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 OTOÑO

ABRIL DE 2017

REQUIRENTE
CENTRO DE INVESTIGACION APLICADA DEL MAR (CIAM)

EJECUTOR
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

AUTORES
LILIANA HERRERA CAMPOS
EDGARDO SANTANDER PULGAR

PROFESIONALES PARTICIPANTES
JEANNELLE JAQUE BAGINSKY
CRISTIAN AZOCAR SANTANDER
PAOLA MORENO GONZALEZ

MUESTREADORES
ARIEL MARTINEZ MUÑOZ
AGUSTIN ARCOS ROJAS

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO 4

INTRODUCCIÓN 6

OBJETIVOS GENERALES 6

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6

MATERIAL Y METODOS 7

RESULTADOS 10

Condiciones físicas y químicas 10

Estructura de la Comunidad Planctónica 20

Fitoplancton 20

Zooplancton 33

Ictioplancton 40

Análisis Estadístico 46

DISCUSION 54

LITERATURA CITADA 55

RESUMEN EJECUTIVO

Se llevó a cabo el crucero de otoño de 2017 entre los días 24 y 28 de abril, con el objetivo de evaluar las condiciones oceanográficas y de explorar la influencia de las variables físicas, químicas y biológicas sobre los primeros estadios de vida del recurso anchoveta (*Engraulis ringens*).

En el área entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) se dispusieron seis transectas perpendiculares a la costa con estaciones distribuidas entre 1 y 40 mn. En cada estación se obtuvieron perfiles verticales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto utilizando un CTDO SeaBird19, se tomaron muestras de agua hasta 50 m de profundidad para determinar la abundancia y biomasa del fitoplancton, y 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 el otoño de 2015, 2016 y 2017.

Aguas de temperaturas superiores a 20°C y salinidades mayores a 35 ups, asociadas al Agua Subtropical Superficial (ASS), ocuparon el estrato entre la superficie y los 20 m de profundidad desplazándose hacia el sur entre las 20 y 40 mn. La zona costera (1-5 mn) se encontró influenciada por el Agua Subantártica (ASAA) y el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), con temperaturas inferiores a 18°C y la isoterma de 15°C localizada cerca de los 30 m de profundidad. El oxígeno disuelto en superficie se mantuvo sobre los 5,0 mL/L con focos superiores a 6,0 mL O_2/L en las zonas de mayor abundancia fitoplanctónica. El límite superior de la ZMO se registró a menos de 30 m en la costa (1-5 mn), observándose su posición más somera (16,6 m) en Mejillones (23°00'S). En todas las localidades los valores del TEk indicaron ocurrencia de procesos de surgencia, manteniéndose alrededor de los 1.000 m^3/s/km.

La abundancia máxima del microfitoplancton fue de 609,4 cél/mL. Las diatomeas dominaron entre Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S) con un máximo de 604,1 cél/mL. Los microflagelados presentaron abundancias superiores a 50 cél/mL en Arica (18°25'S) y en Chipana (21°20'S), alcanzando un máximo de 104,9 cél/mL. Los mayores valores de biomasa fitoplanctónica (43,0 y 38,2 µg Cl-a/L) se encontraron asociados a los microflagelados, mientras que entre Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S) se observaron máximos cercanos a 20,0 µg Cl-a/L. El zooplancton presentó concentraciones mayores a 100 ind /10 m^2 entre 1 mn y 20 mn de la costa. La abundancia máxima fue de 947,0 ind/10 m^2 y se localizó en Copaca (22°20'S) coincidente con la presencia de las diatomeas. El grupo Copepoda aportó, en promedio, con el 82% a la abundancia total y con el 78% a la concentración de organismos con tamaños entre 0,25 y 075 mm, los cuales fueron dominantes. Los huevos y larvas de anchoveta contribuyeron con un 20,3% y 61,7%

respectivamente, a la abundancia total del componente ictioplanctónico. Los huevos presentaron densidades cercanas a 400 huevos/10 m^2 en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S). Entre las larvas, predominó el estado yolk-sac que exhibió un máximo de 9.385 larvas/10 m^2 en Copaca (22°20'S), y las larvas en pre-flexión y post flexión mostraron densidades levemente superiores a 1.000 larvas/10 m^2 en Arica (18°25'S) y Copaca (22°20'S). La abundancia de huevos se correlacionó con la densidad y el oxígeno disuelto y, al igual que la abundancia de las larvas, mostró una fuerte asociación con el componente planctónico.

El análisis comparativo reveló diferencias estadísticamente significativas entre la salinidad, la abundancia de formas flageladas y la abundancia zooplanctónica. Las diferencias en la salinidad fueron generadas por los altos valores registrados en otoño de 2015 desde Chipana (21°20'S) al sur. Los microflagelados exhibieron mayores abundancias en 2016 en el área Arica (18°25'S-19°00'S), y durante 2017 aumentaron los nanoflagelados y el zooplancton entre Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S).

Las condiciones oceanográficas registradas durante el periodo revelaron la persistencia de una condición cálida, interrumpida en la costa (1-5 mn) por la ocurrencia de eventos de surgencia. Este escenario ambiental permitió el desarrollo de una comunidad planctónica caracterizada por el dominio de flagelados asociados al ASS, y de diatomeas y de zooplancton en el sector sur, mientras que los estadios tempranos de anchoveta exhibieron densidades propias del periodo considerando que no hubo diferencias significativas con el otoño de 2015 y de 2016.

Si bien este calentamiento es inferior a lo observado en marzo, las predicciones globales de la TSM para el periodo entre mayo y agosto, sugieren que el Pacífico ecuatorial central y la costa sudamericana continuarán presentando valores sobre lo normal.

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

INTRODUCCIÓN

El presente reporte contiene los resultados obtenidos mediante la realización del crucero de otoño de 2017, requerido por el Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM) y ejecutado por la Facultad de Recursos Naturales Renovables (FAREN) de la Universidad Aturo Prat.

OBJETIVOS GENERALES

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

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

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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

MATERIAL Y METODOS

Área de estudio

El área de estudio comprendió la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S), donde se establecieron tres grillas de trabajo distribuidas al norte, centro y sur del área. Cada grilla estuvo conformada por dos transectas perpendiculares a la costa con estaciones localizadas a 1, 5, 10, 20 y 40 millas náuticas (mn) (Figura 1).

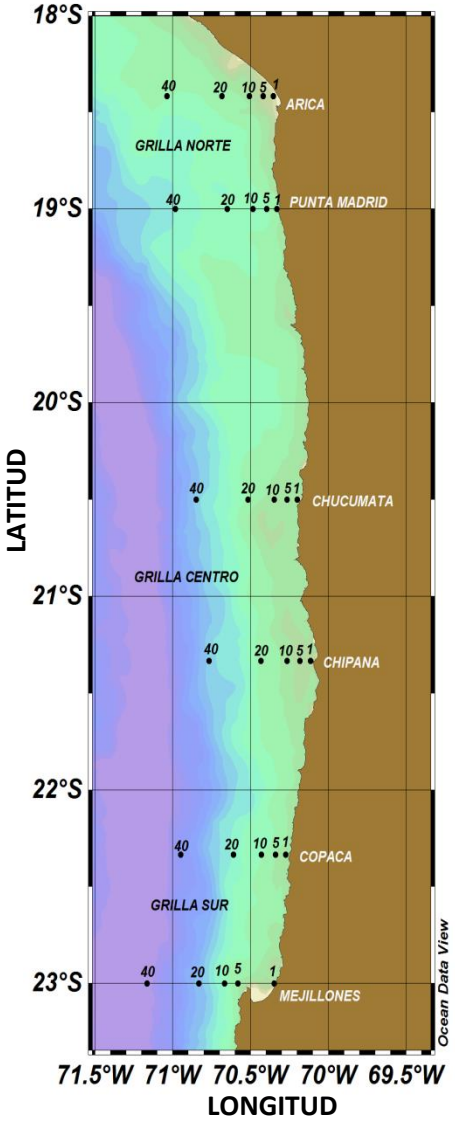

Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo del crucero bio-oceanográfico realizado entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

Muestreo y registro de información

El crucero se llevó a cabo entre los días 24 y 28 de abril de 2017 a bordo de las embarcaciones PAM “Loa 7” y “Audaz 49” proporcionadas por las empresas pesqueras Camanchaca S.A. y CORPESCA S.A. respectivamente.

En cada una de las estaciones se realizaron perfiles verticales de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto, utilizando un CTDO SeaBird-19. En los puntos de muestreo localizados entre 1 mn y 20 mn de la costa se obtuvieron muestras de agua desde 0, 5, 10, 25 y 50 m de profundidad con el uso de botellas oceanográficas Niskin, las que fueron destinadas a la medición de la abundancia y biomasa fitoplanctónicas. Se colectaron muestras de zooplancton e ictioplancton mediante arrastres verticales, entre los 60 m y la superficie, utilizando una red WP-2 de 300 µm de abertura de malla equipada con un flujómetro TSK.

La abundancia de fitoplancton se determinó según la metodología propuesta en UNESCO (1978), y la biomasa, expresada en términos de la concentración de clorofila-a, de acuerdo a Parsons *et al*. (1984). Los grupos, abundancia y espectro de tamaños del zooplancton se determinaron utilizando el programa ZooImage (Grosjean *et al.*, 2004). Los huevos y larvas de recursos pelágicos fueron separados y contados. Las abundancias se retrocalcularon de acuerdo a Horwood y Driver (1976) y las densidades fueron estandarizadas por 10 m^2 de superficie oceánica (Smith y 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, 2017).

Para caracterizar el escenario ambiental imperante durante los días del muestreo, se identificaron las masas de agua mediante la confección de pares T-S. Para esto se consideró la información proveniente de toda la zona y aquella registrada por áreas. Estas estuvieron representadas por las grillas de muestreo, denominándose área Arica al sector entre Arica y Punta Madrid (18°25’S-19°00’S), área Chipana entre Chucumata y Chipana (20°30’S-21°20’S), y área Mejillones a la zona entre Copaca y Mejillones (22°20’S-23°00’S).

Se estimó, además, la profundidad del límite superior de la ZMO (LS_ZMO), la estabilidad de la columna de agua y el transporte de Ekman (TEk). La profundidad del LS_ZMO correspondió a aquella a la cual la concentración de oxígeno disuelto (OD) fue de 1,0 mL/L, y se obtuvo mediante el programa ODV (Schlitzer, 2017). Para cuantificar la estabilidad de la columna de agua entre la superficie y los 50 m de profundidad, se calculó el índice de la anomalía de la energía potencial (PEA) (ϕ):

$$\Phi = \frac{g}{H}\int_{-H}^{0}(\rho m - \rho)zdz$$

donde ϕ es el índice de la anomalía de la energía potencial (PEA) (J/m^3), *H* es la altura de la columna de agua (m), *ρ* es la densidad en cualquier profundidad *z*, *ρm* es la densidad promedio de la columna de agua, y *g* es la aceleración gravitacional (9,8 m/s^2). Este índice estima el déficit en energía potencial debido al gradiente de densidad (Bowden, 1983), es decir, expresa la cantidad de energía mecánica necesaria para homogeneizar una columna de agua con un determinado gradiente de densidad.

El TEk fue calculado como:

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

donde M_x es el Transporte Ekman (m^3/s/km), *f* es el parámetro de Coriolis y τ_y es el estrés del viento (Bowden, 1983). Se trabajó con la información de vientos horarios de los aeropuertos de Arica, Iquique y Antofagasta proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile.

Análisis estadístico

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

Aplicando un análisis de varianza de una vía, se comparó la información de los parámetros físicos, químicos y biológicos obtenida en el presente crucero con aquella registrada durante los otoños de 2015 y 2016. La comparación se realizó con toda la información global y por áreas. Cuando se detectaron diferencias, se aplicó el test de diferencias honestamente significativas de Tukey para determinar el periodo que las generó.

RESULTADOS

Condiciones físicas y químicas

Temperatura

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre un mínimo de 16,7°C y un máximo de 23,8°C. Desde el norte y desde la región oceánica, se registró la intrusión de un agua con temperaturas superiores a 20°C, que se proyectó hacia el sur entre las 20 mn y 40 mn, excepto en Arica (18°325'S) y punta Madrid (19°00'S) donde se acercó hacia la costa (1-5 mn) observándose valores de temperatura superiores a 19°C. Desde Chucumata (20°30'S) al sur, toda la franja costera, entre 1 mn y 5 mn se encontró influenciada por temperaturas inferiores a 18,5°C, las que frente a Mejillones (23°00'S) se extendieron hasta 10 mn de la costa. El mínimo (16,7°C) se detectó a 1 mn frente a Chipana (21°20'S) (Figura 2A).

La distribución vertical mostró que el estrato influenciado por temperaturas superiores a 20°C se restringió a los primeros 20 m de profundidad y a las estaciones localizadas entre 20 mn y 40 mn, haciéndose más somero desde Chucumata (20°30'S) al sur. En Mejillones (23°00'S) la capa entre la superficie y los 10 m de profundidad exhibió valores cercanos a 17°C, mientras que en el resto de la columna de agua las temperaturas descendieron de 15°C (Figura 3-panel izquierdo). Al respecto, la isoterma de 15°C en la costa (1-5 mn) presentó un ascenso en sentido norte sur, detectándose alrededor de los 35 m de profundidad en Arica (18°25'S) y cerca de los 25 m en Mejillones (23°00'S). Entre las 20 mn y 40 mn se localizó bajo los 40 m (Figura 6A).

Salinidad

La salinidad superficial fluctuó entre 34,76 y 35,49 ups. La distribución en superficie mostró una clara asociación con la temperatura, observándose valores superiores a 35 ups en la región entre las 20 y 40 mn de la costa, asociados a la intrusión del agua cálida. En la franja costera (1-5 mn) predominaron salinidades cercanas o inferiores a 34,9 ups, que sugieren la presencia del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), con el mínimo (34,76) localizado a 1 mn frente a punta Madrid (19°00'S) y frente a Mejillones (23°00'S). En esta última localidad se registraron bajas salinidades (<35) hasta 20 mn de la costa (Figura 2B).

En la componente vertical, se apreció la influencia las altas salinidades (>35 ups) ASS restringida a las 40 mn y al estrato entre la superficie y los 10 m de profundidad, excepto en punta Madrid (19°00'S) donde ingresó hasta 20 mn de la costa. Las salinidades dominantes en el resto de la columna de agua sugieren el predominio del AESS junto al Agua Subantártica (ASAA), cuyo ingreso se registró desde la región oceánica, bajo los 50 m de profundidad, penetrando hacia la costa y hacia la superficie desde Chucumata (20°30'S) al sur (Figura 3-panel derecho).

Densidad

La densidad (σ-t) en superficie presentó valores extremos de 24,04 y 25,48. Densidades inferiores a 25 dominaron desde las 10 mn hacia la región oceánica, disminuyendo en concordancia con la presencia del ASS. En la franja costera (1-5 mn), y hasta las 20 mn en Mejillones (23°00'S), las densidades aumentaron (>25) asociadas a la presencia de agua de menor temperatura, con el máximo (25,48) coincidente con el núcleo de menor temperatura localizado a 1 mn en Chipana (21°20'S) (Figura 2C).

La distribución vertical mostró la presencia de valores inferiores a 26 en un estrato que alcanzó los 100 m de profundidad en Arica (18°25'S) y los 50 m en Mejillones (23°00'S), indicando la disminución de la influencia del agua cálida hacia el sur. Hacia los estratos más profundos se registraron valores superiores a 26, indicando la presencia del ASAA y AESS que tuvieron una mayor influencia en Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 4-panel izquierdo).

Diagramas T-S

El diagrama T-S global reveló la presencia de las tres masas de agua en la zona: Subtropical Superficial (ASS), Subantártica (ASAA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) (Figura 5-panel superior). En el área Arica (18°25'S-19°00'S) fue donde se observó la mayor influencia del ASS, la cual disminuyó hacia el sur. El AESS estuvo presente en toda la zona, y el ASAA tuvo una mayor participación en el área Mejillones (22°21'S-23°00'S) (Figura 5-panel inferior).

Estabilidad (PEA)

Los valores del índice obtenidos en el estrato entre la superficie y los 50 m de profundidad, revelaron que la franja costera (1-5 mn) desde Arica (18°25'S) hasta Copaca (22°20'S), exhibió una condición de baja estabilidad (<50 J/m^3). En Mejillones (23°00'S) toda la columna de agua se encontró influenciada por turbulencia, observándose el menor valor a 10 mn de la costa, coincidente con el ascenso de las isolíneas y con la menor profundidad de localización de la ZMO (Tabla 1).

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto superficial fluctuó entre 2,9 y 6,1 mL/L. La franja costera (1-5 mn) entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) exhibió concentraciones inferiores a 4,0 mL O_2/L, al igual que la zona entre 10 y 20 mn frente a Mejillones (23°00'S), coincidente con la presencia del AESS. El máximo principal de 6,1 mL O_2/L, registrado a 20 mn en Arica (18°25'S), respondió a la presencia de una proliferación fitoplanctónica, lo mismo que un foco secundario de 5,5 mL O_2/L observado en Mejillones (23°00'S) a 1 mn de la costa (Figura 2D).

La distribución vertical mostró un estrato superficial oxigenado (>4,0 mL O_2/L) que se hizo más somero hacia el sur, coincidente con la influencia del AESS. En la costa (1-5 mn) se observó el ascenso de las oxilíneas que llevaron a la superficie concentraciones iguales o inferiores a 3,0 mL O_2/L (Figura 4- panel derecho).

Acorde con lo anterior, la posición del límite superior de la ZMO (oxilínea de 1 mL O_2/L) entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S) se localizó sobre los 30 m a 1 mn de la costa, profundizándose hacia las 40 mn donde se registró a 80 m frente a punta Madrid (19°00'S). En Mejillones (23°00'S) se observó su posición más somera entre 5 mn y 10 mn donde se detectó a 16,6 m de profundidad (Figura 6B, Tabla 1).

Transporte de Ekman (TEk)

En todas las localidades se registraron valores positivos del TEk que indicaron ocurrencia de procesos de surgencia. En Arica los días previos (22-23 de abril) se registraron valores del TEk inferiores a 1.000 m^3/s/km, indicando surgencia moderada, mientras que durante la realización del cruceros éstos alcanzaron un máximo cercano a 2.000 m^3/s/km. En Iquique se registró la máxima intensidad (2.691,3 m^3/s/km) el día 20 de abril, y entre el 24 y el 28 el TEk se mantuvo alrededor de los 1.000 m^3/s/km. Antofagasta mostró las menores intensidades (máxima de 1.214,8 m^3/s/km), sin embargo durante todo el periodo predominaron valores de TEk mayores a 1.000 m^3/s/km. En los tres puertos las magnitudes más altas se observaron entre las 18:00 y las 22:00 horas (Figura 7).

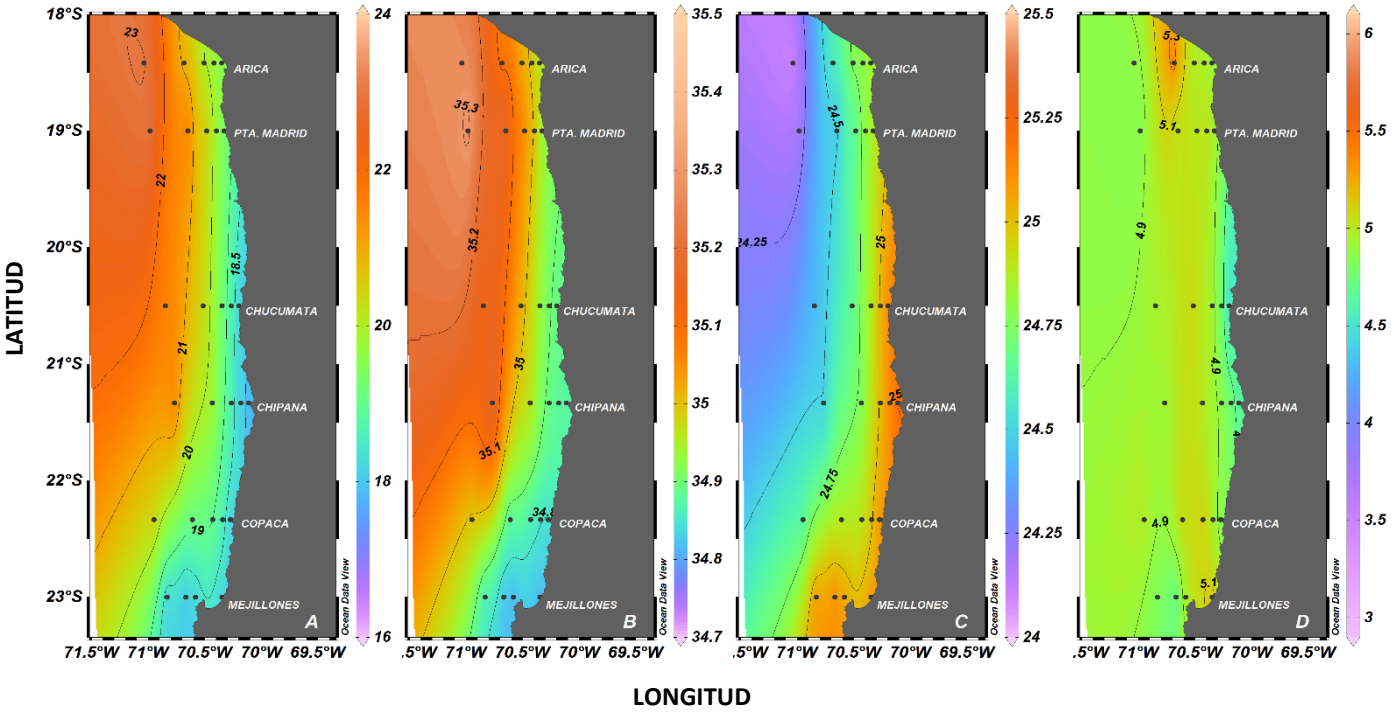

Figura 2. Distribución superficial de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups), C: Densidad (σ-t) y D: Oxígeno disuelto (mL/L), entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

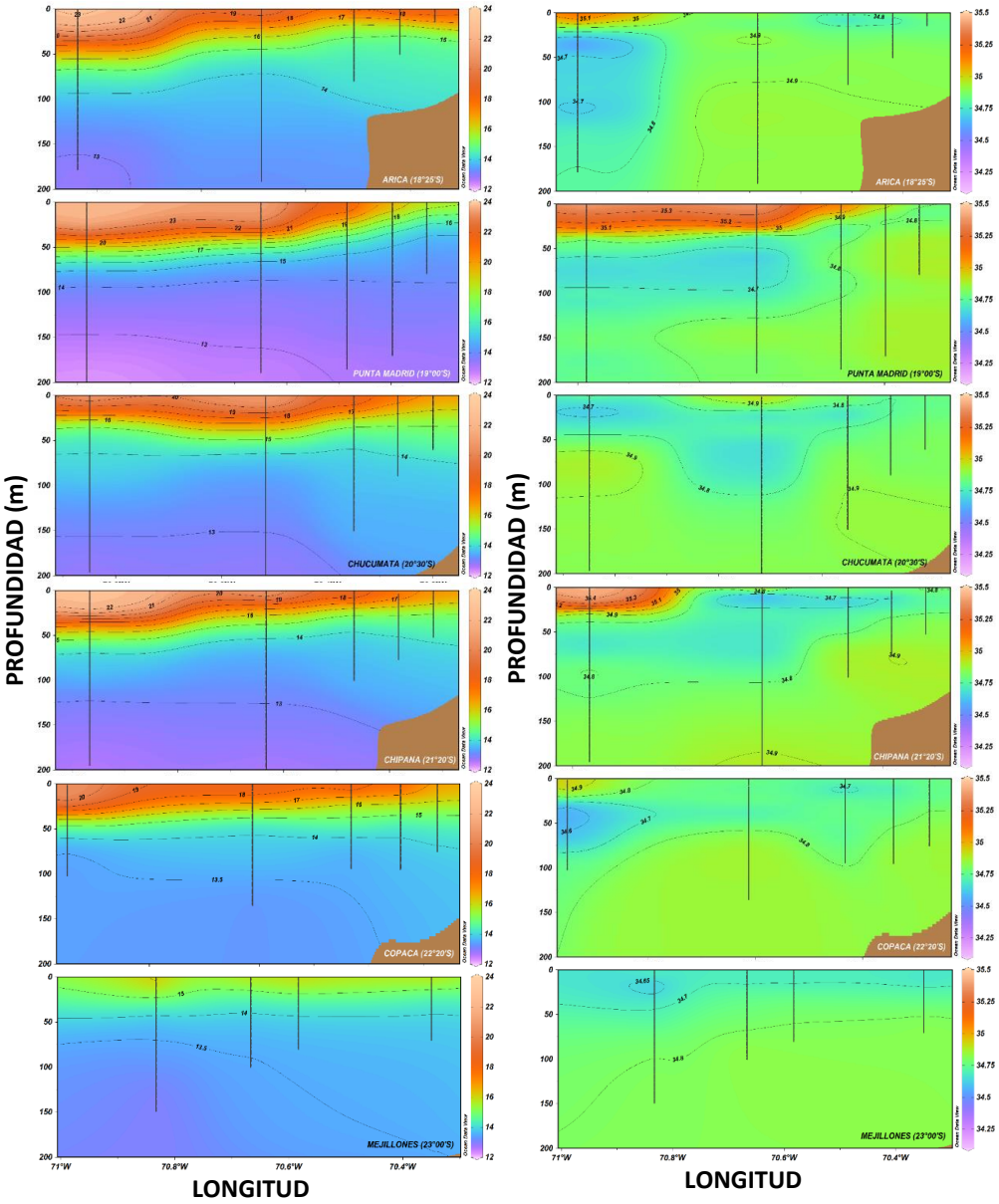

Figura 3. Secciones verticales de Temperatura (°C) (panel izquierdo) y Salinidad (ups) (panel derecho), entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

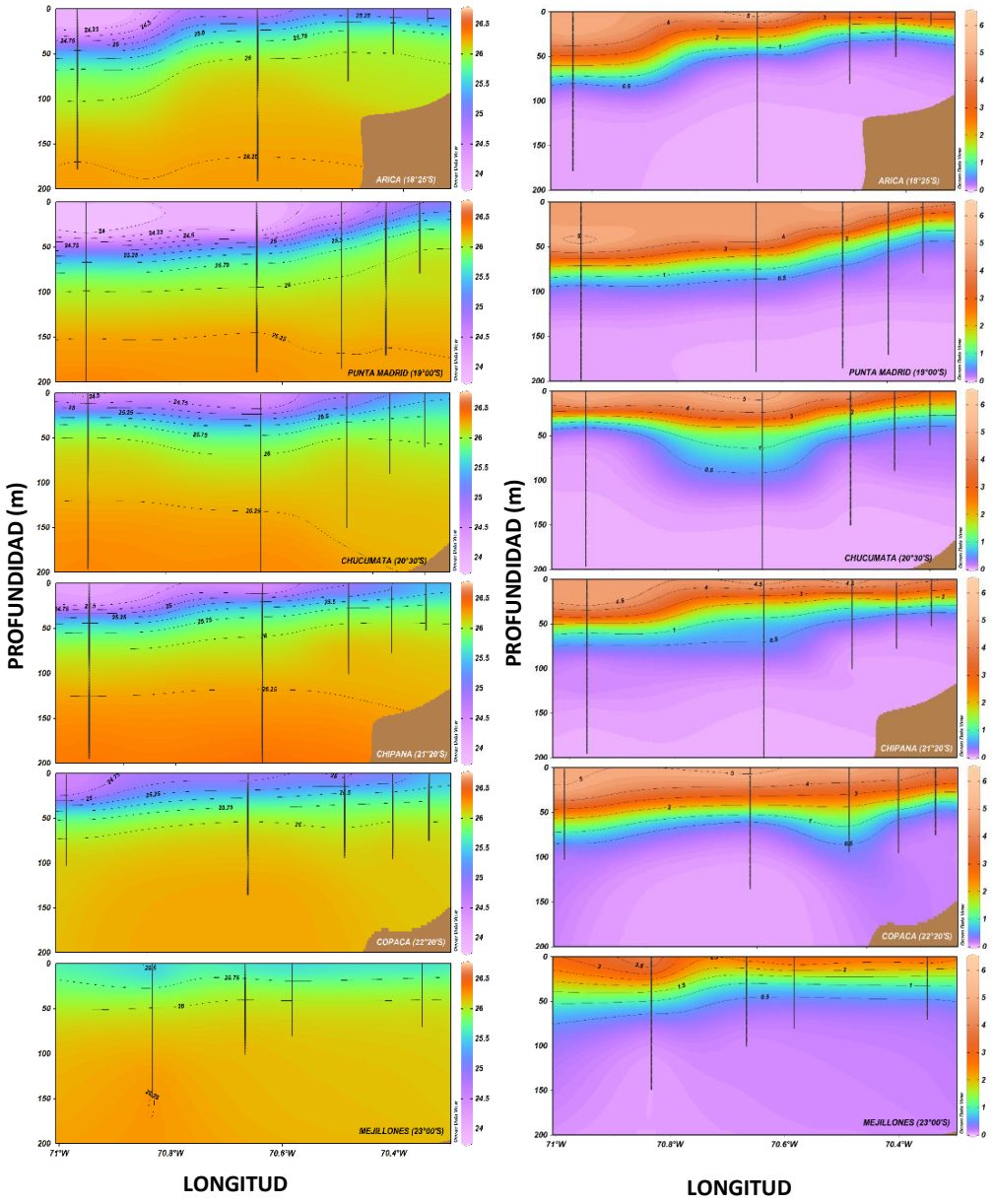

Figura 4. Secciones verticales de Densidad (σ-t) (panel izquierdo) y Oxígeno Disuelto (mL/L) (panel derecho), entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

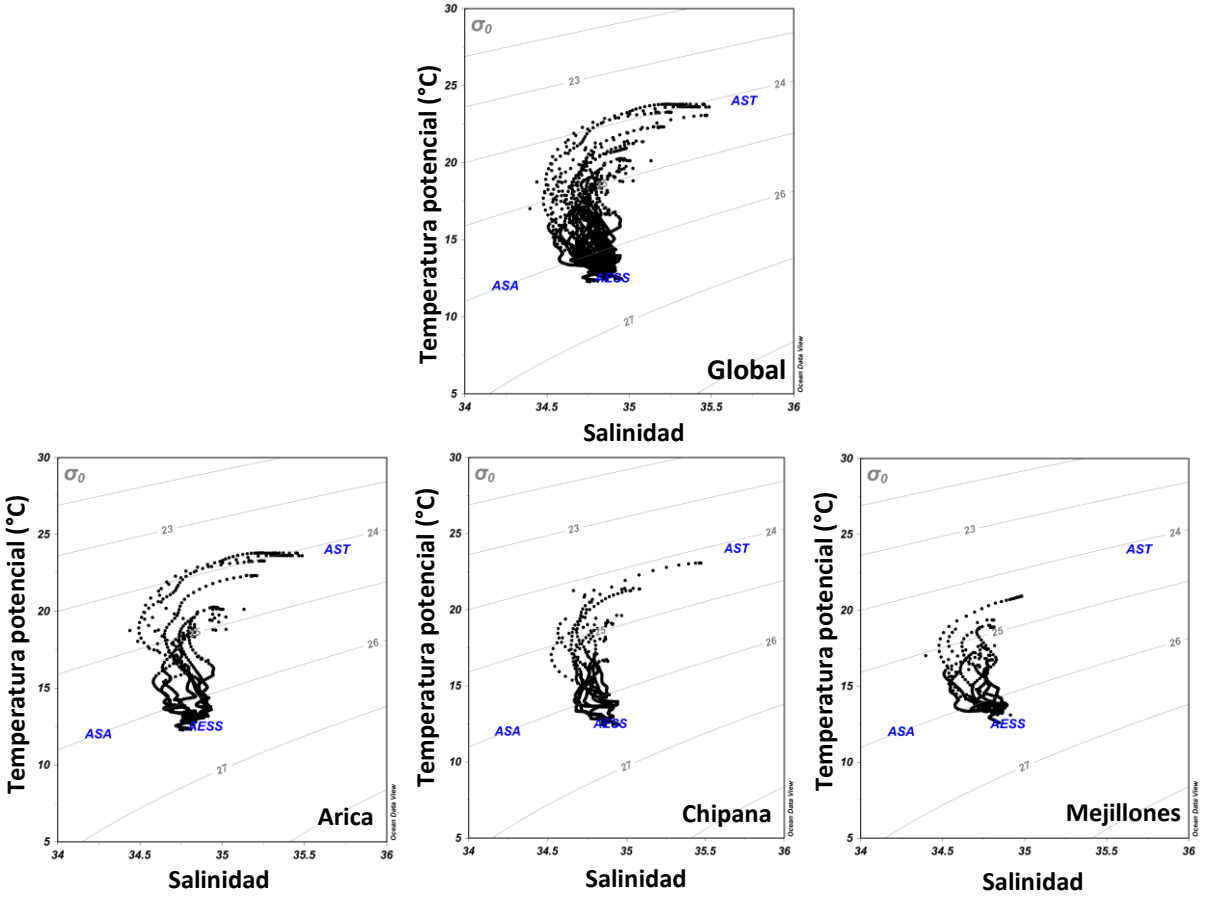

Figura 5. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para las áreas Arica (18°25'S-19°00'S), Chipana (20°30'S-21°20'S) y Mejillones (22°20'S-23°00'S) (panel inferior), entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

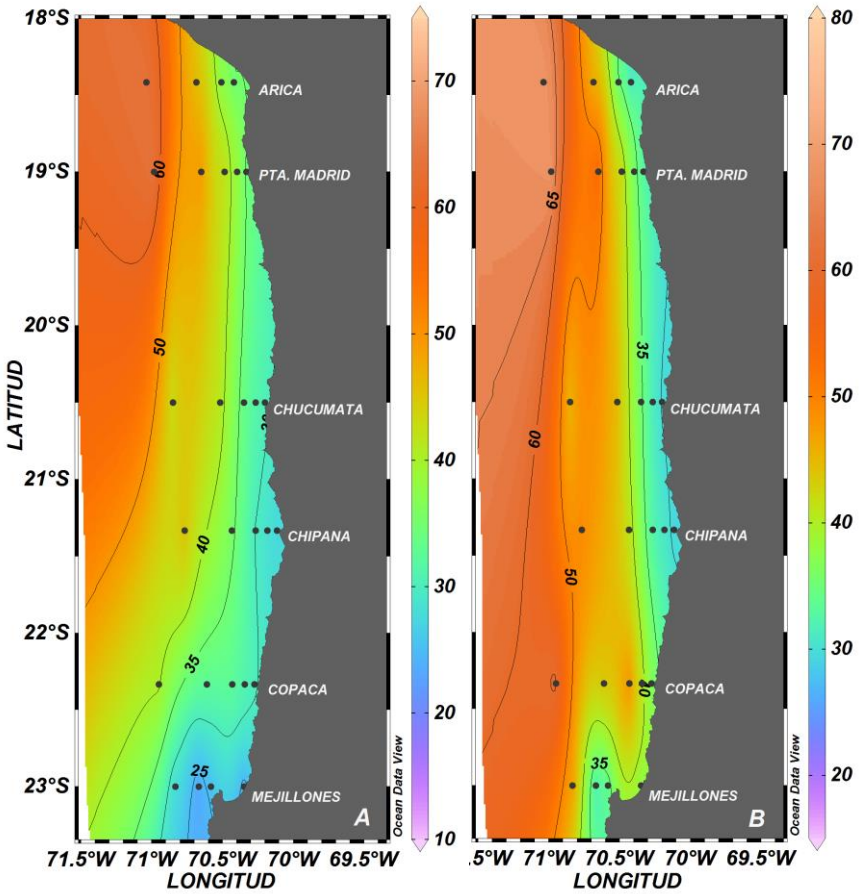

Figura 6. A: Profundidad de la isoterma de 15°C (m) y B: profundidad del LS_ZMO (m) (panel-derecho) entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

Tabla 1. Valores del Índice de la Anomalía de la Energía Potencial (PEA) (J/m^3), para el estrato entre la superficie y los 50 m de profundidad, y profundidad del límite superior de la ZMO (LS_ZMO) (m) entre los días 24 y 28 de abril de 2017. DC: Distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	PEA (J/m^3)	LS_ZMO (m)
Arica (18°25'S)	1	9,1	
	5	56,2	15,9
	10	47,7	22,0
	20	60,7	39,8
	40	66,6	70,2
Punta Madrid (19°00'S)	1	50,1	23,8
	5	63,9	39,9
	10	73,0	57,6
	20	47,2	76,1
	40	23,0	80,0
Chucumata (20°30'S)	1	23,3	23,6
	5	40,0	26,6
	10	61,4	35,7
	20	68,2	53,0
	40	82,8	30,6
Chipana (21°20'S)	1	28,8	25,5
	5	43,3	30,6
	10	61,9	26,5
	20	78,0	43,0
	40	72,4	53,4
Copaca (22°20'S)	1	28,0	31,3
	5	53,6	44,0
	10	55,9	74,5
	20	56,4	49,4
	40	61,3	71,2
Mejillones (23°00'S)	1	39,1	31,8
	5	47,0	24,5
	10	34,0	16,6
	20	38,4	51,0

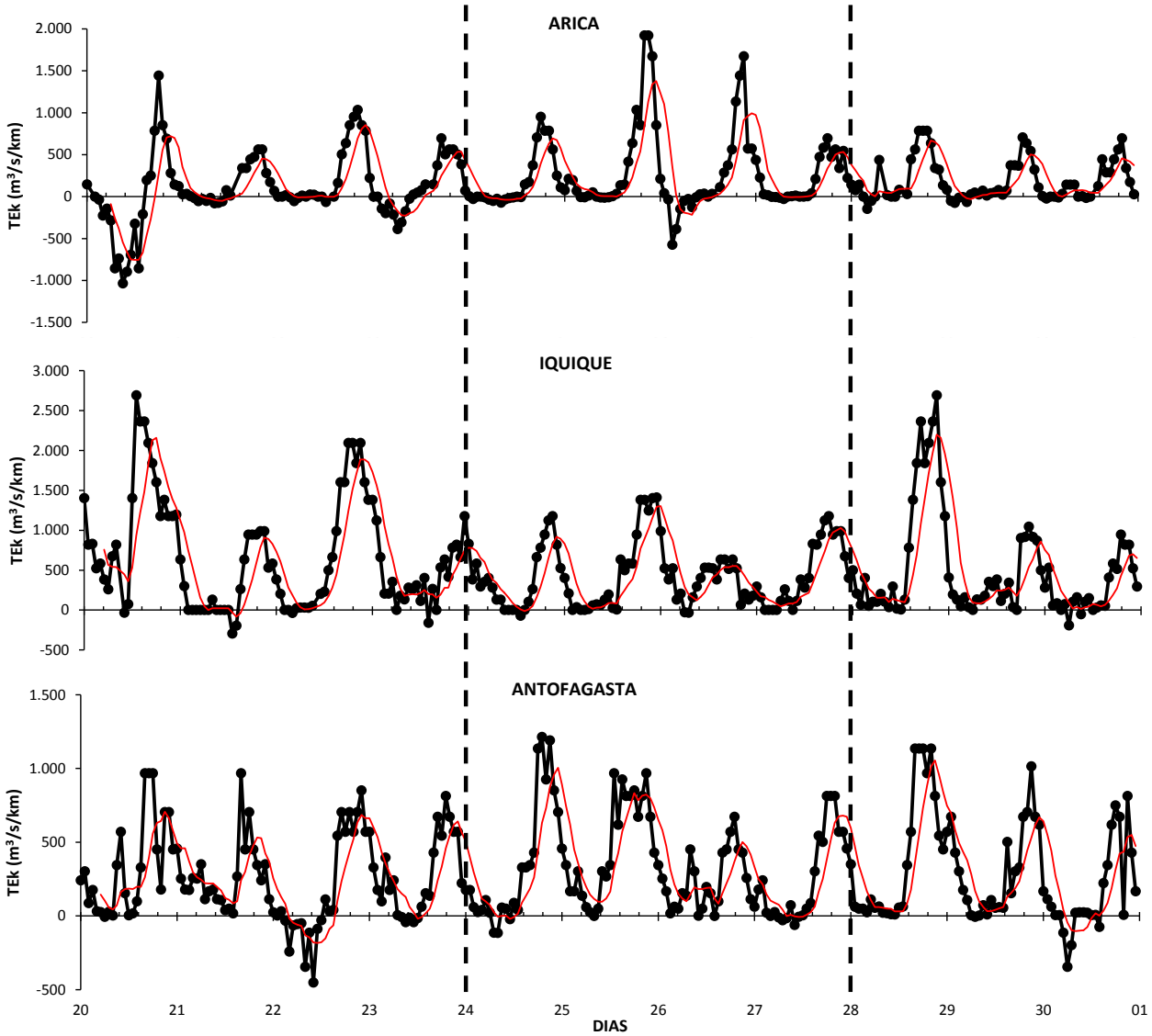

Figura 7. Transporte Ekman diario ($m^3/s/km$) en Arica, Iquique y Antofagasta, entre los días 20 y 30 de abril de 2017 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).

Estructura de la Comunidad Planctónica

Fitoplancton

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,1 y 609,4 cél/mL. Al analizar los valores integrados entre la superficie y los 10 m de profundidad, se observó que las mayores concentraciones (>100 cél/mL) se localizaron entre Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S) y se distribuyeron entre la costa (1 mn) y las 20 mn, mientras que en el resto del área se mantuvieron por debajo de las 50 cél/mL. Las diatomeas fueron responsables de las abundancias registradas, aportando con más del 80% al total en la mayoría de las estaciones. Los flagelados exhibieron concentraciones destacables (>10 cél/mL) en Arica (18°25'S), Chipana (21°20'S) y Copaca (22°20'S) (Tabla 2).

La distribución horizontal de la abundancia de las diatomeas se caracterizó por la presencia de un foco principal (>300 cél/mL) localizado a 1 mn y a 20 mn entre Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S), que se mantuvo entre la superficie y los 25 m de profundidad. En este último estrato se registró la concentración máxima (604,1 cél/mL) a 1 mn frente a Copaca (22°20'S). El resto del área exhibió abundancias iguales o inferiores a 50 cél/mL, y a los 50 m éstas descendieron de 5,0 cél/mL (Figura 8 y Figura 9).

En la componente vertical, desde Arica (18°25'S) hasta Chipana (21°20'S) la columna de agua se encontró influenciada por abundancias menores a 50 cél/mL entre la costa y las 20 mn. En Copaca (22°20'S) se registró un foco costero (1 mn) que exhibió un máximo de 604,1 cél/mL, a 25 m de profundidad, y se extendió hasta casi los 50 m con concentraciones superiores a 100 cél/mL. En Mejillones (23°00'S) se observaron dos focos con máximas a los 5 m de profundidad, el primero se localizó a 1 mn y alcanzó 355,8 cél/mL, y el segundo se registró a 20 mn con 313,2 cél/mL (Figura 12-panel izquierdo).

Los microflagelados presentaron la misma distribución entre la superficie y los 10 m de profundidad, la cual mostró la presencia de dos focos de alta concentración (>50 cél/mL). El primero se localizó en Arica (18°25'S) y alcanzó las 104,9 cél/mL en superficie a 10 mn de la costa, y el segundo se detectó en Chipana (21°20'S) con un máximo secundario de 88,0 cél/mL también superficial y a 5 mn de la costa. Este se extendió hacia Copaca (22°20'S) por la costa (1 mn) donde se registraron valores levemente superiores a 20 cél/mL. En el resto del área predominaron abundancias inferiores a 10 cél/mL (Figura 10). En los estratos de 25 m y 50 m de profundidad las abundancias descendieron de 5,0 cél/mL, pero el foco de Chipana (21°20'S) se mantuvo con 14,2 y 18,2 cél/mL respectivamente (Figura 11).

La sección vertical de la abundancia en Arica (18°25'S) mostró la presencia del foco de máxima superficial (104,9 cél/mL) extendiéndose hasta cerca de los 20 m con abundancias superiores a 20 cél/mL. En Chipana (21°20'S) el núcleo costero se proyectó hasta las 5 mn donde se observó un máximo de 88 cél/mL, y concentraciones mayores a 10 cél/mL se detectaron hasta los 50 m de profundidad. Copaca (22°20'S) mostró un núcleo de

56,4 cél/mL muy restringido a la milla y al estrato superficial. En las otras localidades toda la columna de agua, entre la costa (1 mn) y las 20 mn, exhibió abundancias inferiores a 5 cél/mL (Figura 12-panel derecho).

El análisis de la composición específica del microfitoplancton (20-200 µm) permitió identificar 44 diatomeas y 52 flagelados. La zona Arica (18°25'S)-Chucumata (20°30'S) estuvo representado por *Leptocylindrus danicus* y los géneros *Peudo-nitzschia* y *Skeletonema*, que, con máximas inferiores a 100 cél/mL, fueron responsables de las abundancias registradas en esa área. Las especies de diatomeas con las mayores abundancias (>100 cél/mL) pertenecieron al género *Chaetoceros* y realizaron los mayores aportes en el sector Chipana (21°20'S)-Mejillones (23°00'S) junto a *Leptocylindrus mediterraneus* y *Thalassiosira minuscula* (Tabla 3). Entre los microflagelados, en la zona Arica (18°25'S)-Chucumata (20°30'S) destacaron los dinoflagelados atecados junto al silicoflagelado *Dictyocha fibula*, mientras que el sector Chipana (21°20'S)-Mejillones (23°00'S) estuvo dominado por *Ceratium fusus var. seta* con proliferaciones de carácter casi mono-específicas (Tabla 4).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,3 y 43,0 µg Cl-a/L. Las concentraciones integradas entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostraron valores superiores a 10,0 µg Cl-a/L a lo largo de toda la franja costera (1 mn), los que se extendieron hasta las 20 mn en Arica (18°25'S) y en Mejillones (23°00'S) (Tabla 5).

La distribución horizontal se caracterizó por la presencia de los mayores valores entre la superficie y los 10 m de profundidad. Coincidente con los microflagelados se detectaron dos focos de alta biomasa (>20 µg Cl-a/L). El primero se localizó frente a Arica (18°25'S) y alcanzó 38,2 µg Cl-a/L a 5 m de profundidad, y el segundo se registró en Chipana (21°20'S) donde se observó la máxima biomasa (43,0 µg Cl-a/L) a 1 mn y a 10 m de profundidad. En el sector de Mejillones (23°00'S), siguiendo el patrón de las diatomeas, se observó un máximo de 18,9 µg Cl-a/L a 1 mn y otro de 19,3 µg Cl-a/L a 20 mn de la costa (Figura 13). A 25 m y 50 m de profundidad el núcleo de Chipana (21°20'S) se mantuvo con valores superiores a 10 µg Cl-a/L muy restringidos a la costa (1 mn), y en el resto del área predominaron biomasas inferiores a 1,0 µg Cl-a/L (Figura 14).

La distribución vertical en Arica (18°25'S) mostró el núcleo (>30 µg Cl-a/L) extendiéndose hasta las 20 mn con valores superiores a 10 µg Cl-a/L, los que en la costa (1 mn) alcanzaron hasta cerca de los 40 m de profundidad. En punta Madrid (19°00'S) y Chucumata (20°30'S) biomasas levemente superiores a 10 µg Cl-a/L ocuparon el estrato superficial (0-10 m) y las primeras 5 mn de la costa. En Chipana (21°20'S) el foco de máxima (43,0 µg Cl-a/L) se observó restringido a la costa (1-5 mn), pero en profundidad alcanzó los 50 m. Copaca (22°20'S) exhibió un núcleo costero (1 mn) que también abarcó toda la columna de agua, y en Mejillones (23|00'S) se observó una máxima (18,9 µg Cl-a/L) a 1 mn y otra (19,3 µg Cl-a/L) a 20 mn, ambas ocupando el estrato entre la superficie y los 10 m de profundidad (Figura 15).

Tabla 2. Abundancia fitoplanctónica integrada (cél/mL) entre la superficie y los 10 m de profundidad y aporte porcentual (%) de diatomeas (DIATO) y microflagelados (M_FLAGE), entre los días 24 y 28 de abril de 2017. 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	59,3	46,1	13,2	77,7	22,3
	5	61,9	54,6	7,3	88,3	11,7
	10	77,1	8,2	68,9	10,6	89,4
	20	11,3	10,9	0,5	95,9	4,1
Punta Madrid (19°00'S)	1	60,2	56,6	3,6	94,0	6,0
	5	15,6	14,2	1,4	91,0	9,0
	10	2,5	2,1	0,4	84,0	16,0
	20	11,3	11,2	0,2	98,4	1,6
Chucumata (20°30'S)	1	5,9	4,4	1,5	74,4	25,6
	5	103,6	101,1	2,5	97,6	2,4
	10	14,2	13,1	1,2	91,9	8,1
	20	2,9	2,3	0,5	81,8	18,2
Chipana (21°20'S)	1	114,2	54,7	59,5	47,9	52,1
	5	48,0	1,3	46,7	2,7	97,3
	10	15,0	3,4	11,6	22,4	77,6
	20	0,9	0,4	0,5	43,5	56,5
Copaca (22°20'S)	1	217,1	192,6	24,5	88,7	11,3
	5	1,5	0,7	0,8	46,7	53,3
	10	1,0	0,7	0,4	65,0	35,0
	20	31,8	30,8	1,0	97,0	3,0
Mejillones (23°00'S)	1	259,1	245,4	13,7	94,7	5,3
	5	0,4	0,3	0,2	62,5	37,5
	10	4,8	4,5	0,3	93,7	6,3
	20	249,4	248,5	0,9	99,6	0,4

Tabla 3. Abundancia máxima (ABMAX) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de las especies y géneros de diatomeas que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 24 y 28 de abril de 2017. *Caffinis*: *Chaetoceros affinis*, *Cdanicus*: *Chaetoceros danicus*, *Ldanicus*: *Leptocylindrus danicus*, *Lmediterra*: *Leptocylindrus mediterraneus*, *Pseudo-nit*: *Pseudo-nitzschia* sp., *Skeletonema*: *Skeletonema* sp., *Tminuscula*: *Thalassiosira minuscula*.

GRUPO	**LOCALIDAD**											
	Arica (18°25'S)		**Punta Madrid (19°00'S)**		**Chucumata (20°30'S)**		**Chipana (21°20'S)**		**Copaca (22°20'S)**		**Mejillones (23°00'S)**	
DIATOMEAS	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**
Caffinis							21,4	16,6	239,2	42,9	95,6	16,7
Cdanicus											198,8	40,5
Ldanicus	78,4	63,6	34,0	24,2	54,0	21,0					76,8	8,7
Lmediterra							27,8	37,5				
Pseudo-nit	24,1	12,8	24,8	39,3	14,6	14,8						
Skeletonema			29,4	17,0	62,4	23,7						
Tminuscula							20,8	11,7	162,4	23,9	68,2	7,7
APORTE TOTAL		**76,3**		**80,4**		**59,5**		**65,8**		**66,8**		**73,6**

Tabla 4. Abundancia máxima (ABMAX) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de las especies y géneros de flagelados que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 24 y 28 de abril de 2017. Atecados: *Gymnodinium* sp. y *Gyrodinium* sp., *Cfusus*: *Ceratium fusus* var. *seta*, *Dfibula*: *Dictyocha fibula*.

GRUPO	**LOCALIDAD**											
	Arica (18°25'S)		**Punta Madrid (19°00'S)**		**Chucumata (20°30'S)**		**Chipana (21°20'S)**		**Copaca (22°20'S)**		**Mejillones (23°00'S)**	
FLAGELADOS	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**
Atecados	89,8	67,6	1,4	27,5	1,2	30,7			0,6	4,6	20,9	71,6
Cfusus							86,0	85,7	52,4	79,8	0,5	3,1
Dfibula			3,4	37,0	0,4	11,8					0,4	3,0
APORTE TOTAL		**67,6**		**64,5**		**42,5**		**85,7**		**84,4**		**77,6**

Tabla 5. Biomasa fitoplanctónica (BF) integrada (µg Cl-a/L) entre la superficie y los 10 m de profundidad, entre los días 24 y 28 de abril de 2017. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	BF (µg Cl-a/L)
Arica (18°25'S)	1	28,2
	5	30,3
	10	20,2
	20	12,5
Punta Madrid (19°00'S)	1	15,8
	5	6,1
	10	1,1
	20	1,1
Chucumata (20°30'S)	1	9,7
	5	13,1
	10	9,3
	20	2,4
Chipana (21°20'S)	1	32,3
	5	20,0
	10	8,4
	20	1,9
Copaca (22°20'S)	1	16,3
	5	1,8
	10	1,8
	20	3,1
Mejillones (23°00'S)	1	14,6
	5	3,8
	10	3,5
	20	18,9

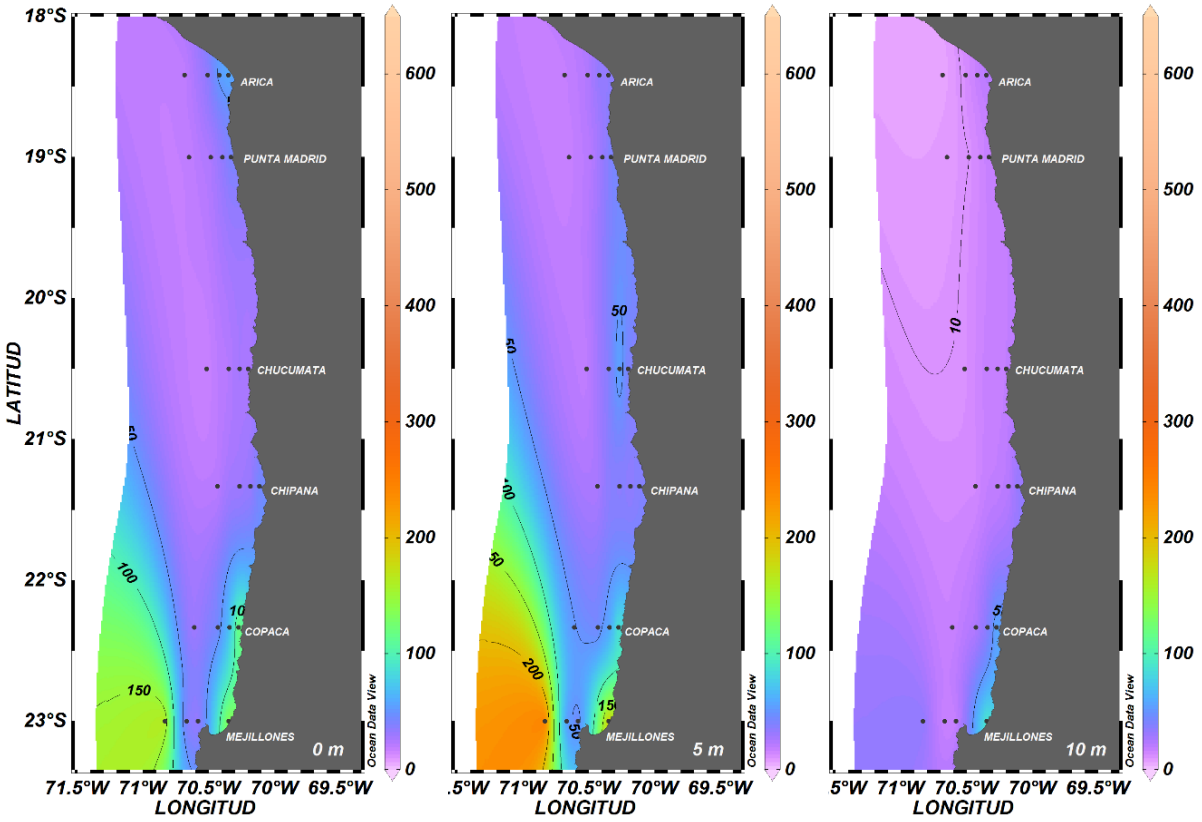

Figura 8. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

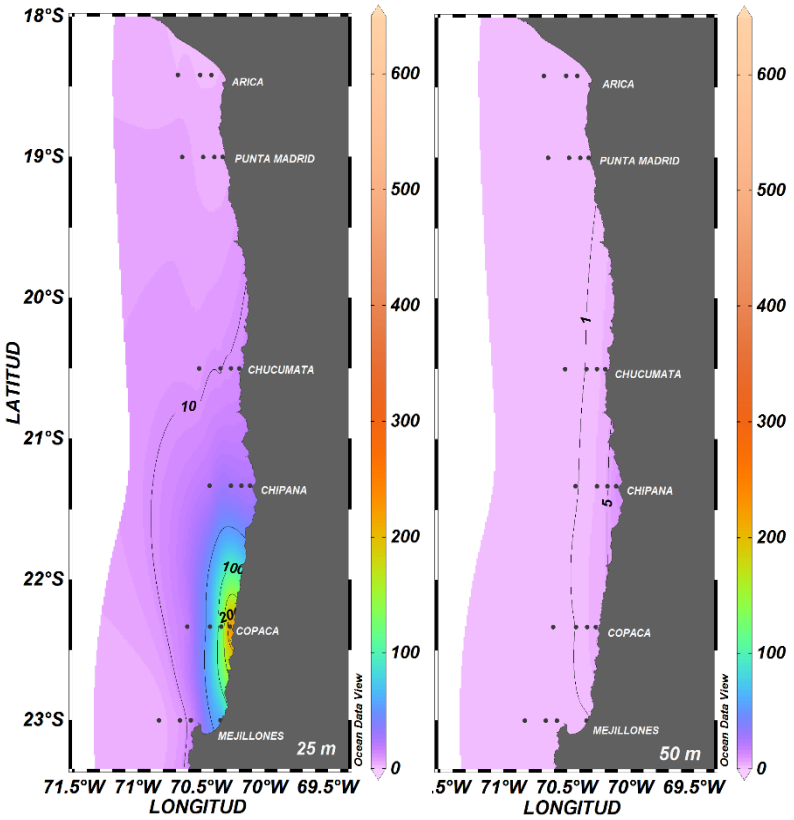

Figura 9. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

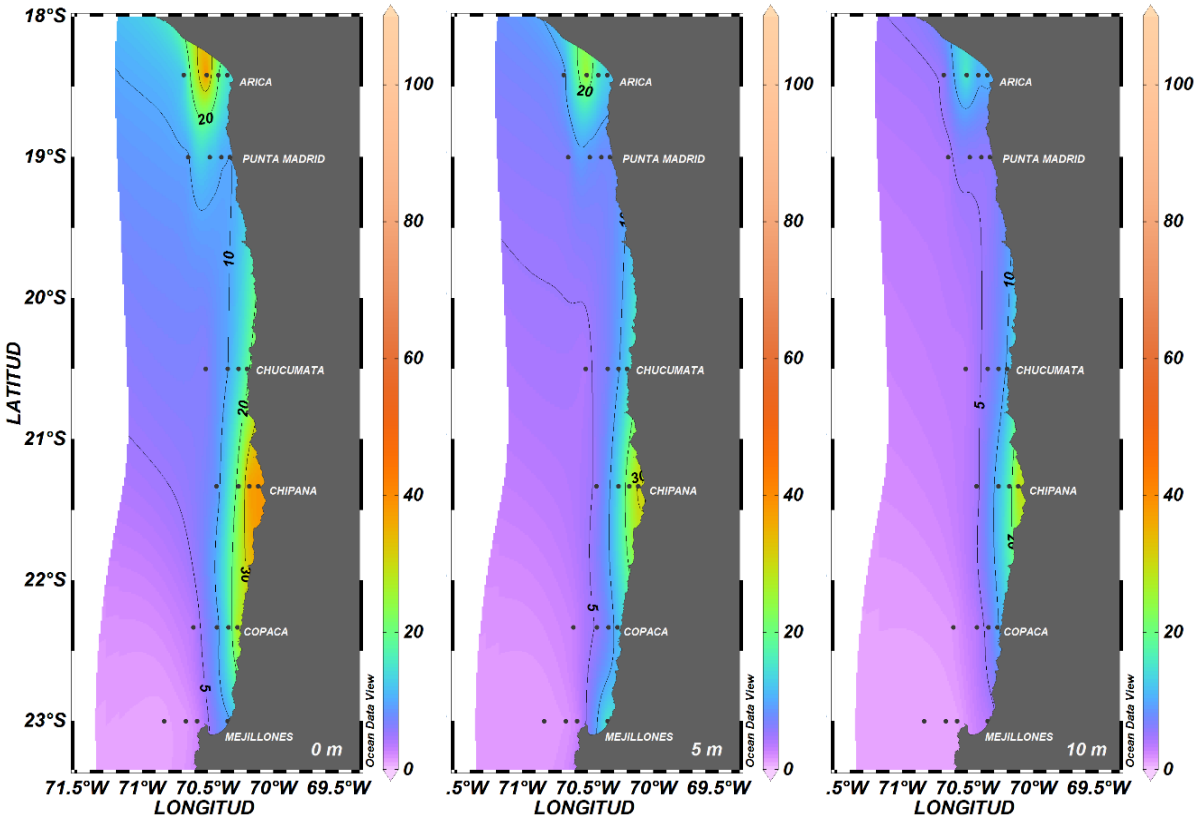

Figura 10. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 24 y 28 de abril de2017.

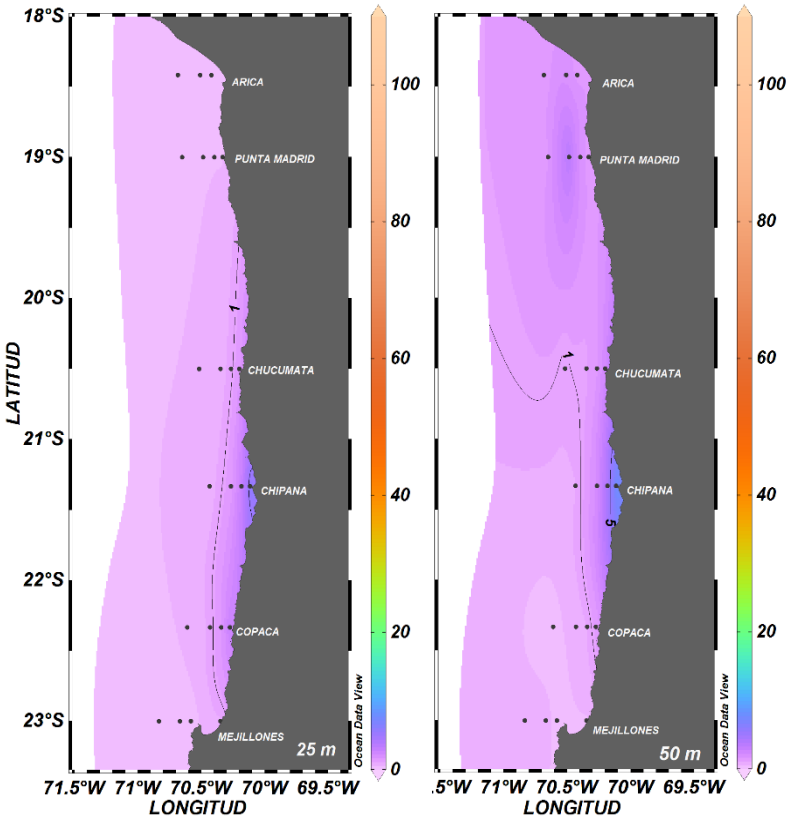

Figura 11. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

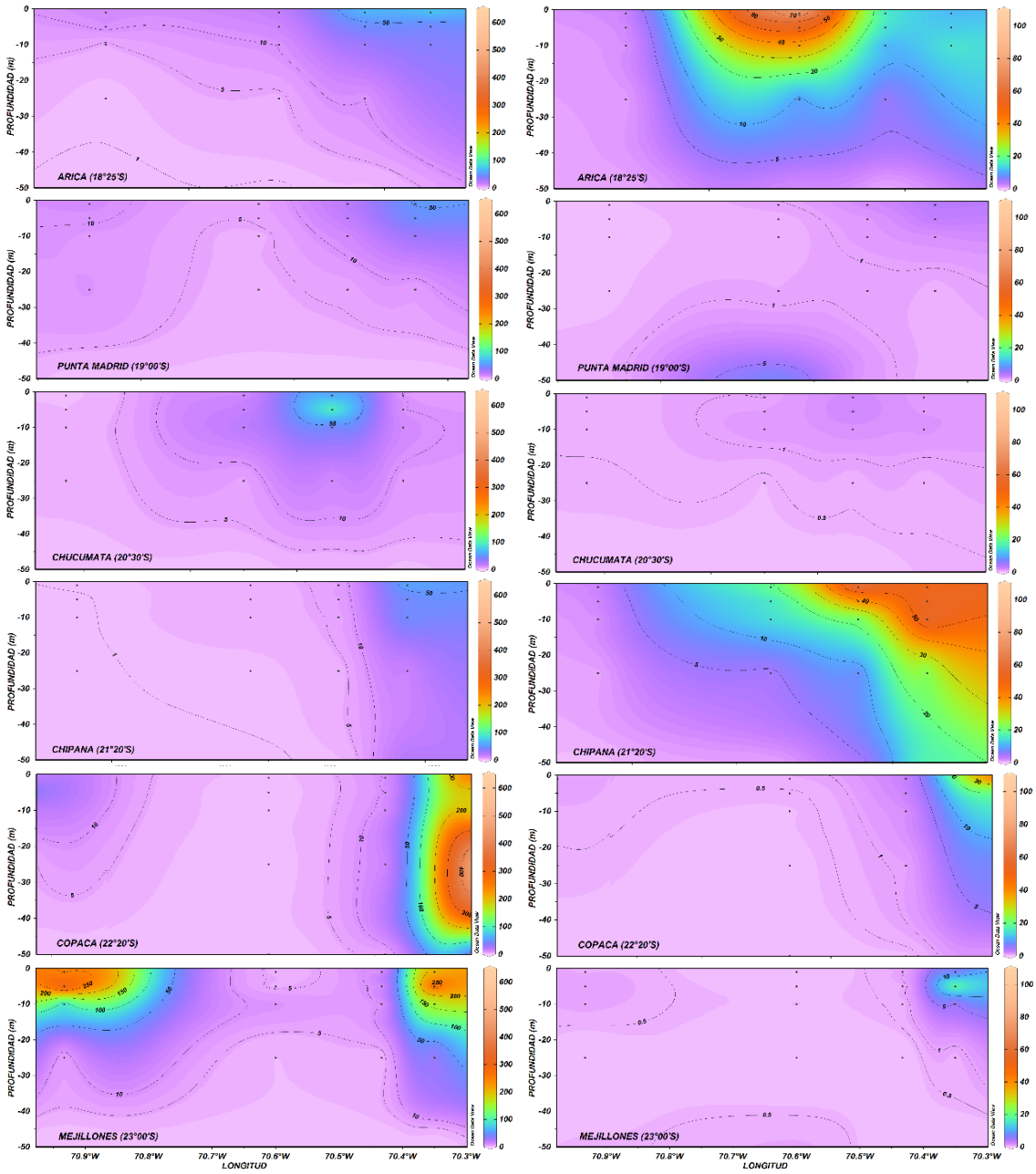

Figura 12. Secciones verticales de la abundancia (cél/mL) de diatomeas (panel-izquierdo) y microflagelados (panel-derecho), entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

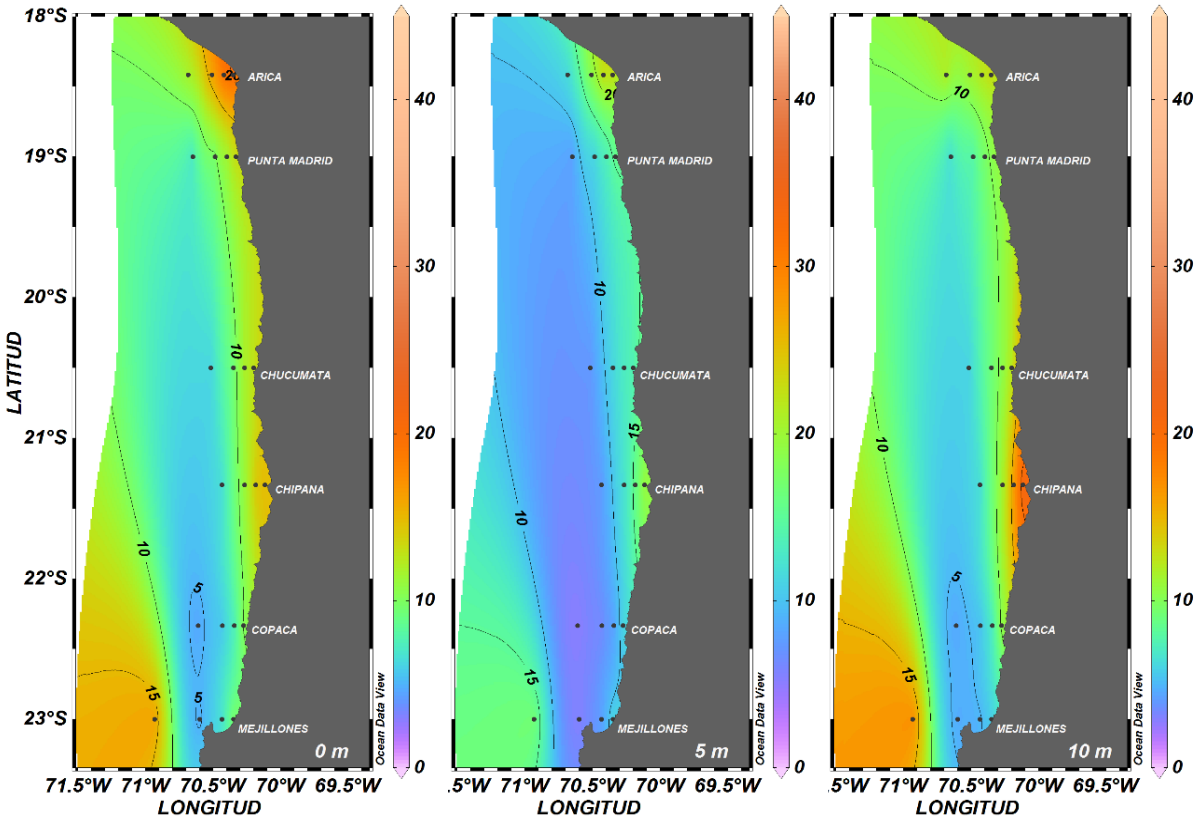

Figura 13. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

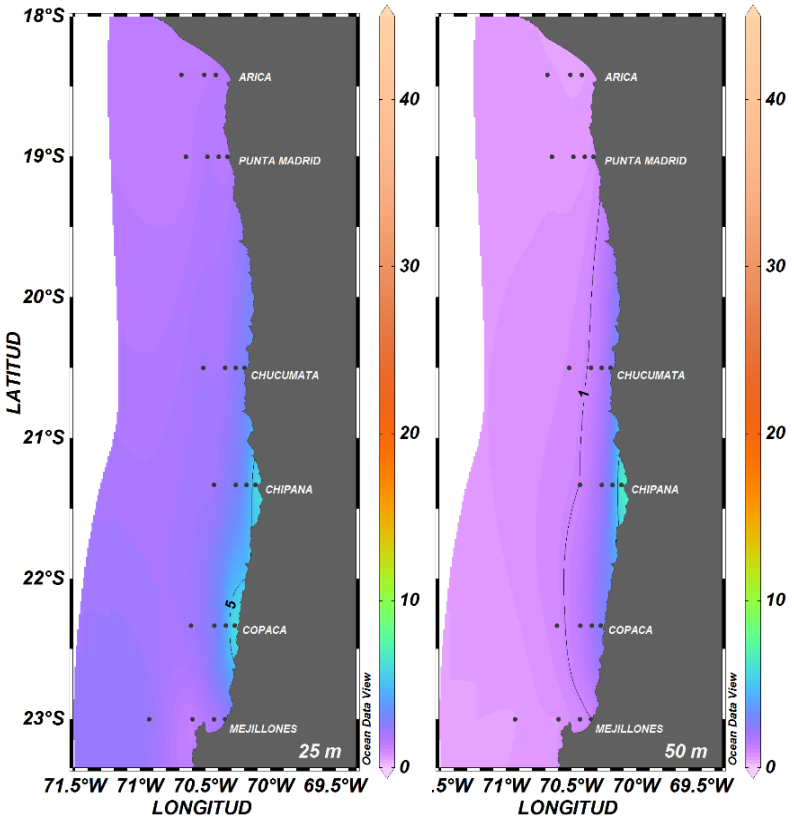

Figura 14. Distribución de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

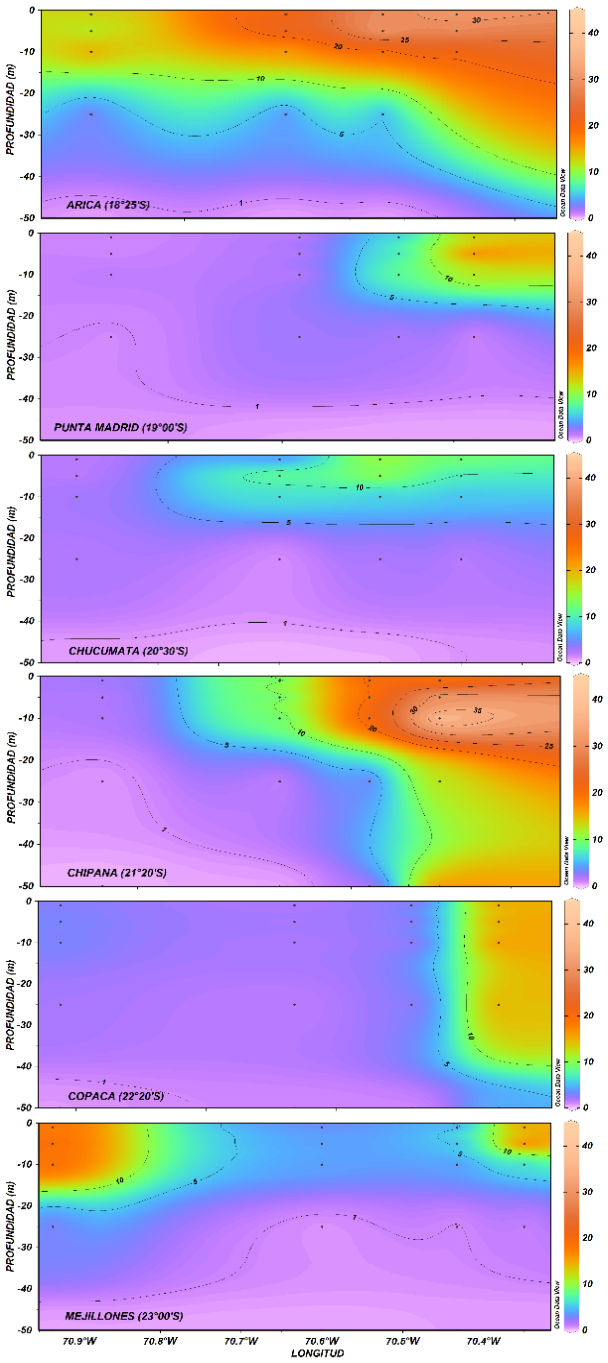

Figura 15. Secciones verticales de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L), entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

Zooplancton

La abundancia total de zooplancton fluctuó entre 42,3 y 947,0 ind/10 m^2. Con excepción de Chucumata (20°30'S), todas las localidades exhibieron concentraciones que superaron los 100 ind /10 m^2, las que se encontraron distribuidas entre la costa (1 mn) y las 20 mn (Tabla 6).

El grupo más abundante fue Copepoda. Este exhibió un máximo de 874,5 ind/10 m^2 y realizó aportes al total entre 62,6% y 92,8%. Otros grupos que destacaron por su contribución, fueron apendicularias, larvas de anélidos y misidáceos, los que presentaron sus mayores abundancias asociados a Copepoda, con el máximo frente a Copaca (22°20'S) a 1 mn de la costa (Tabla 7).

Tabla 6. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) entre los días 24 y 28 de abril de 2017. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m^2)
Arica (18°25'S)	1	58,1
	5	60,0
	10	219,9
	20	230,5
Punta Madrid (19°00'S)	1	44,7
	5	91,7
	10	110,9
	20	42,3
Chucumata (20°30'S)	1	53,2
	5	44,4
	10	49,0
	20	46,3
Chipana 21°20'S	1	376,5
	5	86,0
	10	44,5
	20	81,4
Copaca (22°20'S)	1	947,0
	5	194,6
	10	166,1
	20	118,1
Mejillones (23°00'S)	1	54,2
	5	104,3
	10	81,3
	20	266,0

Tabla 7. Abundancia de Copepoda (COP) (ind/10 m^2), de otros grupos zooplanctónicos (ind/10 m^2) y aporte porcentual de Copepoda (AP-COP) (%) entre los días 24 y 28 de abril de 2017. DC: distancia de la costa (mn), APPEN: apendicularias, LAnn: larvas de Annelida, MYSI: Mysidacea, OG: Otros grupos.

LOCALIDAD	DC (mn)	COP	APPEN	LAnn	MYSI	OG	AP-COP (%)
Arica (18°25'S)	1	53,9	0,6	3,0	0,3	0,4	92,8
	5	54,1	1,3	2,8	0,9	0,9	90,1
	10	199,7	2,0	6,2	6,7	5,3	90,8
	20	201,5	3,3	11,5	5,5	8,7	87,4
Punta Madrid (19°00'S)	1	39,1	0,7	2,3	0,8	1,7	87,5
	5	65,0	1,4	10,2	1,0	14,0	70,9
	10	74,0	8,5	10,0	2,8	15,6	66,7
	20	26,5	3,5	3,7	2,4	6,3	62,6
Chucumata (20°30'S)	1	46,1	0,5	3,7	0,8	2,0	86,7
	5	34,3	0,2	3,3	1,3	5,3	77,2
	10	41,5	0,6	3,0	1,1	2,8	84,7
	20	31,6	2,1	4,5	2,1	6,0	68,3
Chipana (21°20'S)	1	331,8	3,7	21,6	8,9	10,5	88,1
	5	74,9	0,9	3,6	2,9	3,7	87,1
	10	37,3	0,7	1,8	1,4	3,2	83,8
	20	59,7	2,9	6,8	1,3	10,7	73,3
Copaca (22°20'S)	1	874,5	10,0	32,8	18,3	11,4	92,3
	5	161,1	3,7	7,7	5,1	17,0	82,8
	10	133,9	5,8	15,1	1,4	9,9	80,6
	20	94,3	3,2	7,1	1,2	12,3	79,8
Mejillones (23°00'S)	1	47,3	0,5	3,1	0,3	3,0	87,3
	5	91,3	0,5	6,4	1,4	4,7	87,5
	10	59,6	0,7	7,4	1,3	12,4	73,3
	20	231,5	2,9	14,6	2,9	14,1	87,0

En relación a los tamaños, se identificaron individuos entre 0,25 mm y 10,75 mm. El rango 0,25-0,75 mm fue el más abundante, predominando el grupo Copepoda seguido de las larvas de anélidos, y en el rango 1,25-1,75 mm además de Copepoda, destacaron los misidáceos (Tabla 8).

La abundancia del rango 0,25-0,75 mm fluctuó entre 33,6 y 936,7 ind/10 m^2, a la que el grupo Copepoda aportó con más del 80%. La segunda más abundante fue la categoría 1,25-1,75 mm, pero la máxima alcanzó sólo los 26,8 ind/10 m^2. Los otros rangos, en conjunto, escasamente superaron los 6,0 ind/10 m^2 (Tabla 9).

Tabla 8. Abundancia relativa de los grupos zooplanctónicos por rango de tamaño (mm) entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

GRUPOS	**RANGOS DE TAMAÑO (mm)**				
	0,25-0,75	**1,25-1,75**	**2,25-2,75**	**3,25-3,75**	**4,25-10,75**
Anfipodos	1,1	4,2	1,6	0,7	0,2
Annelida		0,2	0,3		
Appendicularia	55,8	4,3			0,1
Copepoda	3.008,7	87,6	5,7	1,5	0,3
Cnidaria	0,2	2,3	1,1	0,3	0,7
Ctenoforos	0,7	5,1	2,0	0,7	1,7
Chaetognata	2,6	7,7	8,0	6,8	3,6
Eufausiacea		0,2	3,2	5,1	3,2
Larvas Annelida	180,6	15,0			
Megalopas		0,9	1,2	0,4	
Mysidacea	30,1	41,9	1,3		
Salpas	35,5	11,3			
Sifonoforos	2,3	22,2	11,0	1,9	1,0
Stomatopoda		3,6	3,2	0,3	0,4
Zoeas	4,4	14,4	4,4	1,3	0,4

Tabla 9. Abundancia zooplanctónica (ind/10 m^2) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual de Copepoda (AP-COP) (%) a la categoría 0,25-0,75 mm, entre los días 24 y 28 de abril de 2017. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	RANGOS DE TAMAÑO (mm)			AP-COP (%)
		0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-10,75	0,25-0,75
Arica (18°25'S)	1	57,8	0,3	0,1	92,7
	5	59,3	0,7	0,0	89,8
	10	213,7	5,7	0,4	90,2
	20	216,2	11,6	2,4	86,2
Punta Madrid (19°00'S)	1	42,6	1,7	0,4	86,6
	5	74,6	10,0	6,7	67,8
	10	89,1	13,7	7,6	62,7
	20	33,6	7,1	1,5	58,9
Chucumata (20°30'S)	1	48,9	2,9	1,2	83,9
	5	34,4	5,6	4,3	69,4
	10	40,2	7,1	1,7	75,7
	20	35,8	6,6	4,0	61,9
Chipana (21°20'S)	1	360,5	13,5	2,1	86,7
	5	75,9	8,3	1,7	81,5
	10	36,5	6,8	1,1	75,8
	20	64,4	11,3	5,5	66,9
Copaca (22°20'S)	1	936,7	8,3	1,4	92,1
	5	160,8	26,8	6,6	75,9
	10	148,4	14,6	2,8	76,5
	20	97,3	13,5	7,3	73,8
Mejillones (23°00'S)	1	92,6	10,1	1,4	81,7
	5	92,6	10,1	1,4	81,7
	10	65,3	9,9	6,0	68,7
	20	245,0	14,1	6,0	84,9

Al analizar la distribución horizontal de la abundancia total del zooplancton, las mayores concentraciones (>100 ind/10 m^2) se observaron en Arica (18°25'S) y desde Chipana (21°20'S) al sur. En Arica (18°25'S) se detectaron densidades superiores a 200 ind/10 m^2 entre las 10 mn y las 20 mn. La densidad máxima (947 ind/10 m^2) se localizó en Copaca (22°20'S) a 1 mn de la costa, y un foco secundario de 266 ind/10 m^2 se registró a 20 mn frente a Mejillones (23°00'S) (Figura 16A).

La distribución de los copépodos, al aportar con más del 80% al total, fue similar, observándose la máxima (874,5 ind/10 m^2) a 1 mn de la costa frente a Copaca (22°20'S), y focos secundarios de 201,5 y 231,5 ind/10 m^2 a 20 mn en Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) respectivamente (Figura 16B).

El mismo patrón se observó en la distribución de la abundancia del rango 0,25-0,75 mm, con un máximo de 936,7 ind/10 m^2 en Copaca (22°20'S) y focos superiores a 200 ind/10 m2 a 20 mn en Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 17A), la cual estuvo directamente asociado a la presencia del grupo Copepoda perteneciente a ese tamaño (Figura 17B).

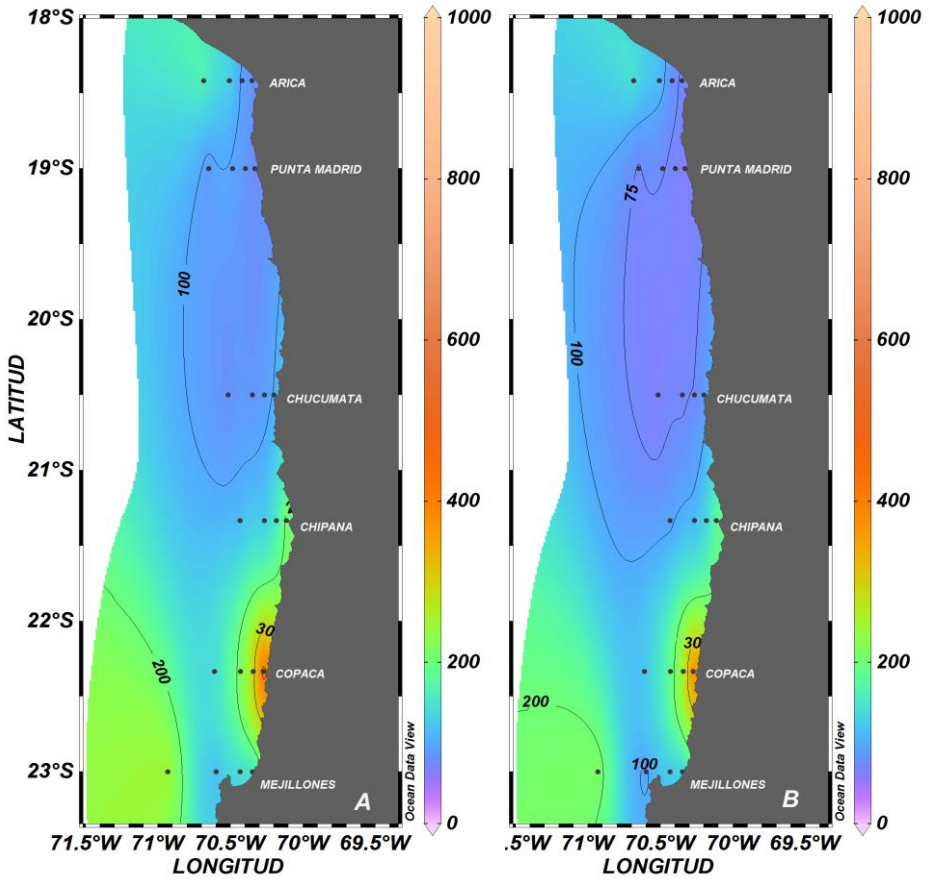

Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) A: del zooplancton total y B: del grupo Copepoda, entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

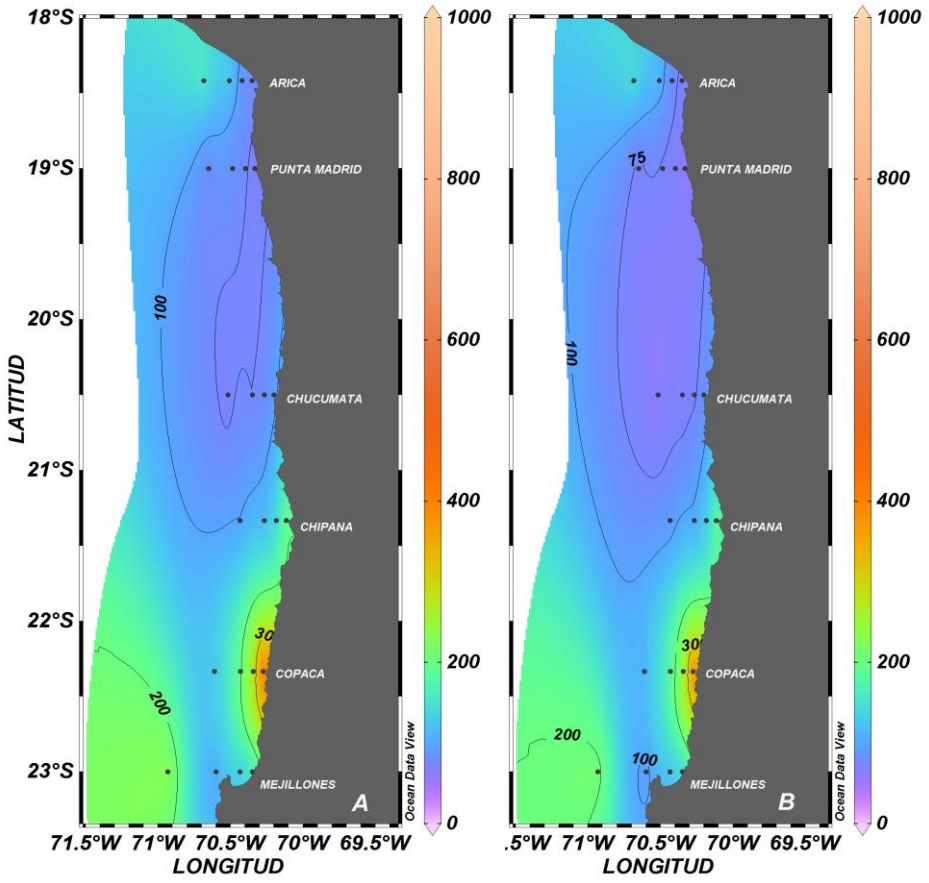

Figura 17. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) A: del zooplancton total y B: del grupo Copepoda pertenecientes al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

Ictioplancton

La abundancia total de estadios tempranos fue de 8.781 huevos/10 m^2 y 23.206 larvas/10 m^2, de los cuales el 20,3% y 61,7% correspondieron a huevos y larvas de *Engraulis ringens* respectivamente (Tabla 10).

Se identificaron larvas de anchoveta en estado yolk-sac, pre-flexión y flexión. El estado más abundante fue el yolk-sac, con un total de 10.585 larvas/10 m^2, lo que representó el 73,9% de la abundancia total de larvas de esta especie, y el 45,6% de la abundancia total de larvas. Las larvas en estado de pre-flexión y flexión exhibieron una densidad levemente superior a 1.000 larvas /10 m^2 (Tabla 10).

Tabla 10. Abundancia de huevos y larvas (N°/10 m^2) de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies, entre los días 24 y 28 de abril de 2017. Larvas Y-S: larvas en estado yolk-sac, Larvas Pre-F: larvas en estado de pre-flexión, Larvas Flex: larvas en estado de flexión. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	*Engraulis ringens*				Otras Especies		Totales	
		Huevos	Larvas Y-S	Larvas Pre-F	Larvas Flex	Huevos	Larvas	Huevos	Larvas
Arica (18°25'S)	1	336				269		604	
	5	274	274				68	274	342
	10		613				77		690
	20			711	1.279	71	995	71	2.985
Punta Madrid (19°00'S)	1								
	5						872		872
	10					283	2.602	283	2.602
	20					474	790	474	790
Chucumata (20°30'S)	1	359						359	
	5	68						68	
	10					78		78	
	20					609		609	
Chipana (21°20'S)	1	359	179				90	359	269
	5	250					63	250	63
	10	78				156		234	
	20					1.122	150	1.122	150
Copaca (22°20'S)	1	58	9.385	1.670			173	58	11.228
	5					120	1.023	120	1023
	10					338	958	338	958
	20					3.424	586	3.424	586
Mejillones (23°00'S)	1		78	78			157		314
	5								
	10						58		58
	20		56			56	223	56	278
TOTAL		1782	10.585	2.459	1.279	6.999	8.883	8.781	23.206
AP (%)		20,3	45,6	10,6	5,5	79,7	38,3		

Se registró la presencia de estadios tempranos de *Engraulis ringens* en 12 de las 24 estaciones de muestreo, y entre la costa y las 20 mn, las cuales comprendieron todas las localidades, excepto punta Madrid (19°00'S) (Figura 18).

La distribución de los huevos se restringió a Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20'S) y Copaca (22°20'S), y las mayores densidades (>300 huevos/10 m^2) se detectaron entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S) a 1 mn y 5 mn de la costa (Figura 19).

La distribución de las larvas en estado yolk-sac se extendió hasta Mejillones (23°00'S), pero con muy bajas concentraciones (<100 larvas/10 m^2). Este estadio presentó un máximo principal de 9.385 larvas/10 m^2 que se localizó en Copaca (22°20'S) a 1 mn de la costa, y uno secundario de 613 larvas/10 m^2 en Arica (18°25'S) a 10 mn (Figura 20-panel izquierdo). Los estados pre-flexión y flexión se observaron sólo en Arica (18°25'S), Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S), y presentaron densidades superiores a 1.000 larvas/10 m^2 en Arica (18°25'S) a 20 mn y en Copaca (22°20'S) a 1 mn de la costa. En las otras localidades las abundancias se mantuvieron cercanas a 100 larvas/10 m^2 (Figura 20-panel derecho).

Los huevos de otras especies exhibieron una amplia distribución en la zona, tanto latitudinal como longitudinal. El máximo fue de 3.424 huevos huevos/10 m^2 y se registró a 20 mn frente a Copaca (22°20'S) (Figura 21-panel izquierdo). Las larvas también presentaron una distribución amplia y sus mayores densidades se localizaron en la franja entre 5 mn y 10 mn de la costa, alcanzando una densidad máxima de 2.602 larvas/10 m^2 a 10 mn en punta Madrid (19°00'S) (Figura 21-panel derecho).

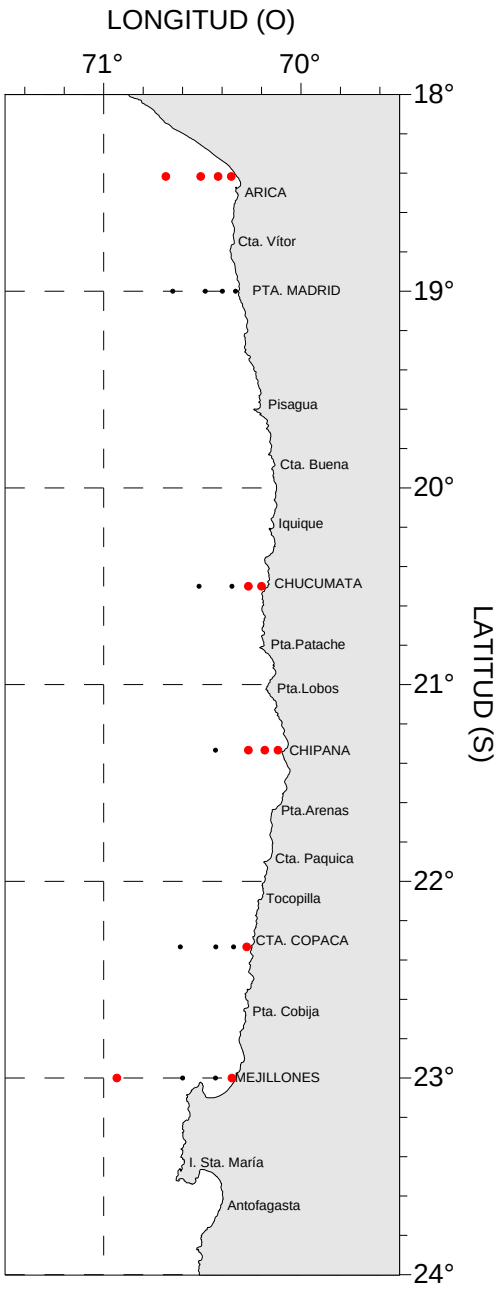

Figura 18. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

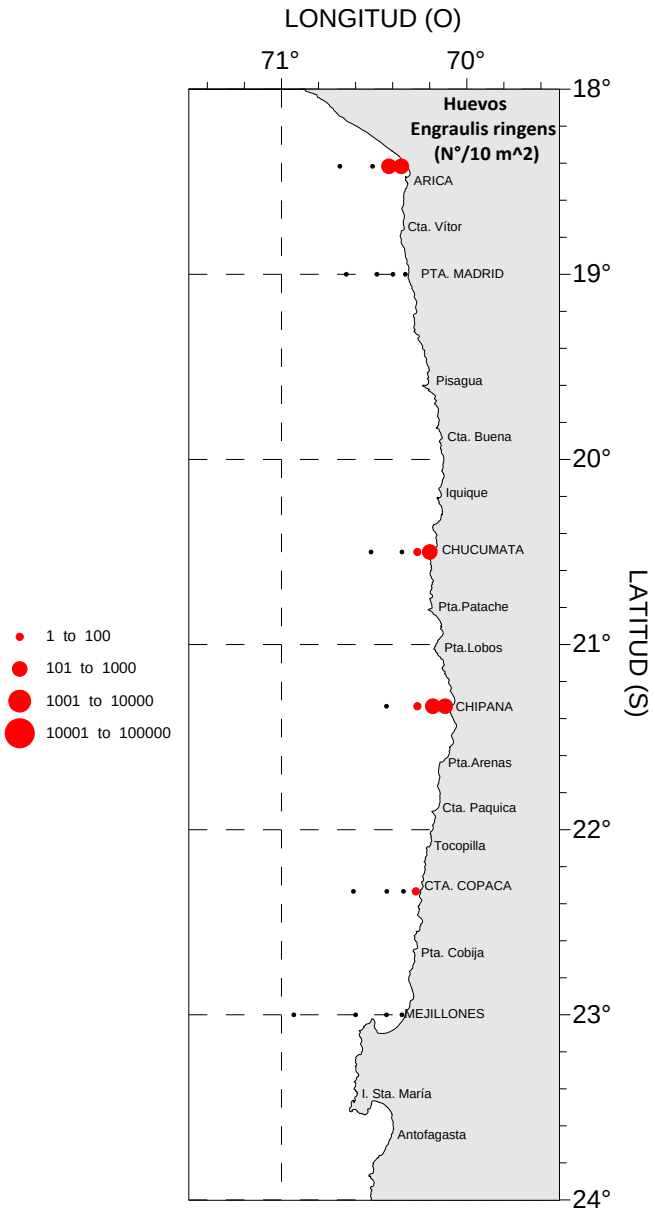

Figura 19. Distribución de la abundancia de huevos (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

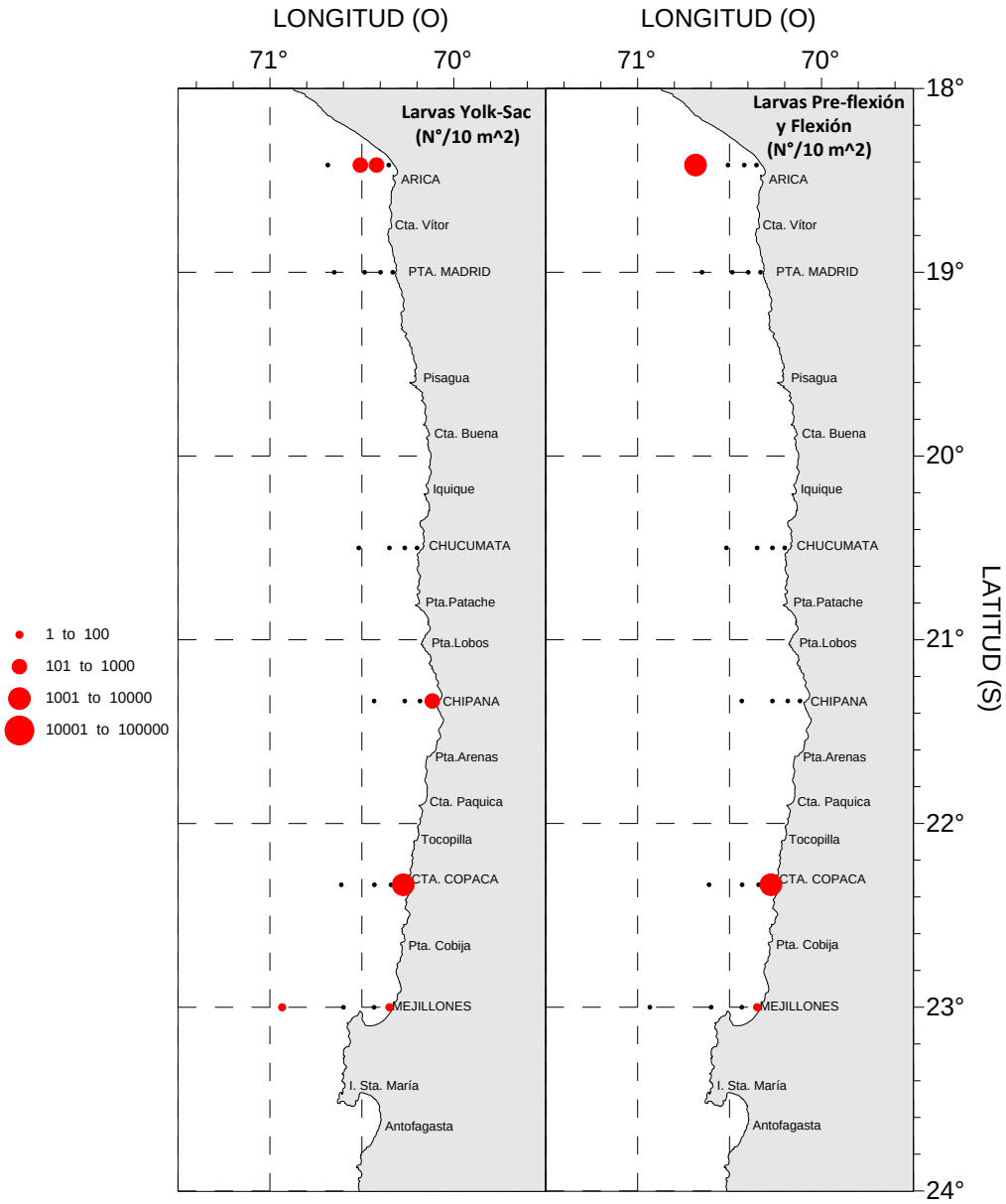

Figura 20. Distribución de la abundancia de larvas (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* en estado yolk-sac (panel izquierdo) y pre-flexión y flexión (panel derecho) entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

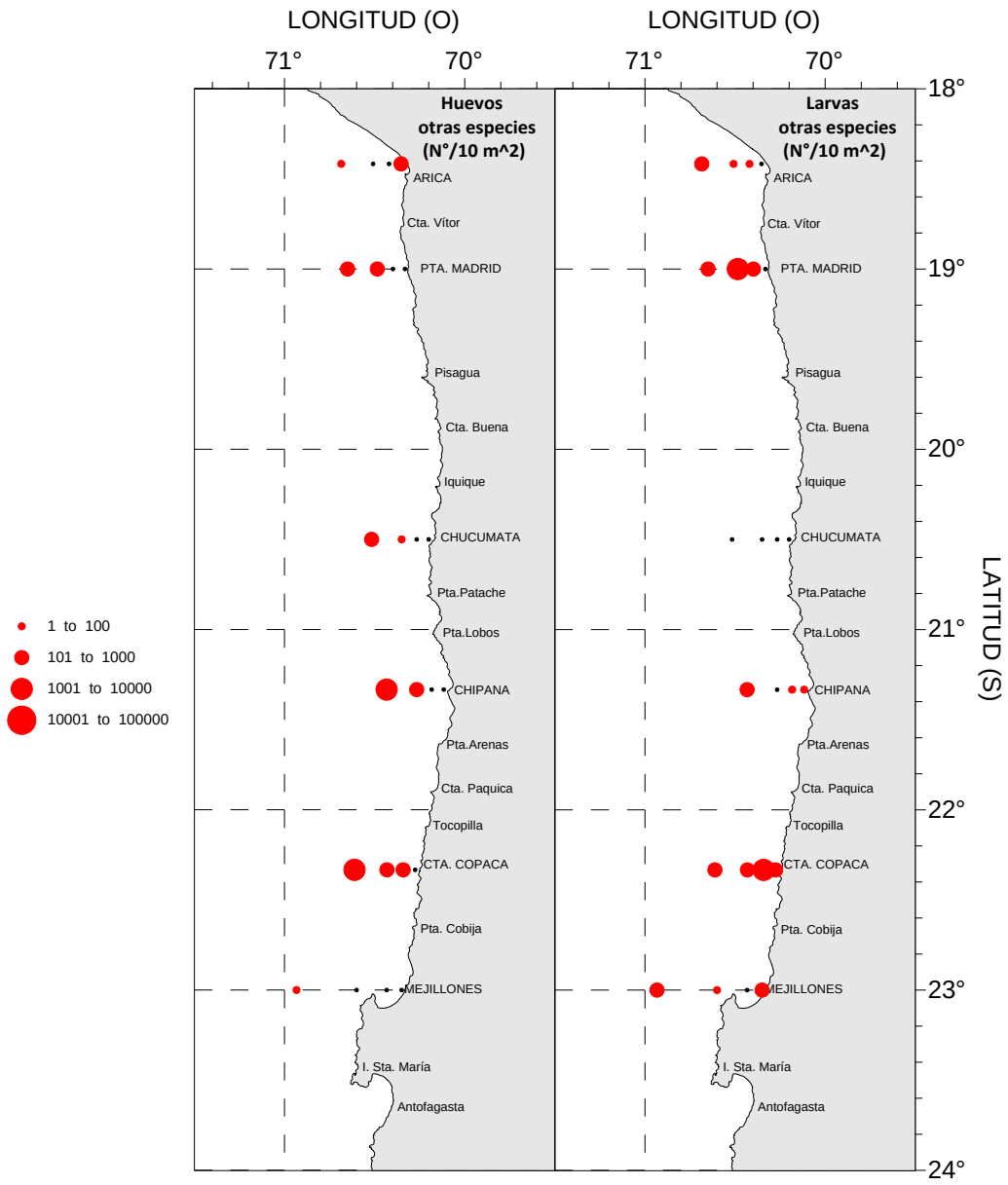

Figura 21. Distribución horizontal de la abundancia (N°/10 m^2) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 24 y 28 de abril de 2017.

Análisis Estadístico

El análisis de correlación mostró una asociación estadísticamente significativa entre la abundancia de huevos de anchoveta y la densidad ($r=0,41$, $p<0,01$), el oxígeno disuelto ($r=0,51$, $p<0,01$) y la profundidad del LS_ZMO ($r=0,48$, $p<0,01$), y con las variables biológicas biomasa fitoplanctónica ($r=0,62$, $p<0,01$) y abundancia de microflagelados ($r=0,60$, $p<0,01$) y nanoflagelados ($r=0,58$, $p<0,01$) (Figura 22), mientras que la abundancia de las larvas se encontró fuertemente correlacionada sólo con las variables biológicas (Figura 23).

Respecto del análisis comparativo global aplicado a las variables registradas durante otoño de 2015, 2016 y 2017, se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre la salinidad y la abundancia de microflagelados y nanoflagelados (Tabla 11), las cuales se debieron a que durante otoño de 2015 se registraron las salinidades más altas y las menores abundancias de las formas flageladas (Tabla 12, Figura 24).

El análisis comparativo por área reveló que en Arica (18°25’S-19°00’S) las variables abundancia de microflagelados y abundancia de zooplancton mostraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 13). Las diferencias en los microflagelados resultaron de los altos valores registrados en 2016, mientras que en el caso del zooplancton el otoño de 2015 exhibió las menores densidades (Tabla 14, Figura 25). En el área Chipana (20°30’S-21°20’S) sólo la salinidad presentó diferencias (Tabla 13), generadas por los altos valores detectados en 2015 (Tabla 14, Figura 26). En el área Mejillones (22°20’S-23°00’S) se detectaron diferencias significativas entre la salinidad, la abundancia de nanoflagelados y la abundancia zooplanctónica (Tabla 13), las cuales fueron generadas, por los altas salinidades de 2015 y las mayores abundancias de nanoflagelados y zooplancton registradas durante 2017 (Tabla 14, Figura 27).

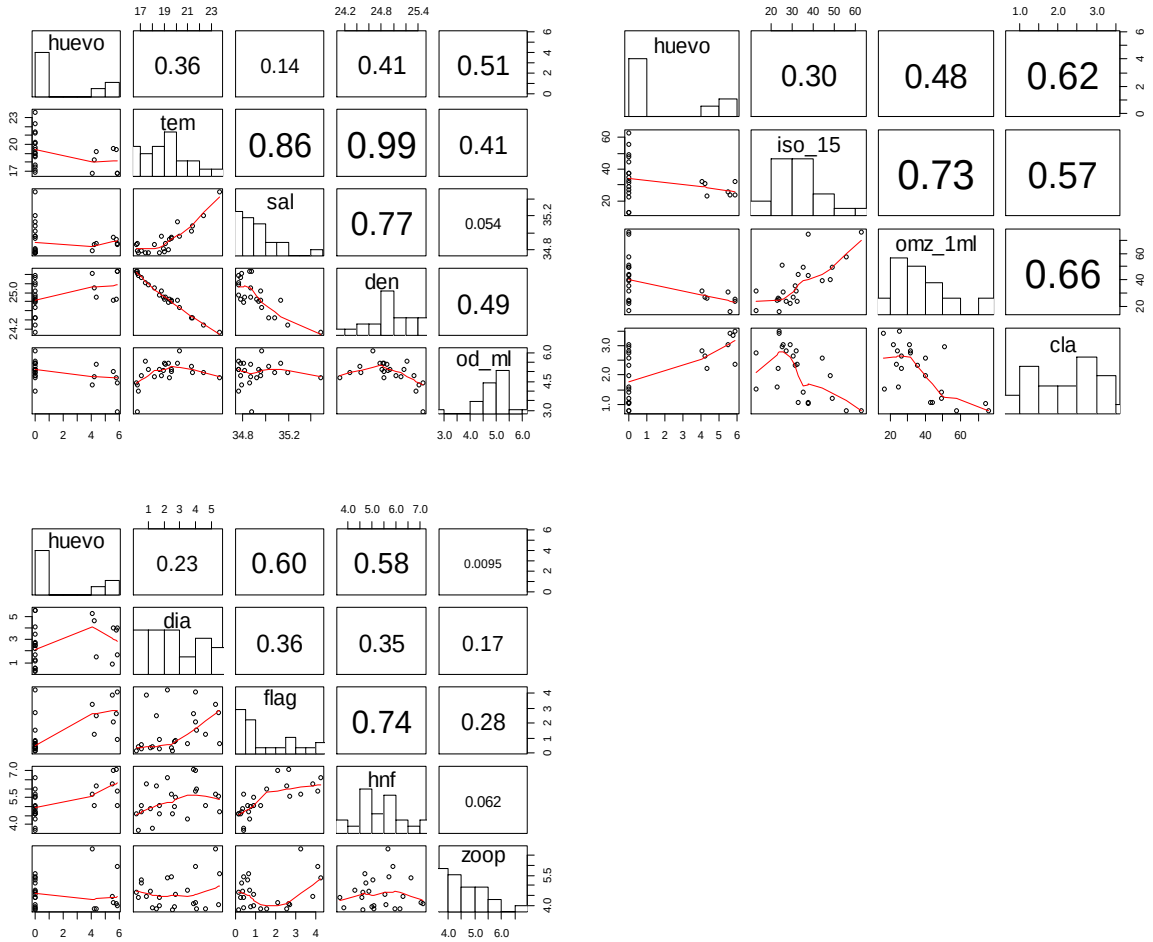

Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevo) (N°/10 m^2) y las variables temperatura (tem) (°C), salinidad (sal) (ups), densidad (den) (σ-t), oxígeno disuelto (mL/L) (od), profundidad de la isoterma de 15°C (m) (iso_15), profundidad del límite superior de la ZMO (m) (OMZ_1 ml), biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/m^3) (cla), abundancia de diatomeas (dia) (cél/m^3), abundancia de microflagelados (flag) (cél/m^3), abundancia de nanoflagelados (hnf) (cél/m^3) y abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m^2), registradas entre el 24 y 28 de abril de 2017.

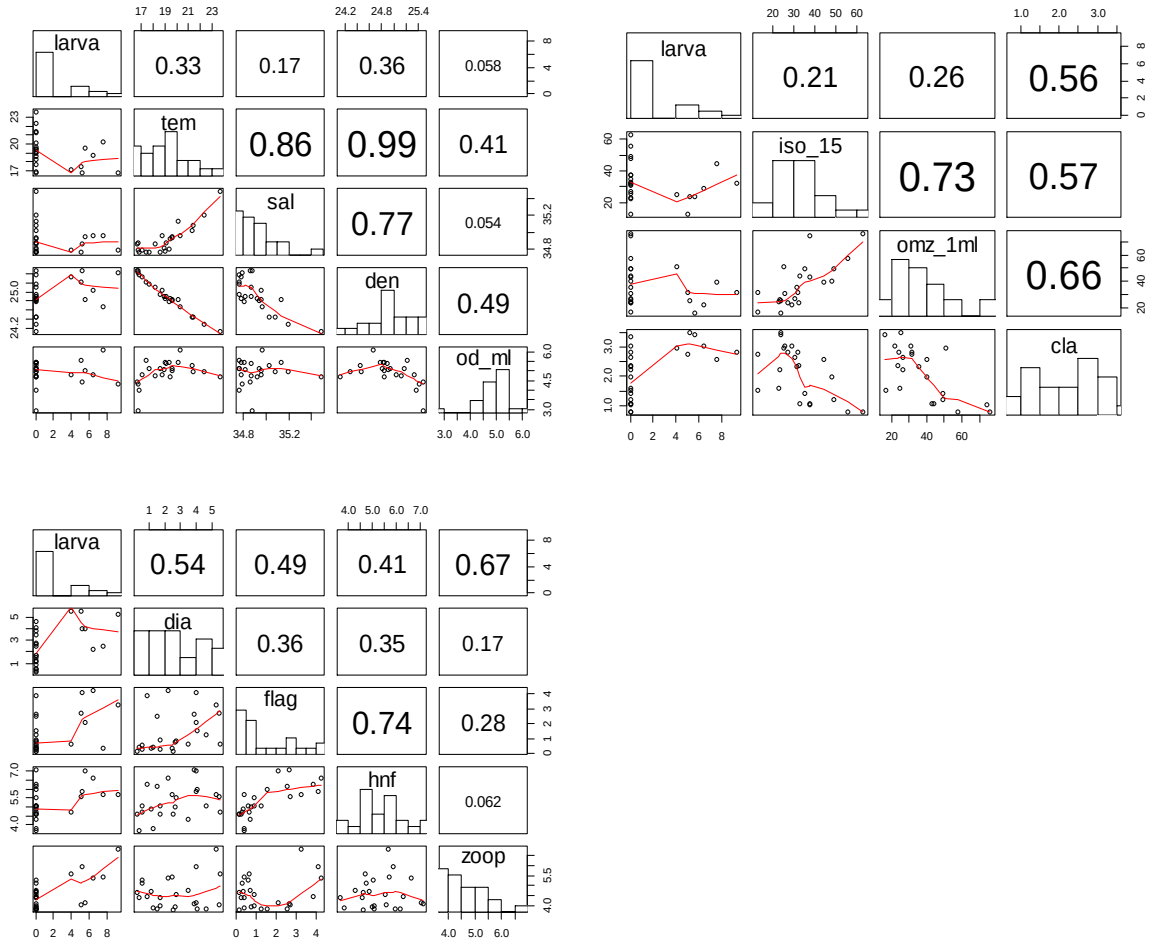

Figura 23. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larva) (N°/10 m^2) y las variables temperatura (tem) (°C), salinidad (sal) (ups), densidad (den) (σ-t), oxígeno disuelto (mL/L) (od), profundidad de la isoterma de 15°C (m) (iso_15, profundidad del límite superior de la ZMO (m) (OMZ_1 ml), biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/m^3) (cla), abundancia de diatomeas (dia) (cél/m^3), abundancia de microflagelados (flag) (cél/m^3), abundancia de nanoflagelados (hnf) (cél/m^3) y abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m^2), registradas entre el 24 y 28 de abril de 2017.

Tabla 11. Resultados del análisis de varianza aplicado en forma global a las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante los cruceros de otoño de 2015, 2016 y 2017. NS: nivel de significancia.

Variable	F	Valor *p*	NS
SALINIDAD (ups)	8,79	0,001	0,001
MICROFLAGELADOS (cél/mL)	3,55	0,036	<0,05
NANOFLAGELADOS (cél/mL)	7,09	0,002	<0,01

Tabla 12. Resultados del test de Tukey para el análisis comparativo global realizado a las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante los cruceros de otoño de 2015, 2016 y 2017.

Variables	Campañas	Diferencia	Lím. inf.	Lím. sup.	Valor *p*
SALINIDAD (ups)	2015-2016	-0,215	-0,361	-0,069	0,002
	2015-2017	-0,225	-0,373	-0,077	0,002
MICROFLAGELADOS (cél/mL)	2015-2016	0,724	-0,120	1,568	0,100
	2015-2017	1,314	0,470	2,159	0,001
NANOFLAGELADOS (cél/mL)	2015-2016	0,468	-0,027	0,963	0,067
	2015-2017	0,445	-0,050	0,940	0,086

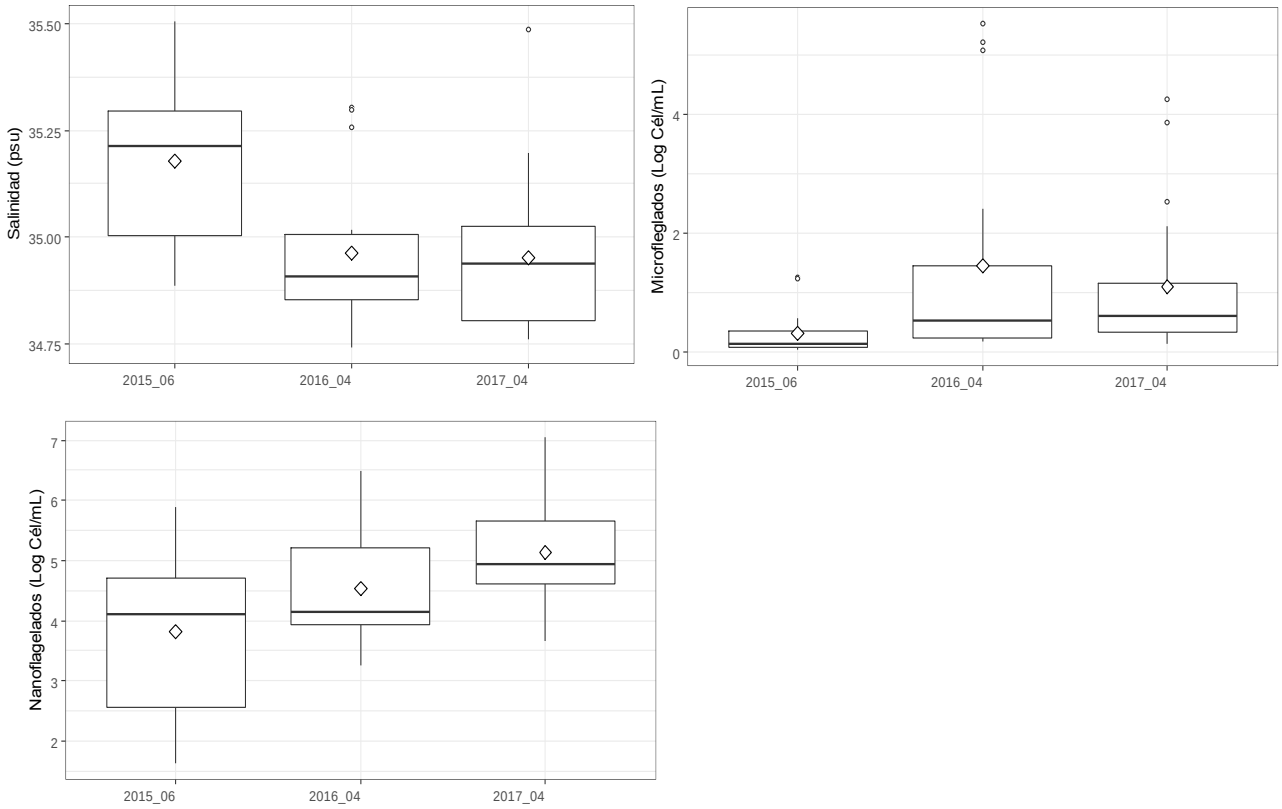

Figura 24. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información global de salinidad (ups), abundancia de microflagelados (cél/mL) y abundancia de nanoflagelados registrada durante los cruceros de otoño de 2015, 2016 y 2017.

Tabla 13. Resultados del análisis de varianza aplicado a las variables físicas, químicas y biológicas registradas por área durante los cruceros de otoño de 2015, 2016 y 2017. NS: nivel de significancia.

AREA	Variable	F	Valor *p*	NS
ARICA (18°25'S-19°00'S)	MICROFLAGELADOS (cél/mL)	4,14	0,037	<0,05
	ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	4,28	0,034	<0,05
CHIPANA (20°30'S-21°20'S)	SALINIDAD (ups)	8,68	0,004	<0,01
MEJILLONES (22°20'S-23°00'S)	SALINIDAD (ups)	8,13	0,004	<0,01
	NANOFLAGELADOS (cél/mL)	6,21	0,011	<0,05
	ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	8,27	0,004	<0,01

Tabla 14. Resultados del test de Tukey para el análisis comparativo realizado a las variables físicas, químicas y biológicas registradas por área durante los cruceros de otoño de 2015, 2016 y 2017.

AREA	Variable	Campañas	Diferencia	Lím. inf.	Lím. Sup.	Valor *p*
ARICA (18°25'S-19°00'S)	MICROFLAGELADOS (cél/mL)	2016-2015	2,787	0,234	5,341	0,032
		2016-2017	-1,805	-4,358	0,749	0,192
	ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	2015-2016	1,299	0,097	2,500	0,034
		2015-2017	0,982	-0,220	2,184	0,119
CHIPANA (20°30'S-21°20'S)	SALINIDAD (ups)	2015-2016	-0,251	-0,435	-0,068	0,008
		2015-2017	-0,262	-0,455	-0,070	0,008
MEJILLONES (22°20'S-23°00'S)	SALINIDAD (ups)	2015-2016	-0,152	-0,290	-0,014	0,030
		2015-2017	-0,207	-0,345	-0,069	0,004
	NANOFLAGELADOS (cél/mL)	2015-2016	0,902	-0,103	1,908	0,082
		2015-2017	1,337	0,331	2,342	0,009
	ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	2017-2015	0,566	0,063	1,069	0,027
		2017-2016	0,757	0,254	1,260	0,004

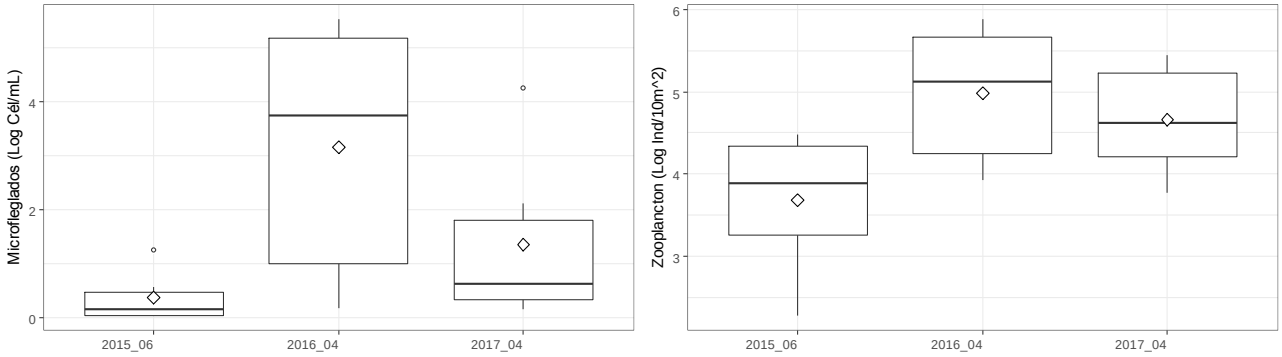

Figura 25. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de abundancia de microflagelados (cél/mL) y abundancia de zooplancton (ind/10 m^2) registrada en el área Arica (18°25'S-19°00'S) durante los cruceros de otoño de 2015, 2016 y 2017.

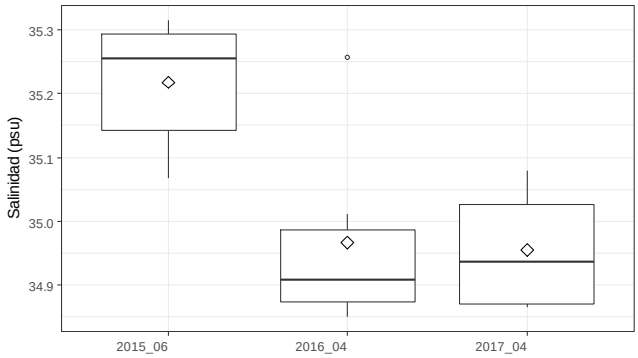

Figura 26. Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis de varianza aplicado a la información de salinidad (ups) registrada en el área Chipana (20°30'S-21°20'S) durante los cruceros de otoño de 2015, 2016 y 2017.

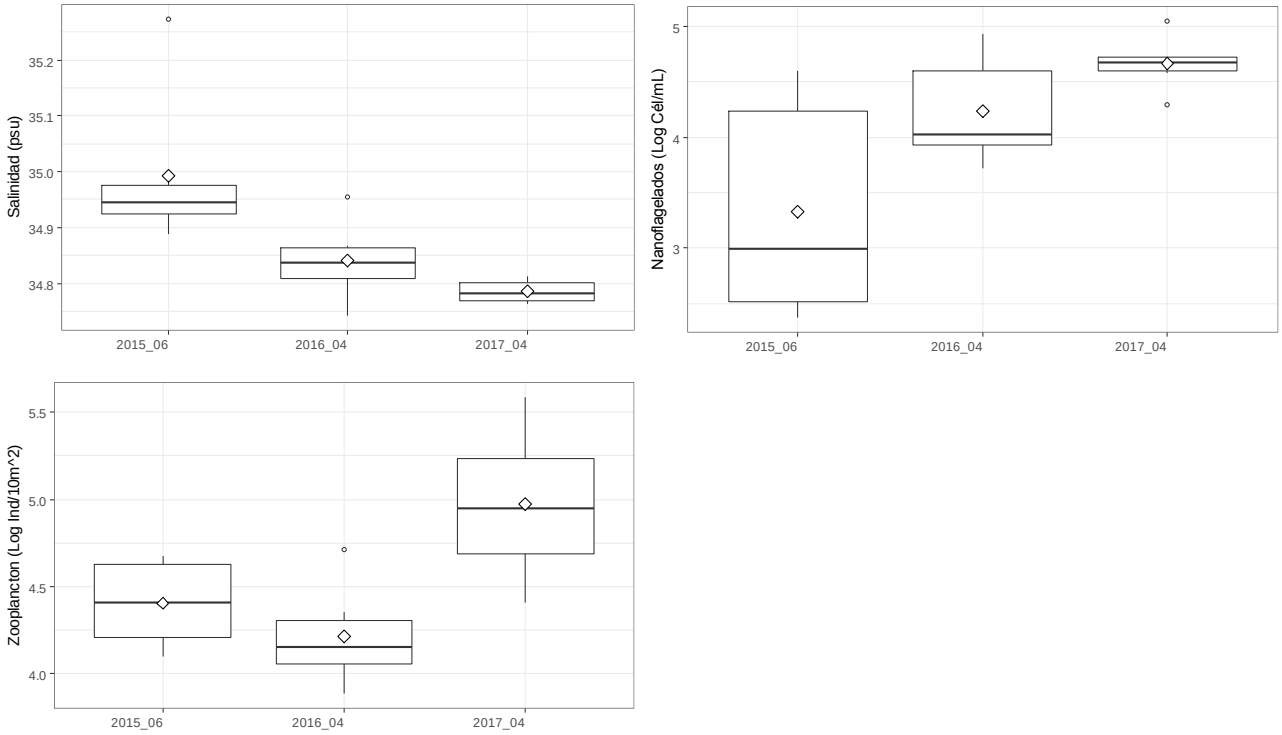

Figura 27. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de salinidad (ups), abundancia de nanoflagelados (cél/mL) y abundancia de zooplancton (ind/10 m^2) registrada en el área Mejillones (22°20'S-23°00'S) durante los cruceros de otoño de 2015, 2016 y 2017.

DISCUSION

El escenario ambiental imperante durante el periodo analizado indicó la persistencia de las condiciones cálidas registradas en el verano, lo cual quedó evidenciado por la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) en gran parte de la región. Sin embargo, su influencia se restringió al estrato superficial (0-20 m) y al sector más alejado de la costa (20-40 mn), ya que en la zona costera y, en particular en el sector de Mejillones (23°00'S), se detectó la influencia del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) y del Agua Subantártica (ASAA). De igual manera, los valores del TEk, junto a la profundidad de localización del LS_ZMO y de la isoterma de 15°C en la costa (1-5 mn), indicaron el ascenso de aguas subsuperficiales generados por procesos de surgencia.

Este cuadro fue similar al registrado en los otoños de 2015 y 2016, lo que quedó corroborado por los resultados del análisis comparativo que no revelaron la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre ninguna de las variables físicas y químicas, excepto entre la salinidad, debido a los altos valores (>35 ups) registrados en 2015 desde Chipana (21°20'S) al sur, los que se extendieron entre las 5 mn y 40 mn de la costa.

El componente fitoplanctónico respondió a este escenario con el predominio de bajas abundancias dentro del grupo de las diatomeas (<100 cél/mL), las cuales se vieron restringidas al área donde se registraron condiciones de surgencia, sin embargo, la estructura del grupo, caracterizada por un conjunto de especies con abundancias similares, reveló procesos de carácter moderado. Por otra parte, la influencia del ASS en el sector norte (18°25'S-19°00'S) y los eventos de surgencia de baja intensidad, favorecieron al grupo de los flagelados, los cuales exhibieron abundancias que superaron a las registradas en otoño de 2015 y de 2016 dando origen a las diferencias estadísticamente significativas en el área Mejillones (22°20'S-23°00'S). Del mismo modo, realizaron un importante aporte a la biomasa, principalmente a los valores registrados en Arica (18°25'S) y en Chipana (21°20'S).

Respecto del zooplancton, este grupo mantuvo el dominio del grupo Copepoda con tamaños entre 0,25 y 0,75 mm. Las mayores abundancias (>100 ind/10 m^2) coincidieron con la presencia del fitoplancton, lo que fue particularmente evidente en el sector Copaca (22°20'S)-Mejillones (23°00'S), donde se observó el mismo patrón de distribución de las diatomeas. Además en este sector se registró un incremento en las concentraciones respecto de 2015 y de 2016, las cuales, además de generar diferencias significativas, se debieron al aporte de grupos como apendicularias, larvas de anélidos y miscidáceos.

Los estadios tempranos de anchoveta exhibieron densidades propias del periodo considerando que no hubo diferencias significativas con el otoño de 2015 y de 2016. La asociación detectada entre los huevos y las variables densidad y oxígeno disuelto sugiere un reflejo de la dependencia que éstos tienen de las condiciones ambientales, dado el efecto sobre su estado fisiológico y desarrollo, sin embargo, al igual que las larvas, las correlaciones fueron más significativas con el componente planctónico. Al respecto, las

mayores densidades, que fueron registradas en las zonas descritas como de retención (Arica, Chipana y Mejillones), resultaron coincidentes con las del fitoplancton y zooplancton, destacando los sectores de Arica y Copaca donde las larvas en pre-flexión y flexión encontrarían un ambiente adecuados para su alimentación.

Las condiciones oceanográficas registradas, coinciden con las descripciones para el Pacífico Oriental que señalan la persistencia de las altas temperaturas superficiales (TSM) durante abril, con las mayores anomalías (1,0°C) en la región Niño 1+2 y valores negativos del IOS (-6,9) en la última semana del mes (Ciifen, 2017).

Si bien este calentamiento fue inferior a lo observado en marzo, y la presencia de pequeños parches de anomalías negativas junto a la costa de Ecuador y costa central de Chile puede considerarse una primera señal del retiro de las aguas cálidas frente a la costa de Sudamérica, las predicciones globales de la TSM para el periodo mayo-junio-julio y agosto, sugieren que el Pacífico ecuatorial central y la costa sudamericana continuarán presentando valores sobre lo normal (Ciifen, 2017), por lo cual se debe cautelar un monitoreo permanente ante un eventual retorno de una condición El Niño.

LITERATURA CITADA

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

CIIFEN. 2017. Boletín mayo 2017. www.ciifen.org.

CIIFEN. 2017. Análisis Oceanográfico del Pacífico Oriental mayo 2017. www.ciifen.org.

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

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

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

Parsons TR, Y Maita & CM Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. 173 pp.
Schlitzer, R. 2017. 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.