UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

INFORME FINAL
CRUCERO BIO-OCEANOGRAFICO DE PRIMAVERA

DICIEMBRE DE 2020

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 **52**

LITERATURA CITADA **54**

RESUMEN EJECUTIVO

Entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre se realizó el crucero de primavera de 2020, 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 60 m a superficie, utilizando una red WP-2 de 300 µm equipada con un flujómetro TSK. La información se analizó gráficamente y la influencia de los parámetros físicos, químicos y biológicos sobre los componentes ictioplanctónicos, se examinó mediante un modelo aditivo generalizado (GAM). Se realizó un análisis comparativo para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las variables registradas durante las primaveras de 2014 a 2020.

La presencia de temperaturas ~16°C y salinidades de 34,9 ups y menores, evidenció la ocurrencia de procesos de afloramiento a lo largo de la franja costera (1-5 mn), asociados a la presencia de una mezcla del ASSA y AESS que ocupó gran parte de la columna de agua, registrándose una mayor influencia del ASSA en Mejillones (23°00'S). Los focos de mínima temperatura, localizados en punta Madrid (19°00'S), Chipana (21°20'S) y Tocopilla (22°10'S), coincidieron con la posición más somera de la isoterma de 15°C (<10 m) y del límite superior de la ZMO (<15 m). El transporte Ekman promedio alcanzó los 682,4, 391,4 y 511,2 m^3/s/km en Arica, Iquique y Mejillones respectivamente, sugiriendo eventos de intensidad moderada. Costa afuera, temperaturas superiores a 20°C y salinidades mayores a 35 ups, revelaron presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) la que se extendió por toda la zona entre las 20 y 40 mn, restringida a los primeros 20 m de profundidad.

El microfitoplancton presentó una abundancia entre 0,1 y 778 cél/mL. Las diatomeas contribuyeron con el 87% al total, con una concentración máxima de 768 cél/mL. Focos mayores a 500 cél/mL se registraron, entre la superficie y los 25 m de profundidad, frente a Arica (18°25'S), punta Junín (19°40'S) y Chipana (21°20'S) entre 1 y 5 mn. Los microflagelados exhibieron un máximo de 46,4 cél/mL en Arica (18°25'S) a 1 mn y a 10 m, y un foco secundario de 42,2 cél/m frente a Tocopilla (22°10'S) a 10 mn y a 5 m de profundidad. Biomasas superiores a 10 µg Cl-a/L fueron coincidentes con las mayores abundancias de las diatomeas, alcanzando un máximo de 24,4 µg Cl-a/L frente a punta Junín (19°40'S) a 25 m de profundidad. La abundancia del zooplancton fluctuó entre 13 y 620 ind/10 m^2. La máxima se registró en punta Junín (19°40'S) a las 10 mn. Hacia el sur se observaron focos frente a Chucumata (20°30'S) (381 ind/10 m^2) a 40 mn, en Chipana (21°20') (346 ind/ 10 m^2) y Tocopilla (22°10'S) (375 ind/ 10 m^2) a 5 mn. El grupo Copepoda

fue dominante con una densidad máxima de 534 ind/10 m^2 y un aporte promedio al total de 81,1%. El rango de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm presentó la mayor abundancia (máxima de 582 ind/10 m^2), a la cual los copépodos aportaron con el 90,1% en promedio. Los huevos y larvas de anchoveta contribuyeron con un 39,1% y un 65,8% respectivamente, a la abundancia total del componente ictioplanctónico. Su distribución se registró asociada principalmente al norte del área, entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), donde los huevos presentaron una densidad máxima de 69.435 huevos/10 m^2 frente a punta Madrid (19°00'S) a 1 mn. Se identificaron larvas en estado yolk-sac, pre-flexión, flexión y post-flexión. Los estados yolk-sac, con una distribución similar a la de los huevos, alcanzaron un máximo de 19.943 larvas/10 m^2 en Chipana (21°20'S) a 1 mn de la costa. En esta misma localidad las larvas en pre-flexión exhibieron un valor máximo de 3.363 larvas/10 m^2, y los estados flexión y post-flexión, distribuidos entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), no superaron las 100 larvas/10 m^2. El análisis de asociación mostró correlaciones positivas entre la abundancia de huevos y de larvas con la abundancia de diatomeas, flagelados y la biomasa fitoplanctónica, y negativas con la temperatura y la profundidad del límite superior de la ZMO.

La primavera de 2020 exhibió diferencias estadísticamente significativas con la salinidad de 2015 y el oxígeno disuelto de 2016, que son los más altos de la serie. El límite superior de la ZMO se profundizó con relación a 2019, los microflagelados disminuyeron en abundancia respecto de 2018 y 2019, y la biomasa fitoplanctónica presentó menores valores en comparación a 2015. Con relación a los estadios tempranos de anchoveta, la densidad de huevos fue inferior a la de 2019 y las larvas se mantuvieron en el rango registrado en durante ese año.

El sistema presentó una condición similar a la observada durante primaveras anteriores, registrándose valores de temperatura superficial del mar (TSM) dentro de los mismos rangos, particularmente en comparación a 2019. En el ámbito regional, entre fines de noviembre y la primera semana de diciembre se registró un debilitamiento de las anomalías negativas que han persistido desde agosto de 2020 en las costas de Sudamérica. Las predicciones de TSM, sugieren valores bajo lo normal para el trimestre diciembre 2020-febrero 2021.

INTRODUCCIÓN

El presente reporte contiene los resultados obtenidos mediante la realización del crucero de primavera de 2020, 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).

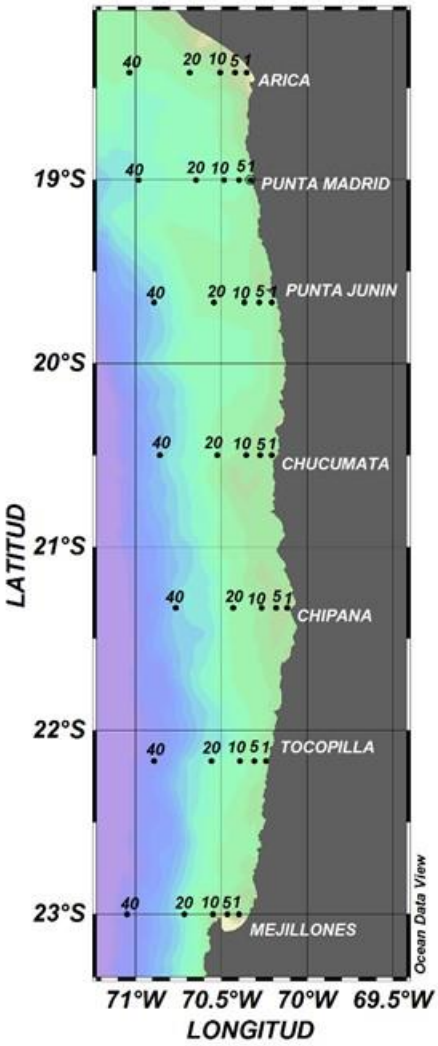

Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo del crucero bio-oceanográfico realizado entre los días 30 de noviembre y 4 de diciembre de 2020.

Muestreo y registro de información

El crucero se llevó a cabo entre los días 30 de noviembre y 4 de diciembre de 2020, a bordo de la embarcación PAM “Angamos 3” 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 60 m y la superficie, utilizando una red WP-2 de 300 µm de abertura de malla equipada con un flujómetro TSK.

La abundancia de fitoplancton se estimó de acuerdo 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 las primaveras de 2014 a 2019. 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 16,1 y 21,3°C. La distribución mostró toda la franja costera (1-5 mn), entre Arica (18°25'S) y Tocopilla (22°10'S), influenciada por aguas con temperaturas inferiores a 18°C, con focos de mínima cercanos a 16°C localizados a 1 mn frente a punta Madrid (19°00'S), Chucumata (20°30'S) y Tocopilla (22°10'S). Entre las 10 y las 40 mn predominaron valores superiores a 19°C, en toda la región, con el máximo de 21,3°C ubicado a 20 mn frente a punta Madrid (19°00'S). En el sector de Mejillones (23°00'S) estas aguas más cálidas (>18°C) se acercaron a la costa, detectándose un foco de 17,7°C a 20 mn producto del foco de afloramiento en punta Angamos (Figura 2A).

En la componente vertical, en todas las secciones se observó la inclinación de las isotermas en la costa (1-5 mn) asociada al afloramiento de agua subsuperficial. Esto fue más evidente en punta Madrid (19°00'S), Chucumata (20°30'S) y Tocopilla (22°10'S) donde se registraron focos de mínima (16°C) en superficie. Hacia las 40 mn las isotermas se profundizaron, registrándose bajo los 50 m valores de temperatura inferiores a 15°C (Figura 3). Lo anterior, quedó evidenciado al observar la distribución de la profundidad de la isoterma de 15°C, la que se localizó a menos de 10 m de profundidad a 1 mn, alcanzando su posición más somera (6,9 m) en punta Madrid (19°00'S). Hacia las 40 mn, si bien se registró a mayores profundidades, éstas alcanzaron un máximo de 55,6 m a 20 mn en Tocopilla (22°10'S), manteniéndose en general alrededor de los 20 y 30 m. En Mejillones (23°00'S) a 20 mn, coincidente con el foco frío (17,7°C), la isoterma de 15°C se detectó a 13,6 m revelando la influencia de la surgencia (Figura 2B).

Salinidad

La salinidad en superficie fluctuó entre 33,81 y 35,21 ups. Asociados a las menores temperaturas (<18°C), valores inferiores a 34,9 ups ocuparon toda la franja entre 1 y 10 mn, con el mínimo de 33,81 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 (35,21 ups) a 40 mn en Tocopilla (22°10'S). Frente a Chucumata (20°30'S), a 20 mn de la costa, se detectó un valor de 34,80 ups el que fue coincidente con una elevación de la isoterma de 15°C (Figura 2C).

Las secciones verticales, evidenciaron la presencia del agua cálida (>19°C) y salina (>35 ups) restringida al estrato superficial (0-20 m) y al sector entre 20 y 40 mn desde Arica (18°25'S) a punta Junín (19°40'S) y en Tocopilla (22°10'S), mientras que los estratos más profundos exhibieron salinidades cercanas e inferiores a 34,9 ups. Esta predominancia de valores menores a 34,9 ups en toda la columna de agua prevaleció desde Chucumata

(20°30'S) al sur, observándose, además, el ingreso desde el sector oceánico de un agua con valores menores a 34,7 ups que penetró hacia la costa alcanzando la superficie. En Mejillones (23°00'S) a 1 mn y a los 40 m de profundidad, se detectó el mínimo de salinidad que alcanzó los 33,17 ups (Figura 4).

Densidad

La densidad (sigma-t) en superficie presentó valores extremos de 24,54 y 25,52. La distribución, coincidente con las variables anteriormente descritas, mostró en la franja entre 1 y 5 mn de la costa, valores superiores a 25 entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S), mientras que en Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S) se mantuvieron cercanos a 24,8. Desde las 10 mn y hacia la zona más oceánica, predominaron densidades inferiores a 24,9 asociadas a las aguas de mayor temperatura y salinidad (>19°C, >35 ups), excepto frente a Mejillones (23°00'S), a 20 mn, donde se registró el foco de ascenso de agua subsuperficial (Figura 2D).

La distribución vertical mostró, entre 1 y 5 mn, densidades menores a 26 restringidas a los primeros 20 m de profundidad producto de la surgencia evidenciada por la inclinación de las isopicnas. Hacia las 40 mn esta capa se profundizó hasta cerca de los 50 m. Bajo este estrato, predominaron valores mayores a 26, registrándose máximos superiores a 26,4 desde los 100 m. En Mejillones (23°00'S), por el contrario, toda la columna de agua entre 1 y 5 mn exhibió bajas densidades (<26), detectándose un mínimo de 24,33 cerca de los 10 m, mientras que hacia las 20 mn, donde se registró el ascenso de aguas subsuperficiales, densidades sobre 26 se detectaron desde los 30 m de profundidad (Figura 5).

Diagramas T-S

Los diagramas T-S confirmaron las condiciones descritas asociadas a las tres masas de agua en 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), además de bajas densidades (<25), se registró entre 20 y 40 mn principalmente entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S). Desde Chucumata (20°30'S) al sur, predominó la mezcla del ASAA con el AESS, especialmente entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), donde se detectó una importante participación del ASAA entre la superficie y los 75 m de profundidad (Figura 6).

Oxígeno Disuelto (OD)

En la componente vertical, las secciones mostraron un estrato oxigenado (>4,0 mL O_2/L) que se extendió entre la costa y las 40 mn y ocupó los primeros 20 m de profundidad. Esta capa exhibió una profundización costa afuera asociada al ascenso de las oxilíneas en la costa (1 mn), lo que condujo a la superficie aguas de bajo contenido de oxígeno (<4,0 mL O_2/L) en Chucumata (20°30'S) y 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). De manera concordante, el límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno (LS_ZMO) se localizó, en la zona costera (1-5 mn), por sobre los 30 m de profundidad entre Arica (18°25'S) y Tocopilla (22°10'S), exhibiendo su posición más somera (9,4 m) frente a Arica (18°250'S) a 1 mn. Hacia las 40 mn se profundizó, alcanzando un máximo de 78,5 m en el sector de Tocopilla (22°10'S) a 20 mn de la costa (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 descendieron durante el muestreo, alcanzando, en promedio, los 371,5 m^3/s/km. Las mayores intensidades se registraron en Arica, observándose máximos superiores a los 2.000 m^3/s/km el 28 de noviembre y 4 de diciembre (Figura 9).

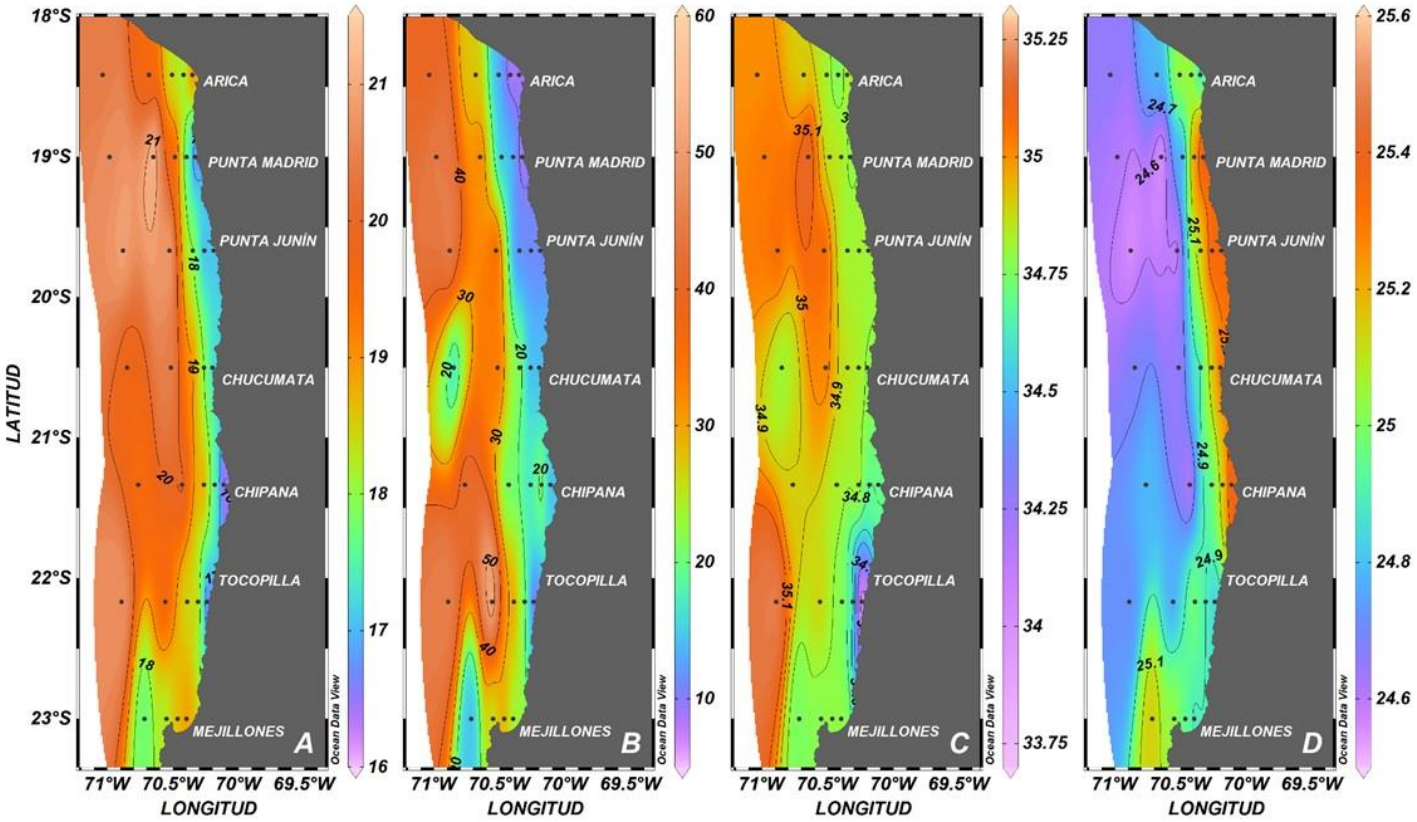

Figura 2. A: distribución superficial de Temperatura (°C), B: profundidad de localización de la isoterma de 15°C (m), C: distribución superficial de Salinidad (ups) y D: distribución superficial de Densidad (σ-t), entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

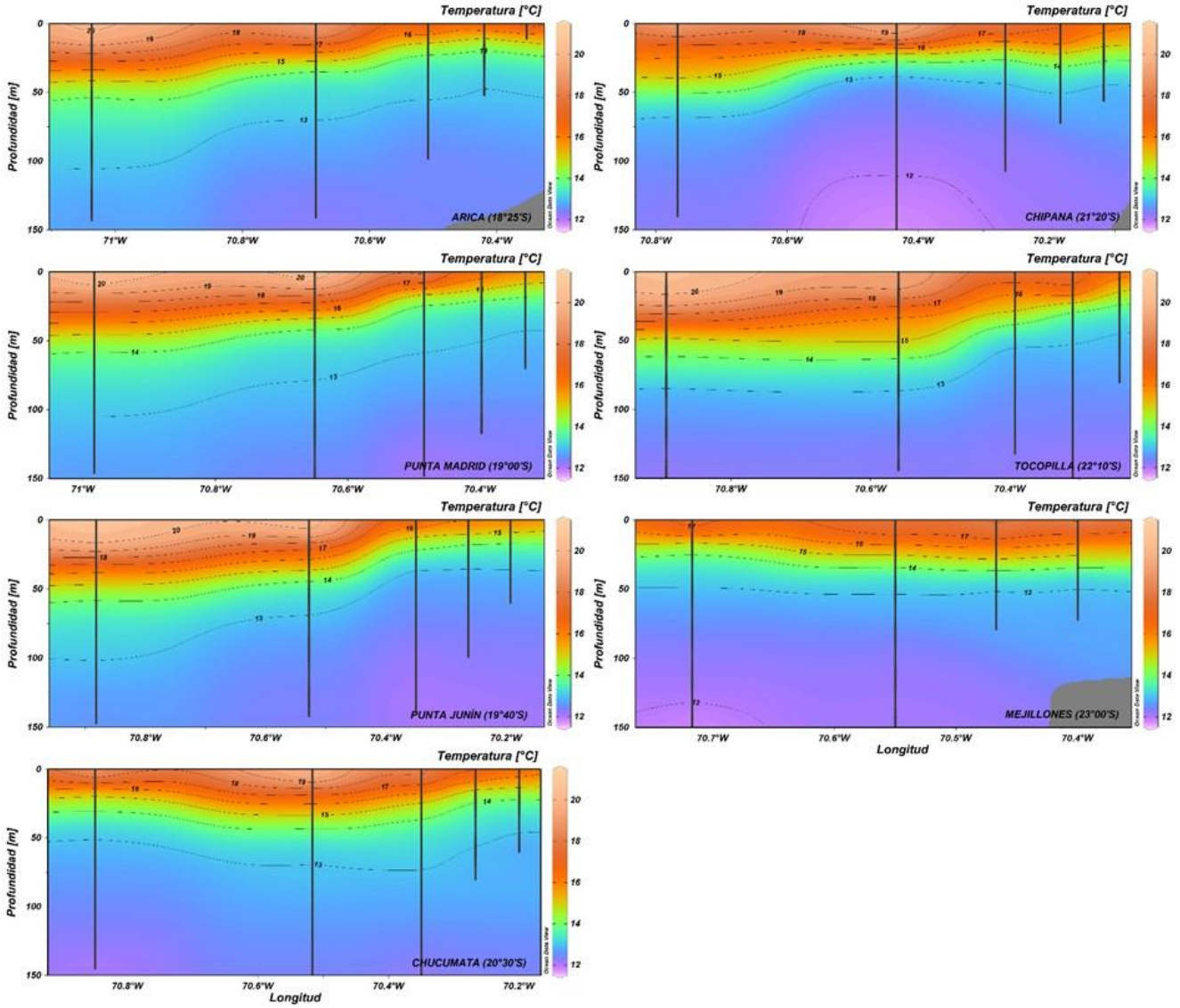

Figura 3. Distribución vertical de Temperatura (°C) entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

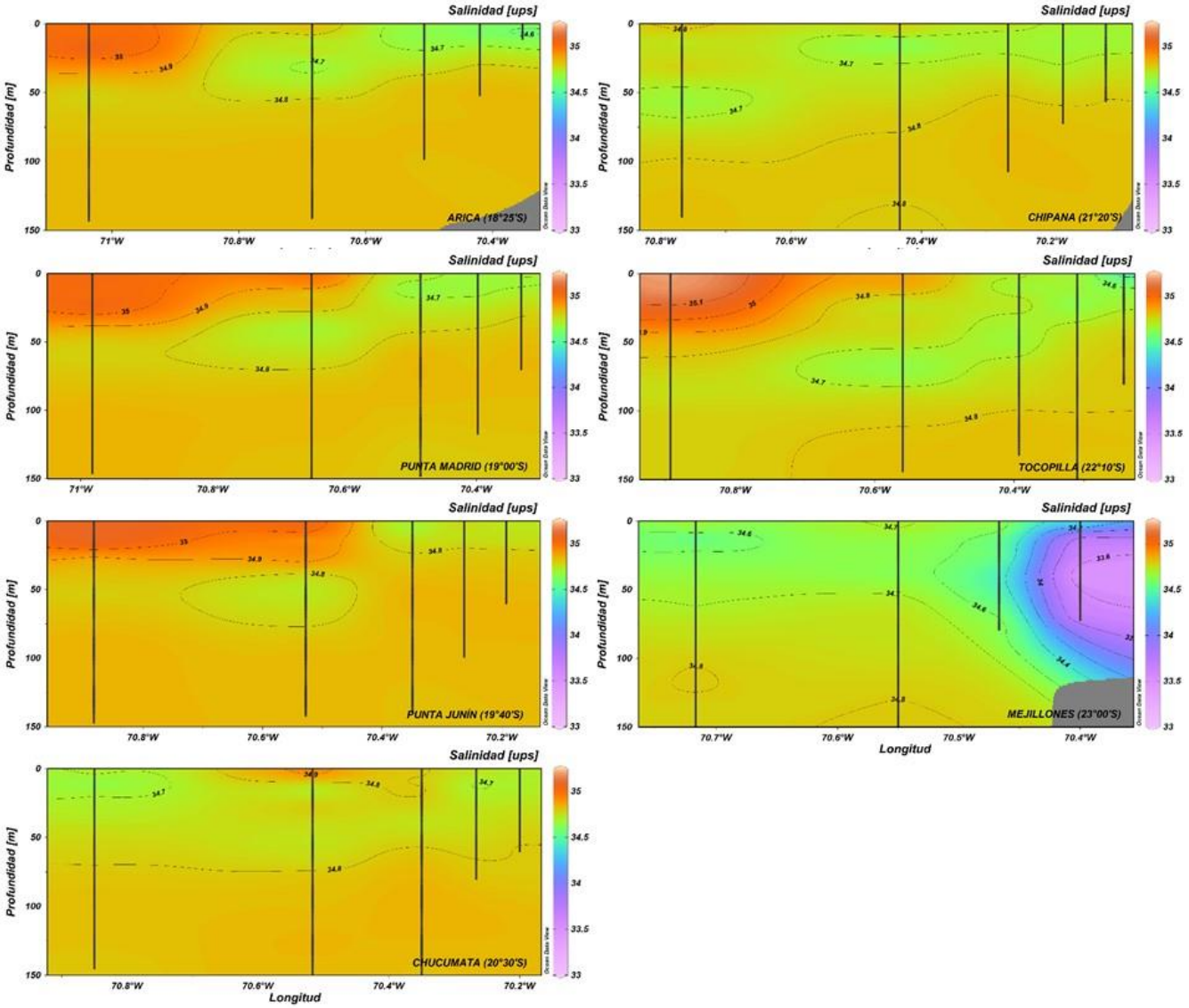

Figura 4. Distribución vertical de Salinidad (ups) entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

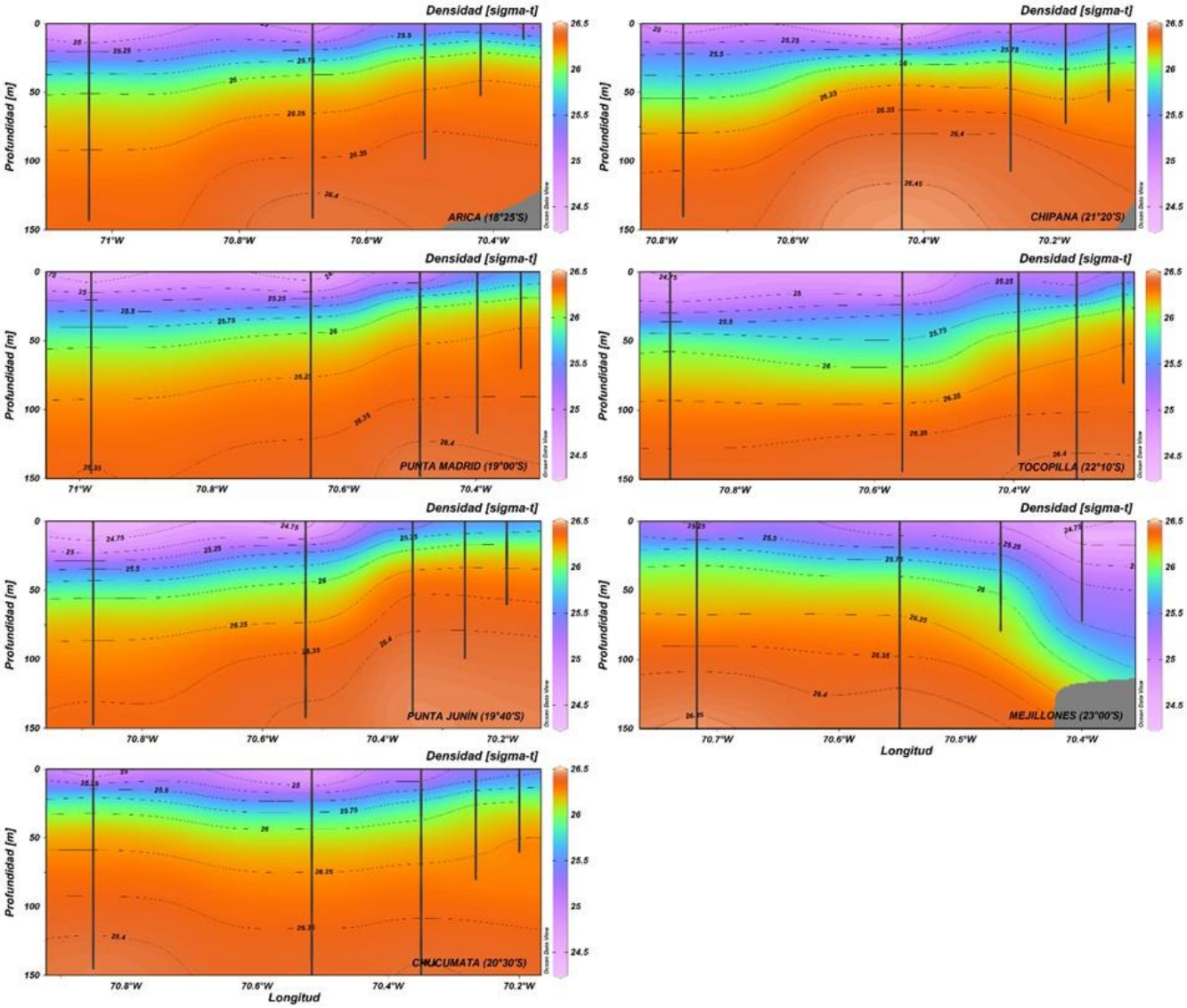

Figura 5. Distribución vertical de Densidad (σ-t) entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

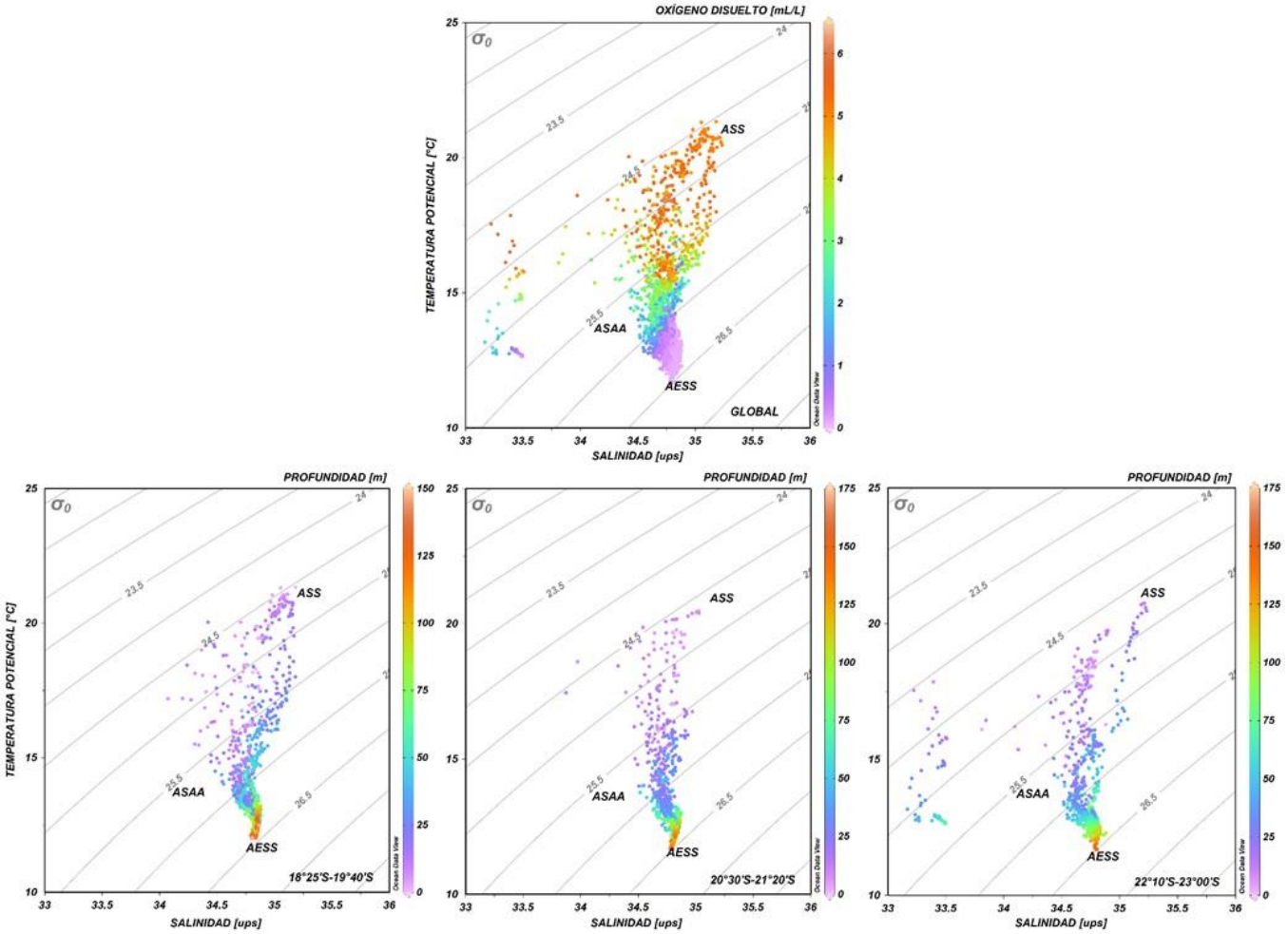

Figura 6. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para toda la zona entre Arica (18°25’S) y Mejillones (23°00’S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25’S-19°40’S, centro: 20°30’S-21°20’S y sur: 22°10’S-23°00’S (panel inferior), entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

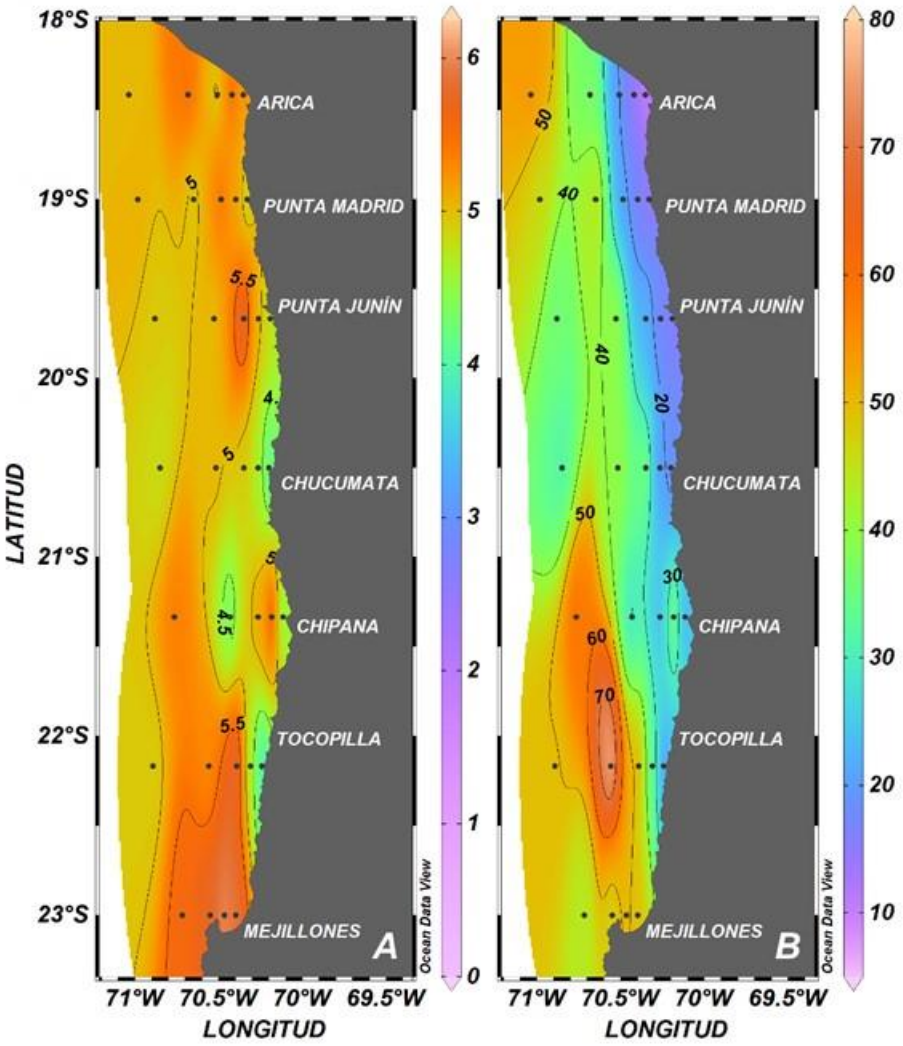

Figura 7. A: Distribución superficial de Oxígeno Disuelto (mL O_2/L) y B: profundidad de localización del LS_ZMO (m) entre los días 30de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

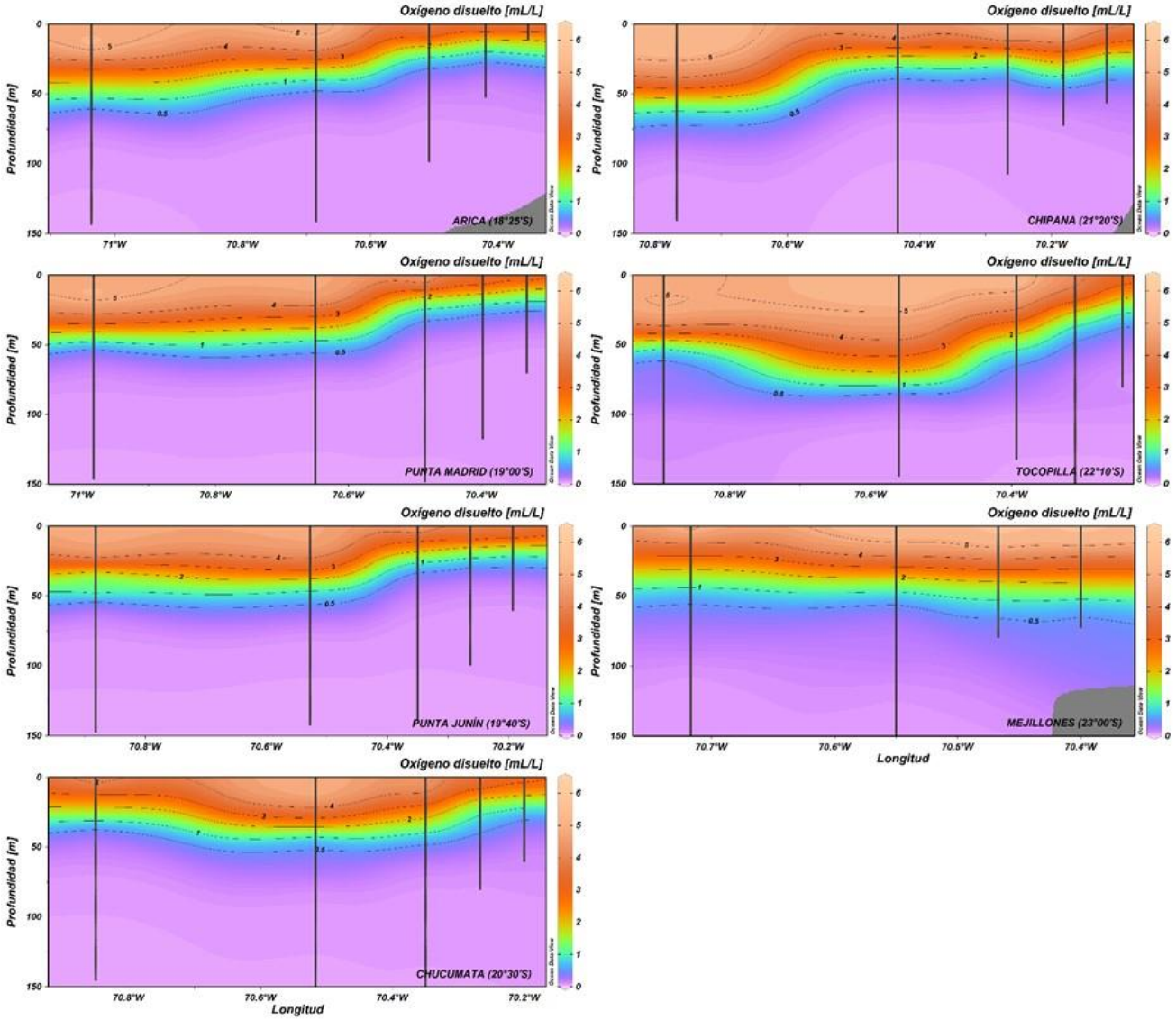

Figura 8. Distribución vertical de Oxígeno Disuelto (mL O_2/L) entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

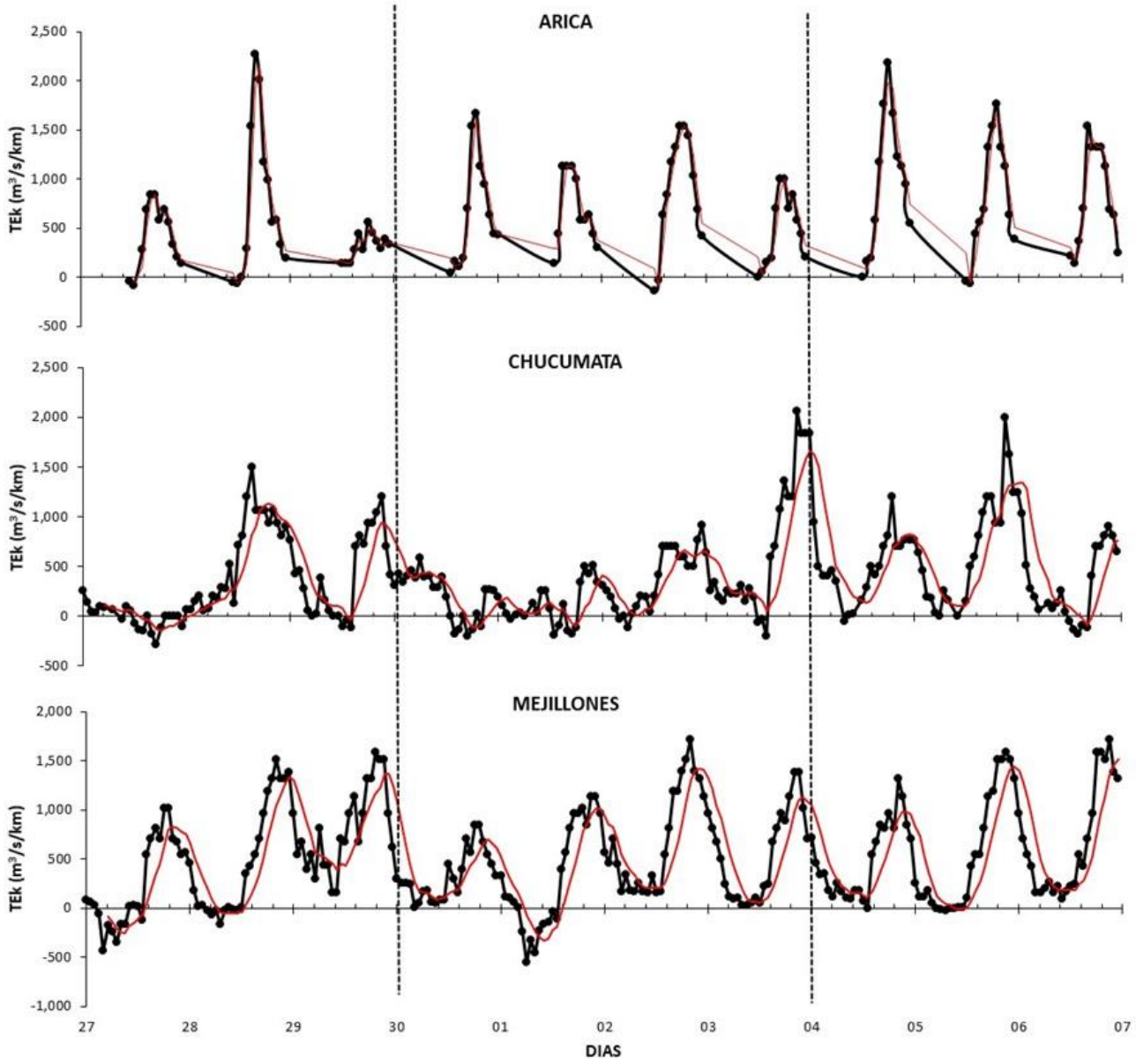

Figura 9. Transporte Ekman diario ($m^3/s/km$) en Arica, Chucumata y Mejillones, entre los días 27 de noviembre y 06 de diciembre de 2020 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).

Estructura de la Comunidad Planctónica

Fitoplancton

Se identificó un total de 89 especies pertenecientes al microfitoplancton. De éstas 47 especies y/o género pertenecieron al grupo de las diatomeas y 42 al grupo de los flagelados. Las mayores abundancias (>100 cél/mL) de las diatomeas se registraron en el género *Chaetoceros* y las especies *Asterionellopsis glacialis*, *Detonula pumila*, *Guinardia delicatula* y *Thalassionema nitzschioides*, entre las que destacó *D. pumila* con un máximo de 564 cél/mL. Entre los flagelados, con abundancias máximas por sobre las 20 cél/mL se encontró el género de formas atecadas *Gyrodinium*, y el dinoflagelado tecado *Prorocentrum gracile*.

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,1 y 778 cél/mL. La concentración celular integrada, entre la superficie y los 25 m de profundidad, mostró la presencia de valores superiores a 200 cél/m^3 en gran parte del margen costero (1-5 mn), los cuales se debieron a la presencia de las diatomeas que aportaron al total con más del 90% (Tabla 1).

Lo anterior se reflejó en la distribución horizontal de la abundancia de las diatomeas, la cual evidenció la presencia de concentraciones superiores a las 200 cél/mL entre Arica (18°25'S) y Tocopilla (22°10'S) y entre la superficie y los 10 m de profundidad. Los focos más importantes se registraron a 5 m de profundidad en Arica (18°25'S), donde el grupo alcanzó un máximo de 768 cél/mL a 5 mn, y en Chipana (20°30'S) localidad que registró 566 cél/mL a 1 mn. En este estrato (0-10 m) pasadas las 10 mn y en el sector de Mejillones (23°00'S), los valores descendieron de las 50 cél/mL. A 25 m se registraron 700 cél/mL frente a punta Junín (19°40'S) y en Mejillones (23°00'S) un máximo de 157,8 cél/mL. A los 50 m predominaron valores inferiores a 5 cél/mL (Figura 10). En la componente vertical se observó la influencia de las diatomeas en todas las localidades, con las máximas (>500 cél/mL) en Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S) ocupando el estrato superficial (0-10 m) y restringidas a las primeras 5 mn de la costa. En punta Junín (19°40'S) se observa el foco localizado a 25 m de profundidad, el cual, además, se extendió hasta 10 mn. En las otras localidades, la columna de agua se encontró ocupada principalmente por abundancias inferiores a 10 cél/mL (Figura 11).

Los flagelados restringieron sus mayores abundancias (>20 cél/mL) a los primeros 10 m de profundidad. El grupo presentó un foco, que se extendió entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), donde exhibió el máximo de 46,4 cél/mL, el que se localizó frente a Arica (18°25'S) a 1 mn y a 10 m de profundidad. Un segundo foco se registró al sur, entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S). Éste se extendió entre 1 y 10 mn, con un máximo de 42,2 cél/mL frente a Tocopilla (22°10'S), a 10 mn y a 10 m de profundidad. En los estratos de 25 m y 50 m predominaron abundancias inferiores a 1 cél/mL (Figura 12). La distribución vertical, se observa la presencia de los dos focos de alta concentración (>40 cél/mL) a los 10 m de profundidad. El primero localizados en Arica (18°25'S), que se restringió a las primeras

5 mn de la costa, y el segundo en Tocopilla (22°10'S) a 10 n de la costa. En las otras localidades la columna de agua se encontró dominada por abundancias inferiores a 1 cél/mL (Figura 13).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,07 y 24,4 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) y punta Junín (19°40'S), distribuidas entre 1 y 5 mn de la costa (Tabla 2).

La distribución horizontal siguió el patrón de ocurrencia de la abundancia de las diatomeas, observándose entre la superficie y los 25 m de profundidad focos superiores a 10,0 µg Cl-a/L en Arica (18°25'S), punta Junín (19°40'S) y Chipana (21°20'S). En Arica (18°25'S) la biomasa alcanzó los 21,8 µg Cl-a/L a 5 m de profundidad y a 5 mn de la costa. La concentración máxima de 24,4 µg Cl-a/L se localizó frente a punta Junín (19°40'S) a 10 mn de la costa y a 25 m de profundidad. En este estrato, siguiendo la presencia de las diatomeas, se registraron también 10,4 µg Cl-a/L frente a Mejillones (23°00'S) a 5 m de profundidad. Otro núcleo de concentraciones superiores a 10 µg Cl-a/L se detectó en Chipana (21°20'S), el cual se mantuvo entre la superficie y los 50 m, exhibiendo un máximo de 13,6 µg Cl-a/L a 1 mn y a los 10 m de profundidad. En el resto del área predominaron biomasas menores a 1,0 µg Cl-a/L (Figura 14).

La distribución vertical evidenció la influencia de la señal pigmentaria de las diatomeas, con los núcleos más importantes en Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), y de manera secundaria en Chipana (21°20'S), pero en esta localidad ocupando hasta los 50 m de profundidad. Las secciones verticales muestran, además, una columna de agua ocupada preferentemente por valores inferiores a 1,0 µg Cl-a/L (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 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020. 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	215,4	197,1	18,3	91,5	8,5
	5	316,8	313,6	3,2	99,0	1,0
	10	72,7	70,2	2,5	96,5	3,5
	20	30,6	30,2	0,4	98,7	1,3
punta Madrid (19°00'S)	1	200,0	197,2	2,8	98,6	1,4
	5	14,6	14,2	0,4	97,2	2,8
	10	0,4	0,3	0,1	85,9	14,1
	20	20,9	20,7	0,2	99,0	1,0
punta Junín (19°40’S)	1	240,6	233,4	7,3	97,0	3,0
	5	514,9	512,4	2,4	99,5	0,5
	10	170,5	166,8	3,8	97,8	2,2
	20	5,3	5,1	0,2	96,7	3,3
Chucumata (20°30'S)	1	85,4	84,9	0,6	99,3	0,7
	5	6,4	6,1	0,3	94,6	5,4
	10	0,8	0,6	0,2	73,1	26,9
	20	2,8	2,6	0,1	94,9	5,1
Chipana (21°20'S)	1	345,9	344,4	1,6	99,5	0,5
	5	269,0	267,7	1,3	99,5	0,5
	10	1,9	1,7	0,2	87,9	12,1
	20	0,8	0,1	0,7	11,0	89,0
Tocopilla (22°10'S)	1	0,7	0,3	0,4	42,8	57,2
	5	2,6	1,6	1,1	59,4	40,6
	10	109,9	88,4	21,5	80,4	19,6
	20	1,0	0,6	0,4	60,4	39,6
Mejillones (23°00'S)	1	33,6	27,5	6,1	81,8	18,2
	5	94,2	93,0	1,3	98,7	1,3
	10	43,4	41,0	2,4	94,4	5,6
	20	30,5	29,2	1,3	95,8	4,2

Tabla 2. Biomasa fitoplanctónica integrada (µg Cl-a/m^3) entre la superficie y los 25 m de profundidad, entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	BF (µg Cl-a/m^3)
Arica (18°25'S)	1	3,5
	5	12,7
	10	1,2
	20	0,8
punta Madrid (19°00'S)	1	7,1
	5	1,0
	10	1,4
	20	0,4
punta Junín (19°40'S)	1	6,8
	5	12,2
	10	9,3
	20	0,3
Chucumata (20°30'S)	1	2,0
	5	1,0
	10	0,4
	20	0,4
Chipana (21°20'S)	1	7,6
	5	5,5
	10	0,4
	20	0,4
Tocopilla (22°10'S)	1	1,2
	5	0,6
	10	0,8
	20	0,3
Mejillones (23°00'S)	1	1,2
	5	3,9
	10	1,8
	20	1,7

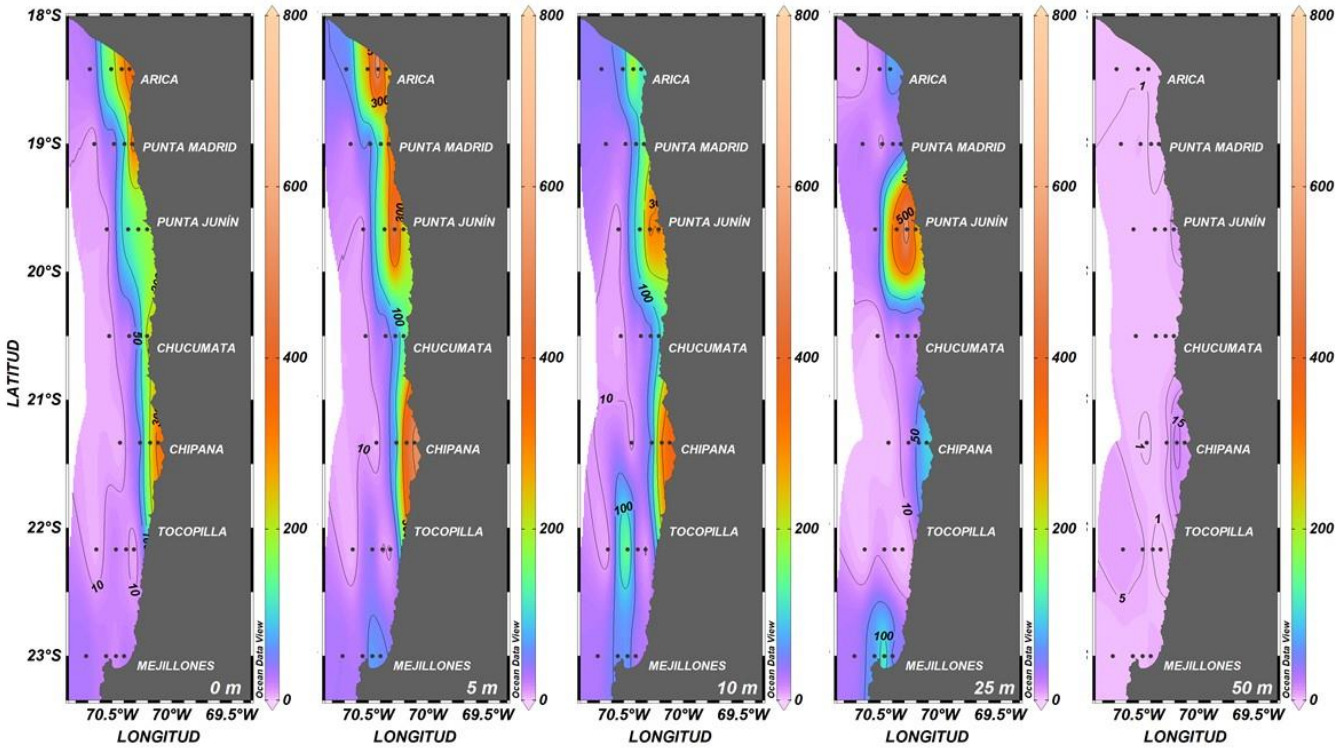

Figura 10. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

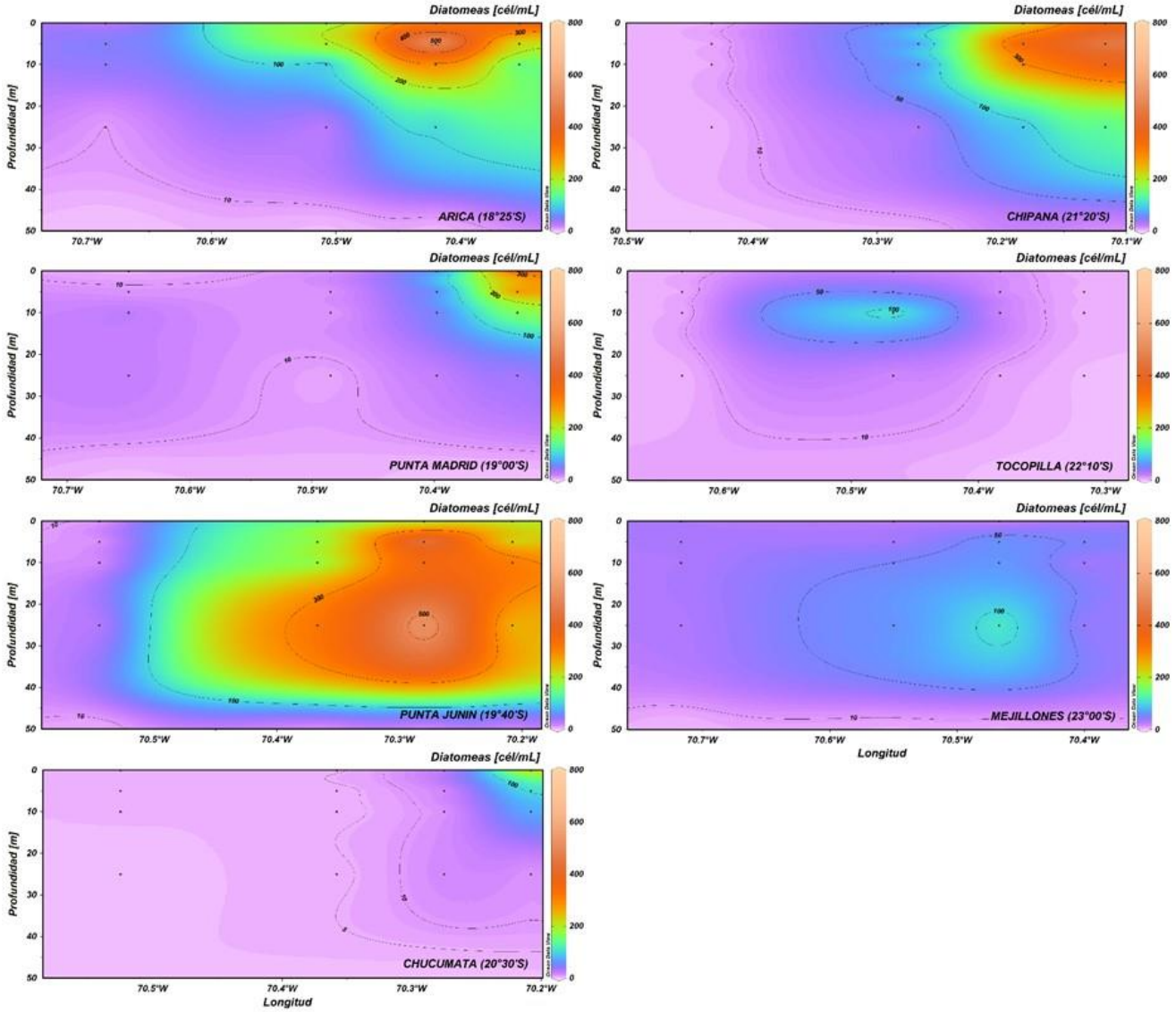

Figura 11. Distribución vertical de la abundancia (cél/mL) de diatomeas entre los días 30 de noviembre y 04 diciembre de 2020.

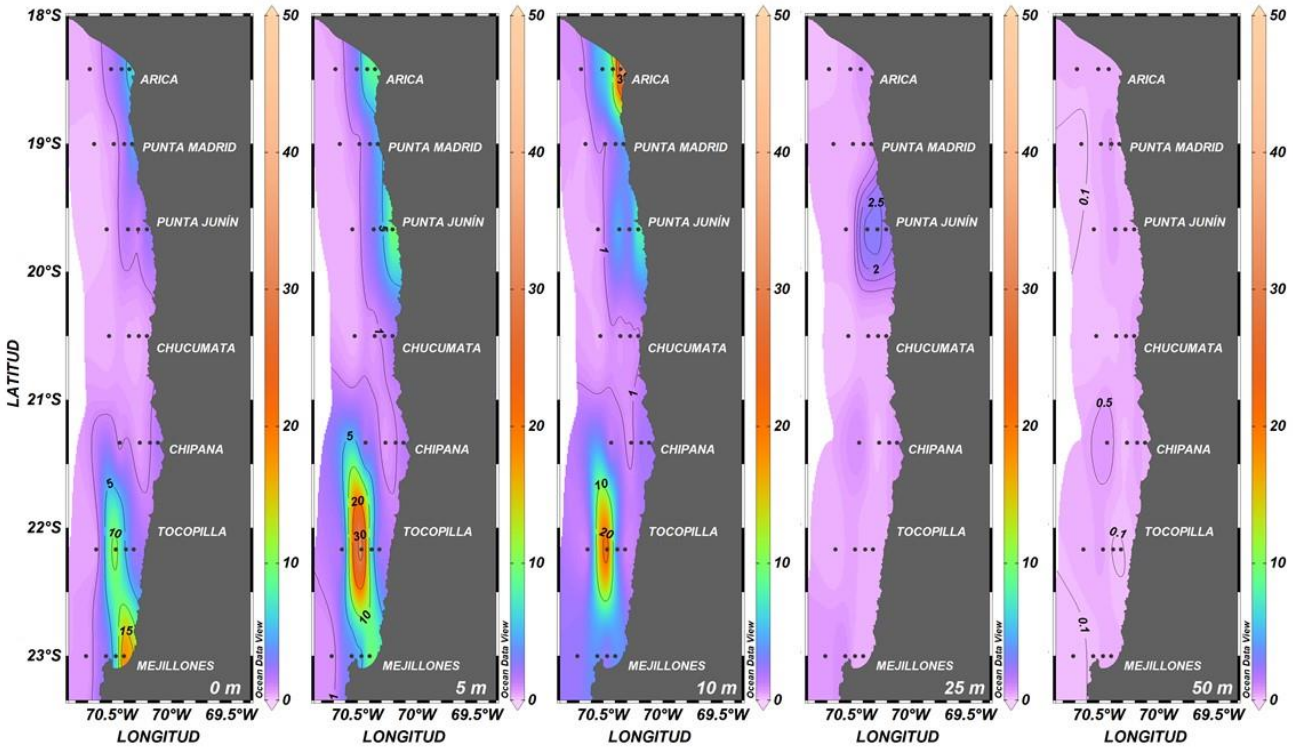

Figura 12. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

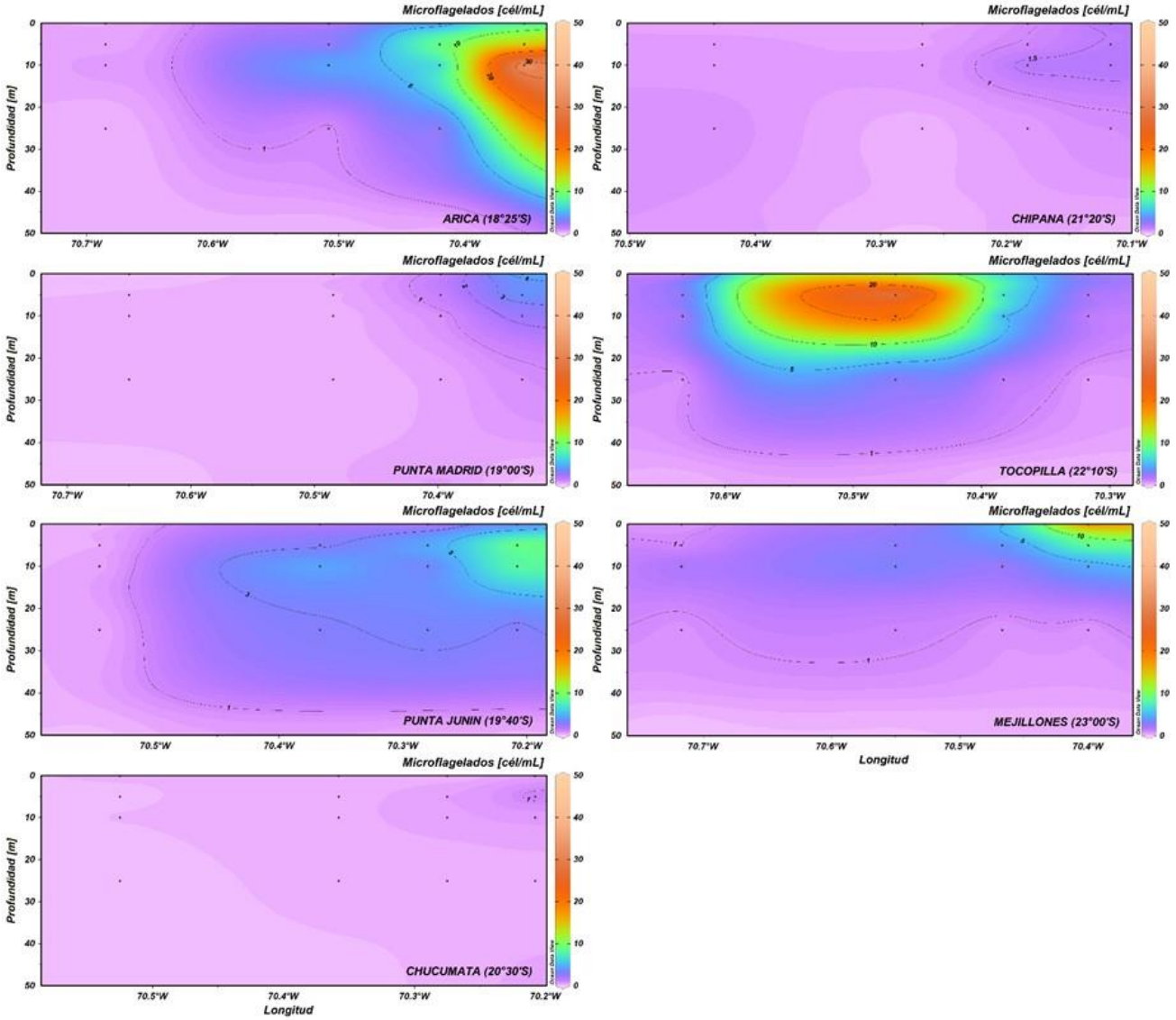

Figura 13. Distribución vertical de la abundancia (cél/mL) de microflagelados entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

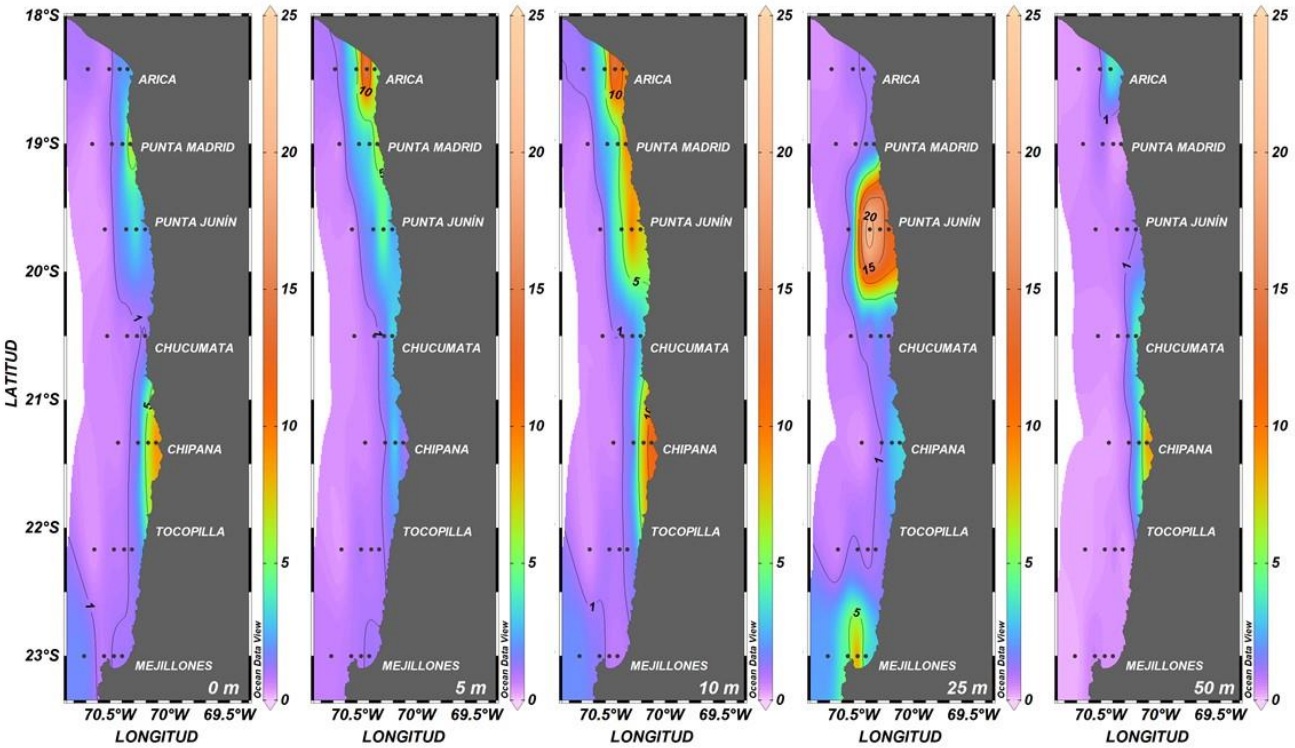

Figura 14. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

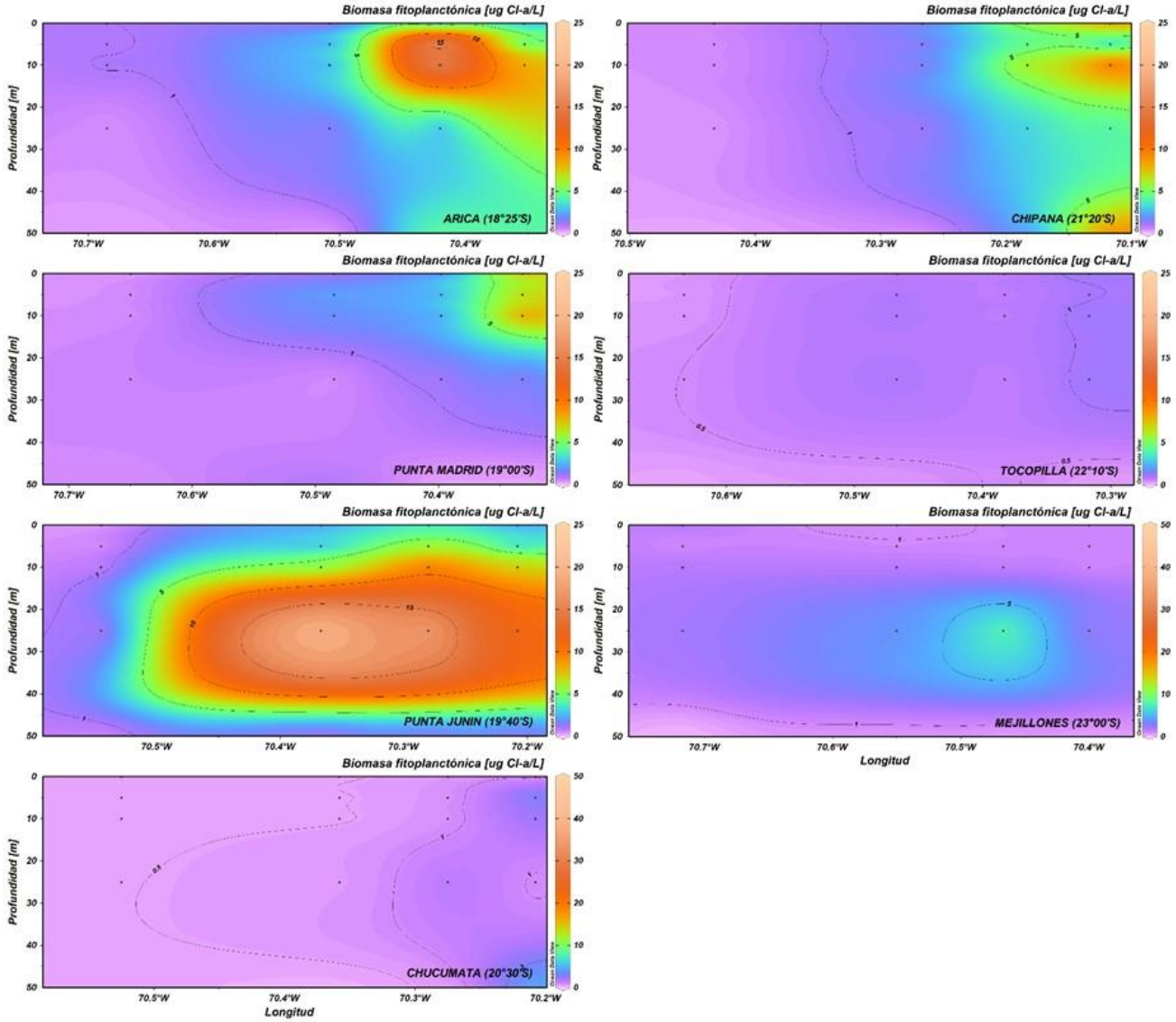

Figura 15. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

Zooplancton

La abundancia total del zooplancton fluctuó entre 13 y 620 ind/10 m^2, registrándose valores superiores a 100 ind/10 m^2 en todas las localidades distribuidos principalmente entre las 10 y 40 mn (Tabla 3).

Se identificó un total de 13 grupos, de los cuales Copepoda exhibió las mayores abundancias con un máximo de 534 ind/10 m^2, lo que fue equivalente a un aporte al total que superó, en promedio, al 80%. Otro grupo que destacó, pero con concentraciones un orden de magnitud inferior fue el de los sifonóforos, con un máximo de 53 ind/10 m^2. Los otros grupos, en conjunto, escasamente superaron los 30 ind/10 m^2 (Tabla 4).

En relación con los tamaños, se registraron individuos entre 0,25 y 9,75 mm. El rango 0,25-0,75 mm exhibió las mayores abundancias, las que fluctuaron entre 12 y 582 ind/10 m^2, lo que se tradujo en un aporte promedio al total de 87,8%. El grupo con el mayor número de representantes en esta fracción fue Copepoda, la que contribuyó con aportes que variaron entre el 88,6 y 97,9% (Tabla 5).

En relación con la distribución, el zooplancton el núcleo principal de 620 ind/10 m^2 frente a punta Junín (19°40'S), a las 10 mn. Hacia el sur se registraron tres núcleos con valores superiores a 300 ind/10 m^2. El primero, de 381 ind/10 m^2, se localizó a 40 mn frente a Chucumata (20°30'S), y los otros dos detectaron a 5 mn en Chipana (21°20') y Tocopilla (22°10'S), los que alcanzaron los 346 y 375 ind/ 10 m^2 respectivamente. Una predominancia de densidades inferiores a 100 ind/10 m^2 se observó entre Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S), y cercanos a 200 ind/10 m^2 en Mejillones (23°00'S) (Figura 16A).

El grupo Copepoda, dado el aporte a las densidades totales, exhibió la misma distribución. Este grupo presentó el máximo (543 ind/10 m^2) en punta Junín (19°40'S) a 10 mn, y mantuvo concentraciones entre los 200 y 300 ind/10 m^2 en los focos de Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20') y Tocopilla (22°10'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 el mismo patrón, con el foco principal a 10 mn en punta Junín (19°40'S) que tuvo magnitudes de 582 y 527 ind/10 m^2 respectivamente, y focos secundarios hacia el sur que se mantuvieron alrededor de los 300 ind/10 m^2 (Figura 17A y 17B).

Tabla 3. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m^2)
Arica (18°25'S)	1	13,0
	5	30,8
	10	160,4
	20	97,9
	40	120,2
punta Madrid (19°00'S)	1	86,8
	5	67,6
	10	103,8
	20	59,5
	40	122,1
punta Junín (19°40'S)	1	93,8
	5	98,2
	10	619,8
	20	276,1
	40	224,3
Chucumata (20°30'S)	1	82,7
	5	71,1
	10	127,1
	20	93,0
	40	381,0
Chipana (21°20'S)	1	167,3
	5	346,4
	10	92,5
	20	235,6
	40	70,3
Tocopilla (22°10'S)	1	95,5
	5	375,0
	10	165,2
	20	233,4
	40	120,9
Mejillones (23°00'S)	1	107,0
	5	143,1
	10	128,7
	20	188,3

Tabla 4. Abundancia (ind/10 m^2) de Copepoda (COPEP), Siphonophorae (SIPHO) y de otros grupos zooplanctónicos (OG), y aporte porcentual de Copepoda (AP-COP) (%), entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	COPEP (ind/10 m^2)	SIPHO (ind/10 m^2)	OG (ind/10 m^2)	AP-COP (%)
Arica (18°25'S)	1	10,5	0,3	2,2	81,3
	5	26,9	0,7	3,1	87,5
	10	142,7	5,2	12,6	88,9
	20	78,0	4,5	15,4	79,7
	40	95,1	6,9	18,2	79,1
punta Madrid (19°00'S)	1	80,2	1,2	5,4	92,4
	5	52,2	4,9	10,6	77,1
	10	82,6	8,2	13,0	79,6
	20	45,3	3,9	10,3	76,1
	40	96,9	7,7	17,4	79,4
punta Junín (19°40’S)	1	85,7	1,3	6,8	91,4
	5	94,4	0,5	3,4	96,1
	10	534,2	18,9	66,8	86,2
	20	229,0	11,9	35,1	83,0
	40	181,6	15,0	27,7	81,0
Chucumata (20°30'S)	1	66,4	3,2	13,2	80,2
	5	59,7	2,6	8,7	84,0
	10	96,7	11,6	18,9	76,0
	20	81,8	3,6	7,5	88,0
	40	314,5	33,3	33,3	82,5
Chipana (21°20'S)	1	152,9	3,0	11,4	91,4
	5	239,3	33,4	73,7	69,1
	10	59,0	15,1	18,4	63,8
	20	173,9	23,7	38,1	73,8
	40	57,3	4,0	8,9	81,6
Tocopilla (22°10'S)	1	78,7	6,6	10,2	82,4
	5	279,7	51,3	44,0	74,6
	10	137,7	7,2	20,3	83,3
	20	177,3	15,3	40,8	76,0
	40	94,0	7,6	19,3	77,8
Mejillones (23°00'S)	1	90,9	9,5	6,6	85,0
	5	101,2	16,4	25,5	70,7
	10	103,5	11,1	14,0	80,4
	20	145,0	16,8	26,5	77,0

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 07 y 11 de septiembre de 2020. 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	3,25-9,75	
Arica (18°25'S)	1	11,9	1,1			88,6
	5	28,3	1,2	0,5		92,4
	10	149,9	7,4	1,6	0,9	93,1
	20	90,4	6,5	0,0	0,5	84,6
	40	105,9	11,7	1,7	0,4	87,8
punta Madrid (19°00'S)	1	84,7	0,7	0,7		93,9
	5	59,7	5,3	1,1	1,5	84,8
	10	87,9	11,1	1,4	1,9	85,8
	20	51,3	5,5	1,1	1,4	86,5
	40	106,7	12,3	2,6	0,5	89,4
punta Junín (19°40'S)	1	89,1	2,1	0,8		93,3
	5	95,7	0,9	0,0	0,5	96,9
	10	582,0	29,0	3,8	3,8	90,5
	20	241,6	20,1	10,7	1,3	91,2
	40	190,5	25,3	4,2	2,8	90,9
Chucumata (20°30'S)	1	70,9	7,3	2,3	1,8	89,1
	5	61,5	7,0	1,3	0,9	92,2
	10	103,9	14,0	5,3	3,4	89,3
	20	85,5	5,5	1,8	0,2	93,9
	40	332,0	18,5	5,5	21,3	92,2
Chipana (21°20'S)	1	157,6	6,5	0,8	0,5	94,8
	5	286,6	27,8	15,3	16,7	79,6
	10	75,5	10,4	4,2	1,9	77,5
	20	196,5	10,3	6,2	19,5	86,4
	40	62,2	5,2	1,1	1,1	89,4
Tocopilla (22°10'S)	1	82,8	6,1	1,0	3,6	90,8
	5	287,0	63,5	1,2	22,0	92,3
	10	143,6	15,1	2,6	3,3	92,7
	20	187,5	33,6	9,2	1,0	91,8
	40	103,9	11,1	4,7	1,2	89,3
Mejillones (23°00'S)	1	89,9	6,6	5,2	4,3	97,9
	5	109,4	12,8	11,9	7,3	88,3
	10	104,3	9,9	5,8	6,2	94,5
	20	152,0	15,9	7,1	9,7	91,3

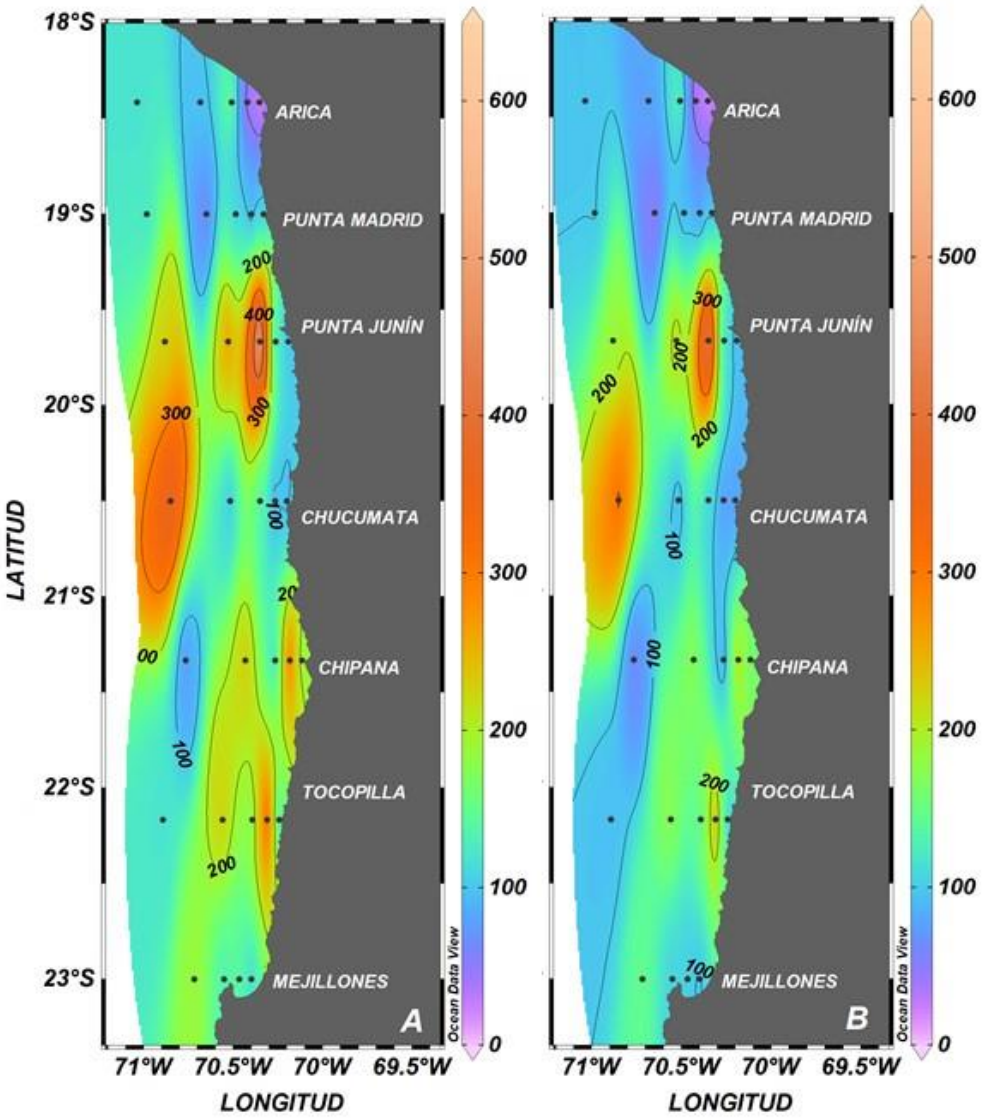

Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda, entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

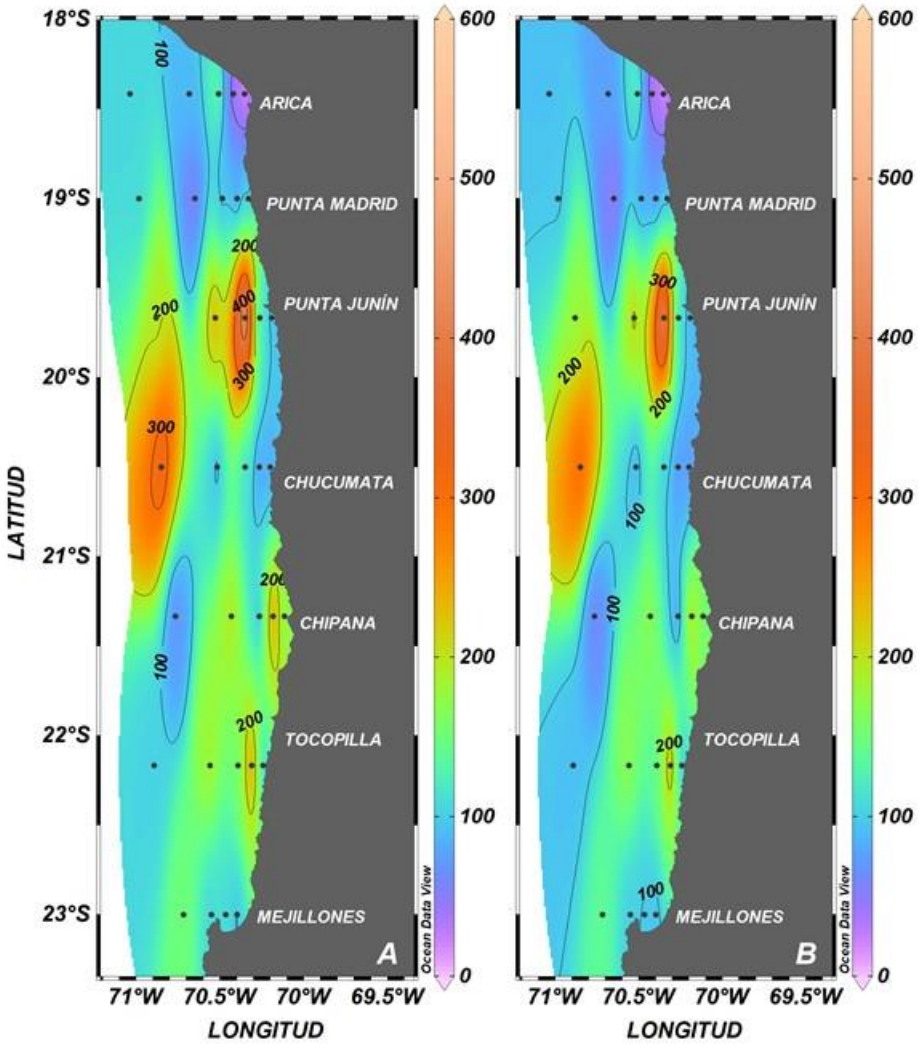

Figura 17. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda pertenecientes al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

Ictioplancton

En el análisis del componente ictioplanctónico, permitió identificar un total de 239.524 huevos/10 m^2 y 65.262 larvas/10 m^2. Los estadios tempranos de *Engraulis ringens* aportaron a estos totales con un 39,1% y un 65,8% respectivamente. Las larvas se encontraron en los estados yolk-sac, pre-flexión, flexión y post-flexión, con una abundancia total de 42.943 larvas/10 m^2 (Tabla 6), al que las larvas yolk-sac aportaron con un 88,2%.

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 en el sector norte del área, entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), exhibiendo un máximo de 69.435 a 1 mn frente a punta Madrid (19°00'S). Un foco secundario de 9.735 huevos/10 m^2 se observó en Chipana (21°20'S) a 1 mn. Hacia el sur estuvieron prácticamente ausentes (Figura 19-panel izquierdo). Las larvas de *Engraulis ringens* en estado yolk-sac mantuvieron la misma distribución, exhibiendo densidades superiores a 4.000 larvas/m^2 en Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S), y un máximo de 19.943 larvas/10 m^2 frente a Chipana (21°20'S) a 1 mn (Figura 19-panel derecho).

Las larvas en estado pre-flexión escasamente superaron las 500 larvas/10 m^2. Su principal distribución estuvo en el sector sur del área, alcanzando un máximo de 3.363 larvas/10 m^2 coincidente con la mayor densidad del estado yolk-sac (Figura 20-panel izquierdo). Las larvas en flexión y post-flexión se localizaron en Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), y presentaron, en conjunto, un máximo de 94 larvas/10 m^2 a 1 mn en Tocopilla (22°10'S) (Figura 20-panel derecho).

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 84.322 huevos/10 m^2 que se localizó frente a Chucumata (20°30'S) a 20 mn de la costa (Figura 21-panel izquierdo), y las larvas presentaron una densidad máxima de 4.620 larvas/10 m^2 en punta Madrid (19°00'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 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020. 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).

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	415	104				148		563	104
	5	9.185	4.692				67	33	9251	4.726
	10	36	71	285			71	142	107	498
	20						1.321	580	1.321	580
	40						480	3.400	480	3.400
punta Madrid (19°00'S)	1	69.435	5.215				1.295		70.730	5.215
	5	399		72			36	36	435	109
	10		67				33	33	33	100
	20						348	1.323	348	1.323
	40			31			156	4.620	156	4.651
punta Junín (19°40'S)	1	3.473	113					38	3.473	151
	5	527	176					35	527	211
	10	203		76					203	76
	20						178	2.878	178	2.878
	40						28.806	2.182	28.806	2.182
Chucumata (20°30'S)	1	35						35	35	35
	5							257		257
	10						99	1.027	99	1.027
	20						84.322	246	84.322	246
	40						277		277	
Chipana (21°20'S)	1	9.735	19.943	3.363			590	531	10.325	23.837
	5	69	7.369	138			574	758	643	8.265
	10							203	0	203
	20						3.893	125	3.893	125
	40						56	279	56	279
Tocopilla (22°10'S)	1				63	31	31	31	31	126
	5						262	340	262	340
	10						195	585	195	585
	20							346	0	346
	40						21.024	1.752	21.024	1.752
Mejillones (23°00'S)	1		34	304			270	101	270	440
	5		105	246	35		492	105	492	492
	10			155			698	116	698	271
	20	72		253			217	181	289	434
	40	415	104				148		563	104
TOTAL		93.584	37.889	4.924	98	31	145.940	22.319	239.524	65.262
AP (%)		39,1	58,1	7,5	0,2	0,05	60,9	34,2		

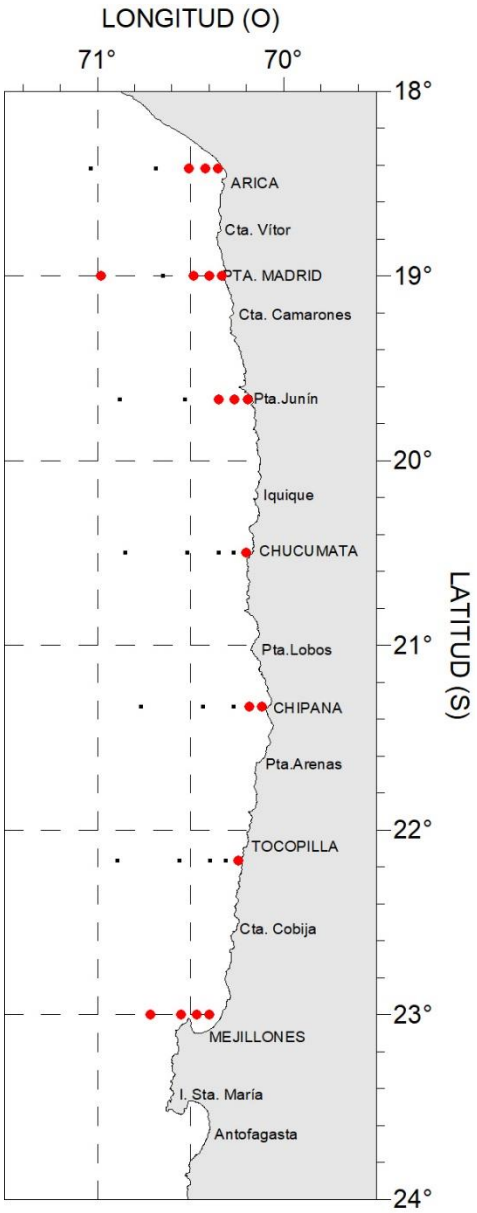

Figura 18. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

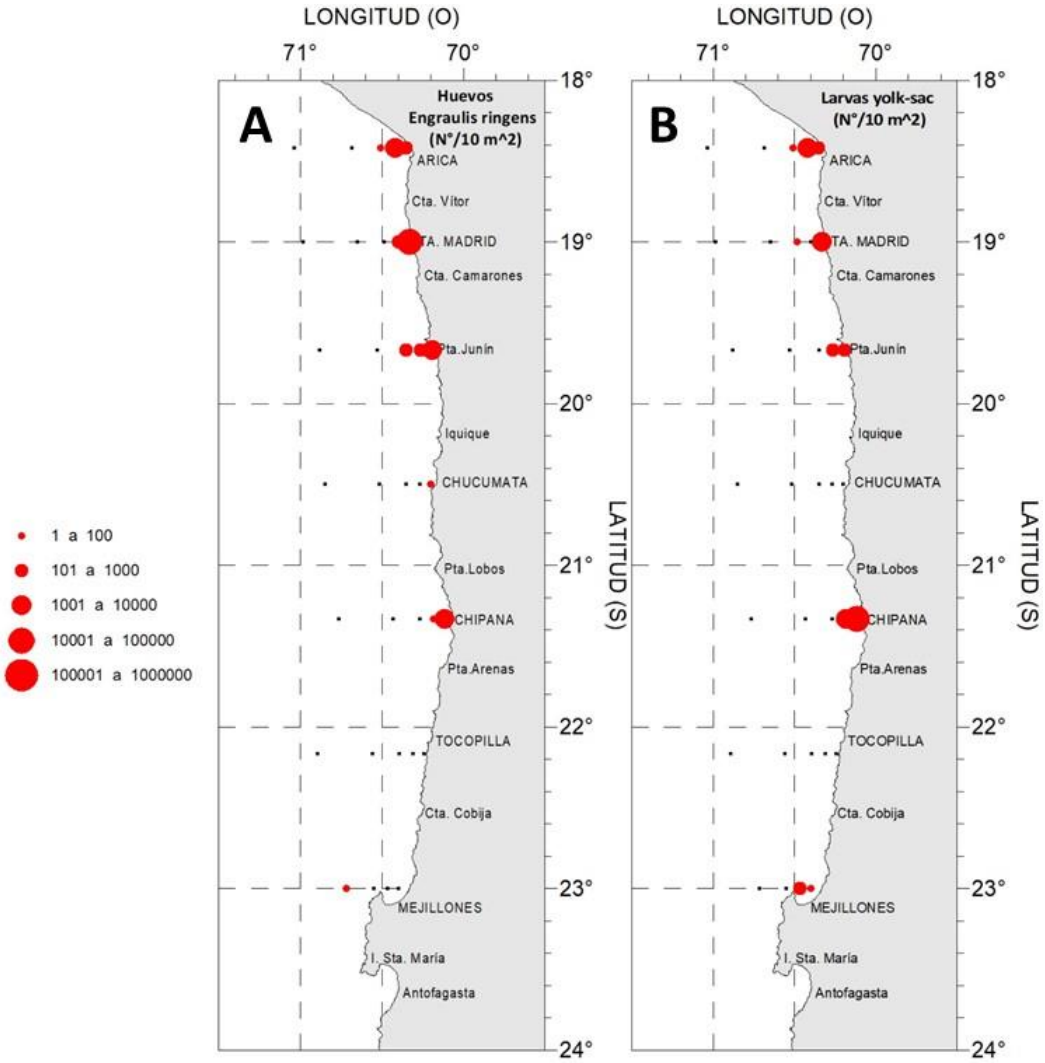

Figura 19. Distribución de la abundancia de huevos (N°/10 m^2) (panel izquierdo) y de larvas en estado yolk-sac (panel derecho) de *Engraulis ringens* entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

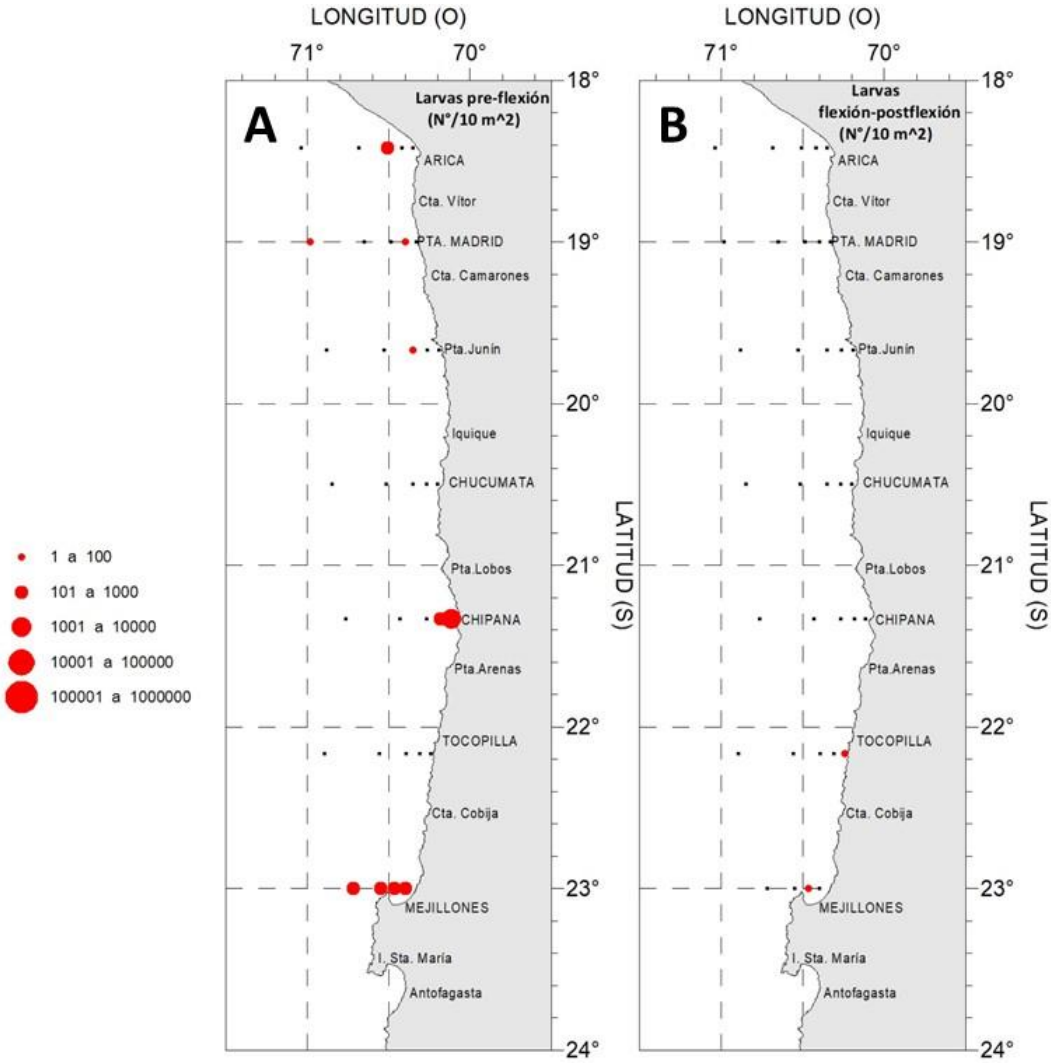

Figura 20. Distribución de la abundancia de larvas (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* en estado pre-flexión (panel izquierdo) y flexión más post-flexión (panel derecho) entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

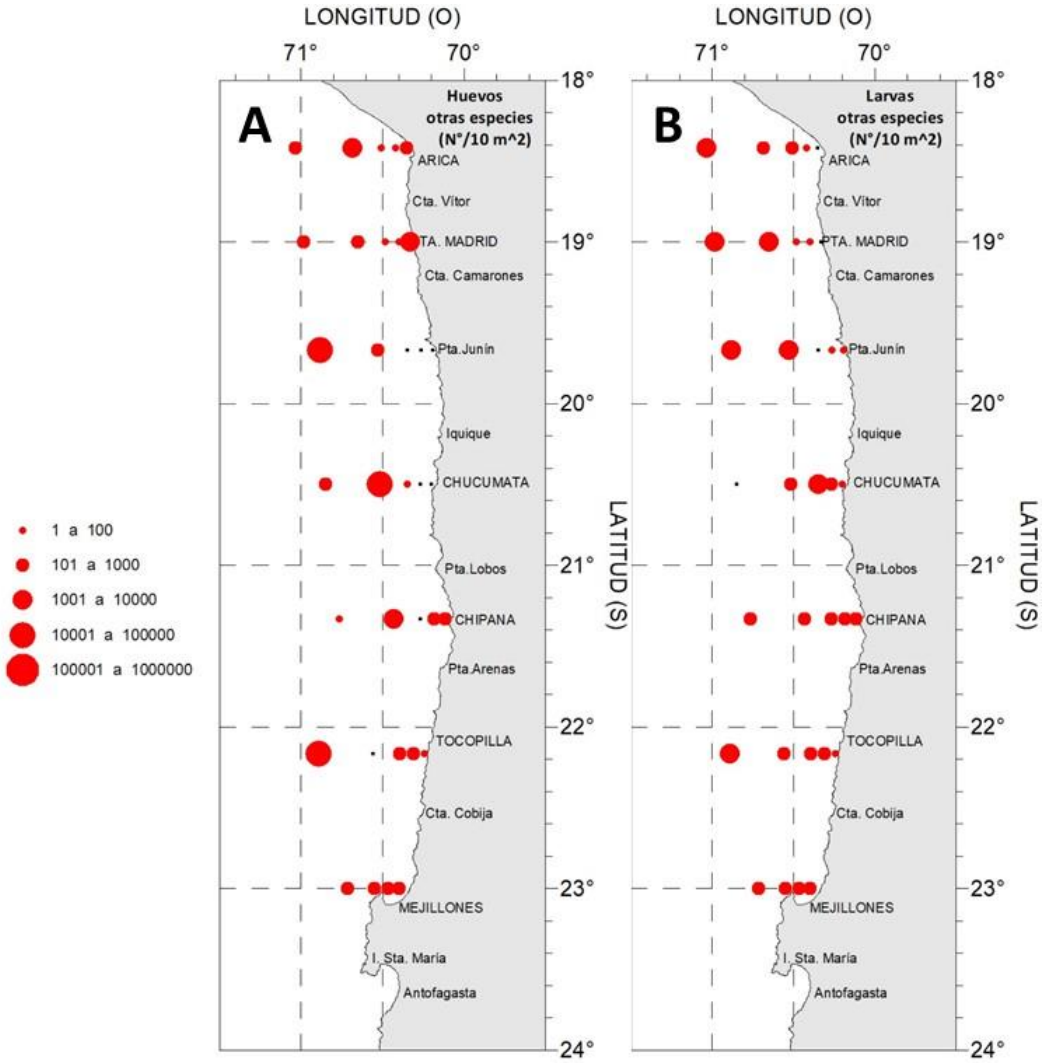

Figura 21. Distribución horizontal de la abundancia (N°/10 m^2) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

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 ($r=-0,648$, $p<0,001$) (Figura 22) y profundidad del límite superior de la ZMO ($r=-0,624$, $p<0,001$) (Figura 23). La correlación con el componente biológico resultó positiva con la biomasa fitoplanctónica ($r=0,820$, $p<0,001$) (Figura 23), la abundancia de diatomeas ($r=0,723$, $p<0,001$) y abundancia de nanoflagelados ($r=0,591$, $p<0,001$) (Figura 24).

En cuanto a la abundancia de las larvas, ésta se correlacionó de manera negativa con la temperatura ($r=-0,615$, $p<0,001$) (Figura 25) y profundidad del límite superior de la ZMO ($r=-0,476$, $p<0,05$), y de manera positiva con las variables biológicas biomasa fitoplanctónica ($r=0,796$, $p<0,001$) (Figura 26), abundancia de diatomeas ($r=0,724$, $p<0,001$) y de nanoflagelados ($r=0,526$, $p<0,01$) (Figura 27).

Respecto del análisis comparativo, todas las variables registradas durante las primaveras de 2014 a 2020, exhibieron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 7).

Poniendo énfasis en la primavera de 2020, la temperatura no evidenció diferencias con ningún periodo anterior y tampoco la profundidad de la capa de mezcla. La salinidad exhibió menores valores en comparación a 2015. La concentración de oxígeno disuelto descendió respecto de 2016, y la profundidad de localización del límite superior de la ZMO fue mayor con relación a 2019 (Tabla 8, Figura 28).

Dentro del componente biológico, la abundancia de las diatomeas y de los nanoflagelados registradas esta primavera no mostraron diferencias con los años anteriores. Los microflagelados disminuyeron respecto de 2018 y 2019, y la biomasa fitoplanctónica presentó menores valores en comparación a 2015 (Tabla 9, Figura 29). Entre los estadios tempranos de anchoveta, la densidad de huevos de 2020 resultó inferior a la de 2019 (Tabla 9, Figura 30). Para las larvas, la prueba de comparación múltiple de rangos no identificó diferencias entre los periodos, sin embargo, el gráfico de cajas y bigotes muestra que durante la primavera de 2020 las densidades se mantuvieron dentro del rango registrado en 2019 (Figura 30).

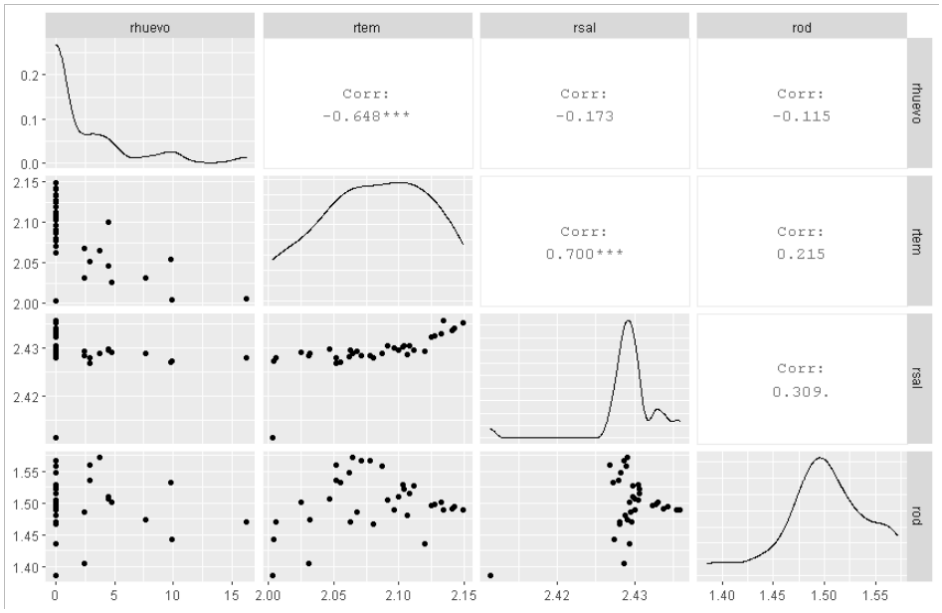

Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de huevos de anchoveta (rhuevo) (N°/10 m^2) y de temperatura (rtem) (°C), salinidad (rsal) (ups) y oxígeno disuelto (rod) (mL O_2/L) registrada entre el 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

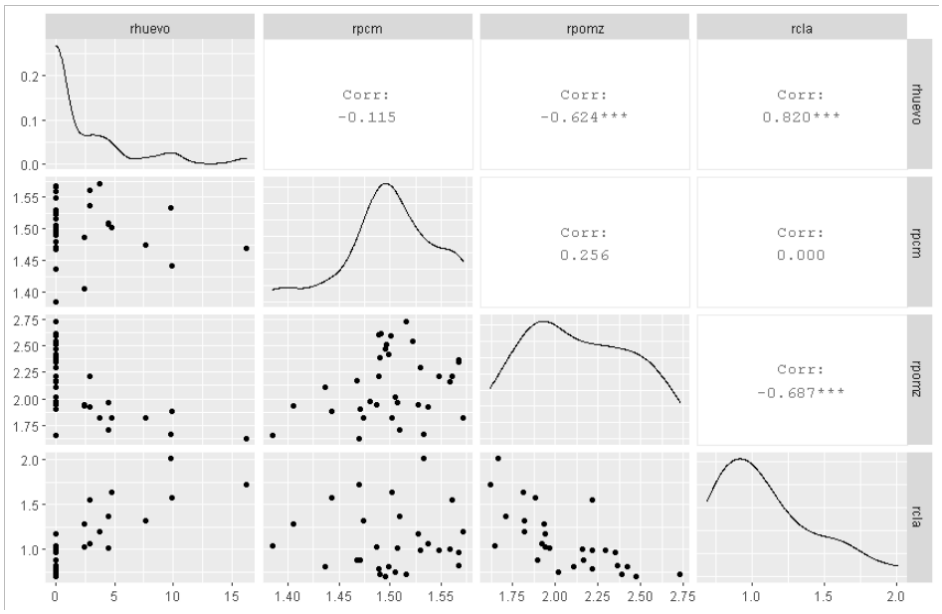

Figura 23. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de huevos de anchoveta (rhuevo) (N°/10 m^2) y de la profundidad de la capa de mezcla (rpcm) (m), profundidad del límite superior de la ZMO (rpomz) (m) y biomasa fitoplanctónica (rcla) (µg Cl-a/L) registrada entre el 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

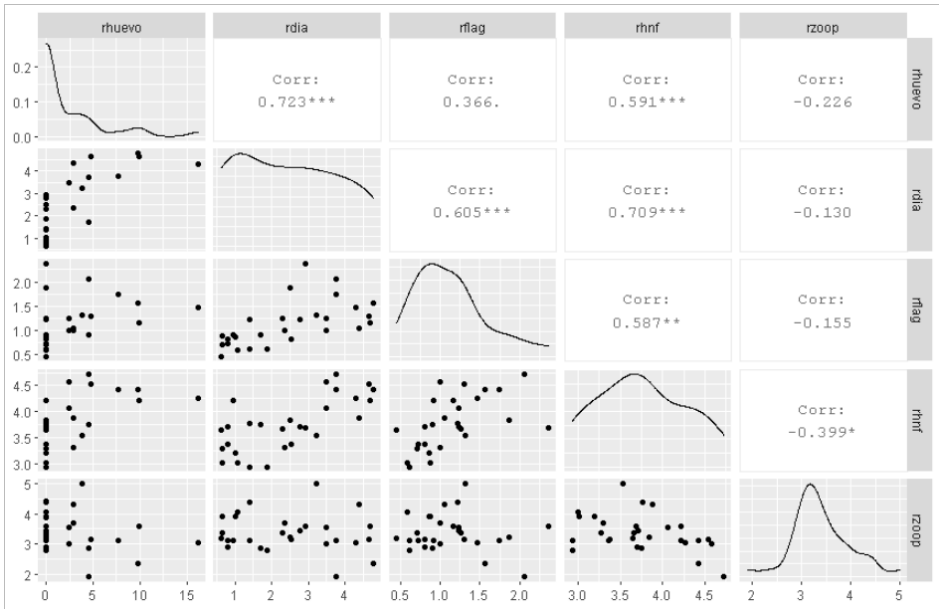

Figura 24. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de huevos de anchoveta (rhuevo) (N°/10 m^2) y de abundancia de diatomeas (rdia) (cél/mL), de microflagelados (rflag) (cél/mL), de nanoflgelados (rhnf) (cél/mL) y zooplancton (rzoop) (ind/10 m^2) registrada entre el 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

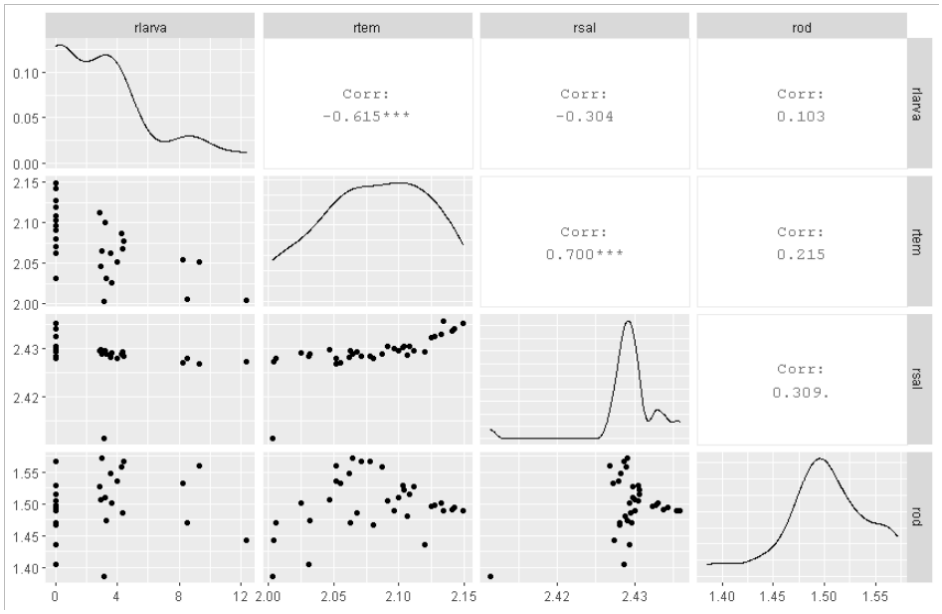

Figura 25. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de larvas de anchoveta (rlarva) (N°/10 m^2) y de temperatura (rtem) (°C), salinidad (rsal) (ups) y oxígeno disuelto (rod) (mL O_2/L) registrada entre el 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

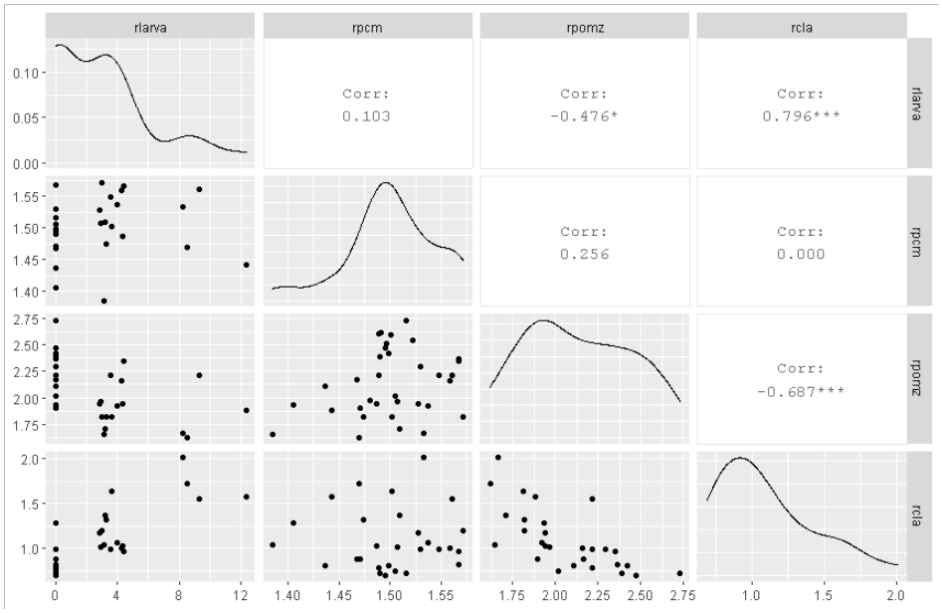

Figura 26. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de larvas de anchoveta (rlarva) (N°/10 m^2) y de la profundidad de la capa de mezcla (rpcm) (m), profundidad del límite superior de la ZMO (rpomz) (m) y biomasa fitoplanctónica (rcla) (µg Cl-a/L) registrada entre el 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

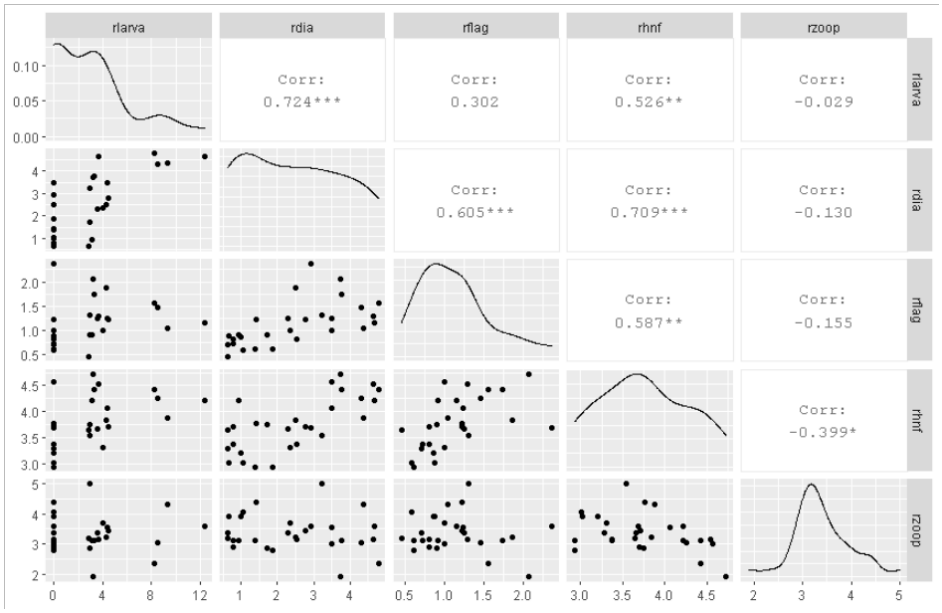

Figura 27. Resultados del análisis de correlación entre la información de abundancia de larvas de anchoveta (rlarva) (N°/10 m^2) y de abundancia de diatomeas (rdia) (cél/mL), de microflagelados (rflag) (cél/mL), de nanoflgelados (rhnf) (cél/mL) y zooplancton (rzoop) (ind/10 m^2) registrada entre el 30 de noviembre y 04 de diciembre de 2020.

Tabla 7. Resultados del análisis comparativo global entre las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante las primaveras de 2014 a 2020. K-W: estadístico de Kruskal-Wallis, NS: nivel de significancia.

VARIABLE	K-W	Valor *p*	NS
TEMPERATURA (°C)	20,18	0,003	<0,01
SALINIDAD (ups)	47,46	0,000	<0,001
PROFUNDIDAD CAPA MEZCLA (m)	29,65	0,000	<0,001
OXÍGENO DISUELTO (mL O_2/L)	18,67	0,002	<0,01
PROFUNDIDAD LS_ZMO (m)	21,35	0,001	<0,01
ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)	15,86	0,015	<0,05
ABUNDANCIA MICROFLAGELADOS (cél/mL)	27,21	0,000	<0,001
ABUNDANCIA NANOFLAGELADOS (cél/mL)	93,61	0,000	<0,001
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	22,85	0,001	<0,01
ABUNDANCIA ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	34,40	0,000	<0,001
ABUNDANCIA HUEVOS (N°/10 m^2)	15,46	0,017	<0,05
ABUNDANCIA LARVAS (N° /10 m^2)	18,95	0,004	<0,01

Tabla 8. Resultados de la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para las variables físicas y químicas registradas durante las primaveras de 2014 a 2020. dif.obs.: diferencias observadas, dif.crit.: diferencias críticas.

Variable	Periodo	dif.obs.	dif.crit.
TEMPERATURA (°C)	2017-2018	47,38	34,88
SALINIDAD (ups)	2014-2016	36,31	34,88
	2015-2016	63,31	34,88
	2015-2019	59,74	36,84
	2015-2020	53,60	33,48
	2016-2018	39,38	34,88
PROFUNDIDAD CAPA DE MEZCLA (m)	2015-2016	37,28	34,83
	2015-2017	55,50	35,39
	2015-2019	49,16	36,72
OXÍGENO DISUELTO (mL O_2/L)	2016-2018	35,75	28,91
	2016-2019	38,23	30,53
	2016-2020	28,71	27,74
PROFUNDIDAD LS_ZMO (m)	2014-2019	31,99	30,21
	2015-2019	42,05	30,66
	2016-2019	31,90	30,21
	2019-2020	35,62	29,13

Tabla 9. Resultados de la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para las variables biológicas registradas durante las primaveras de 2014 a 2020. dif.obs.: diferencias observadas, dif.crit.: diferencias críticas.

Variable	Periodo	dif.obs.	dif.crit.
ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)	2018-2019	39,36	35,86
ABUNDANCIA MICROFLAGELADOS (cél/mL)	2014-2018	40,44	33,95
	2014-2019	41,84	35,86
	2015-2018	36,50	33,95
	2015-2019	37,90	35,86
	2018-2020	34,91	33,95
	2019-2020	36,31	35,86
ABUNDANCIA NANOFLAGELADOS (cél/mL)	2014-2018	35,19	33,95
	2014-2019	55,30	35,86
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	2015-2020	45,56	33,95
ABUNDANCIA ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	2015-2018	44,66	34,88
	2017-2018	60,75	34,88
	2018-2019	39,93	36,84
	2018-2020	45,31	33,48
ABUNDANCIA HUEVOS (N°/10 m^2)	2019-2020	36,74	35,51

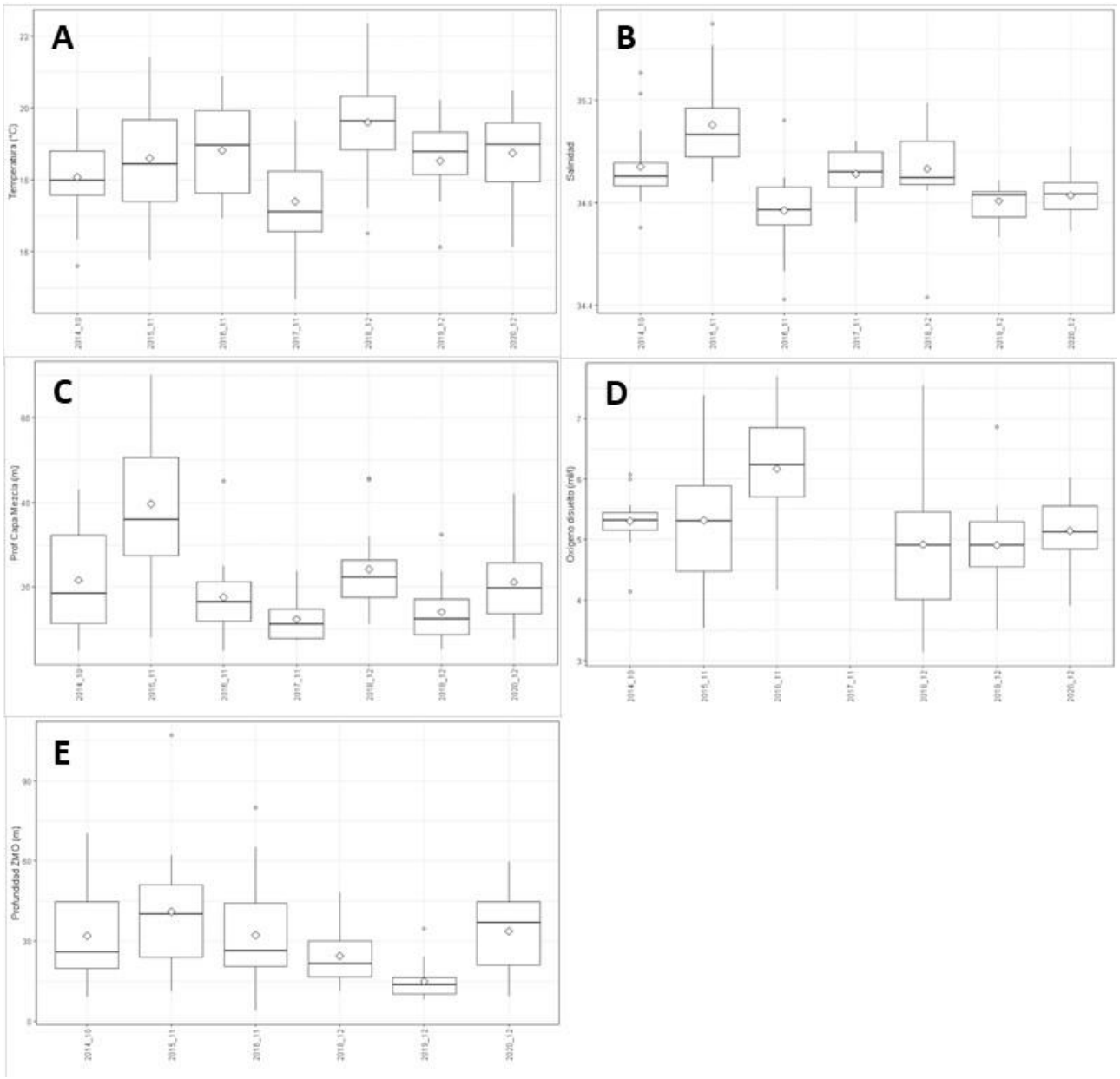

Figura 28. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups), C: Profundidad de la Capa de Mezcla (m), D: Oxígeno disuelto (mL O_2/L) y E: profundidad del límite superior de la ZMO (m), registrada durante las primaveras de 2014 a 2020.

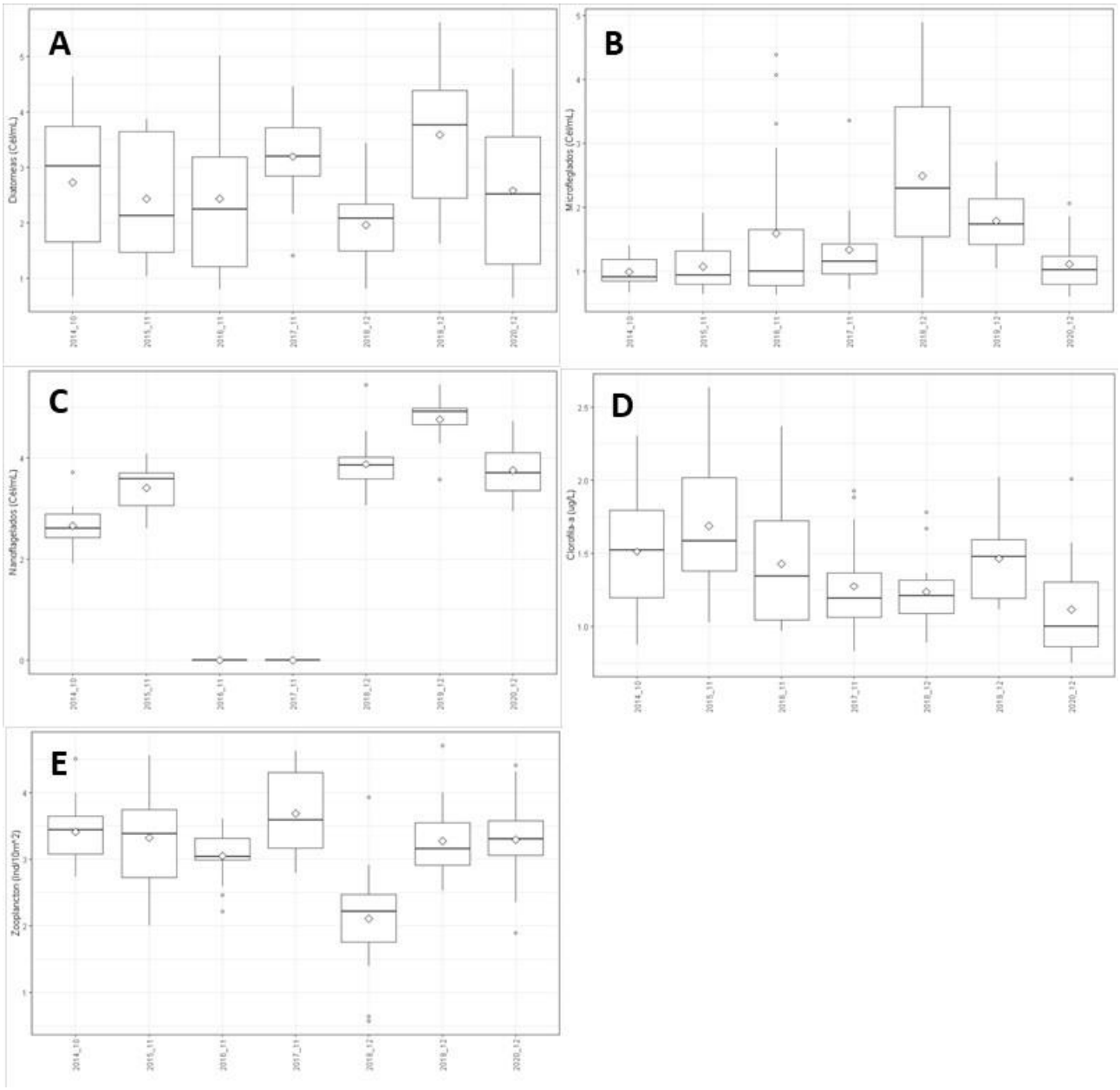

Figura 29. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de A: abundancia de Diatomeas (cél/mL), B: abundancia de Microflagelados (cél/mL), C: abudnacia de Nanoflagelados (cél/mL), D: Biomasa Fitoplanctónica (µg Cl-a/L) y E: abundancia de Zooplancton (ind/10 m^2), registrada durante las primaveras de 2014 a 2020.

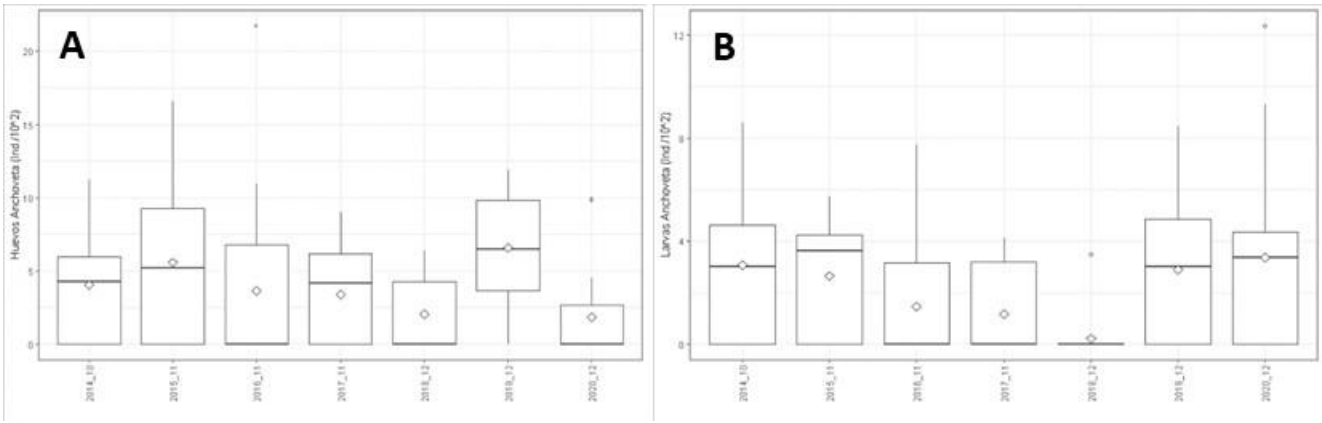

Figura 30. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de A: abundancia de huevos (huevos/10 m2) y B: abundancia de larvas (larvas/10 m^2), registrada durante las primaveras de 2014 a 2020.

DISCUSION Y CONCLUSIONES

Durante la primavera de 2020 se registró una estructura termal superficial caracterizada por la presencia de altas temperaturas y salinidades ocupando la zona entre las 20 y 40 mn, asociadas a la presencia del Aguas Subtropical Superficial (ASS). En la costa (1-5 mn) predominaron temperaturas y salinidades que caracterizan los procesos de surgencia costera (<17°C, <34,9), con una mezcla del Agua Subantártica (ASAA) y del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) que se hizo más evidente en Mejillones (23°00'S). La influencia de la surgencia en la costa, también se evidenció por las profundidades de localización de la isoterma de 15°C y del límite superior de la ZMO, las que se mantuvieron entre 10 y 20 metros a 1 y 5 mn, registrándose su posición más somera en Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S). A lo anterior se suman los valores del Transporte de Ekman que exhibieron promedios de 682,4, 391,4 y 511,2 $m^3/s/km$ en Arica, Iquique y Mejillones respectivamente, reflejando procesos de menor intensidad en Iquique. Estas condiciones no resultaron estadísticamente diferentes a las primaveras analizadas, excepto por los años influenciados por las condiciones cálidas del ciclo ENOS, y por la localización del límite superior de la ZMO que se encontró a mayor profundidad en comparación a 2018 y 2019, sugiriendo una surgencia menos activa.

El componente fitoplanctónico mostró el característico dominio de las diatomeas a lo largo de toda la franja costera (1-5 mn) con focos superiores a las 500 cél/mL que se registraron hasta los 25 m de profundidad. Las concentraciones máximas descendieron respecto a 2019, pero esto no se reflejó estadísticamente. Los flagelados no exhibieron un patrón definido de distribución y exhibieron las típicas abundancias un orden de magnitud inferior a las diatomeas, descendiendo en comparación a 2018 y 2019. Con relación a la biomasa, los valores registrados respondieron a la presencia de las diatomeas, en particular a la proliferación detectada a los 25 m de profundidad donde se observó la máxima concentración de clorofila-a y, con excepción del año 2015, no mostró diferencias estadísticamente significativas con otras primaveras. Respecto del zooplancton, la abundancia se mantuvo dentro de los rangos registrados, excepto por el 2018 que es el menor de la serie. Los copépodos siguen como grupo dominante, en particular la fracción de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm. En cuanto a su distribución, la densidad máxima coincidió con las altas concentraciones de las diatomeas en el sector de punta Junín (19°40'S).

En relación con los estadios tempranos de anchoveta, el análisis comparativo mostró un descenso en la densidad de huevos en comparación a 2019. En cuanto a su distribución, huevos y larvas se localizaron principalmente entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), coincidiendo con la presencia de las mayores abundancias de fitoplancton. Al respecto, el análisis de asociación mostró correlaciones positivas entre la abundancia de los estadios tempranos y la abundancia de diatomeas, nanoflagelados y la biomasa fitoplanctónica, mientras que las correlaciones fueron negativas con la temperatura y la profundidad del límite superior de la ZMO.

El sistema, en general, presentó una condición similar a la observada durante primaveras anteriores, registrándose valores de TSM dentro de los mismos rangos, particularmente en comparación a 2019. Si bien el ASS mostró una importante influencia en la región más oceánica, la participación del ASAA generó un descenso en las salinidades, lo que se detectó principalmente en el sector de Mejillones (23°00'S).

En el ámbito regional, CIIFEN informa que entre fines de noviembre y la primera semana de diciembre se registró un debilitamiento de las anomalías negativas que han persistido desde agosto de 2020 en el Pacífico central y costas de Sudamérica. A inicios de diciembre todas las regiones El Niño, exceptuando la Niño 4, presentaron valores menores que los registrados a fines de octubre, siendo la región El Niño 1+2 la menos fría (Figura 31). Las predicciones de TSM, sugieren valores bajo lo normal a lo largo del Pacífico ecuatorial y costa de Sudamérica para el trimestre diciembre 2020-febrero 2021.

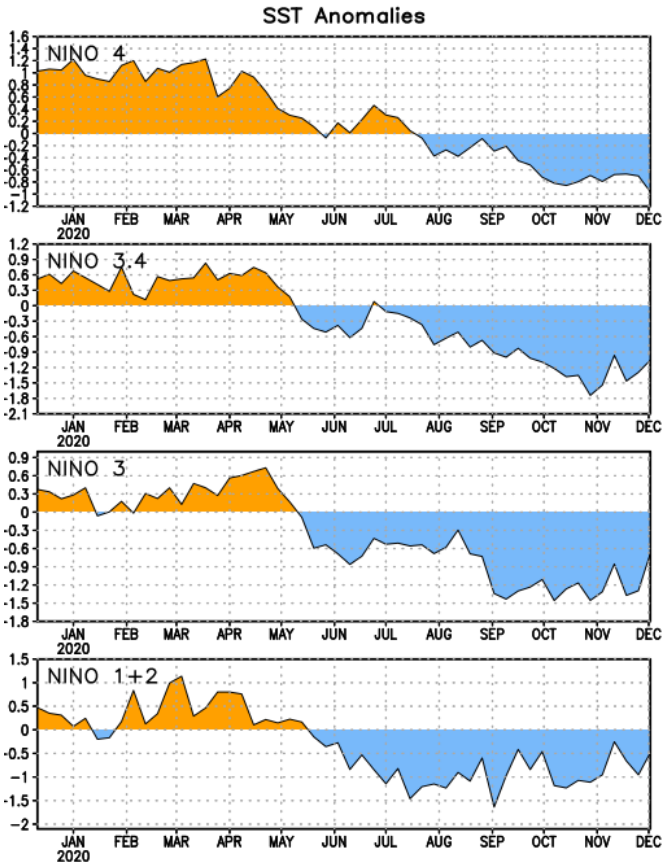

Figura 31. Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (°C) en las regiones El Niño entre enero y el 7 de diciembre de 2020 (fuente: www.cpc.ncep.noaa.gov).

LITERATURA CITADA

Boletín CIIFEN El Niño/La Niña en América Latina, Diciembre 2020. 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, September 2020.

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.