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 VERANO

MARZO DE 2021

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
MILTON AVILÉS LAZCANO

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 **21**

Fitoplancton **21**

Zooplancton **31**

Ictioplancton **37**

Análisis Estadístico **43**

DISCUSION Y CONCLUSIONES **51**

LITERATURA CITADA **53**

RESUMEN EJECUTIVO

Entre los días 08 y 12 de marzo se realizó el crucero de verano de 2021, 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 siete transectas perpendiculares a la costa con estaciones distribuidas entre 1 y 40 mn. 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 100 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 2020.

La presencia de temperaturas inferiores a 18°C y salinidades de 34,9 ups y menores evidenció la ocurrencia de procesos de afloramiento restringidos a lo largo de la franja de 1 mn, asociados a la presencia de una mezcla del ASSA y AESS que ocupó gran parte de la columna de agua, con una mayor influencia del ASSA en Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S). Los focos de mínima temperatura, localizados en punta Madrid (19°00'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), coincidieron con la posición más somera de la isoterma de 15°C y del límite superior de la ZMO, ambos localizados por sobre los 10 m de profundidad. El transporte Ekman, en los días previos y de realización del crucero, presentó valores que superaron los 1.500 m^3/s/km en todas las localidades, evidenciando eventos de alta intensidad. Entre las 20 y 40 mn toda la zona se encontró influenciada por temperaturas y salinidades superiores a 20°C y a 35 ups respectivamente, revelando la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) restringida a los primeros 20 m de profundidad.

El microfitoplancton presentó una abundancia entre 0,1 y 1.391 cél/mL. Las diatomeas exhibieron focos superiores a 500 cél/mL distribuidos entre 1 y 5 mn desde Arica (18°25'S) a Chucumata (20°30'S) y entre la superficie y los 10 m de profundidad, con un máximo de 1.288 cél/mL y una contribución promedio al total de 66%. Los microflagelados presentaron un patrón de distribución similar, con valores superiores a 100 cél/mL entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S) y un máximo de 1.182 cél/mL. La biomasa fitoplanctónica presentó valores superiores a 10 µg Cl-a/L asociados a las mayores abundancias diatomeas y microflagelados, alcanzando un máximo de 42,9 µg Cl-a/L frente a Chipana (21°20'S) coincidente con un foco de flagelados. La abundancia del zooplancton fluctuó entre 1 y 124 ind/10 m^2. En toda el área se observaron focos superiores a 20 mn en la franja entre 20 y 40 mn. La máxima se registró en punta Junín (19°40'S) a 20 mn de la

costa y focos secundarios cercanos a 60 ind/10 m^2 se detectaron a 40 mn en punta Madrid (19°40'S), Chipana (21°20') (346 ind/ 10 m^2) y Tocopilla (22°10'S). El grupo Copepoda fue dominante con una densidad máxima de 87 ind/10 m^2 y un aporte promedio al total de 84%. El rango de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm presentó la mayor abundancia (máxima de 96 ind/10 m^2), a la cual los copépodos aportaron, en promedio, con el 90,3%. Los huevos y larvas de anchoveta contribuyeron con un 59% y un 57% respectivamente a la abundancia total del componente ictioplanctónico. Su distribución se registró en toda el área asociada principalmente a las primeras 5 mn de la costa. Los huevos presentaron una densidad máxima de 8.311 huevos/10 m^2 a 1 mn frente a Mejillones (23°00'S). Las larvas en estado yolk-sac, con una distribución similar, exhibieron un máximo de 4.833 larvas/10 m^2 en Chipana (21°20'S) a 1 mn. Las larvas en estado pre-flexión, flexión y post-flexión, escasamente superaron las 500 larvas/10 m^2, distribuyéndose principalmente entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S). El análisis de asociación mostró correlaciones negativas con la temperatura y la profundidad de la capa de mezcla, y positivas entre la abundancia de huevos y de larvas y la abundancia de diatomeas, la biomasa fitoplanctónica y la densidad de zooplancton.

El verano de 2021 exhibió diferencias estadísticamente significativas con la temperatura de 2017, año en que la región se encontró influenciada por "El Niño costero" con los mayores valores en Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S). Dentro del componente biológico, la abundancia fitoplanctónica se incrementó respecto del periodo cálido (2015-2016), y la densidad del zooplancton resultó la menor de la serie, exhibiendo diferencias con todos los veranos anteriores, excepto 2019. Con relación a los estadios tempranos de anchoveta, no se registraron diferencias estadísticamente significativas.

El sistema presentó una condición cálida generada por la estacionalidad imperante y por la influencia de una onda Kelvin ecuatorial que arribó a las costas de Sudamérica durante la primera semana de marzo, luego de un periodo de anomalías negativas en la TSM que persistieron en la región desde agosto de 2020. Las predicciones de la TSM para el trimestre abril-mayo-junio de 2021, sugieren valores bajo lo normal a lo largo del Pacífico ecuatorial centro oriental y costa de Sudamérica.

INTRODUCCIÓN

El presente reporte contiene los resultados obtenidos mediante la realización del crucero de verano de 2021, 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).

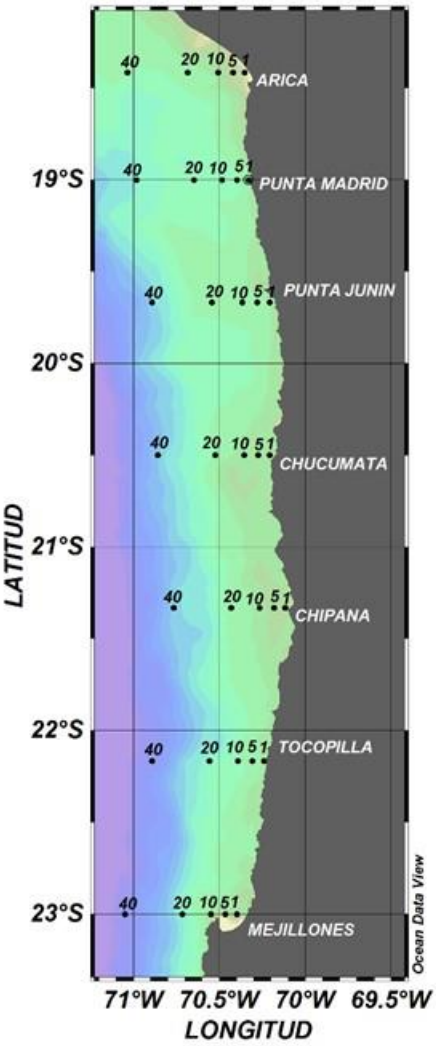

Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo del crucero bio-oceanográfico realizado entre los días 08 y 12 de marzo de 201.

Muestreo y registro de información

El crucero se llevó a cabo entre los días 08 y 12 de marzo de 2021, a bordo de la embarcación PAM “Angamos 1” proporcionada por CORPESCA S.A.

En cada una de las estaciones se realizaron perfiles verticales continuos de temperatura, salinidad y densidad, utilizando un CTDO SeaBird-19V2. Con el uso de botellas oceanográficas Niskin se obtuvieron muestras de agua desde 0, 5, 10, 25 y 50 m de profundidad para la medición de la abundancia y biomasa fitoplanctónicas. Para determinar la composición y abundancia del zooplancton e ictioplancton se tomaron muestras mediante arrastres verticales, entre los 100 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 con 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 con 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, 2020).

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, 2020).

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.

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 los veranos de 2015 a 2020. Cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas, para determinar el periodo que las generó, se realizó la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis 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 16,4 y 25,3°C. La distribución mostró la presencia de valores inferiores a 18°C restringidos a la franja de 1 mn de la costa, detectándose el mínimo de 16,4°C frente a Chucumata (20°30'S). Desde las 5 mn y hacia la región más oceánica, la región se encontró dominada por temperaturas superiores a 19°C, las que se incrementaron por sobre los 24°C a las 40 mn, registrándose el máximo de 25,3°C frente a punta Madrid (19°00'S). Esta masa de agua cálida (>20°C) mostró un mayor acercamiento hacia la costa entre Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), y en esta localidad se detectó un foco de 18,7°C a 10 mn generado por el afloramiento en el sector de punta Angamos (Figura 2A).

En la componente vertical, se observó la presencia del agua de mayor temperatura (>19°C) restringida a los primeros 20 m de profundidad distribuyéndose entre las 5 y 40 mn donde exhibió una leve profundización. En la costa (1 mn) todas las secciones mostraron la inclinación de las isotermas asociada al afloramiento de agua subsuperficial, lo que fue más evidente en punta Madrid (19°00'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) donde se registraron focos de mínima (<18°C) (Figura 3). En estas mismas localidades se registró la posición más somera de la isoterma de 15°C, la que se localizó por sobre los 10 m de profundidad, alcanzando los 6,9 m en punta Madrid (19°00'S). Desde las 10 mn se la encontró bajo los 20 m y su máxima profundidad de localización fue de 59 m a 40 mn frente a Chipana (21°20'S) (Figura 2B).

Salinidad

La salinidad en superficie fluctuó entre 34,52 y 35,38 ups. Asociados a las menores temperaturas (<19°C) valores inferiores a 34,9 ups ocuparon toda la franja entre 1 y 10 mn, con el mínimo de 34,52 ups localizado frente a Tocopilla (22°10'S) en la forma de un foco restringido a 1 mn. Entre las 20 y 40 mn toda la zona se encontró influenciada por salinidades superiores a 35 ups, registrándose el máximo (35,38 ups) a 40 mn frente a punta Madrid (19°00'S). Siguiendo la distribución de la temperatura, aguas con salinidades superiores a 34,9 ups se observaron acercándose hacia la costa entre Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 2C).

En la componente vertical, se observó la presencia del agua cálida (>20°C) y salina (>35 ups) restringida a los primeros 20 m de profundidad y al sector entre las 20 y 40 mn. Alrededor de los 50 m de profundidad se observó la intrusión, desde el sector más oceánico, de un agua de baja salinidad (<34,7) que se acercó hacia la costa (1-10 mn) donde alcanzó la superficie. Esto fue más notorio en Tocopilla (22°10'S), donde se registró un mínimo de

34,09 ups, y en Mejillones (23°00'S). Bajo los 50 m, la columna de agua se encontró dominada por valores mayores a 34,85 ups (Figura 4).

Densidad

La densidad (sigma-t) en superficie presentó valores extremos de 23,53 y 25,50. Coincidente con la temperatura y la salinidad, valores superiores a 25 se registraron en el borde costero (1 mn), con un máximo de 25,50 localizado frente a Chucumata (20°30'S) asociado al foco de mínima temperatura (16,4°C) y de 24,5 en punta Madrid (19°00'S). Desde las 5 mn y hacia la zona más oceánica, predominaron densidades inferiores a 25, registrándose a 40 mn en punta Madrid (19°40'S) el mínimo superficial de 23,53 junto a la máxima temperatura y salinidad. De igual manera, entre Chipana y Mejillones se registra el acercamiento de las aguas menos densas hacia la costa (Figura 2D).

La distribución vertical mostró la presencia del agua menos densa (<25) localizada en los primeros 20 m de profundidad, extendiéndose entre las 10 y 40 mn. En la costa (1 mn) se registran los valores superiores a 25 asociados a la inclinación de las isopicnas producto del ascenso de aguas subsuperficiales. Bajo los 30 m predominaron valores superiores a 26, con máximos de 26,47 registrados cerca de los 150 m de profundidad (Figura 5).

Diagramas T-S

Los diagramas T-S confirmaron las condiciones descritas asociadas a las tres masas de agua de la región: el Agua Subtropical Superficial (ASS), el Agua Subantártica (ASAA) y el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). El ASS, evidenciada por las mayores temperaturas y salinidades (>19°C, >35 ups) y bajas densidades (<25), se registró en toda la zona en los primeros metros de profundidad. Desde Chucumata (20°30'S) al sur, se visualizó la mayor participación del ASAA, especialmente entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), y bajo los 150 m de profundidad predominó la presencia del AESS (Figura 6).

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto en superficie fluctuó entre 3,2 y 5,9 mL O_2/L. La distribución evidenció el predominio de valores entre 4,5 y 5,0 mL O_2/L en toda el área, registrándose el foco de mínima concentración (3,2 mL O_2/L) en Tocopilla (22°10'S) a 1 mn de la costa. Los mayores valores (>5,0) se localizaron frente a Arica (18°25'S), donde se detectó el máximo de 5,9 mL O_2/L, y frente a Chucumata (20°30'S) en la forma de focos que se extendieron hasta las 10 mn (Figura 7A).

La distribución vertical mostró una capa de valores superiores a 4,0 mL O_2/L que se extendió hasta cerca de los 20 m, profundizándose hacia las 40 mn. En la costa (1 mn) se registró la inclinación de las oxilíneas revelando la ocurrencia de ascenso de agua con bajo contenido de oxígeno, principalmente en Tocopilla (22°10'S). Desde los 50 m y hacia los

estratos más profundos, la columna de agua se encontró dominada por valores inferiores a 1,0 ml/L (Figura 8). Coincidente con esta distribución, a 1 mn el límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno (LS_ZMO) se localizó por sobre los 10 m de profundidad en Arica (18°25'S), punta Madrid (19°00'S) y Chipana (20°30'S), exhibiendo su posición más somera (5,7 m) frente a Arica (18°250'S). Hacia las 40 mn se profundizó, exhibiendo valores superiores a 50 m desde Chipana (21°20'S) al sur, sector donde se registró la intrusión hacia la costa del ASS, alcanzando un máximo de 75,7 m frente a Chipana (21°20'S) (Figura 7B).

Transporte de Ekman (TEk)

En los días previos y de realización del crucero, se registraron altos valores de TEk en todas las localidades, los que superaron los 1.500 m^3/s/km. En Chucumata y Mejillones descendieron durante el muestreo, pero se mantuvieron alrededor de los 1.000 m^3/s/km. Las mayores intensidades se registraron en Iquique, observándose máximos superiores a los 2.500 m^3/s/km el 07 y 08 de marzo (Figura 9).

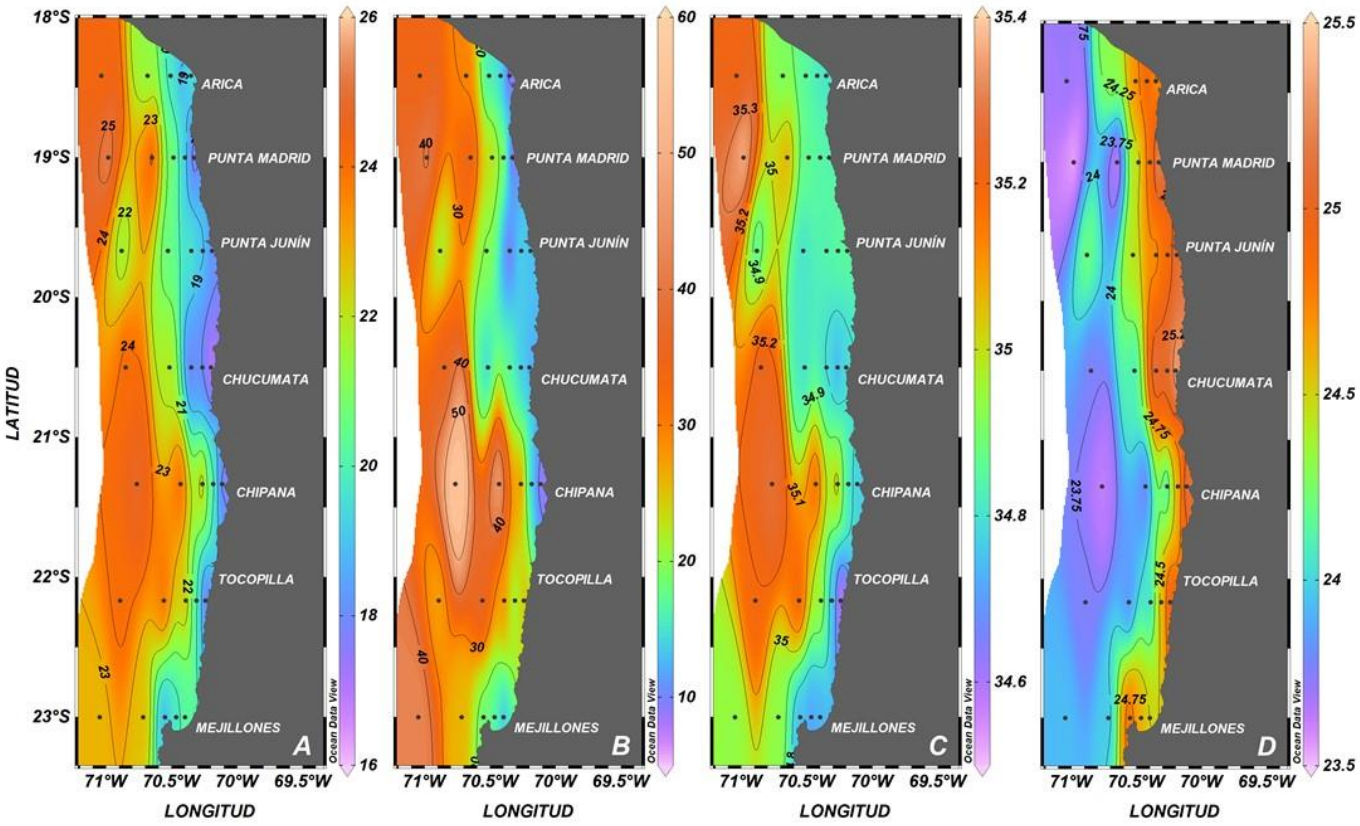

Figura 2. A: distribución superficial de Temperatura (°C), B: profundidad de localización de la isoterma de 15°C (m), C: distribución superficial de Salinidad (ups) y D: distribución superficial de Densidad (σ-t), entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

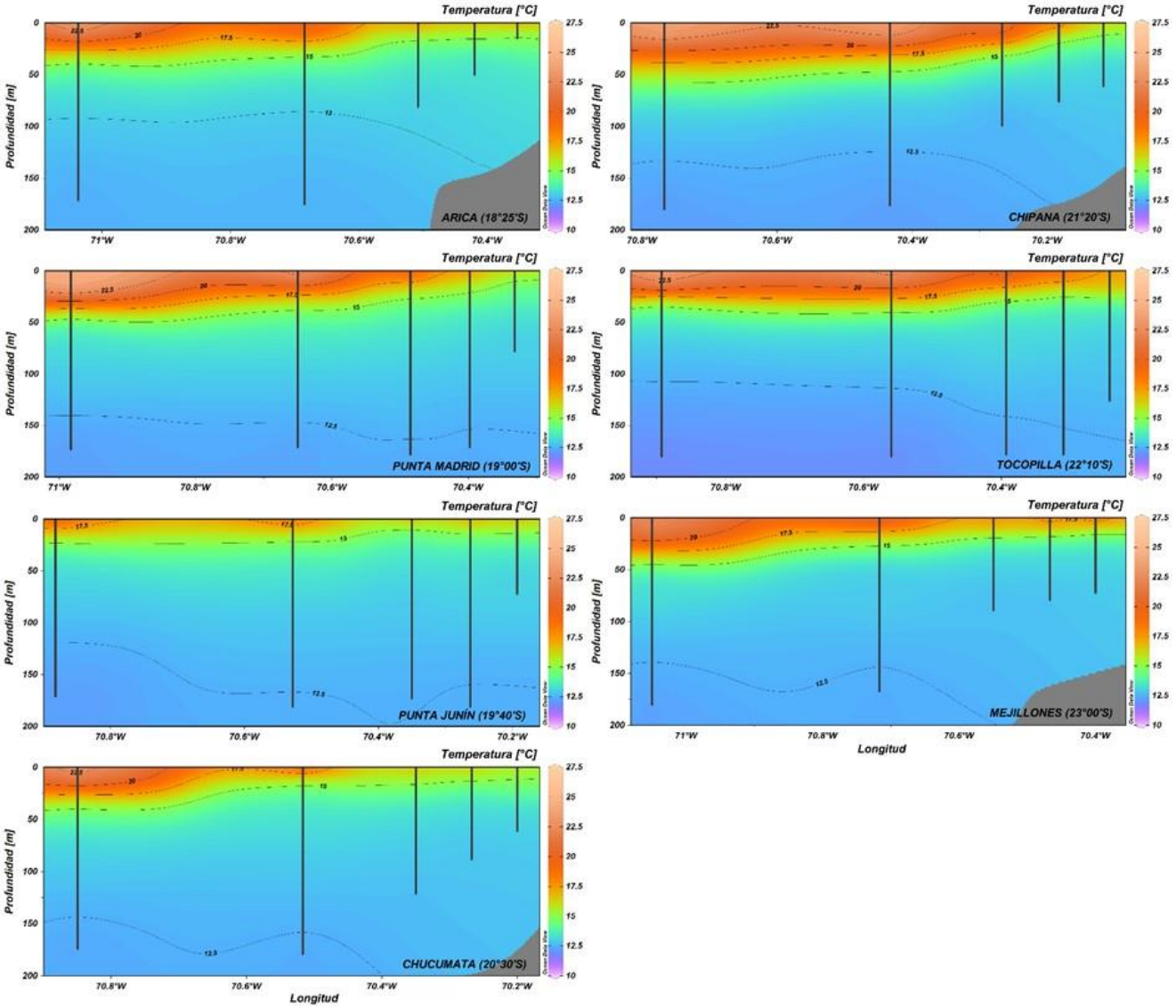

Figura 3. Distribución vertical de Temperatura (°C) entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

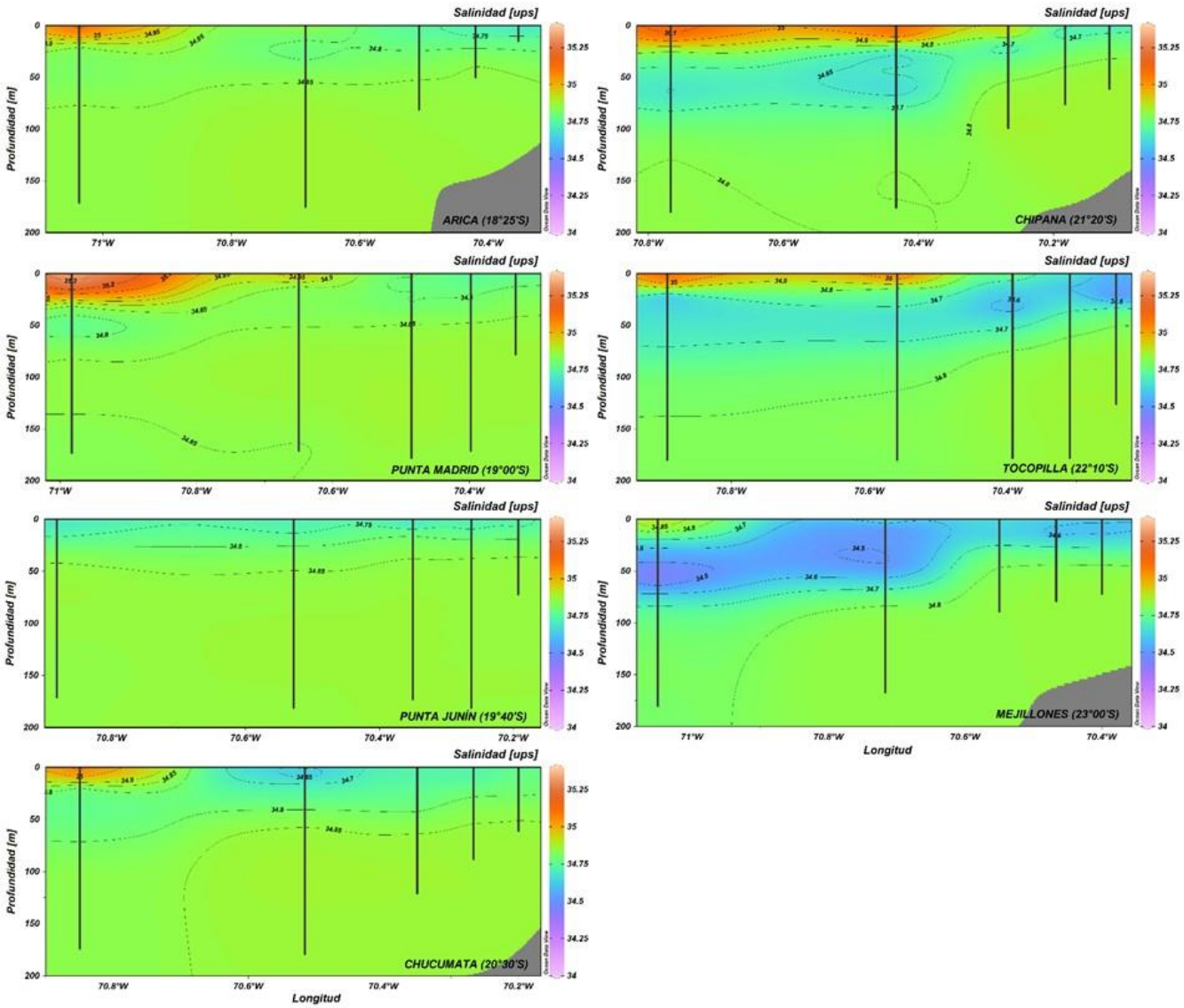

Figura 4. Distribución vertical de Salinidad (ups) entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

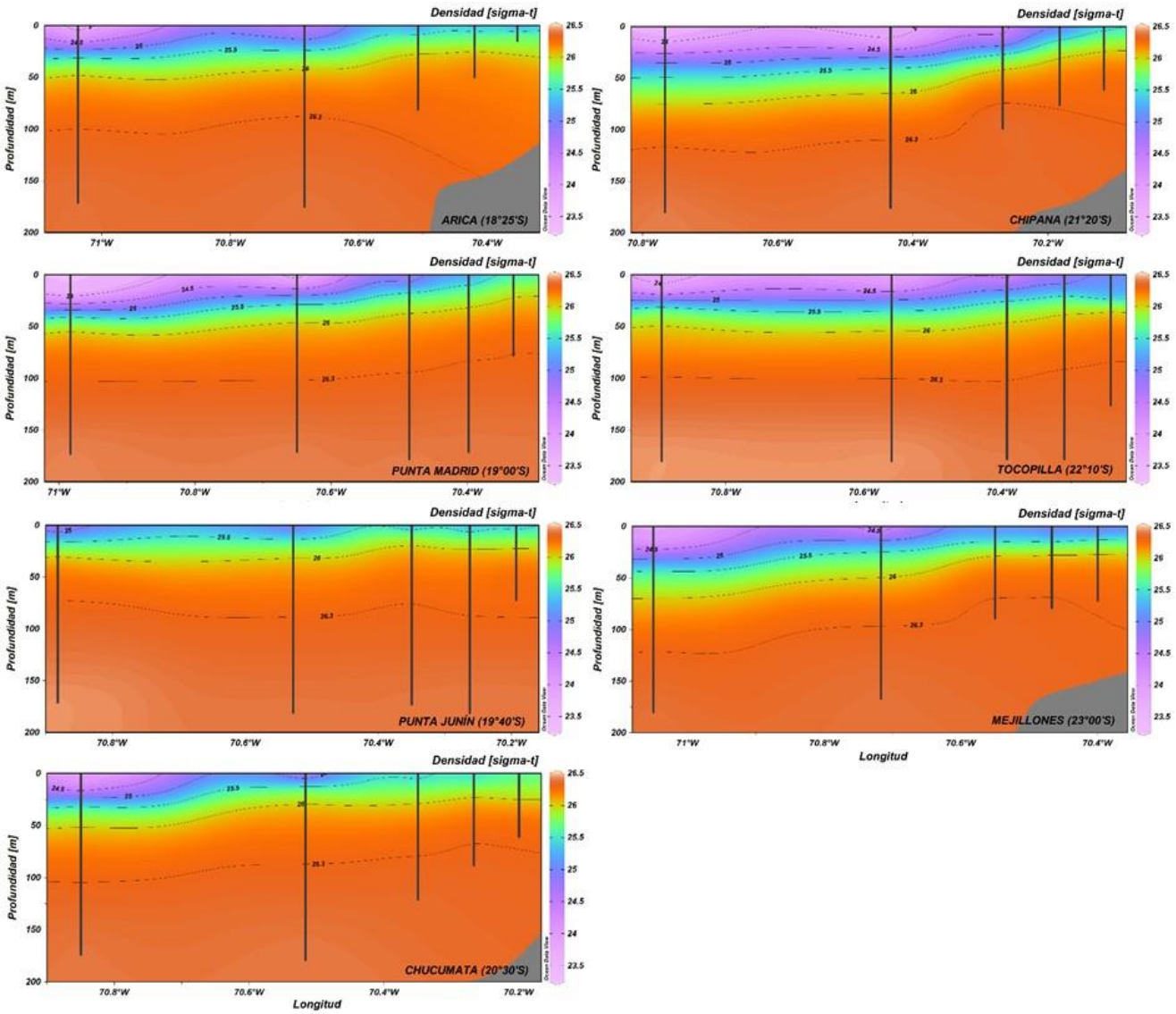

Figura 5. Distribución vertical de Densidad (σ-t) entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

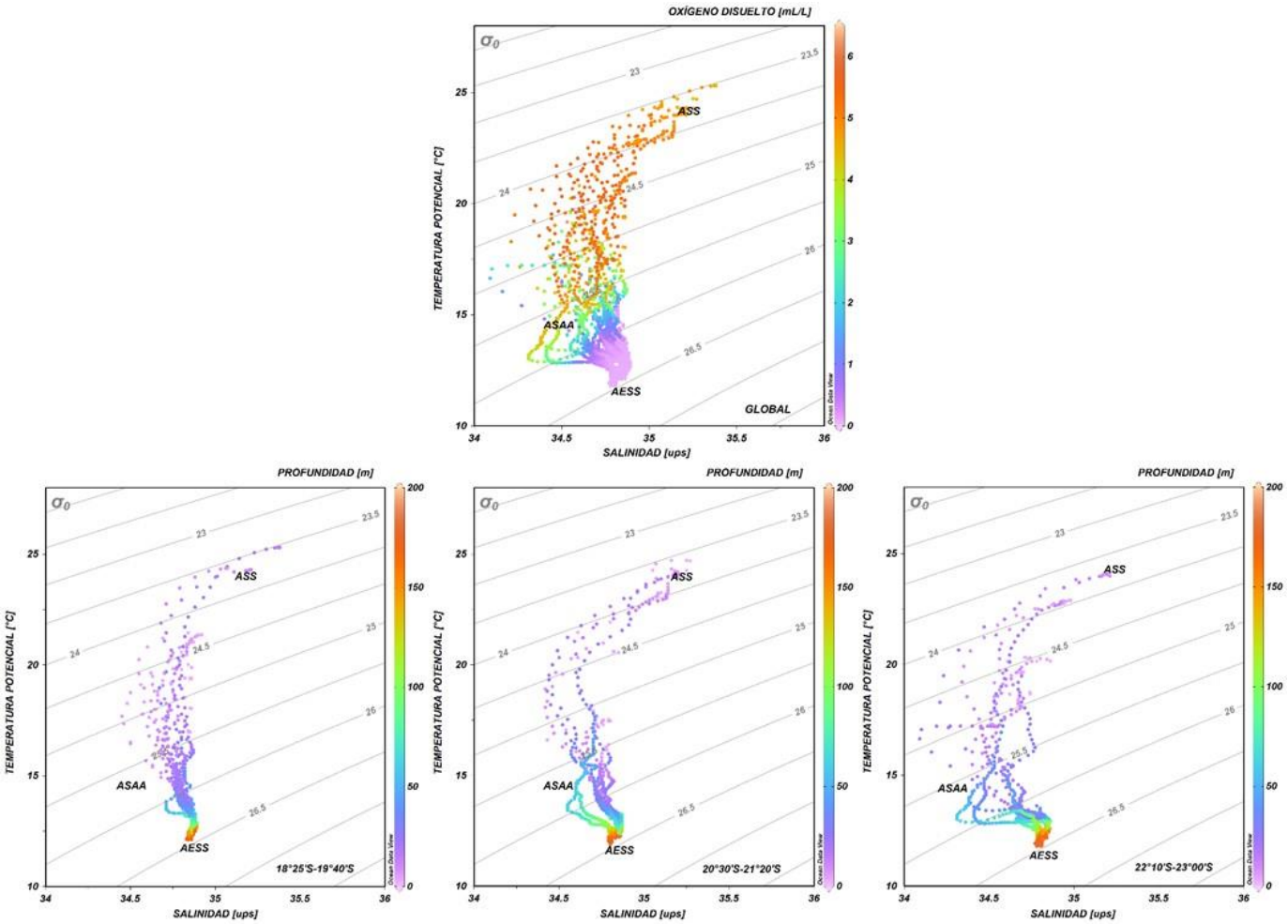

Figura 6. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para toda la zona entre Arica (18°25’S) y Mejillones (23°00’S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25’S-19°40’S, centro: 20°30’S-21°20’S y sur: 22°10’S-23°00’S (panel inferior), entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

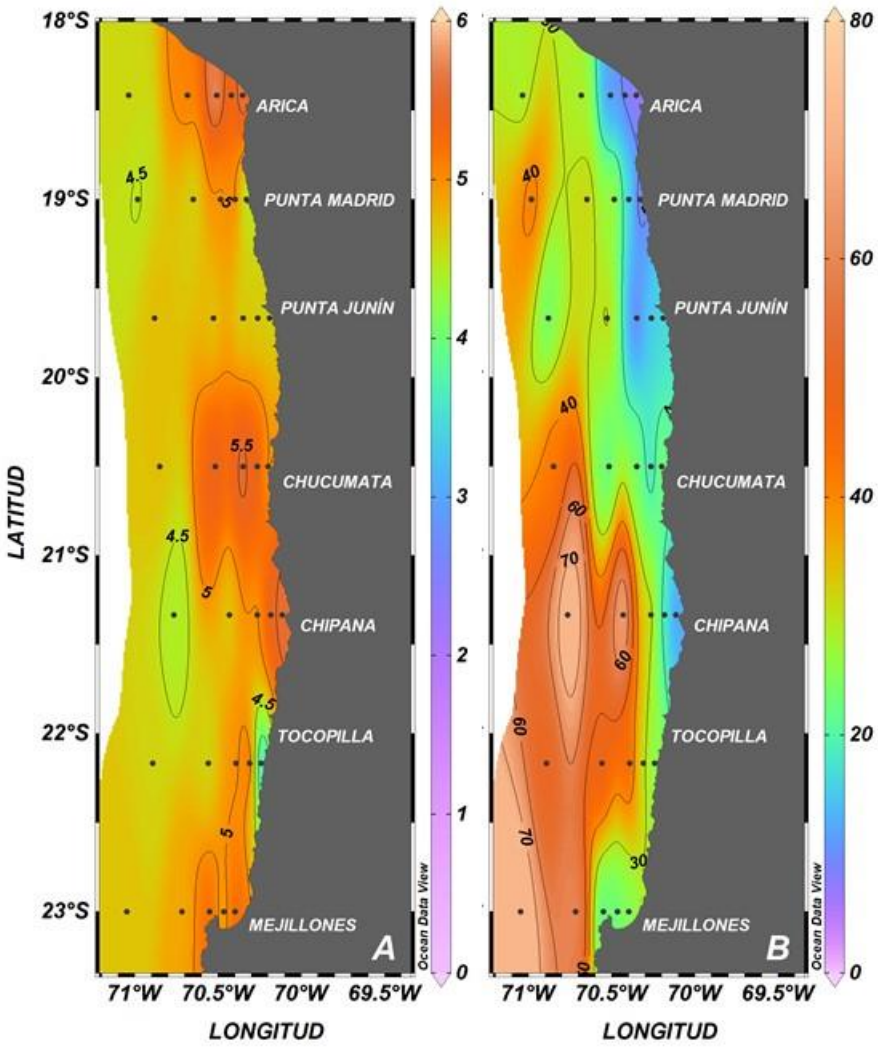

Figura 7. A: Distribución superficial de Oxígeno Disuelto (mL O_2/L) y B: profundidad de localización del LS_ZMO (m) entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

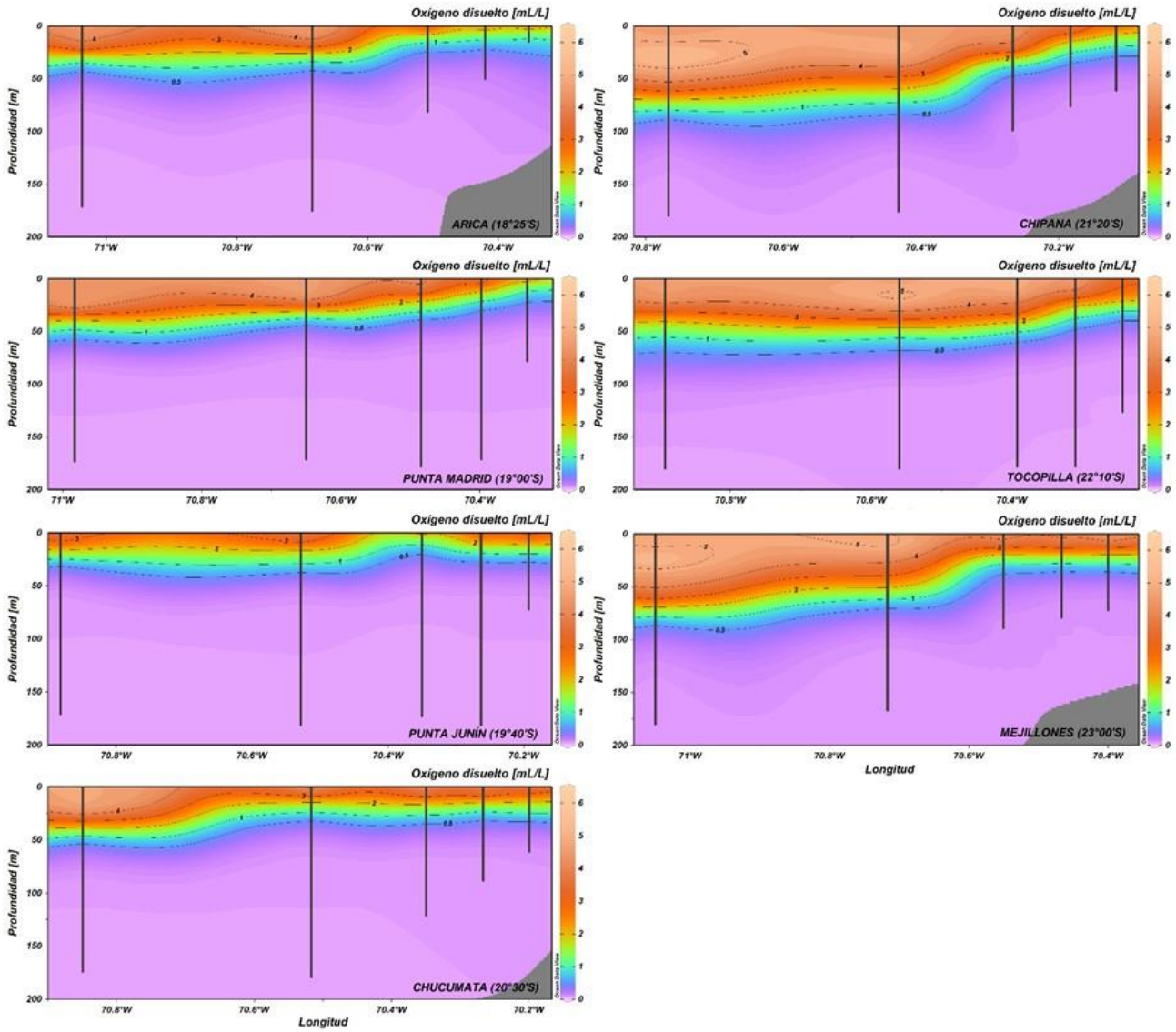

Figura 8. Distribución vertical de Oxígeno Disuelto (mL O_2/L) entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

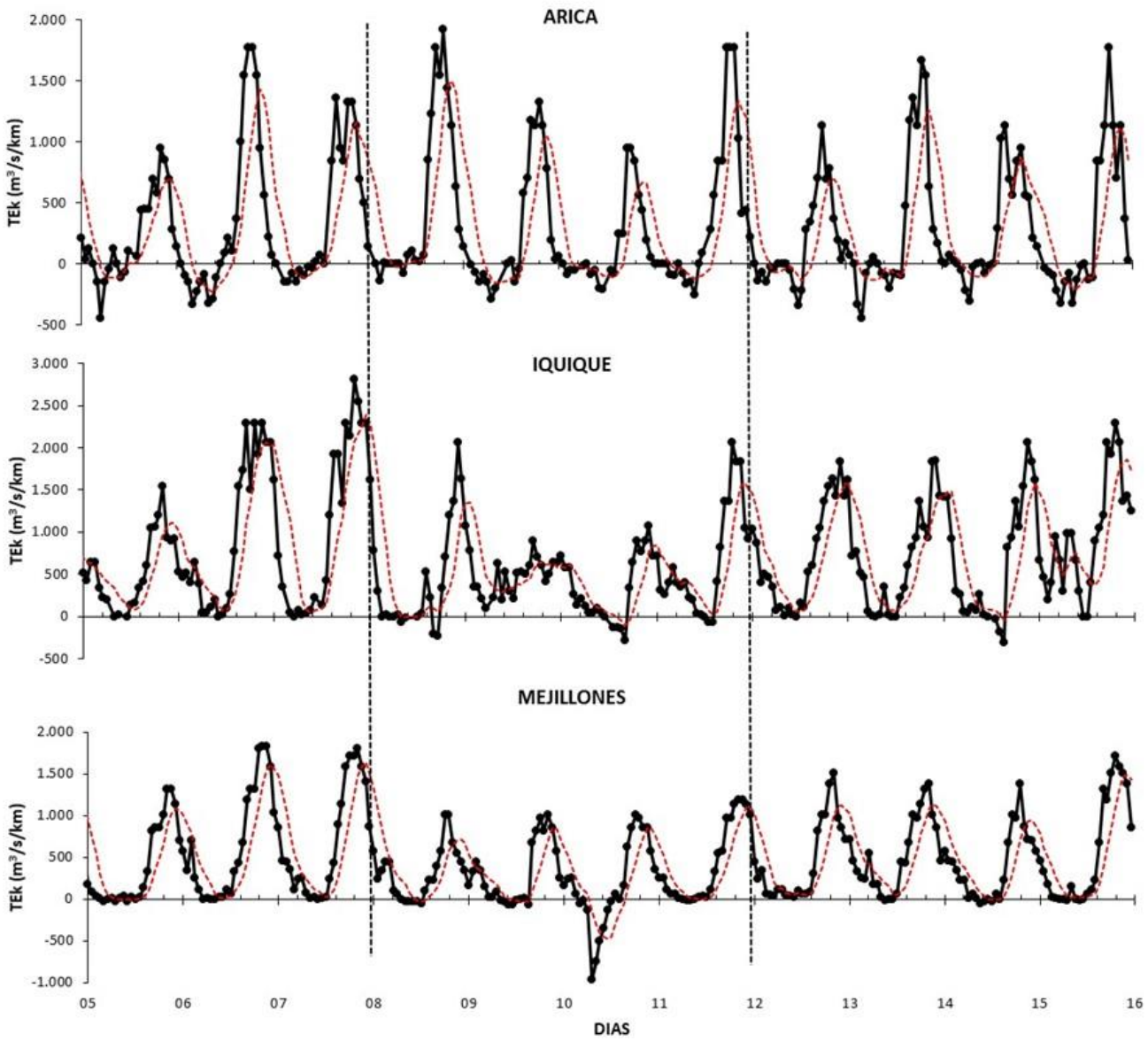

Figura 9. Transporte Ekman diario ($m^3/s/km$) en Arica, Chucumata y Mejillones, entre los días 5 y 15 de marzo de 2021 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).

Estructura de la Comunidad Planctónica

Fitoplancton

Se identificó un total de 118 especies pertenecientes al microfitoplancton. De éstas 58 especies y/o géneros pertenecieron al grupo de las diatomeas y 60 a los flagelados. Las especies y géneros de diatomeas que exhibieron las mayores abundancias (>100 cél/mL) correspondieron a *Chaetoceros compressus*, *Eucampia cornuta*, *Guinardia delicatula*, *Pseudo-nitzschia* sp., *Thalassionema nitzschioides* y *Thalassiosira angustelineata*, destacando *G. delicatula* con un máximo de 1.274 cél/mL. Entre los flagelados, se encontró la especie *Akashiwo sanguinea* con 324 cél/mL y el género *Gymnodinium* sp. con un máximo de 1098 cél/mL.

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,1 y 1.391 cél/mL. La concentración celular integrada, entre la superficie y los 25 m de profundidad, mostró la presencia de valores superiores a 500 cél/m^3 entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S), distribuidos entre 1 y 5 mn, los que se debieron a la presencia de las diatomeas que aportaron al total con más del 60% en promedio (Tabla 1).

La distribución horizontal de la abundancia de las diatomeas mostró un gran foco extendiéndose entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S) con concentraciones mayores a 500 cél/mL hasta las 10 mn de la costa, las que se mantuvieron entre la superficie y los 10 m de profundidad. Los máximos superaron las 1.000 cél/mL, destacando el foco registrado frente a punta Junín (19°40'S) a 5 mn, donde el grupo exhibió el máximo principal de 1.288 cél/mL. Desde Chipana (21°20'S) al sur, las diatomeas mostraron concentraciones menores a 100 cél/mL. En el estrato de los 25 m las abundancias escasamente superaron las 50 cél/mL y a los 50 m las 5,0 cél/mL (Figura 10). En la componente vertical se observan los focos distribuidos entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S), restringidos a los primeros 10 m y distribuidos hasta las 10 mn, con el principal a nivel superficial en punta Junín (19°40'S). En las otras localidades, la columna de agua se encontró ocupada principalmente por abundancias inferiores a 50 cél/mL (Figura 11).

Los flagelados mostraron una distribución similar, presentando abundancias mayores a 100 cél/mL entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S) y entre la superficie y los 10 m de profundidad. El máximo de 1.182 cél/mL se detectó frente a Arica (18°25'S) a 5 mn de la costa y a 5 m de profundidad. Un foco secundario se observó frente a Chipana (21°20'S) donde el grupo alcanzó las 326 cél/mL en superficie y a 1 mn. Hacia el sur, los valores descendieron de las 10 cél/mL. A 25 y 50 m se registraron abundancias superiores a 10 cél/ml restringidos al norte, entre punta Madrid (19°00'S) y punta Junín (19°40'S), distribuidos a 1 y a 20 mn (Figura 12). La distribución vertical, muestra observa la presencia de los focos de alta concentración (>100 cél/mL) entre 1 y 5 mn de la costa y restringidos a los primeros 10 m de profundidad entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S). En las otras localidades la columna de agua se encontró dominada por abundancias inferiores a 10 cél/mL (Figura 13).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,0 y 42,9 µg Cl-a/L. Los valores integrados, entre la superficie y los 25 m de profundidad, muestran las mayores concentraciones (>10,0 µg Cl-a/m^3) en Arica (18°25'S), punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S) localizadas a 1 mn de la costa (Tabla 2).

La distribución horizontal siguió el patrón de ocurrencia de la abundancia de diatomeas y flagelados, observándose entre la superficie y los 10 m de profundidad focos superiores a 10,0 µg Cl-a/L en Arica (18°25'S), punta Junín (19°40'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S). En superficie se registró el máximo de 42,9 µg Cl-a/L a 1 mn frente a Chipana (21°20'S), coincidente con el foco de los flagelados, y a 5 y 10 m éstos se distribuyeron entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S) donde se registraron valores de 37,1 µg Cl-a/L y 33,4 µg Cl-a/L respectivamente. Desde Chipana (21°20'S) al sur las biomasas descendieron de 10 µg Cl-a/L, y entre los 25 y 50 m escasamente superaron los 5,0 µg Cl-a/L (Figura 14).

En la componente vertical se observa el predominio de concentraciones inferiores a 5,0 µg Cl-a/L en gran parte del área y de la columna de agua, excepto por los focos costeros (1-5 mn) superiores a 10 µg Cl-a/L localizados entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S) y entre la superficie y los 10 m de profundidad, con la máxima concentración (42,9 µg Cl-a/L) localizada en superficie en Chipana (21°20'S) (Figura 15).

Tabla 1. Abundancia fitoplanctónica integrada (cél/m^3) entre la superficie y los 25 m de profundidad y aporte porcentual (%) de diatomeas (DIATO) y microflagelados (M_FLAGE), entre los días 08 y 12 de marzo de 2021. 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	862,9	147,1	715,8	17,0	83,0
	5	246,5	154,6	92,0	62,7	37,3
	10	434,2	383,8	50,4	88,4	11,6
	20	82,5	49,6	32,8	60,2	39,8
punta Madrid (19°00'S)	1	210,3	26,7	183,6	12,7	87,3
	5	866,6	783,2	83,5	90,4	9,6
	10	44,5	41,9	2,6	94,1	5,9
	20	22,4	6,7	15,6	30,2	69,8
punta Junín (19°40'S)	1	415,0	280,2	134,8	67,5	32,5
	5	541,8	464,7	77,1	85,8	14,2
	10	108,2	100,1	8,2	92,4	7,6
	20	15,0	8,1	6,9	54,2	45,8
Chucumata (20°30'S)	1	101,2	43,9	57,3	43,4	56,6
	5	114,9	54,9	59,9	47,8	52,2
	10	857,1	783,4	73,7	91,4	8,6
	20	94,9	69,6	25,3	73,3	26,7
Chipana (21°20'S)	1	98,6	58,9	39,7	59,7	40,3
	5	48,4	47,3	1,1	97,8	2,2
	10	2,1	0,9	1,2	42,5	57,5
	20	0,8	0,3	0,5	33,3	66,7
Tocopilla (22°10'S)	1	36,0	6,5	29,5	18,0	82,0
	5	11,7	10,3	1,4	88,0	12,0
	10	13,6	12,9	0,7	94,9	5,1
	20	1,2	0,8	0,4	64,8	35,2
Mejillones (23°00'S)	1	167,8	164,9	2,9	98,3	1,7
	5	15,2	13,5	1,7	88,8	11,2
	10	36,0	22,2	13,8	61,6	38,4
	20	5,9	5,2	0,7	87,8	12,2

Tabla 2. Biomasa fitoplanctónica integrada (µg Cl-a/m^3) entre la superficie y los 25 m de profundidad, entre los días 08 y 12 de marzo de 2021. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	BF (µg Cl-a/m^3)
Arica (18°25'S)	1	23,7
	5	6,8
	10	2,6
	20	1,0
punta Madrid (19°00'S)	1	7,7
	5	6,5
	10	1,0
	20	0,9
punta Junín (19°40'S)	1	11,4
	5	1,9
	10	1,0
	20	0,7
Chucumata (20°30'S)	1	11,7
	5	7,5
	10	6,2
	20	8,6
Chipana (21°20'S)	1	9,7
	5	1,7
	10	0,6
	20	0,4
Tocopilla (22°10'S)	1	6,8
	5	0,9
	10	0,6
	20	0,4
Mejillones (23°00'S)	1	7,4
	5	2,1
	10	5,2
	20	0,9

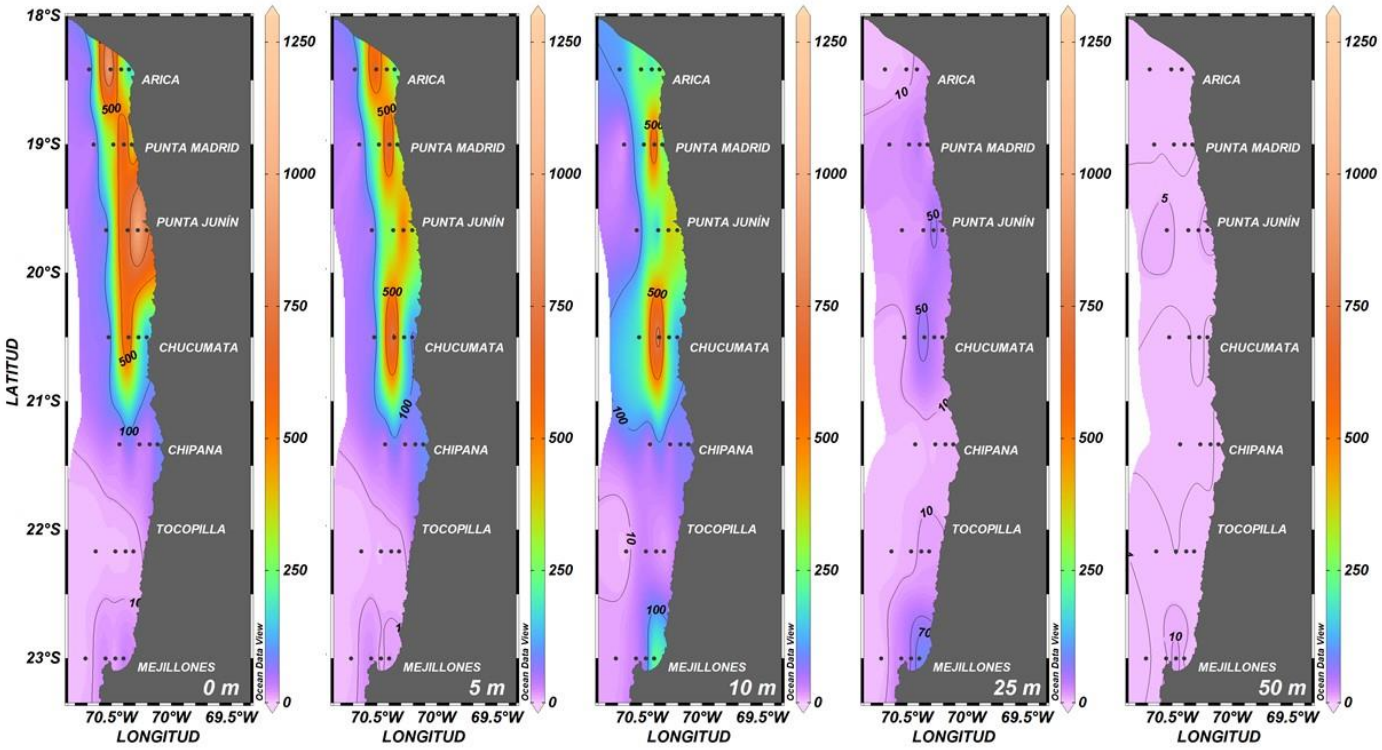

Figura 10. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

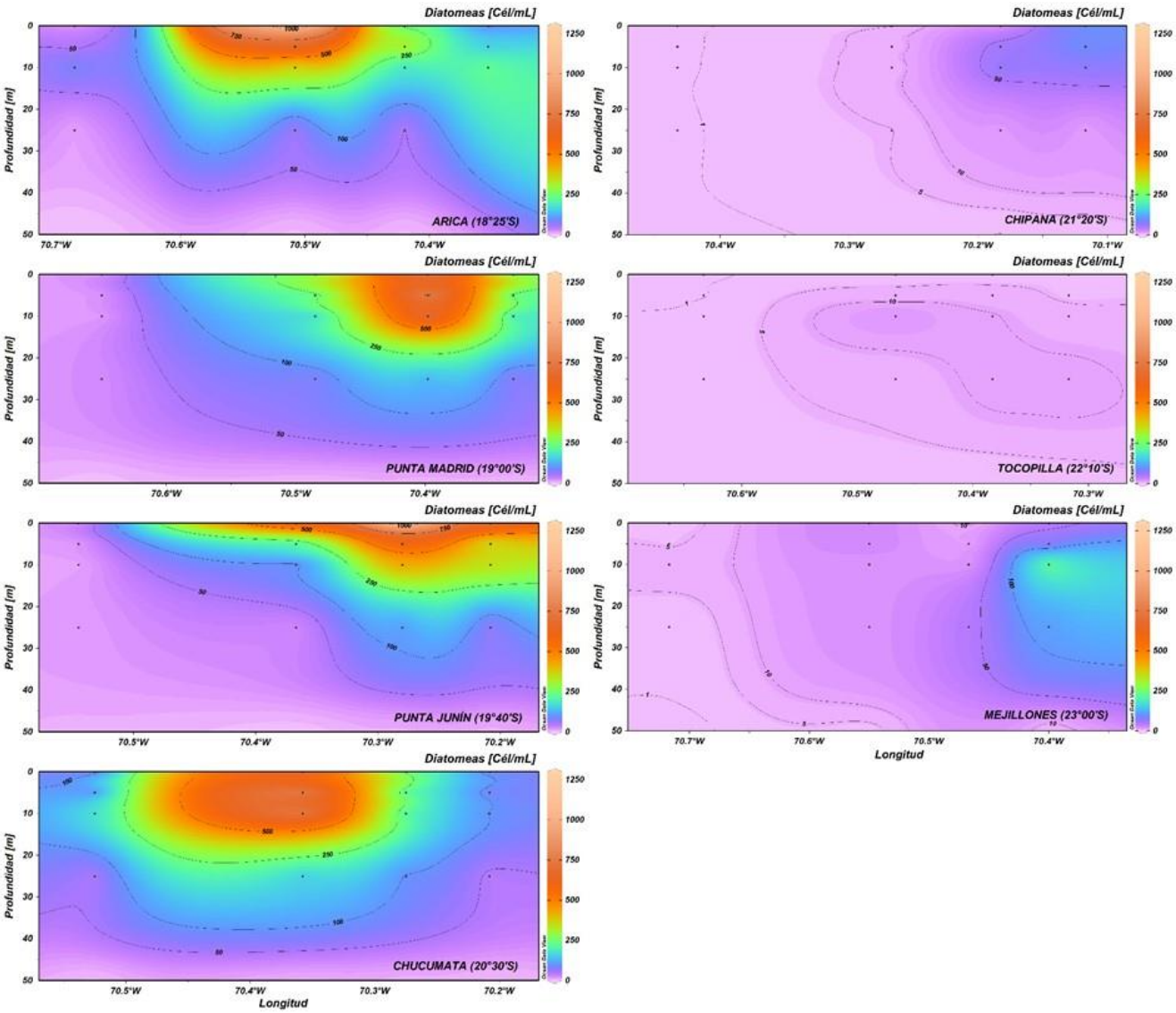

Figura 11. Distribución vertical de la abundancia (cél/mL) de diatomeas entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

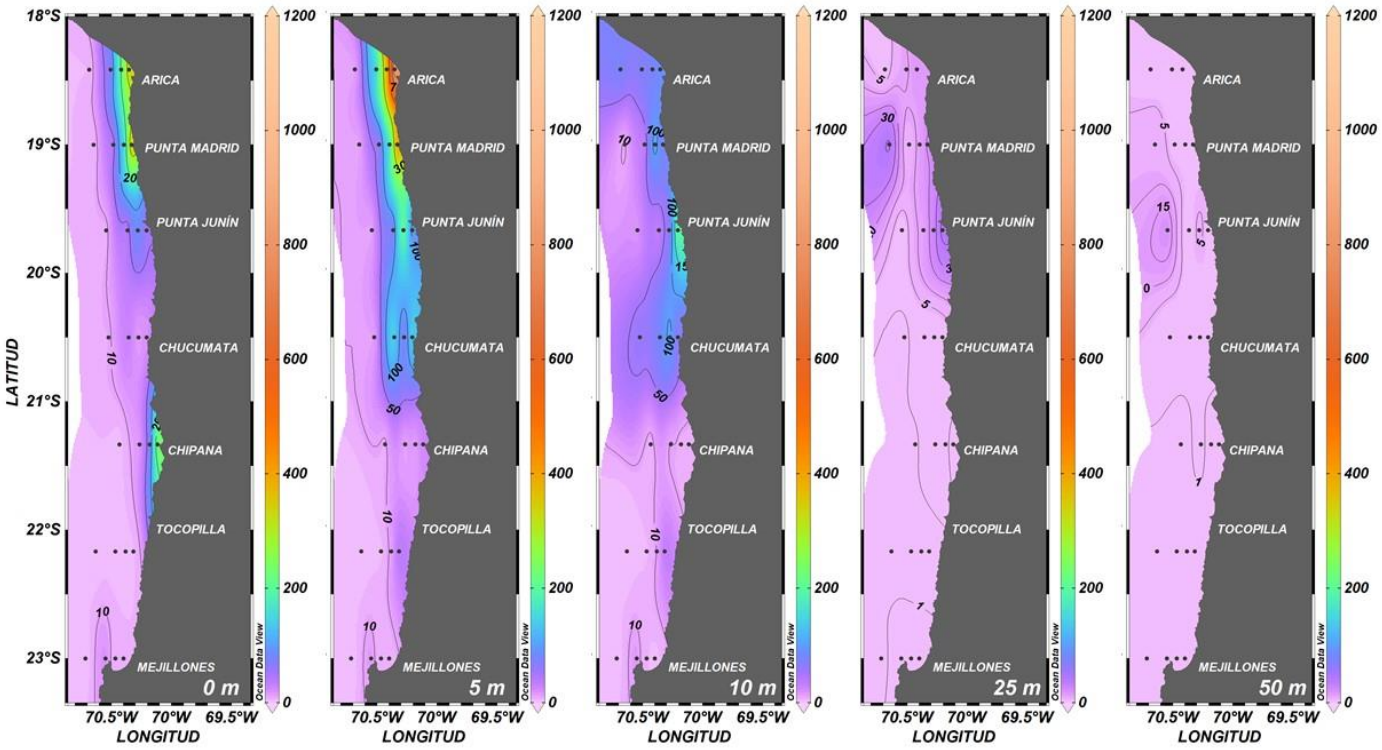

Figura 12. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

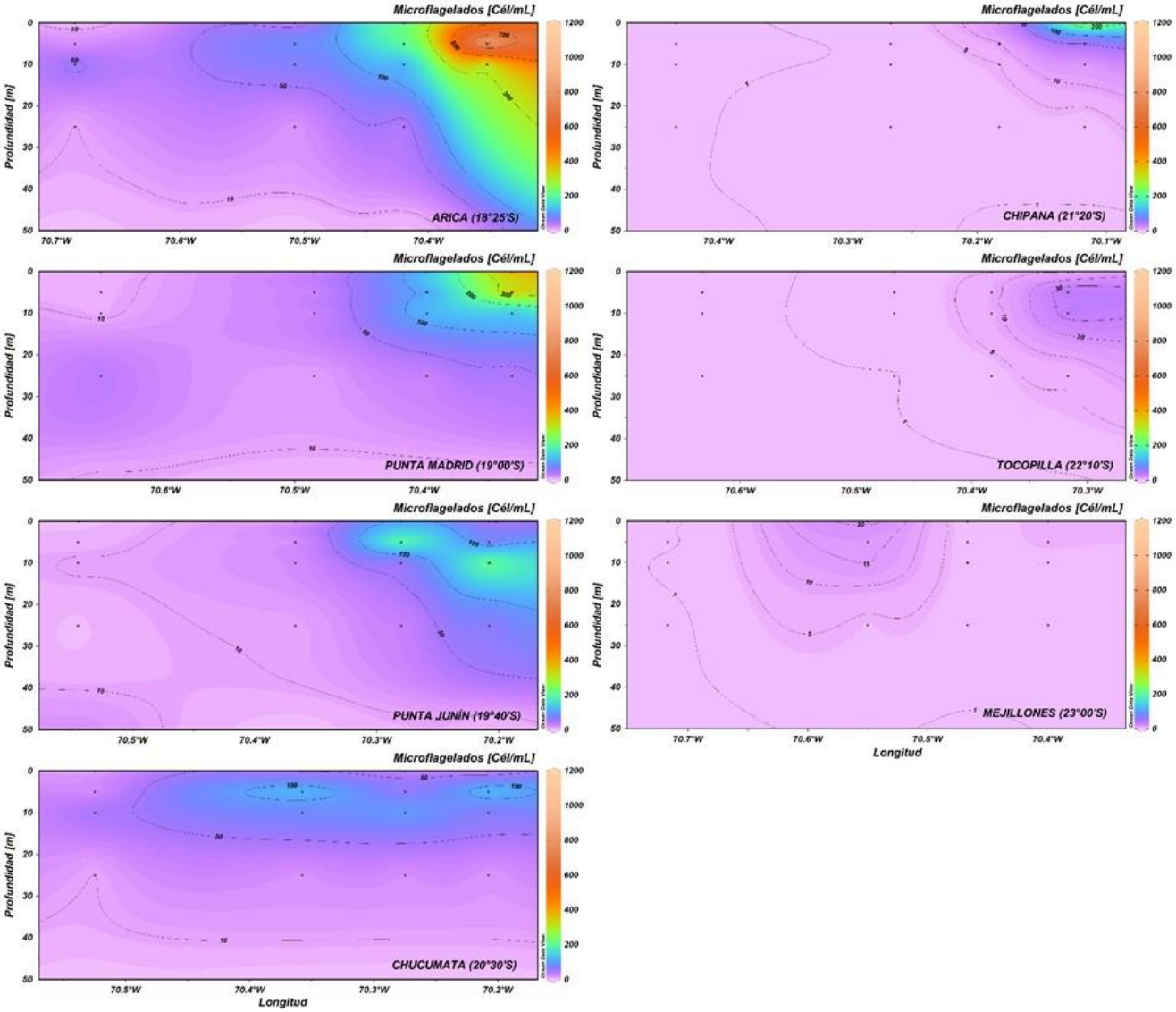

Figura 13. Distribución vertical de la abundancia (cél/mL) de microflagelados entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

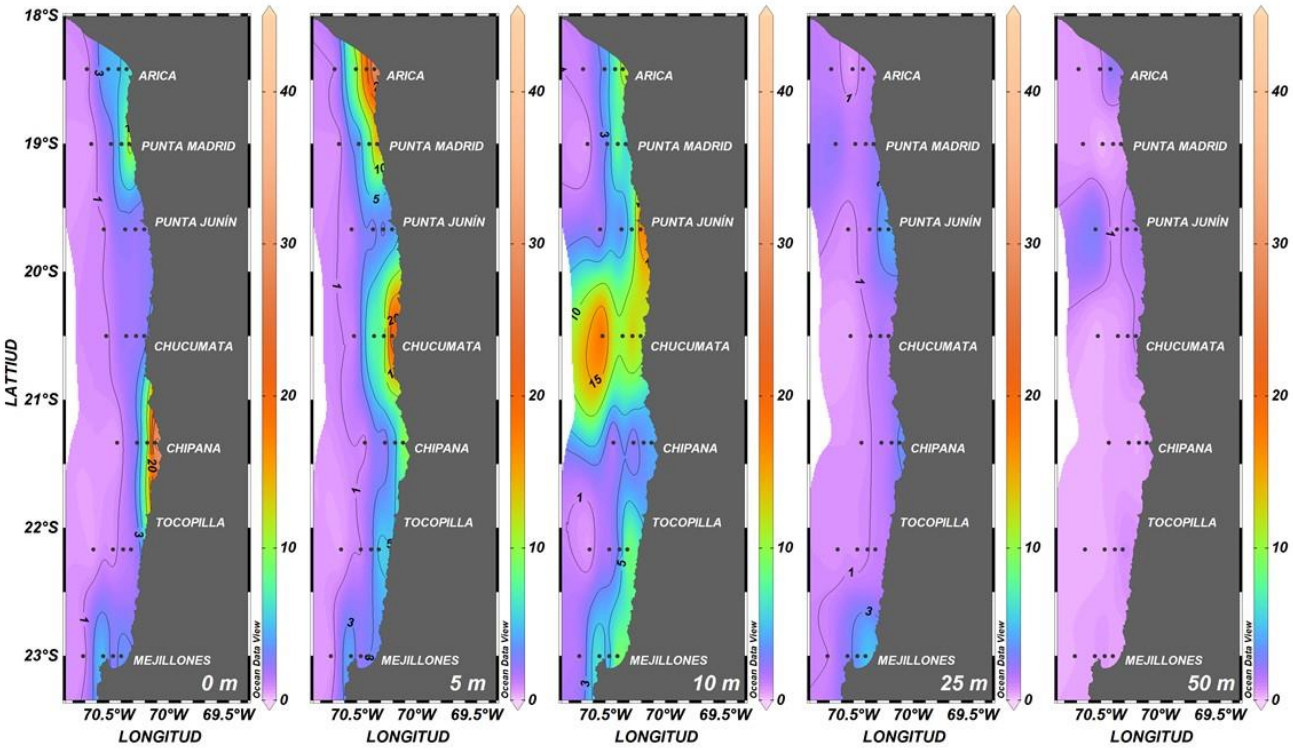

Figura 14. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

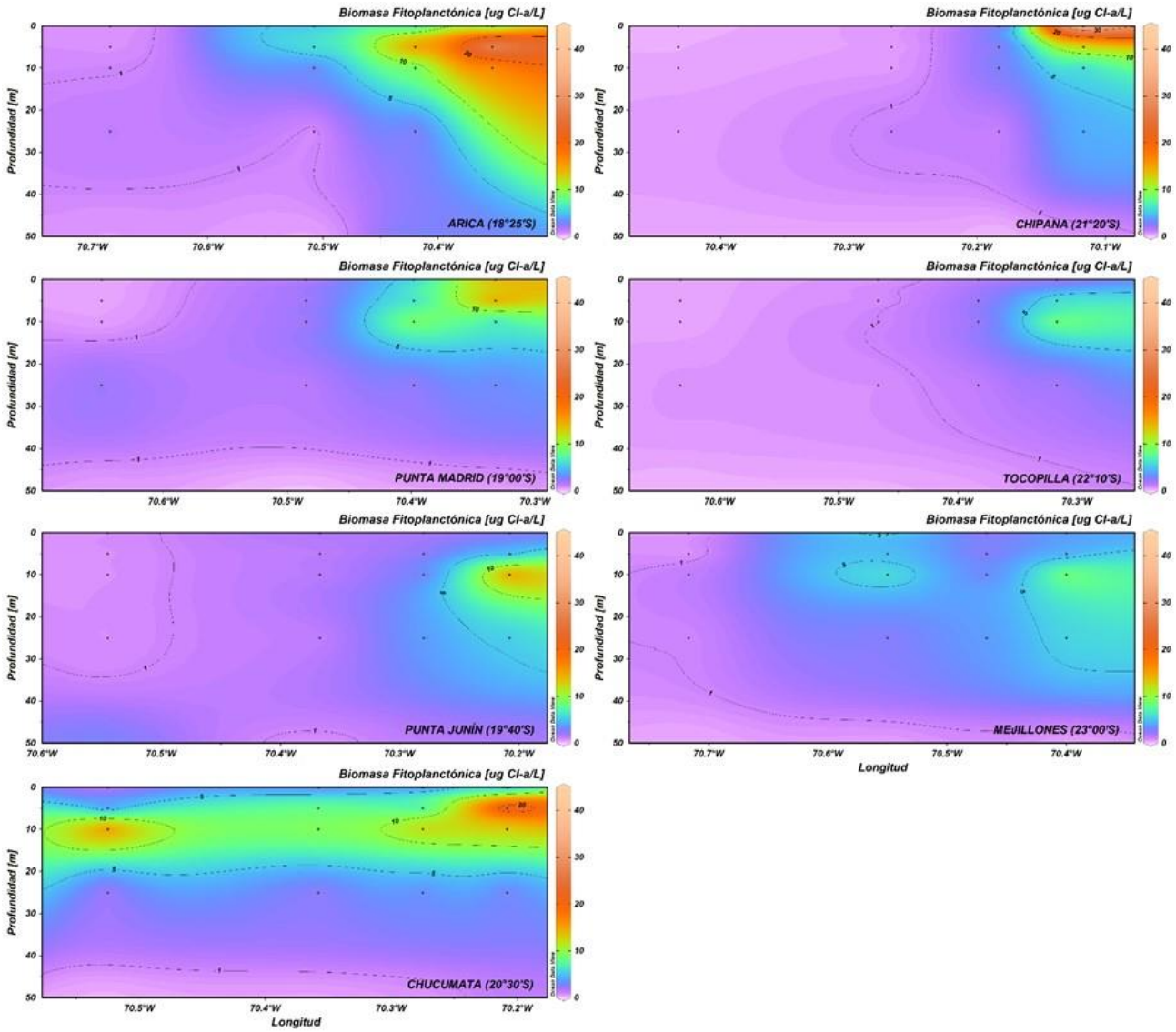

Figura 15. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

Zooplancton

La abundancia total del zooplancton fluctuó entre 1 y 124 ind/10 m^2. Valores superiores a 20 ind/10 m^2 se registraron en todas las localidades distribuidos entre las 20 y 40 mn (Tabla 3).

Se identificó un total de 14 grupos zooplanctónicos, entre los que dominó Copepoda con una abundancia máxima de 87 ind/10 m^2, equivalente a un aporte al total que superó, en promedio, al 80%. En segundo lugar, con concentraciones un orden de magnitud inferior, se ubicaron las larvas de Annelida, con un máximo de 6,1 ind/10 m^2. Y luego el conjunto de los grupos restantes que alcanzaron un máximo de 31 ind/10 m^2 (Tabla 4) debido a la presencia de sifonóforos y anfípodos restringida a una localidad en particular, coincidiendo con la mayor densidad de Copepoda.

En relación con los tamaños, se registraron individuos entre 0,25 y 7,25 mm. El rango 0,25-0,75 mm exhibió las mayores abundancias, las que fluctuaron entre 1 y 96 ind/10 m^2, lo que se tradujo en un aporte promedio al total de 91,7%. El grupo con el mayor número de representantes en esta fracción fue Copepoda, contribuyendo con aportes que variaron entre el 76,8 y 98,0% (Tabla 5).

En relación con la distribución de la abundancia del zooplancton, en toda el área se observaron las mayores densidades (>20 ind/10 m^2) asociadas a la franja entre 20 y 40 mn de la costa. La concentración máxima de 124 ind/10 m^2, se detectó frente a punta Junín (19°40'S) en la forma de un foco restringido a las 20 mn. Núcleos secundarios cercanos a los 60 ind/10 m^2 fueron registrados a 40 mn en punta Madrid (19°00'S), Chipana (21°20'S) y Tocopilla (22°10'S). En la costa (1-10 mn) las concentraciones se mantuvieron bajo los 20 ind/10 m^2, excepto por focos de 58 y 66 ind/ 10 m^2 observados a 5 mn frente a punta Junín (19°40'S) y Mejillones (23°00'S) respectivamente (Figura 16A).

Debido al aporte que realizó Copepoda al total, la distribución del grupo siguió el mismo patrón, con el máximo de 87 ind/10 m^2 localizado a 20 mn frente a punta Junín. En este mismo punto se registró, además, la mayor densidad de anfípodos y sifonóforos, lo que contribuyó al valor total observado. Copepoda, además, aportó con los máximos secundarios registrados a 40 mn en punta Madrid (19°00'S), Chipana (21°20'S) y Tocopilla (22°10'S), y a los núcleos costeros de punta Junín (19°40'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 16B).

De igual manera, el rango de tamaño dominante (0,25-0,75 mm) y la abundancia de los copépodos pertenecientes a éste mostraron la misma distribución, con el foco principal a 20 mn en punta Junín (19°40'S) que tuvo magnitudes de 96 y 82 ind/10 m^2 respectivamente, y los focos secundarios ubicados a 40 mn en punta Madrid (19°00'S), Chipana (21°20'S) y Tocopilla (22°10'S), y los costeros de punta Junín (19°40'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 17A y 17B).

Tabla 3. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) entre los días 08 y 12 de marzo de 2021. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m^2)
Arica (18°25'S)	1	1,1
	5	2,7
	10	9,3
	20	56,2
	40	44,4
punta Madrid (19°00'S)	1	1,3
	5	33,1
	10	9,9
	20	47,3
	40	61,1
punta Junín (19°40'S)	1	50,8
	5	58,0
	10	26,2
	20	123,5
	40	40,2
Chucumata (20°30'S)	1	17,7
	5	12,3
	10	10,2
	20	23,4
	40	31,3
Chipana (21°20'S)	1	26,6
	5	14,1
	10	14,9
	20	14,5
	40	64,2
Tocopilla (22°10'S)	1	23,5
	5	16,4
	10	25,9
	20	38,3
	40	61,1
Mejillones (23°00'S)	1	41,7
	5	65,5
	10	26,1
	20	29,0
	40	38,1

Tabla 4. Abundancia (ind/10 m^2) de Copepoda (COPEP), larvas de Annelida (L-ANNEL) y de otros grupos zooplanctónicos (OG), y aporte porcentual de Copepoda (AP-COP) (%), entre los días 08 y 12 de marzo de 2021. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	COPEP (ind/10 m^2)	L-ANNEL (ind/10 m^2)	OG (ind/10 m^2)	AP-COP (%)
Arica (18°25'S)	1	0,9	0,0	0,2	80,8
	5	2,4	0,0	0,3	88,8
	10	8,1	0,3	0,9	87,1
	20	39,6	3,7	12,8	70,6
	40	36,4	3,8	4,1	82,2
punta Madrid (19°00'S)	1	1,2	0,1	0,1	90,1
	5	29,5	0,9	2,7	89,1
	10	8,3	0,4	1,2	83,5
	20	38,6	1,6	7,1	81,6
	40	50,3	5,3	5,5	82,2
punta Junín (19°40'S)	1	44,0	1,0	5,9	86,5
	5	39,5	3,3	15,1	68,2
	10	20,5	1,0	4,6	78,3
	20	86,5	6,1	30,9	70,0
	40	31,1	0,4	8,6	77,5
Chucumata (20°30'S)	1	16,1	0,7	0,9	90,8
	5	11,1	0,2	1,1	89,9
	10	9,7	0,1	0,4	95,5
	20	21,2	0,6	1,7	90,4
	40	27,4	1,5	2,4	87,5
Chipana (21°20'S)	1	21,7	3,0	2,0	81,4
	5	10,9	1,4	1,8	77,5
	10	11,3	1,2	2,5	75,8
	20	10,9	1,4	2,2	75,0
	40	51,8	2,2	10,2	80,7
Tocopilla (22°10'S)	1	21,2	0,5	1,9	90,0
	5	12,5	0,5	3,3	76,4
	10	23,4	0,9	1,6	90,3
	20	33,5	1,9	2,9	87,4
	40	46,7	2,5	11,9	76,5
Mejillones (23°00'S)	1	40,3	0,5	0,9	96,6
	5	60,8	3,3	1,5	92,8
	10	25,1	0,6	0,4	96,3
	20	25,6	0,7	2,7	88,2
	40	32,6	0,8	4,7	85,6

Tabla 5. Abundancia zooplanctónica (ind/10 m^2) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual de Copepoda (AP-COPEP) (%) a la categoría 0,25-0,75 mm, entre los días 08 y 12 de marzo de 2021. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	RANGOS DE TAMAÑO (mm)				AP-COPEP (%) 0,25-0,75
		0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-7,25	
Arica (18°25'S)	1	0,9	0,1	0,01	0,01	90,0
	5	2,4	0,1	0,1	0,05	98,0
	10	8,6	0,6	0,1	0,1	92,6
	20	46,8	4,3	4,3	0,6	83,5
	40	40,9	2,8	0,2	0,1	86,9
punta Madrid (19°00'S)	1	1,2	0,1			93,7
	5	29,4	2,8	0,1	0,2	93,6
	10	9,4	0,4	0,1		87,7
	20	42,4	4,2	0,2		88,4
	40	56,2	3,2	0,9	0,4	86,7
punta Junín (19°40'S)	1	46,7	3,0	0,3	0,5	92,8
	5	44,5	5,5	2,9	4,5	85,9
	10	22,3	2,2	1,0	0,4	88,2
	20	96,0	23,5	3,1	0,3	85,4
	40	31,1	4,9	2,6	0,9	94,5
Chucumata (20°30'S)	1	16,9	0,5	0,1		93,5
	5	11,3	0,7	0,1		94,9
	10	9,7	0,3	0,04		96,8
	20	21,7	1,3	0,1		94,1
	40	29,5	1,2	0,3		91,5
Chipana (21°20'S)	1	25,9	0,4		0,1	82,7
	5	13,1	0,6	0,3	0,1	83,5
	10	13,4	1,1			80,9
	20	13,9	0,2	0,2		76,8
	40	57,4	5,4	0,6	0,2	87,9
Tocopilla (22°10'S)	1	21,8	0,8	0,4	0,3	95,2
	5	14,0	1,3	0,2	0,8	89,1
	10	24,8	0,4	0,3		92,5
	20	36,4	1,3	0,3		90,5
	40	51,0	8,8	0,7	0,2	89,0
Mejillones (23°00'S)	1	40,5	0,5	0,1	0,1	97,5
	5	63,4	0,6		0,3	93,7
	10	25,5	0,1	0,1	0,1	97,2
	20	27,2	1,4	0,1	0,1	91,8
	40	34,5	2,3	0,7	0,2	92,4

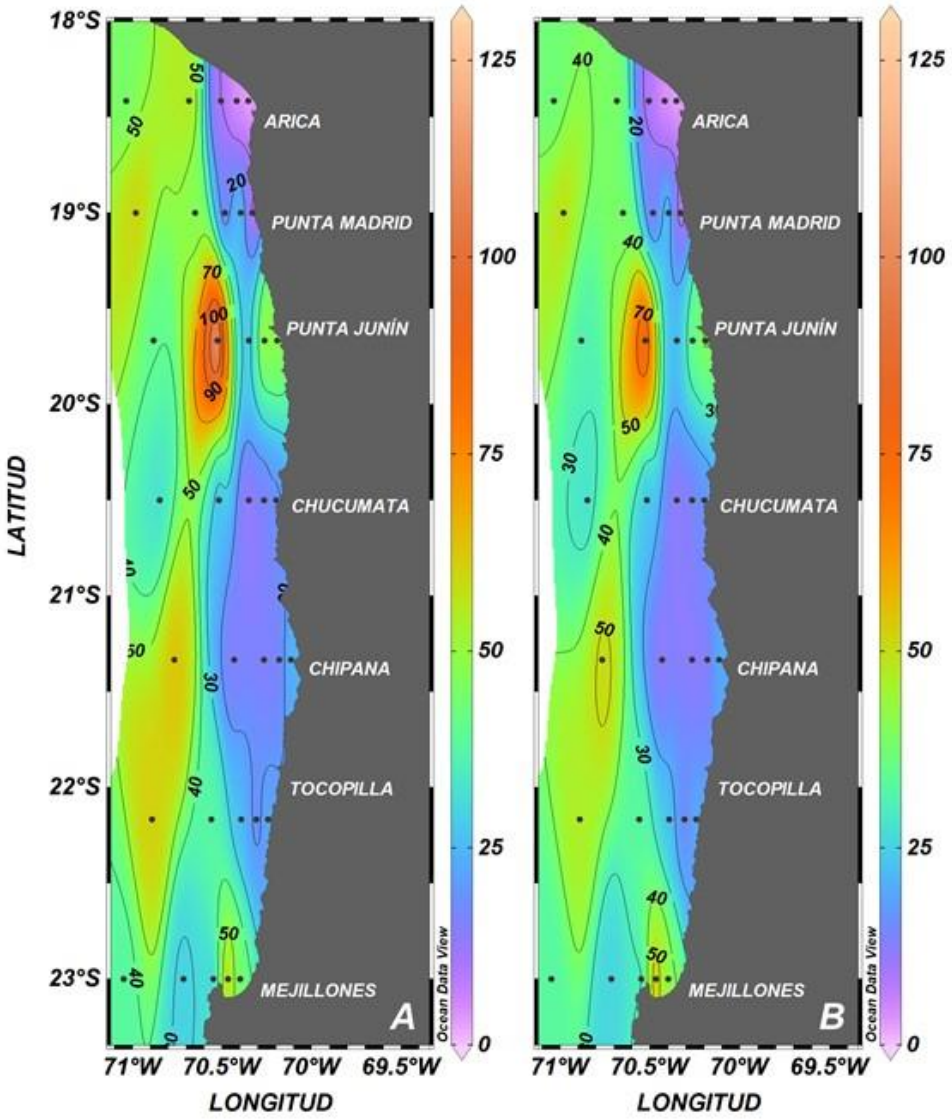

Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda, entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

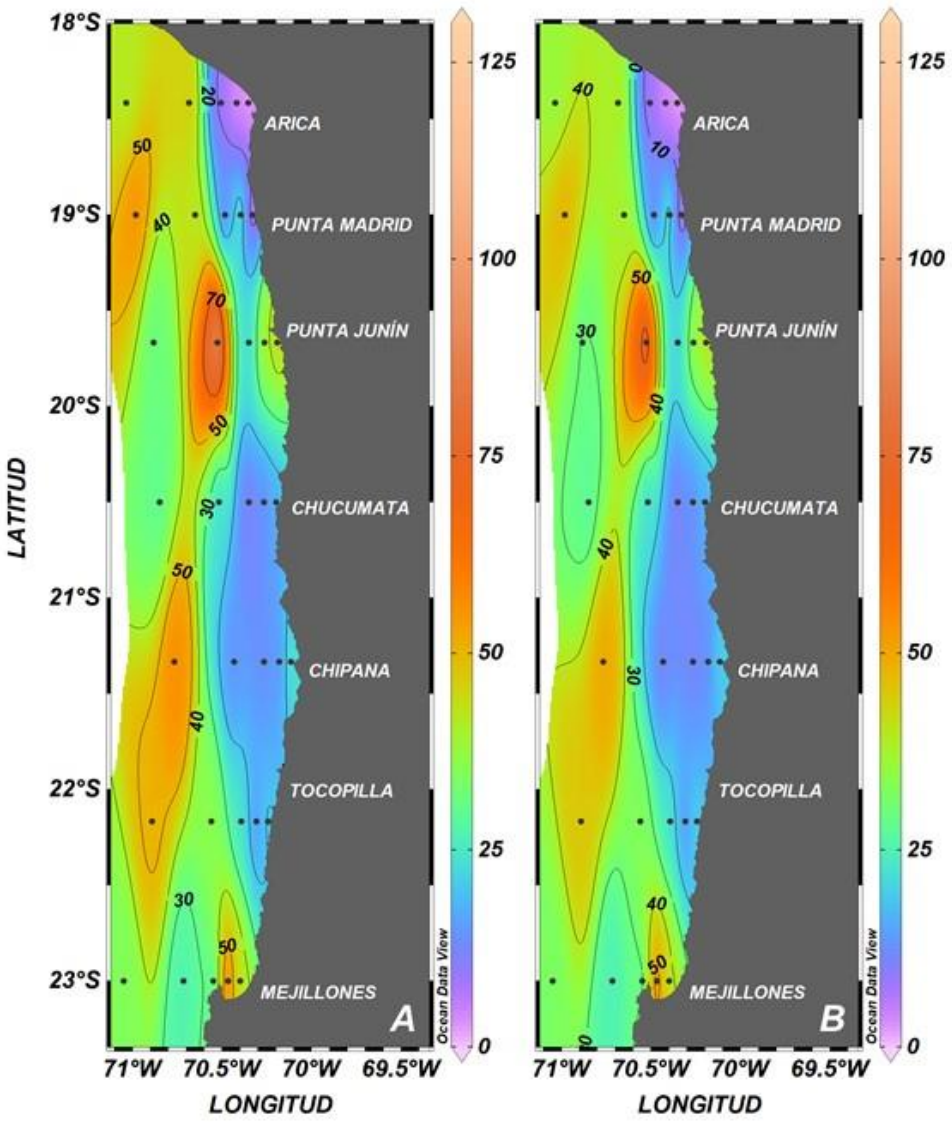

Figura 17. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda pertenecientes al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

Ictioplancton

En el análisis del componente ictioplanctónico, permitió identificar un total de 49.042 huevos/10 m^2 y 27.899 larvas/10 m^2. Los estadios tempranos de *Engraulis ringens* aportaron a estos totales con un 59% y un 57% respectivamente. Las larvas se encontraron en los estados yolk-sac, pre-flexión, flexión y post-flexión, con una abundancia total de 15.896 larvas/10 m^2 (Tabla 6), al que el estadio yolk-sac aportó con un 86,8%.

En todas las localidades se registró la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* distribuidos entre 1 y 40 mn de la costa (Figura 18). Los huevos se concentraron principalmente entre 1 y 5 mn de la costa, donde exhibieron densidades superiores a 5.000 huevos/10 m^2. El máximo principal de 8.311 huevos/10 m^2 se registró a 1 mn frente a Mejillones (23°00'S) y uno secundario de 7.412 huevos/10 m^2 se observó en punta Madrid (19°00'S) a 5 mn (Figura 19-panel izquierdo). Las larvas de *Engraulis ringens* en estado yolk-sac presentaron una distribución similar, exhibiendo densidades superiores a 2.000 larvas/m^2 en punta Madrid (19°00'S) y Chipana (21°20'S), con un máximo de 4.833 larvas/10 m^2 detectado frente a Chipana (21°20'S) a 1 mn (Figura 19-panel derecho).

Las larvas en estado pre-flexión, flexión y post-flexión, escasamente superaron las 500 larvas/10 m^2, distribuyéndose principalmente entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S). El estadio más abundante fue el de flexión, que exhibió un máximo de 550 larvas/10 m^2 frente a punta Junín (19°40'S) a 5 mn de la costa (Figura 20).

Los huevos y larvas de otras especies se distribuyeron en toda el área, con una tendencia a exhibir las mayores concentraciones entre 20 y 40 mn. Los huevos alcanzaron un máximo de 6.107 huevos/10 m^2 frente a Tocopilla (22°10'S) a 40 mn de la costa (Figura 21-panel izquierdo), y las larvas presentaron una densidad máxima de 2.473 larvas/10 m^2 en Arica (18°25'S) a 40 mn (Figura 21-panel derecho).

Tabla 6. Abundancia de huevos y larvas (N°/10 m^2) de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies, entre los días 08 y 12 de marzo de 2021. Larvas Y-S: larvas en estado yolk-sac, Larvas Pre-Flex: larvas en estado de pre-flexión, Larvas Flex: larvas en estado de flexión, Larvas Post-Flex: larvas en estado de post-flexión. DC: distancia de la costa (mn), AP (%): aporte porcentual.

Localidad	DC (mn)	*Engraulis ringens*					Otras Especies		Totales	
		Huevos	Larvas Y-S	Larvas Pre-Flex	Larvas Flex	Larvas Post-Flex	Huevos	Larvas	Huevos	Larvas
Arica (18°25'S)	1	74					444		518	
	5	169							169	
	10	226	792	453			113		340	1245
	20									
	40						1.030	2.473	1.030	2.473
punta Madrid (19°00'S)	1	152							152	
	5	7.412	3.665				167		7.579	3.665
	10						90	90	90	90
	20						1.858	1.183	1.858	1.183
	40						225	2.329	225	2.329
punta Junín (19°40'S)	1		966	215				107		1.287
	5			110	551					661
	10				115					115
	20				105	105	105		105	209
	40					74		74		149
Chucumata (20°30'S)	1	6.151	2.021				527	88	6.678	2.109
	5	119	119						119	119
	10									
	20						224	224	224	224
	40						172		172	
Chipana (21°20'S)	1	3.963	4.833	97			193	773	4.156	5.702
	5		189					189		377
	10						68	205	68	205
	20			79			5.644	79	5.644	159
	40		104				1.139	518	1.139	621
Tocopilla (22°10'S)	1						231		231	
	5							527		527
	10						666	761	666	761
	20						116	463	116	463
	40	1.260					6.107	775	7.367	775
Mejillones (23°00'S)	1	8.311	387	193				870	8.311	1.450
	5	187	94					94	187	187
	10	902	632				271	180	1.173	812
	20						193		193	
	40						531		531	
TOTAL		28.928	13.799	1.147	771	179	20.115	12.003	49.042	27.899
AP (%)		59,0	49,5	4,1	2,8	0,64	41,0	43,0		

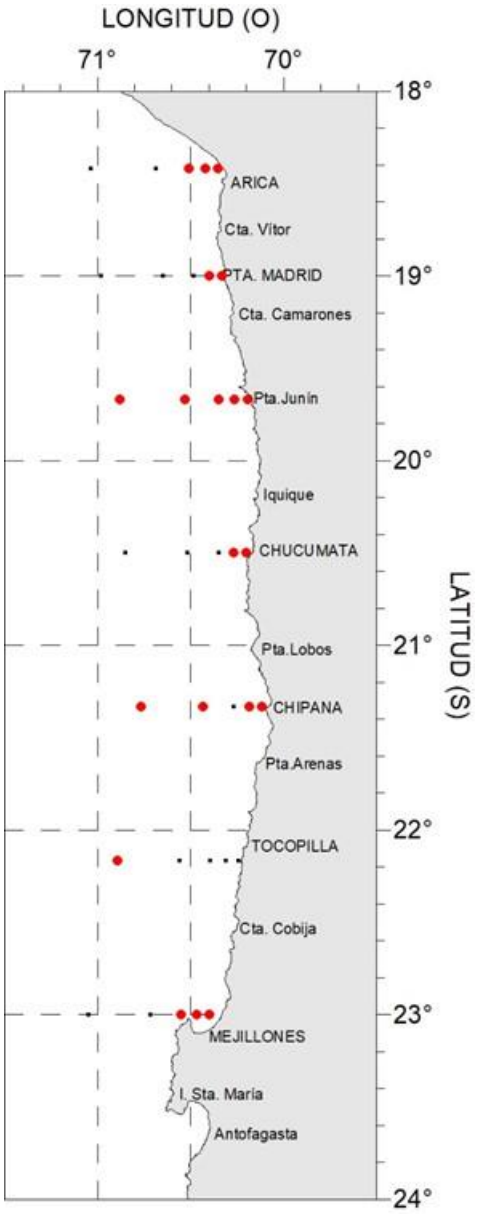

Figura 18. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

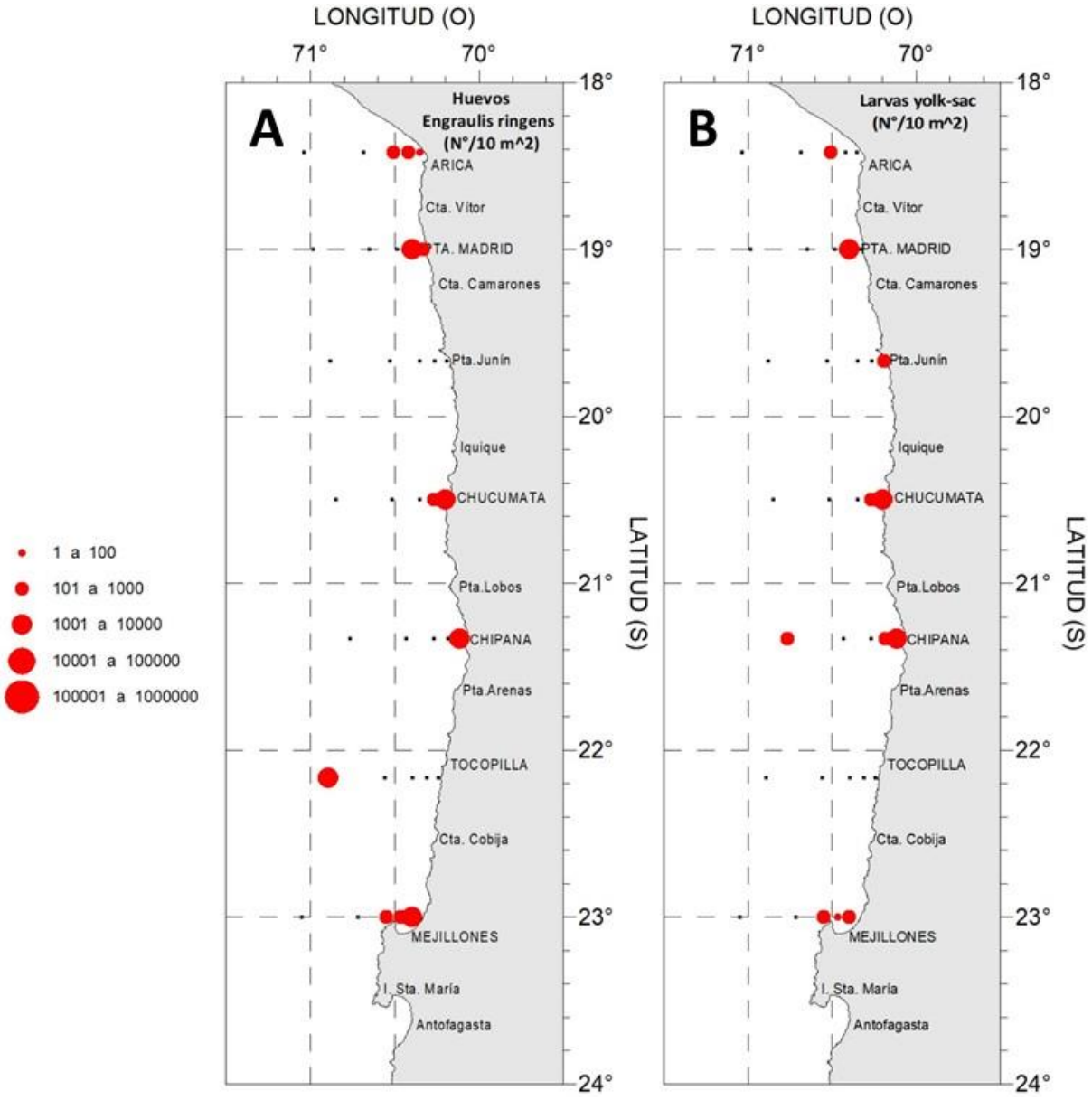

Figura 19. Distribución de la abundancia de huevos (N°/10 m^2) (panel izquierdo) y de larvas en estado yolk-sac (panel derecho) de *Engraulis ringens* entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

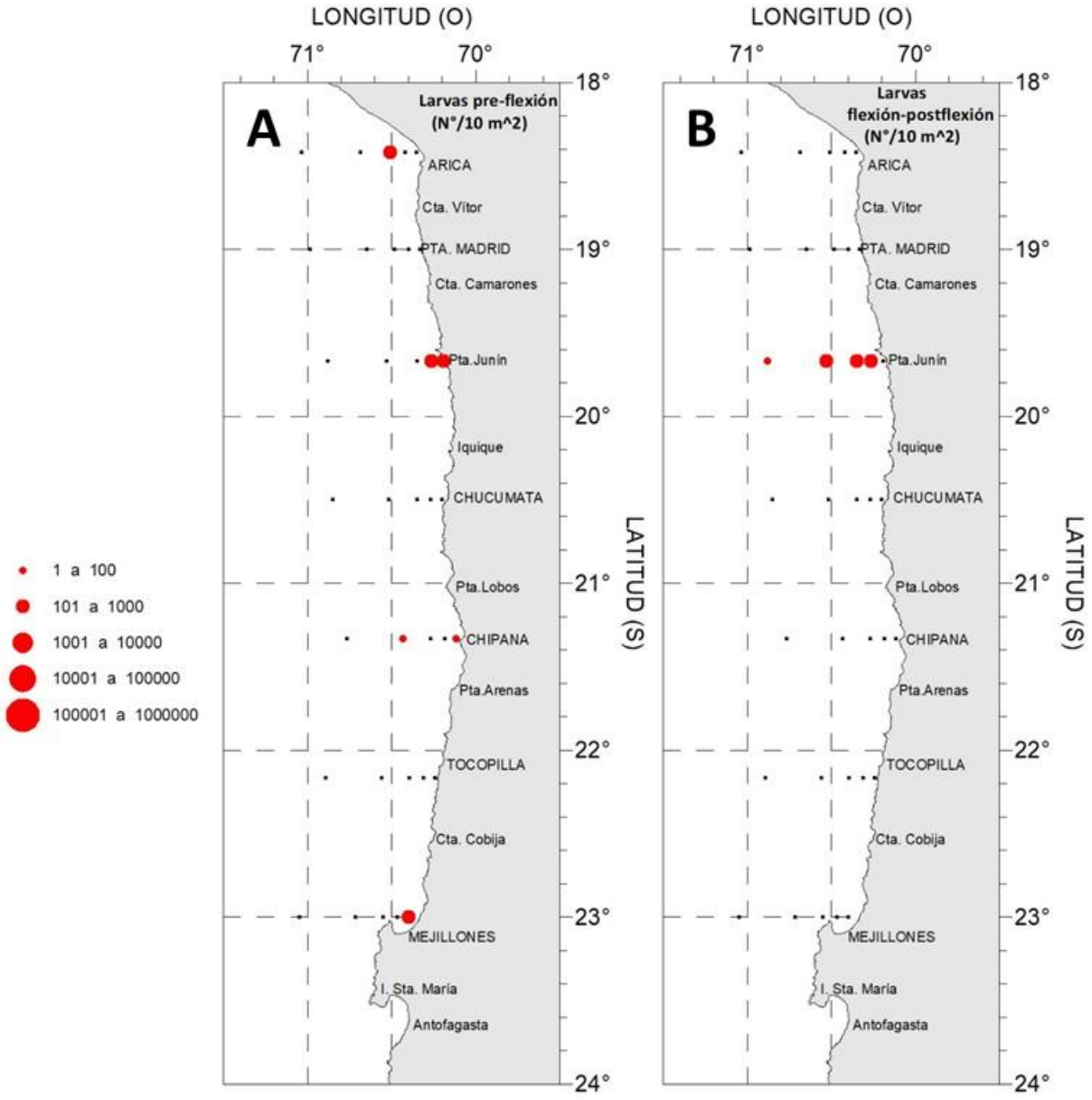

Figura 20. Distribución de la abundancia de larvas (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* en estado pre-flexión (panel izquierdo) y flexión más post-flexión (panel derecho) entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

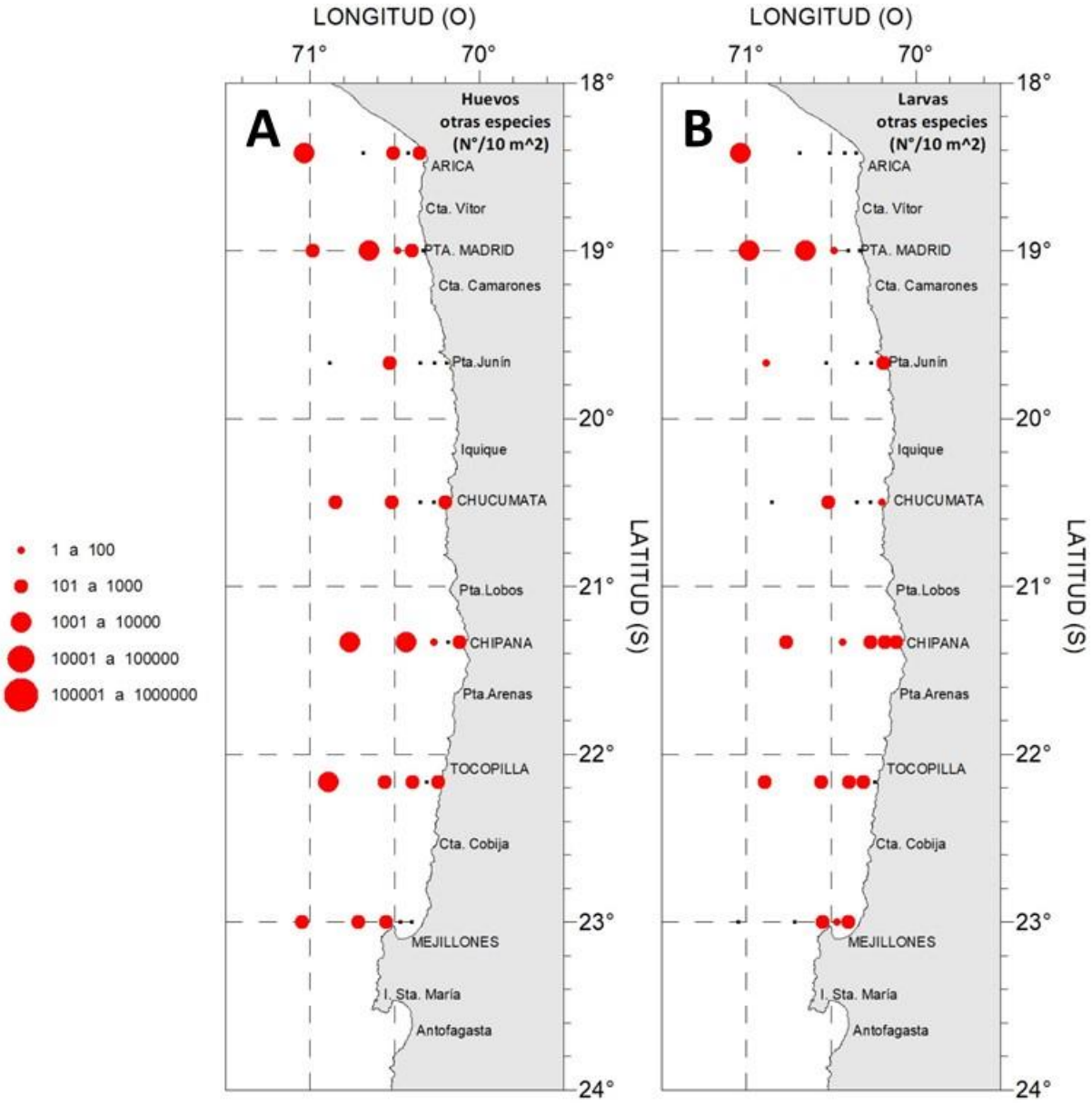

Figura 21. Distribución horizontal de la abundancia (N°/10 m^2) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 08 y 12 de marzo de 2021.

Análisis Estadístico

Los resultados del análisis de correlación mostraron que la abundancia de huevos de anchoveta se asoció significativamente y de manera negativa con las variables temperatura ($r=-0,460$, $p<0,001$) (Figura 22) y profundidad de la capa de mezcla ($r=-0,442$, $p<0,001$) (Figura 23). La correlación con el componente biológico resultó positiva con la biomasa fitoplanctónica ($r=0,627$, $p<0,001$) (Figura 23) y la abundancia de zooplancton ($r=0,627$, $p<0,001$) (Figura 24).

En cuanto a la abundancia de las larvas, ésta se correlacionó de manera negativa con la temperatura ($r=-0,470$, $p<0,001$) (Figura 25), y de manera positiva con la abundancia de diatomeas ($r=0,421$, $p<0,001$) (Figura 26).

Respecto del análisis comparativo, con excepción de la abundancia de los estadios tempranos de anchoveta y de la concentración de oxígeno disuelto, todas las variables registradas durante los veranos de 2015 a 2021, exhibieron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 7).

Poniendo énfasis en el verano de 2021, la temperatura evidenció diferencias con 2017 por los altos valores registrados durante ese año. Por otra parte, este verano no exhibió diferencias entre la salinidad, profundidad de la capa de mezcla y profundidad del límite superior de la ZMO. Las que se detectaron se debieron principalmente a los veranos de 2015 y 2016, que estuvieron bajo la influencia del evento El Niño (Tabla 8, Figura 27).

Una situación similar se observó con la abundancia del fitoplancton, ya que este año (2021) exhibió mayores valores respecto de 2015 y 2016. En el caso de la biomasa fitoplanctónica no se registraron diferencias, y la densidad del zooplancton es la más baja de toda la serie (Tabla 9, Figura 28).

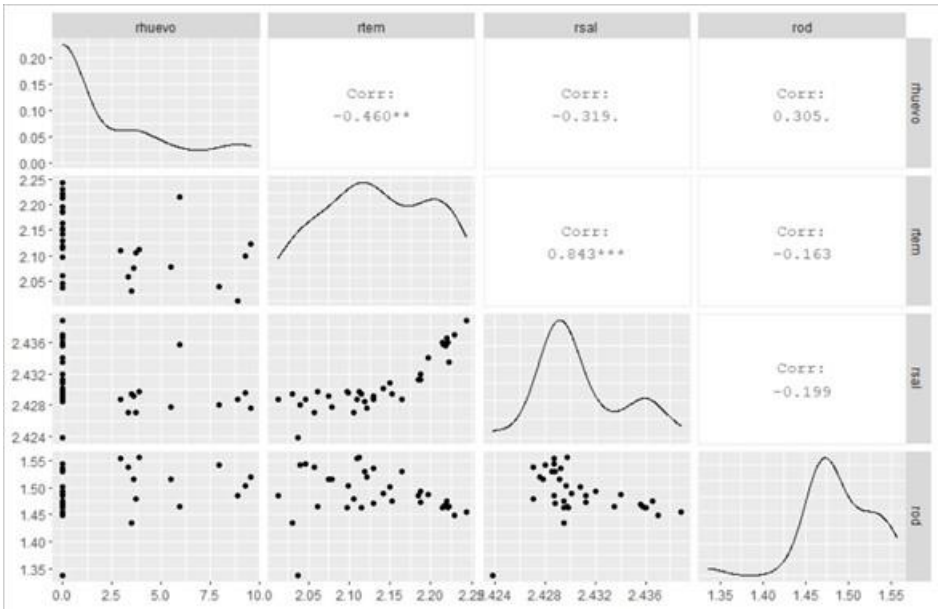

Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de huevos de anchoveta (rhuevo) (N°/10 m^2) y de temperatura (rtem) (°C), salinidad (rsal) (ups) y oxígeno disuelto (rod) (mL O_2/L) registrada entre el 08 y 12 de marzo de 2021.

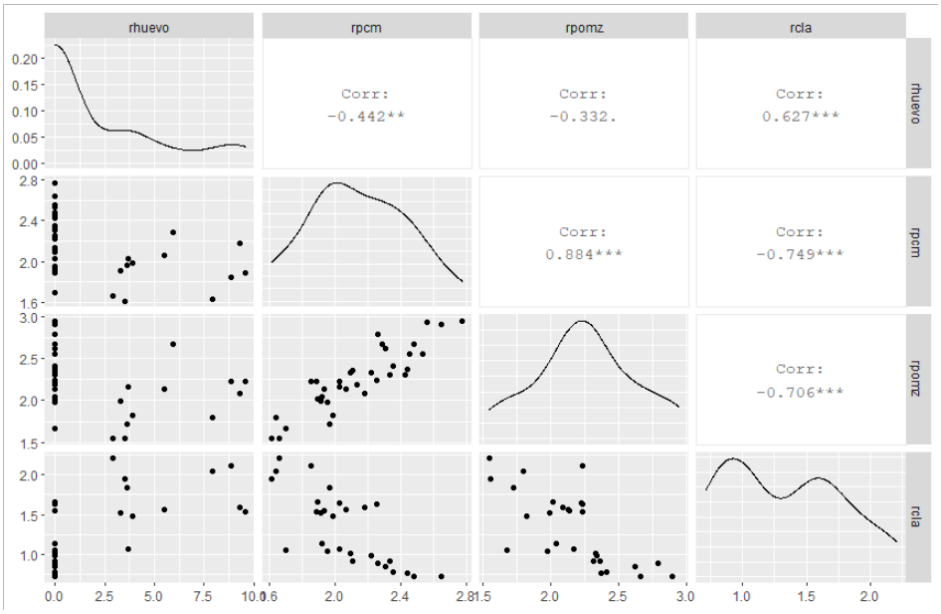

Figura 23. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de huevos de anchoveta (rhuevo) (N°/10 m^2) y de la profundidad de la capa de mezcla (rpcm) (m), profundidad del límite superior de la ZMO (rpomz) (m) y biomasa fitoplanctónica (rcla) (µg Cl-a/L) registrada entre el 08 y 12 de marzo de 2021.

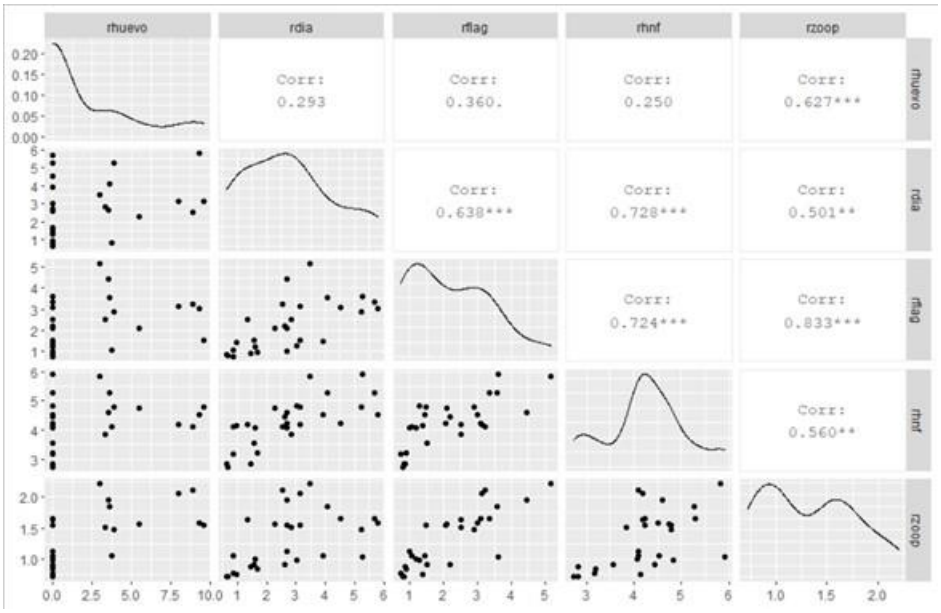

Figura 24. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de huevos de anchoveta (rhuevo) (N°/10 m^2) y de abundancia de diatomeas (rdia) (cél/mL), de microflagelados (rflag) (cél/mL), de nanoflagelados (rhnf) (cél/mL) y zooplancton (rzoop) (ind/10 m^2) registrada entre el 08 y 12 de marzo de 2021.

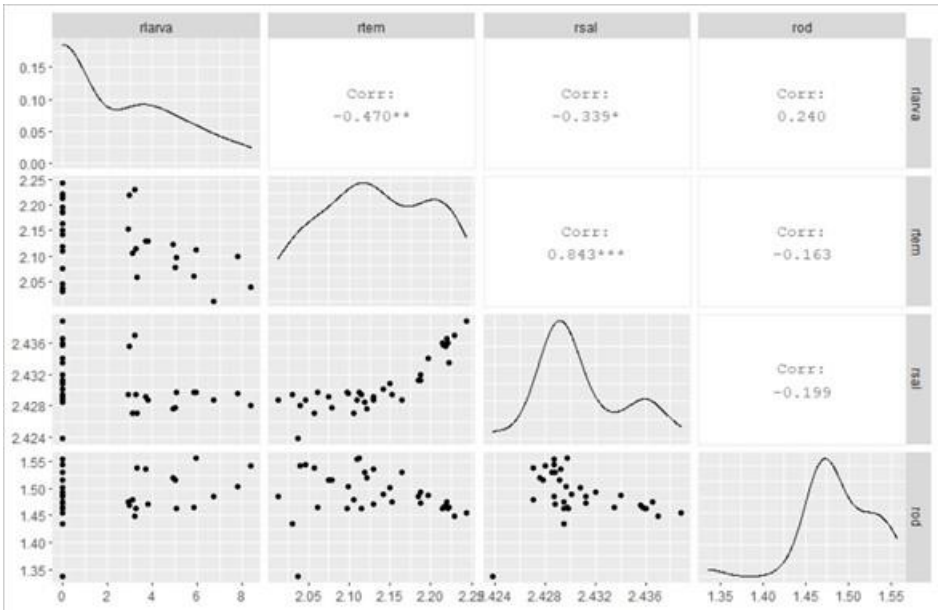

Figura 25. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de larvas de anchoveta (rlarva) (N°/10 m^2) y de temperatura (rtem) (°C), salinidad (rsal) (ups) y oxígeno disuelto (rod) (mL O_2/L) registrada entre el 08 y 12 de marzo de 2021.

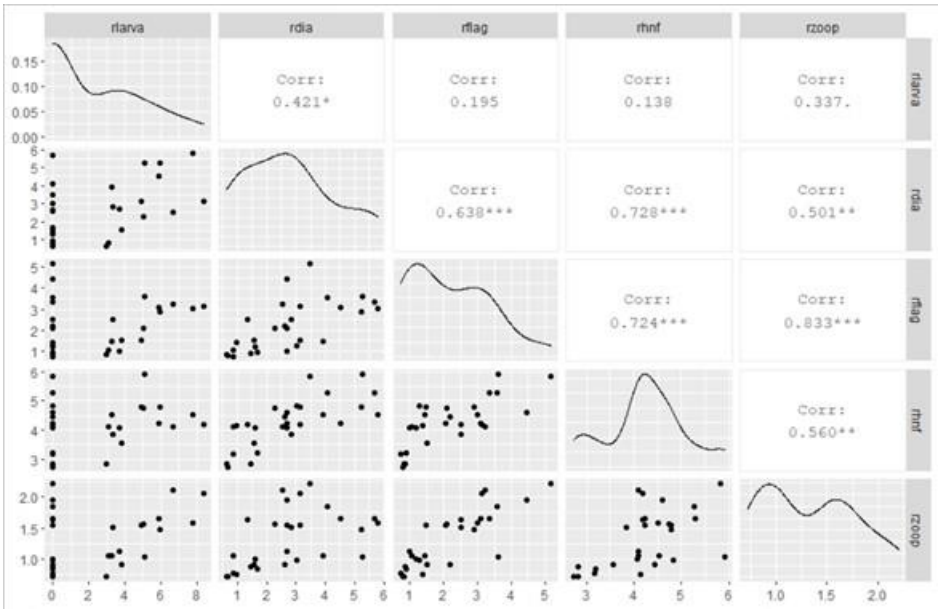

Figura 26. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de larvas de anchoveta (rlarva) (N°/10 m^2) y de abundancia de diatomeas (rdia) (cél/mL), de microflagelados (rflag) (cél/mL), de nanoflgelados (rhnf) (cél/mL) y zooplancton (rzoop) (ind/10 m^2) registrada entre el 08 y 12 de marzo de 2021.

Tabla 7. Resultados del análisis comparativo global entre las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante los veranos de 2015 a 2021. K-W: estadístico de Kruskal-Wallis, NS: nivel de significancia.

VARIABLE	K-W	Valor *p*	NS
TEMPERATURA (°C)	39,35	0,000	<0,01
SALINIDAD (ups)	38,69	0,000	<0,001
PROFUNDIDAD CAPA MEZCLA (m)	25,14	0,000	<0,001
PROFUNDIDAD LS_ZMO (m)	20,53	0,002	<0,01
ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)	26,97	0,000	<0,001
ABUNDANCIA MICROFLAGELADOS (cél/mL)	26,87	0,000	<0,001
ABUNDANCIA NANOFLAGELADOS (cél/mL)	28,68	0,000	<0,001
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	14,56	0,024	<0,05
ABUNDANCIA ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	60,61	0,000	<0,001

Tabla 8. Resultados de la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para las variables físicas y químicas registradas durante los veranos de 2015 a 2021. dif.obs.: diferencias observadas, dif.crit.: diferencias críticas.

Variable	Periodo	dif.obs.	dif.crit.
TEMPERATURA (°C)	2016-2018	49,05	36,33
	2017-2018	66,55	36,33
	2017-2019	53,19	38,29
	2017-2020	37,35	36,33
	2017-2021	41,20	36,33
SALINIDAD (ups)	2015-2018	52,58	33,40
	2016-2017	58,13	54,66
	2016-2018	84,03	53,56
	2016-2021	56,10	53,56
	2018-2019	40,71	32,80
	2018-2020	36,13	30,92
PROFUNDIDAD CAPA DE MEZCLA (m)	2015-2018	48,00	31,92
PROFUNDIDAD LS_ZMO (m)	2015-2018	41,23	31,33
	2015-2020	35,93	31,33

Tabla 9. Resultados de la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para las variables biológicas registradas durante los veranos de 2015 a 2021. dif.obs.: diferencias observadas, dif.crit.: diferencias críticas.

Variable	Periodo	dif.obs.	dif.crit.
ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)	2016-2018	51,81	34,27
	2016-2021	38,63	36,12
	2018-2020	38,75	34,27
ABUNDANCIA MICROFLAGELADOS (cél/mL)	2015-2018	41,58	34,27
	2015-2020	43,06	36,12
	2015-2021	40,38	36,12
	2016-2018	35,14	34,27
	2016-2020	36,63	36,12
ABUNDANCIA NANOFLAGELADOS (cél/mL)	2015-2021	42,56	30,11
	2016-2021	38,31	30,11
	2017-2021	43,88	30,11
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	2016-2019	39,44	36,12
ABUNDANCIA ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	2015-2016	38,94	37,36
	2015-2019	63,09	37,36
	2015-2020	38,61	35,45
	2015-2021	87,78	37,36
	2016-2021	48,84	37,36
	2017-2021	54,56	37,36
	2018-2021	57,88	35,45
	2020-2021	49,18	35,45

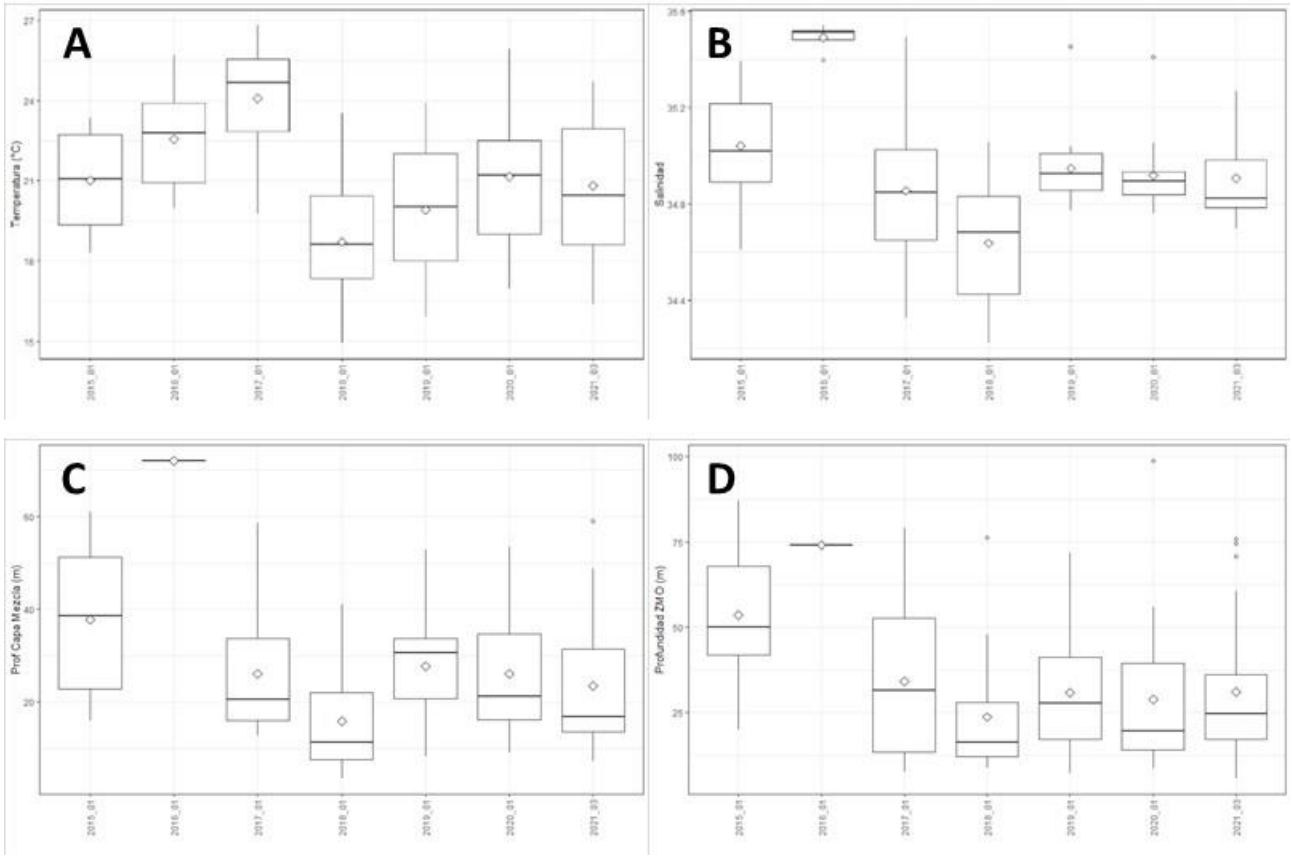

Figura 27. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups), C: Profundidad de la Capa de Mezcla (m) y D: profundidad del límite superior de la ZMO (m), registrada durante los veranos de 2015 a 2021.

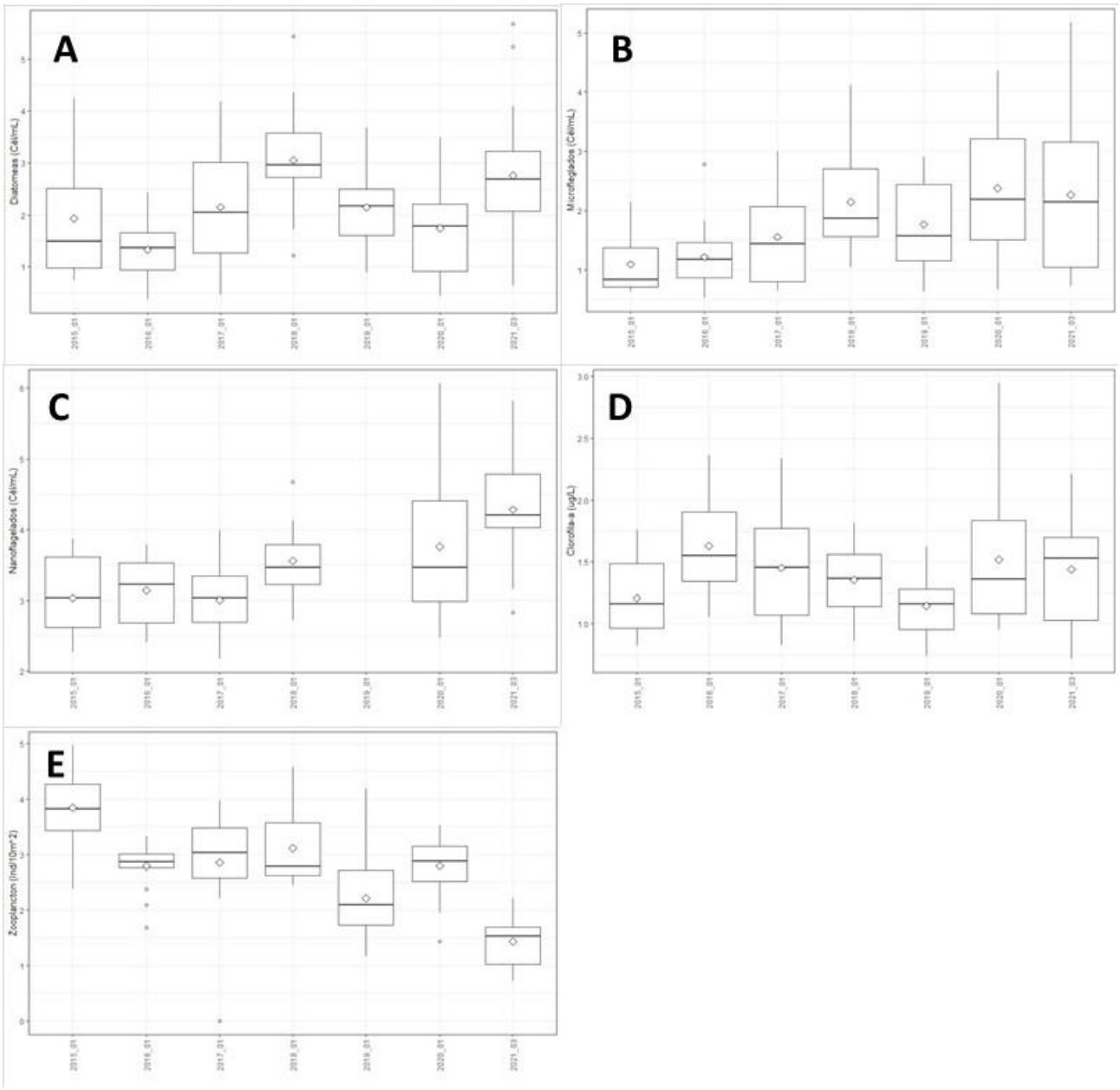

Figura 28. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de A: abundancia de Diatomeas (cél/mL), B: abundancia de Microflagelados (cél/mL), C: abundancia de Nanoflagelados (cél/mL), D: Biomasa Fitoplanctónica (µg Cl-a/L) y E: abundancia de Zooplancton (ind/10 m^2), registrada durante los veranos de 2015 a 2021.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Durante el periodo de estudio la región se encontró influenciada por el ingreso del agua subtropical superficial (ASS), con una estructura termal y halina caracterizada por temperatura superiores a 19°C y salinidad 35 ups, que dominó la capa superficial hasta las 10 millas náuticas. En la franja costera (1-5 mn), las temperaturas (<18°C) y salinidades (<34,95) junto a la somera localización de la profundidad de la isoterma de 15°C y del límite superior de la ZMO (<10 m), evidenciaron la ocurrencia de procesos de surgencia que expresaron una mayor intensidad entre Arica (18°250'S) y Chipana (21°20'S), con una columna de agua con salinidades característica de la mezcla del ASAA y del AESS y, como es habitual, una mayor influencia del ASAA entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S). Al respecto, los valores del Transporte de Ekman revelaron procesos de alta intensidad, superando los 1.000 m^3/s/km en todas las localidades. Estas condiciones no resultaron estadísticamente diferentes a los veranos anteriores, excepto por la temperatura que exhibió diferencias con 2017, año en que se registró el denominado "Niño costero".

Asociada a este escenario ambiental, la distribución de la comunidad fitoplanctónica se concentró entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), extendiéndose hasta las 10 mn con valores por sobre las 100 cél/mL. Tanto diatomeas como flagelados exhibieron abundancias máximas en un mismo orden de magnitud y, aunque espacialmente se registró un dominio de las diatomeas, los flagelados mostraron importantes focos, asociados a eventos de discoloración, que se localizaron en Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), con géneros y especies típicas de la región como *Gymnodinium* sp. y *Akashiwo sanguinea* respectivamente. Comparativamente durante este verano las abundancias aumentaron, pero sólo en relación con los periodos El Niño (2015-2016). Respecto de la biomasa, los valores registrados respondieron a la presencia de ambos grupos, corroborando la expresión pigmentaria de los dinoflagelados. El zooplancton si bien presentó la estructura característica, con el dominio del grupo Copepoda y del rango de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm, presentó las abundancias más bajas de la serie, exhibiendo diferencias significativas con todos los veranos desde 2015, excepto con 2019. En cuanto a su distribución, al igual que en años anteriores se detectó una importante presencia en el sector más alejado de la costa (20-40 mn) y la densidad máxima se restringió al sector de punta Junín (19°40'S), coincidente con las altas concentraciones de las diatomeas.

Los estadios tempranos de anchoveta mantuvieron las magnitudes observadas en otros veranos, al no detectarse diferencias estadísticamente significativas. Tanto huevos como estadios larvales mostraron una amplia distribución en la zona y las mayores densidades se mantuvieron en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S). Estos sitios, además de ser descritos como de retención, durante este verano correspondieron a activos focos de surgencia y mostraron las mayores abundancias de fitoplancton, situación que fue corroborada en el análisis de asociación, que reveló correlaciones negativas con la temperatura y la profundidad de la capa de mezcla, y positivas con la abundancia de diatomeas, biomasa fitoplanctónica y densidad zooplanctónica.

Las condiciones registradas, expresaron tanto la estacionalidad, siendo similares a lo observado durante el verano de 2020 evidenciando una condición cálida imperante en el sistema, como también reflejaron la influencia remota. Al respecto, este calentamiento se registra en la región luego de un periodo de anomalías negativas en la TSM que persistieron desde agosto de 2020 (Figura 29). De acuerdo con lo informado por CIIFEN (Boletín Abril 2021), la TSM durante las primeras dos semanas de marzo se incrementó notoriamente en el borde oriental del Pacífico en asociación con una onda Kelvin ecuatorial cálida. A fines de marzo las regiones El Niño presentaron ligeros valores superiores respecto a los registrados en febrero, excepto la región El Niño 1+2 que no mostró cambios. El valor del Índice de la Oscilación del Sur de 30 días fluctuó alrededor de cero, valor considerado como de condición de neutral. Las predicciones de la TSM para el trimestre abril-mayo-junio de 2021, sugieren valores bajo lo normal a lo largo del Pacífico ecuatorial centro oriental y costa de Sudamérica.

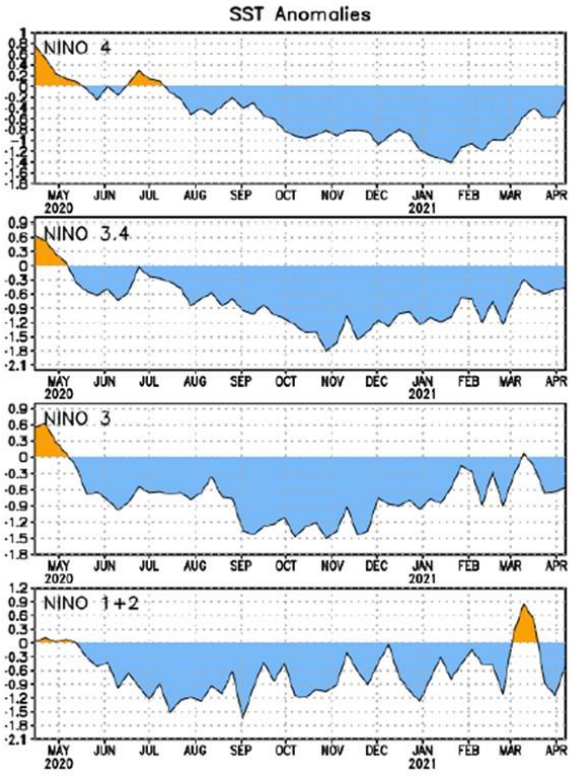

Figura 29. Anomalías de la Temperatura superficial del mar (°C) en las regiones El Niño entre mayo de 2020 y el 10 de abril de 2021 (fuente: www.cpc.ncep.noaa.gov).

LITERATURA CITADA

Boletín CIIFEN El Niño/La Niña en América Latina, abril 2021. www.ciifen.org.

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. 1970. A note on a theorical subsampling distribution of Macroplankton. J. Cons. Int. Explor. Mar., 36(3):274-276 pp.

NOAA Climate Prediction Center/NCEP, ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions, April 2021.

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

Schlitzer, R. 2020. 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.