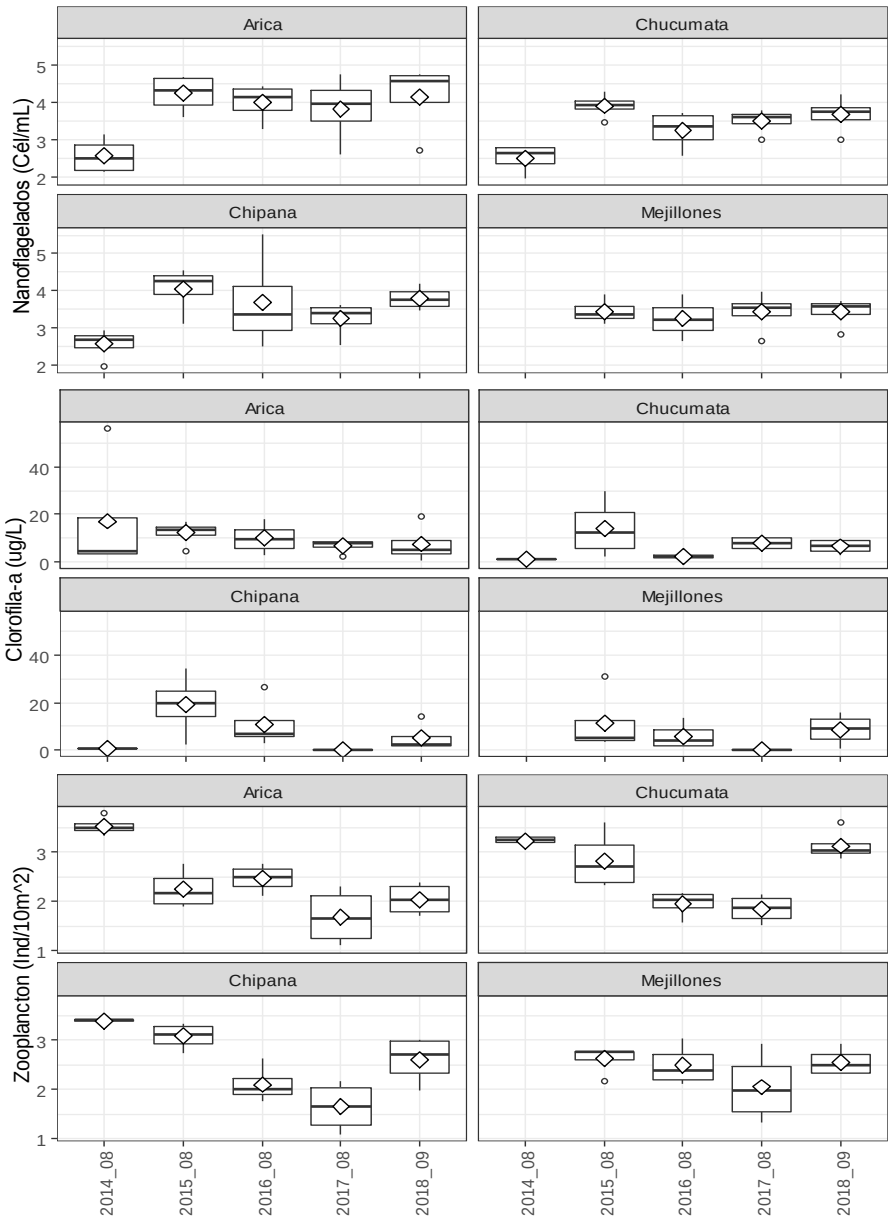

Figura 27. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por localidad entre la información de abundancia de nanoflagelados (cél/mL) (panel superior), biomasa fitoplanctónica (µg/L) (panel central) y abundancia zooplanctónica (N°/10 m^2) (panel inferior) registrada durante el invierno de 2018 y los inviernos de 2014 a 2017.

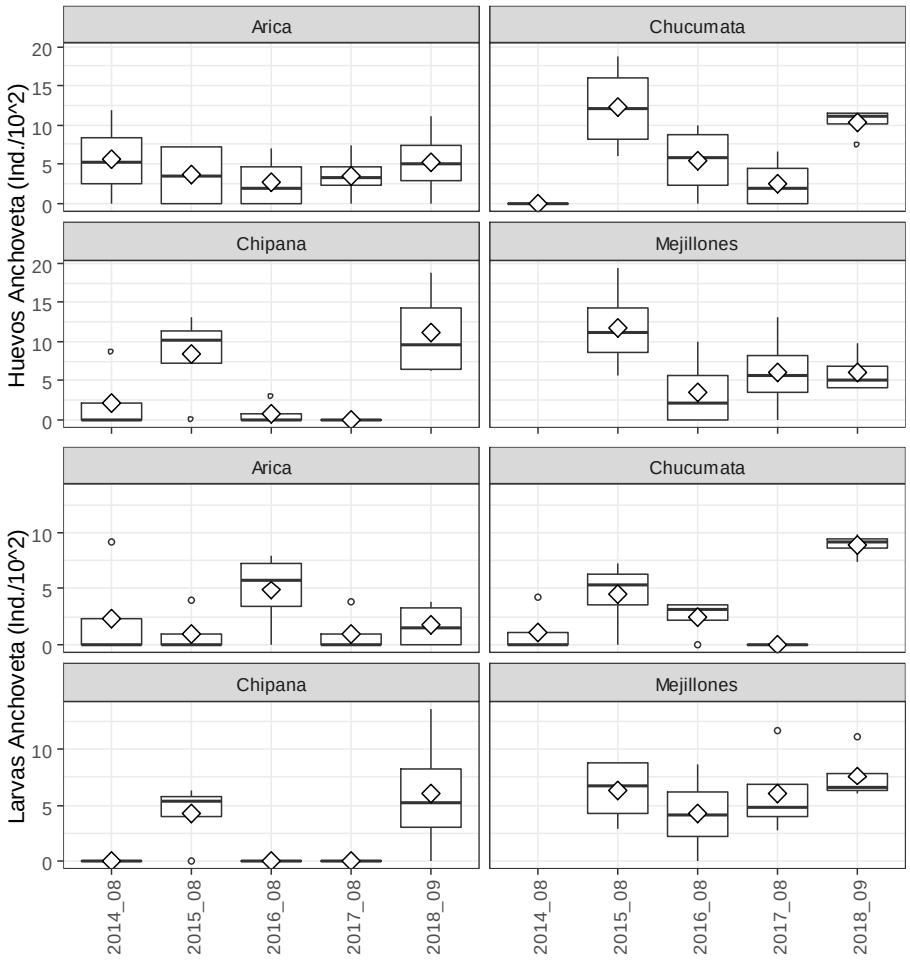

Figura 28. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por localidad entre la información de abundancia de huevos (N°/10 m^2) (panel superior) y larvas de anchoveta (N°/10 m^2) (panel inferior) registrada durante el invierno de 2018 y los inviernos de 2014 a 2017.

DISCUSION

Los valores de temperatura registrados revelaron una condición fría imperante en la zona. Entre Arica y Chucumata (18°25'S-20°30'S) se mantuvo la típica presencia del ASS restringida a la región más oceánica (20-40 mn) ocupando el estrato entre la superficie y los 20 m de profundidad. El resto de la columna de agua se encontró influenciado por una mezcla del ASAA y el AESS, la primera ingresando hacia la costa a una profundidad entre 40 y 60 m y la segunda detectada a mayor profundidad, revelando la ocurrencia de eventos de surgencia. El análisis comparativo corroboró esta condición más fría y menos salina del invierno de 2018, sin embargo, se debe considerar que entre 2015 y 2017 la región se encontró bajo condiciones El Niño.

Por otra parte, si bien es característico del agua aflorada la mezcla del ASAA y del AESS, la presencia del ASAA ocupando gran parte de la columna de agua, e incluso alcanzando la superficie en algunas localidades, indica eventos de intensidad moderada (Brandhorst, 1971) lo cual es propio del periodo invernal (Fuenzalida, 1990). Al respecto, los valores promedio del TEk se mantuvieron alrededor de los 600 $m^3/s/km$ en las tres localidades (Figura 29), como en inviernos anteriores, aunque en Iquique se registró un descenso respecto de 2016 y 2017. Los valores de oxígeno disuelto en la columna de agua, como indicadores proxy de la surgencia, de acuerdo al análisis comparativo sólo exhibieron un descenso en Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), lo que sugiere mayor intensidad de los eventos en esas localidades, sin embargo, la profundidad de localización del LS_ZMO se mantuvo dentro del mismo rango de profundidad registrado en los periodos previos.

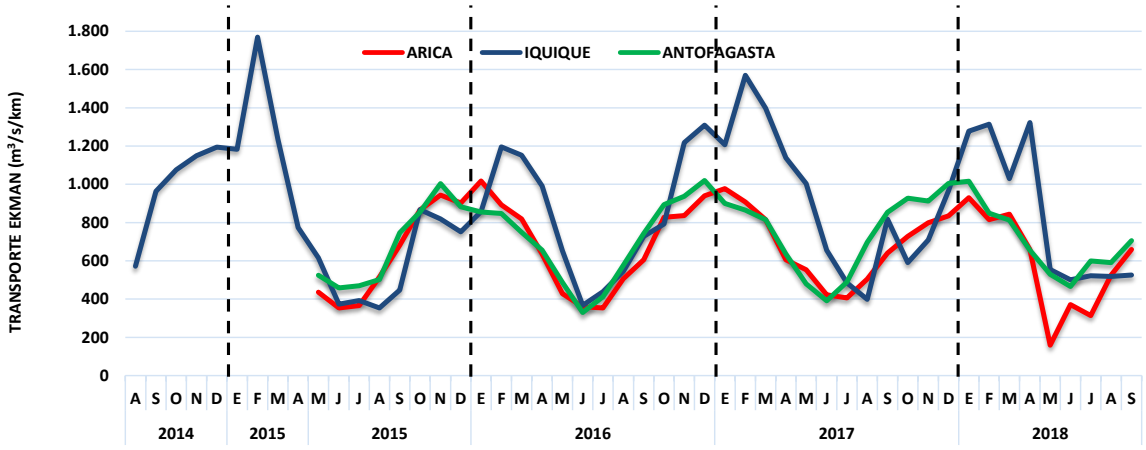

Figura 29. Transporte Ekman promedio mensual ($m^3/s/km$) en Arica, Iquique y Antofagasta, entre agosto de 2014 y septiembre de 2018.

Si bien el TEk se mantuvo dentro de rangos moderados, los días previos al crucero éste exhibió valores que superaron los 1.000 $m^3/s/km$, a lo cual el fitoplancton respondió con altas abundancias de diatomeas (>1.000 cél/mL) que se concentraron principalmente

en Chucumata (20°30’S) y Chipana (21°20’S) y, aunque las formas flageladas se mantuvieron con sus características concentraciones un orden de magnitud inferiores a las de las diatomeas, el análisis comparativo mostró diferencias estadísticamente significativas con los otros inviernos, debido al incremento durante 2018. Lo mismo se observó con la biomasa fitoplanctónica, cuyos valores máximos mostraron concordancia con las mayores concentraciones de fitoplancton.

Respecto del zooplancton, este año la abundancia se incrementó, especialmente respecto de 2016 y 2017, lo que generó diferencias significativas, sin embargo continúan siendo inferiores a las detectadas en 2014. El grupo Copepoda siguió siendo dominante, en particular la fracción perteneciente al rango de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm, y su distribución fue coincidente con la presencia de las máximas concentraciones de fitoplancton (>1.000 cél/mL), lo cual se puede atribuir a la presencia de alimento disponible para el grupo.

Los estadios tempranos de anchoveta mostraron también un incremento en sus abundancias, siempre en aquellas zonas descritas como áreas de desove y retención entre las que destacó Chipana (21°20’S), sin embargo, estadísticamente se reveló este aumento en Chucumata (20°30’S) y Chipana (21°20’S) y sólo respecto a los años 2014, 2016 y 2017, ya que el invierno de 2015 continúa siendo el periodo en el cual se ha registrado las mayores densidades. Por otra parte, la distribución de las máximas abundancias coincidió con la mayor concentración fitoplanctónica, lo que junto a la fuerte correlación con el fitoplancton y el zooplancton, sugiere una asociación por disponibilidad de alimento.

Las condiciones que caracterizaron el periodo de estudio se asocian a la estacionalidad imperante y a la influencia de las persistentes anomalías negativas en la TSM que se han registrado en las costas de Sudamérica (Perú y Chile) desde marzo de 2018. El escenario ambiental resultó favorable para el plancton, el que mostró un incremento en las abundancias de todos sus componentes. De acuerdo con los modelos globales, se esperaría que para el periodo octubre-diciembre de 2018 la TSM junto a la costa de Sudamérica (Perú y Chile) retorne a sus valores típicos de la época (boletín CIIFEN, septiembre 2018).

LITERATURA CITADA

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

CIIFEN. 2018. Boletín Análisis del Pacífico Oriental. Septiembre 2018. www.ciifen.org.

Brandhorst W. 1971. Condiciones oceanográficas estivales frente a la costa de Chile. Revista de Biología Marina, Valparaíso, 14(3):1-14.

Fuenzalida R. 1990. Variabilidad Temporal de un Índice de Surgencia para la zona de Iquique (Lat. 20°S). Invest. Cient. y Tec., Serie: Ciencias del Mar, 1: 37-47.

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. 1970. A note on a theorical subsampling distribution of Macroplankton. J. Cons. Int. Explor. Mar., 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.