UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

INFORME FINAL
CRUCERO BIO-OCEANOGRAFICO DE VERANO

ENERO 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 55

LITERATURA CITADA 56

RESUMEN EJECUTIVO

Se llevó a cabo el crucero de verano de 2017 entre los días 23 y 28 de enero, 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). Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las variables registradas durante el verano de 2015, 2016 y 2017, se realizó un análisis comparativo.

La temperatura reveló la presencia de un agua cálida (>25°C) ocupando un estrato superficial muy somero en la costa (0-5 m) que se profundizó latitudinalmente hacia el sur y hasta cerca de los 25 m en el sector más oceánico (20-40 mn). La columna de agua entre 1 mn y 5 mn estuvo influenciada por temperaturas inferiores a 17°C, con la isoterma de 15°C localizada a menos de 20 m de profundidad. La presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) se encontró asociada al agua cálida, pero bajo ésta predominó el Agua Subantártica (ASAA) y el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). El oxígeno superficial se mantuvo sobre los 5,0 mL/L con focos costeros (1 mn) superiores a 7,0 mL O_2/L coincidentes con las mayores abundancias fitoplanctónicas. El límite superior de la ZMO se registró a menos de 10 m de profundidad a 1 mn en el sector norte (Arica (18°25'S)-Punta Madrid (19°00'S)), profundizándose hacia el sur y hacia las 40 mn de la costa, donde se localizó a 79 m frente a Mejillones (23°00'S). En todas las localidades los valores del TEk indicaron ocurrencia de procesos de surgencia. En Arica y Antofagasta, las mayores magnitudes (>1.00 m^3/s/km) se registraron entre las 18:00 y las 21:00 horas, mientras que en Iquique se extendieron entre las 14:00 y las 23:00 horas.

La abundancia del microfitoplancton alcanzó un máximo de 710,6 cél/mL. Las diatomeas realizaron aportes cercanos al 90% entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), con concentraciones mayores a 300 cél/mL hasta 10 mn de la costa y 10 m de profundidad. Los dinoflagelados dominaron en Mejillones (23°00'S) restringidos a 1 mn y al estrato 0-10 m. La biomasa fitoplanctónica presentó un máximo principal de 84,2 µg Cl-a/L asociado a las mayores concentraciones de diatomeas, y un máximo secundario de 79,7 µg Cl-a/L en Mejillones (23°00'S). El zooplancton exhibió valores superiores a 100

ind/10 m^2 desde Chucumata (20°30'S) al sur, con un máximo de 246,6 ind/10 m^2 localizado en Mejillones (23°00'S). El grupo Copepoda aportó, en promedio, con el 80,6% a la abundancia total, y con el 90,9% 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 93,4% y 66,8% a la abundancia total del componente ictioplanctónico. Los huevos presentaron máximos superiores a 30.000 huevos/10 m^2 en Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S). Las larvas en estado yolk-sac exhibieron un máximo de 18.751 larvas/10 m^2 en Chipana (21°20'S), y valores mayores a 1.000 larvas/10 m^2 se mantuvieron en Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S). La abundancia de ambos estadios se correlacionó con la salinidad, profundidad de la isoterma de 15°C y del LS_ZMO, y presentó una fuerte asociación con diatomeas y microflagelados.

El análisis comparativo global reveló que el verano 2017 ha sido el más cálido y con las salinidades más bajas. Por otra parte, Arica fue el área donde la mayor cantidad de variables presentó diferencias significativas, destacando el componente biológico, mientras que el área Mejillones destacó por la temperatura y la biomasa fitoplanctónica.

Las condiciones oceanográficas registradas durante el periodo de estudio, revelaron el retorno del sistema a una condición cálida luego del enfriamiento observado en la primavera de 2016, asociado al retiro del evento El Niño 2015-2016. Sin embargo, las altas temperaturas se encontraron restringidas a un estrato muy somero (0-5 m), observándose una importante influencia del Agua Subantártica (ASAA). A diferencia de otros periodos cálidos, el sector de Arica mantuvo un escenario favorable para el componente biológico, especialmente para las diatomeas, grupo que puede ser considerado indicador de normalidad en sistemas de surgencia.

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 verano 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).

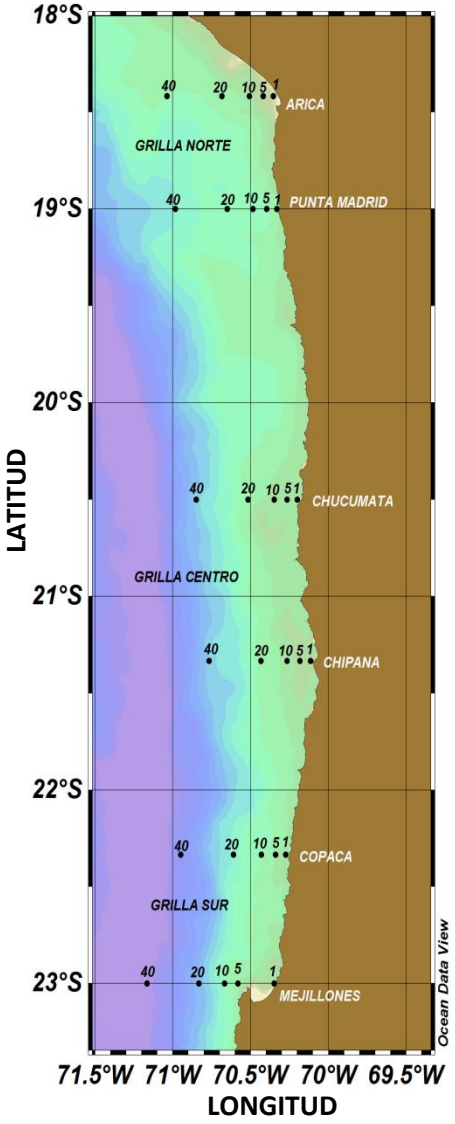

Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo del crucero bio-oceanográfico realizado entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

Muestreo y registro de información

El crucero se llevó a cabo entre los días 23 y 28 de enero de 2017 a bordo de las embarcaciones PAM "Audaz" y "Eperva 49" proporcionadas por la empresa pesquera CORPESCA S.A.

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 veranos 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 16,3°C y un máximo de 26,9°C. Entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S), y entre 1 mn y 10 mn, se detectaron las menores temperaturas, las cuales se mantuvieron por debajo de los 24°C, con el mínimo superficial (16,3°C) frente a Punta Madrid (19°00'S). En el resto del área predominaron valores superiores a 25°C, registrándose la máxima temperatura (26,9°C) a 40 mn de la costa frente a Mejillones (23°00'S). Los valores superiores a 26°C, se encontraron asociados a la intrusión de un agua cálida desde el sur y desde la región oceánica, la cual, frente a Copaca (22°20'S), se propagó hasta la costa donde se observaron temperaturas cercanas o superiores a 25°C (Figura 2A).

La distribución vertical mostró que el estrato influenciado por temperaturas superiores a 20°C se profundizó hacia el sur latitudinal y longitudinalmente. En Arica (18°25'S) éste se restringió a los 5 m de profundidad a lo largo de toda la transecta, mientras que entre Punta Madrid (19°00'S) y Chipana (21°20'S), la capa cálida se profundizó desde los 5 m en la costa (1-10 mn) hasta los 20 m de profundidad en el sector más oceánico (20-40 mn). En Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S) el patrón de distribución fue el mismo, sólo que las temperaturas superiores a 20°C en la costa (1-10 mn) se extendieron hasta los 10 m de profundidad. El resto de la columna de agua se encontró influenciado por temperaturas inferiores a 15°C, observándose, con excepción de Copaca (22°20'S), el ascenso de las isotermas en la costa que indican la ocurrencia de procesos de afloramiento (Figura 3-panel izquierdo).

Acorde con lo anterior, la isoterma de 15°C en Arica (18°25'S) se localizó por sobre los 25 m de profundidad entre 1 mn y 20 mn de la costa. En el resto del área, exceptuando Copaca (22°20'S), mantuvo una posición somera (<25 m) en la costa (1-5 mn), profundizándose hasta un máximo de 60 m frente a Mejillones (23°00'S) a 40 mn (Figura 6A).

Salinidad

La salinidad superficial fluctuó entre 34,33 y 35,49 ups. Siguiendo la tendencia de la temperatura, valores superiores a 35 ups se encontraron asociados al agua cálida (>25°C), que se extendió por la región más oceánica (20-40 mn) hasta Punta Madrid (19°00'S) y penetró hasta las 5 mn frente a Copaca (22°20'S). En el resto del área, en la franja costera (1-10 mn) predominaron salinidades cercanas o menores a 34,9 ups, con valores inferiores a 34,8 ups en Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 2B).

La distribución vertical mostró un dominio de salinidades inferiores a 35 ups en toda la columna de agua. Muy restringidos a la superficie y desde Punta Madrid (19°00'S) al sur, se observaron focos mayores a 35 ups entre 20 mn y 40 mn de la costa. En Arica (18°25'S), entre la superficie y los 10 m de profundidad y hasta 40 mn de la costa, se registraron valores inferiores a 34,8 ups, indicadoras del Agua Subantártica (ASAA). Hacia los estratos más profundos las salinidades fluctuaron entre 34,8 y 34,9, las cuales se asocian al Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). En Punta Madrid (19°00'S) y Chucumata (20°30'S), la influencia del agua más calidad desde la región oceánica, replegó las bajas salinidades (<34,8) hacia la costa, las cuales se profundizaron hasta cerca de los 25 m de profundidad, mientras que el resto de la columna de agua presentó valores indicadores del AESS. Entre Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), se observó una capa subsuperficial influenciada por el ASAA (<34,8 ups), la cual se extendió a lo largo de toda la transecta hasta cerca de los 100 m de profundidad, y ascendió en la costa dando lugar al mínimo superficial observado (34,33 ups). Bajo los 100 m se detectaron valores asociados al AESS (Figura 3-panel derecho).

Densidad

La densidad (σ-t) en superficie presentó valores extremos de 22,88 y 25,66. Valores inferiores a 23 dominaron la zona donde se detectó la influencia del agua más cálida (>25°C) y más salina (>35 ups). Sólo entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), y muy restringidas a las primeras 5 mn de la costa, se observaron densidades superiores a 23, con la máxima (25,66) localizada a 1 mn frente a Punta Madrid (19°00'S), coincidente con el foco de menor temperatura (Figura 2C).

La distribución vertical, evidenció en todas las localidades, la presencia de valores inferiores a 26 entre la superficie y los 50 m de profundidad, indicando un dominio de Agua Subtropical Superficial (ASS) y de Agua Subantártica (ASAA). Valores superiores a 26,3 se detectaron desde los 100 m hacia los estratos más profundos, indicando que la presencia del AESS se encontró restringida a esas profundidades (Figura 4-panel izquierdo).

Diagramas T-S

De acuerdo con lo anterior, 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 todas las áreas, Arica (18°25'S-19°00'S), Chipana (20°30'S-21°20'S) y Mejillones (22°21'S-23°00'S), se observó un importante predominio del ASAA junto al ASS mientras que el AESS tuvo una menor influencia en la zona (Figura 5-panel inferior).

Estabilidad (PEA)

Los valores del índice obtenidos en el estrato entre la superficie y los 50 m de profundidad, revelaron una condición de alta estabilidad (>100 J/m^3) en toda la región. Sólo en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) éstos exhibieron magnitudes indicadoras de mayor turbulencia (<50 J/m^3) (Tabla 1).

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto en superficie fluctuó entre 1,8 y 7,9 mL/L. El valor mínimo (1,8 mL O_2/L) se registró a 1 mn frente a Punta Madrid (19°00'S), coincidente con el foco de menor temperatura, y focos de concentración superior a 7,0 mL O_2/L se registraron frente a Chucumata (20°30'S), a 1 mn, y en Mejillones (23°00'S) hasta 10 mn de la costa, coincidentes con altas concentraciones fitoplanctónicas. El resto del área se encontró dominada por valores cercanos a 5,0 mL O_2/L (Figura 2D).

La distribución vertical mostró que el estrato superficial oxigenado (>4,0 mL O_2/L) exhibió una profundización hacia el sur del área. En Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) se encontró restringido a los primeros 5 m de profundidad, y el resto de la columna de agua estuvo dominada por valores inferiores a 2,0 mL O_2/L, mientras que desde Chucumata (20°30'S) al sur abarcó hasta cerca de los 50 m de profundidad (Figura 4- panel derecho).

Concordante con lo anterior, la posición del límite superior de la ZMO (oxilínea de 1 mL O_2/L) presentó su localización más somera en Arica (18°25'S), registrándose a 1 mn, a 7,6 m. Hacia la región más oceánica se profundizó, pero no superó los 30 m de profundidad. En el resto del área se ubicó desde los 15 m en la costa (1 mn) hasta un máximo de 79 m frente a Mejillones (23°00'S) a 40 mn (Figura 6B).

Transporte de Ekman (TEk)

En todas las localidades se registraron valores positivos del TEk que indicaron ocurrencia de procesos de surgencia. En Arica, si bien se observó la mayor intensidad (3.417,9 m^3/s/km), durante los días previos y de realización del crucero, los valores se mantuvieron cercanos a 1.500 m^3/s/km, registrándose las magnitudes más altas (>600 m^3/s/km) entre las 18:00 y las 21:00 horas. En Iquique el máximo fue de 2.650,4 m^3/s/km, pero los periodos de mayor intensidad (>600 m^3/s/km) se extendieron entre las 14:00 y las 23:00 horas. En Antofagasta se detectaron los menores valores. Con un máximo de 2.318,7 m^3/s/km el comportamiento del TEk siguió un patrón similar al registrado en Arica, observándose las magnitudes más altas (>600 m^3/s/km) entre las 18:00 y las 22:00 horas (Figura 7).

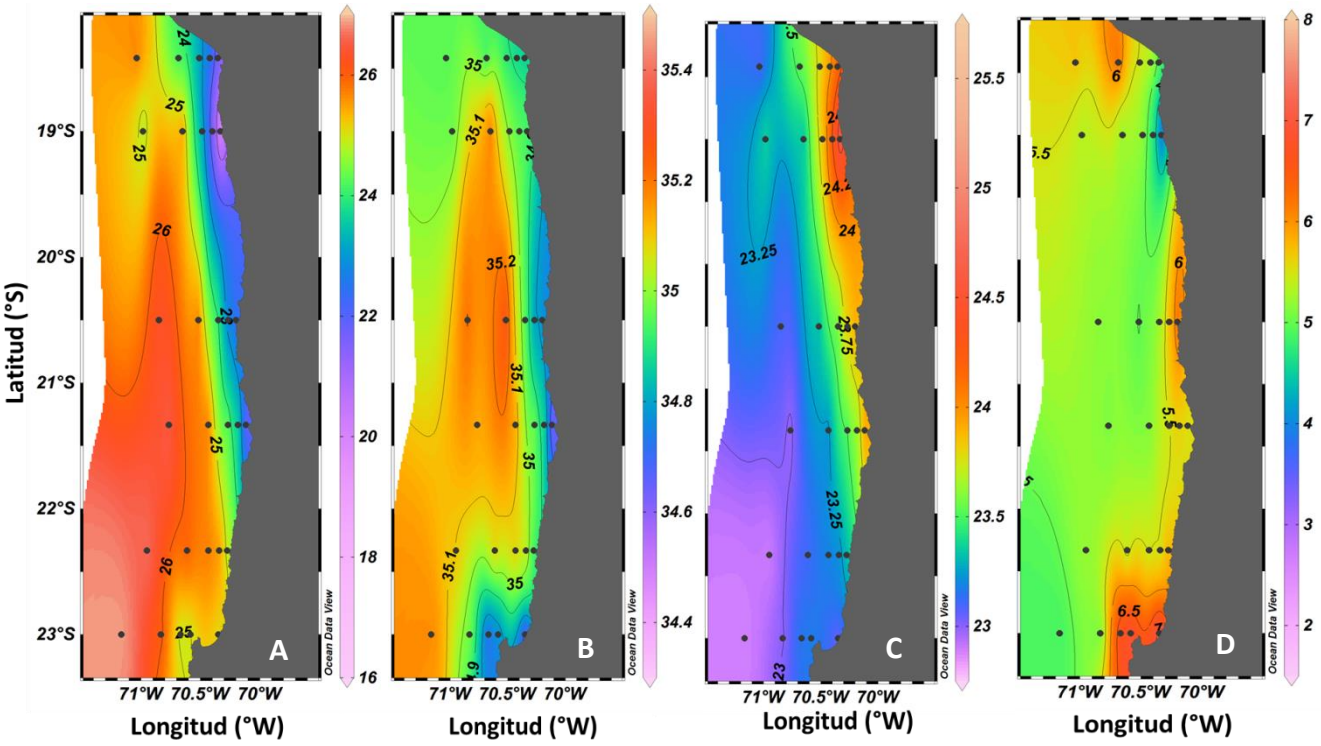

Figura 2. Distribución superficial de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups), C: Densidad (σ-t) y D: Oxígeno disuelto (mL/L), entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

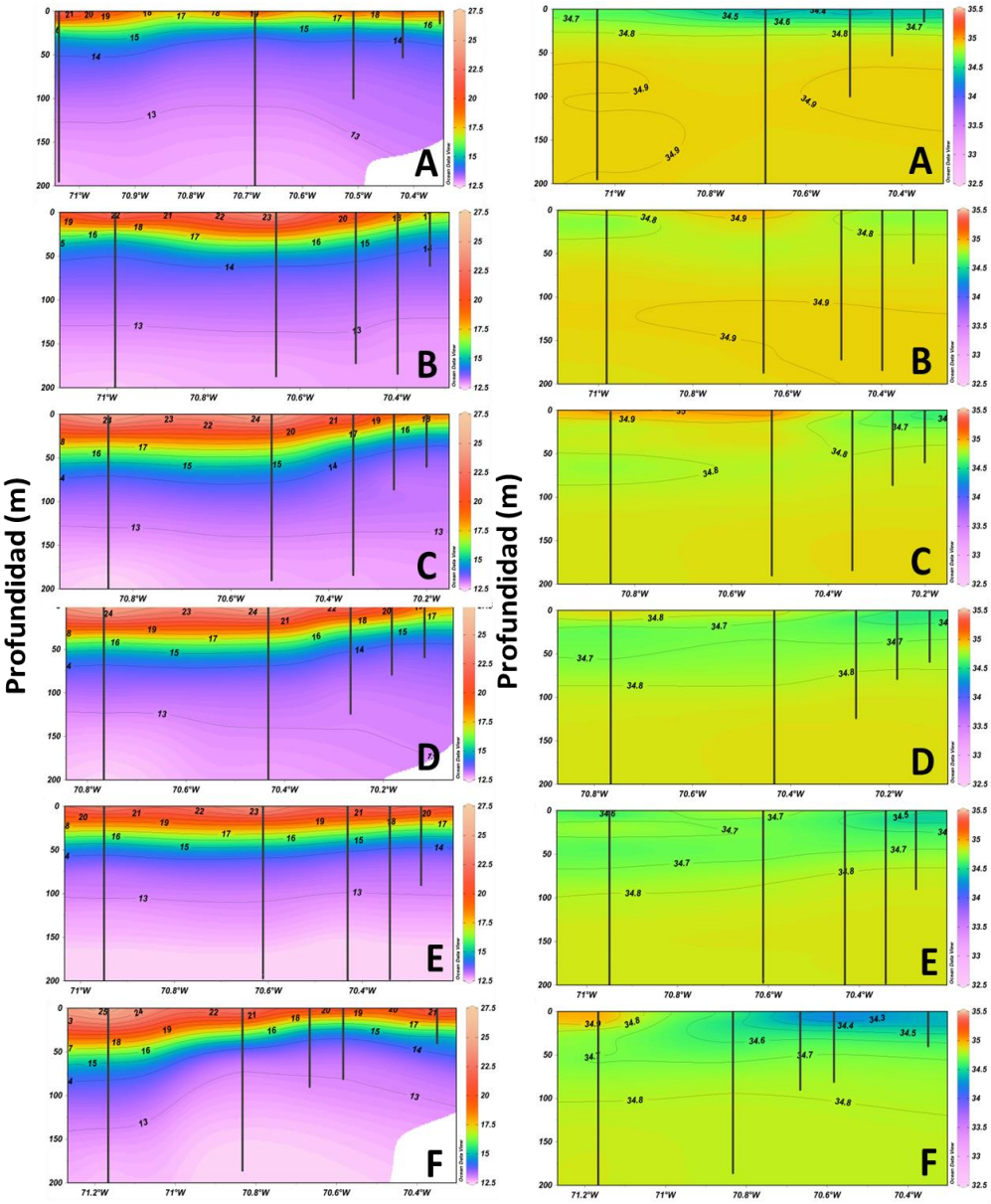

Figura 3. Secciones verticales de Temperatura (°C) (panel izquierdo) y Salinidad (ups) (panel derecho), entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

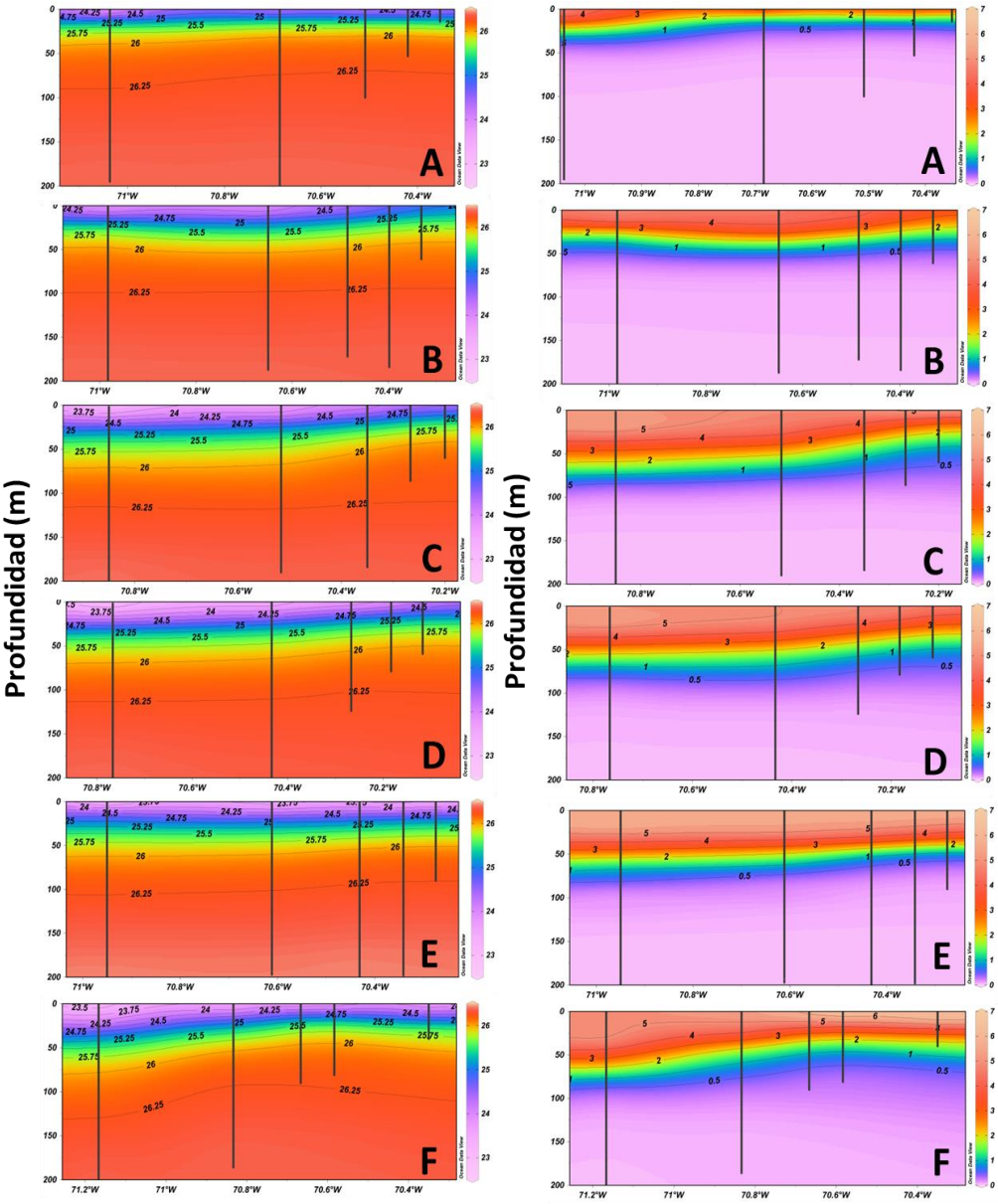

Figura 4. Secciones verticales de Densidad (σ-t) (panel izquierdo) y Oxígeno Disuelto (mL/L) (panel derecho), entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

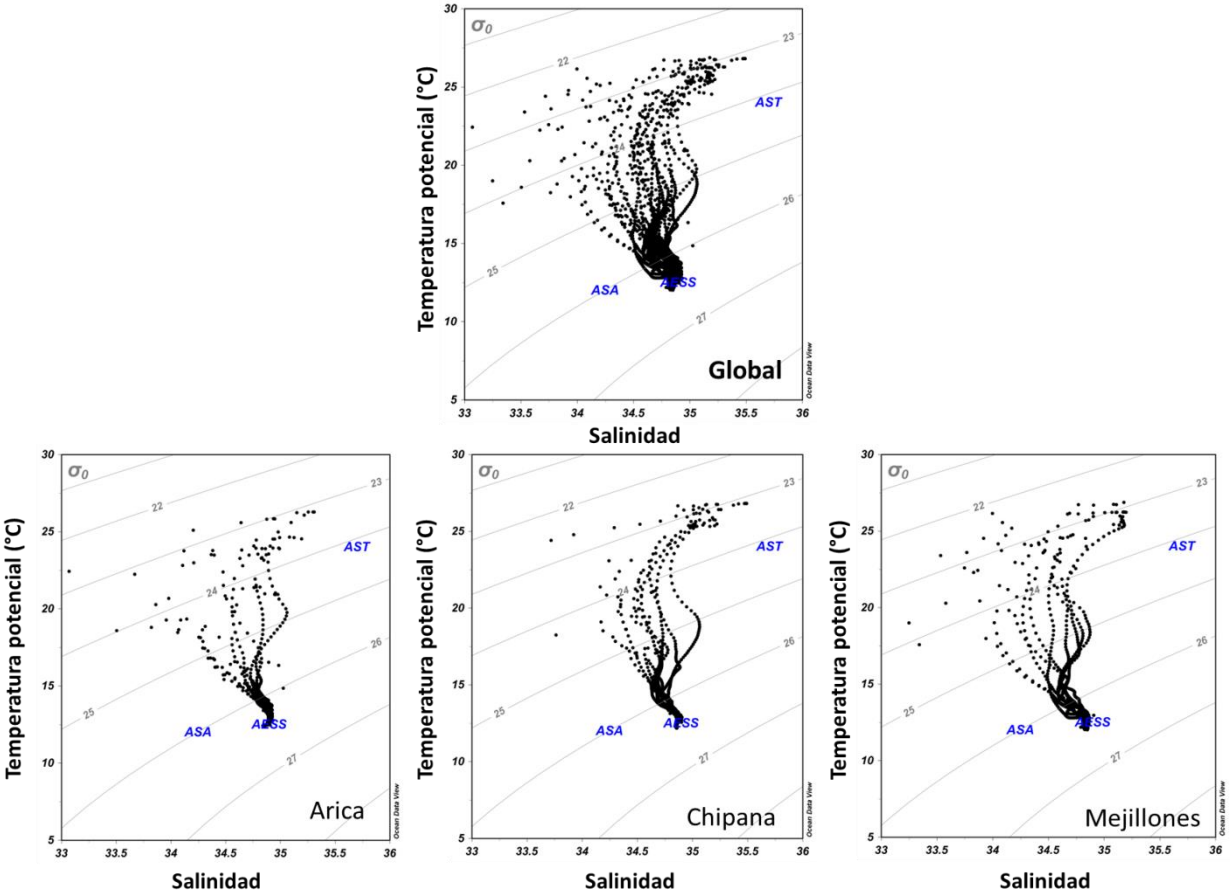

Figura 5. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para las áreas Arica (18°25'S-19°00'S), Chipana (20°30'S-21°20'S) y Mejillones (22°20'S-23°00'S) (panel inferior), entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

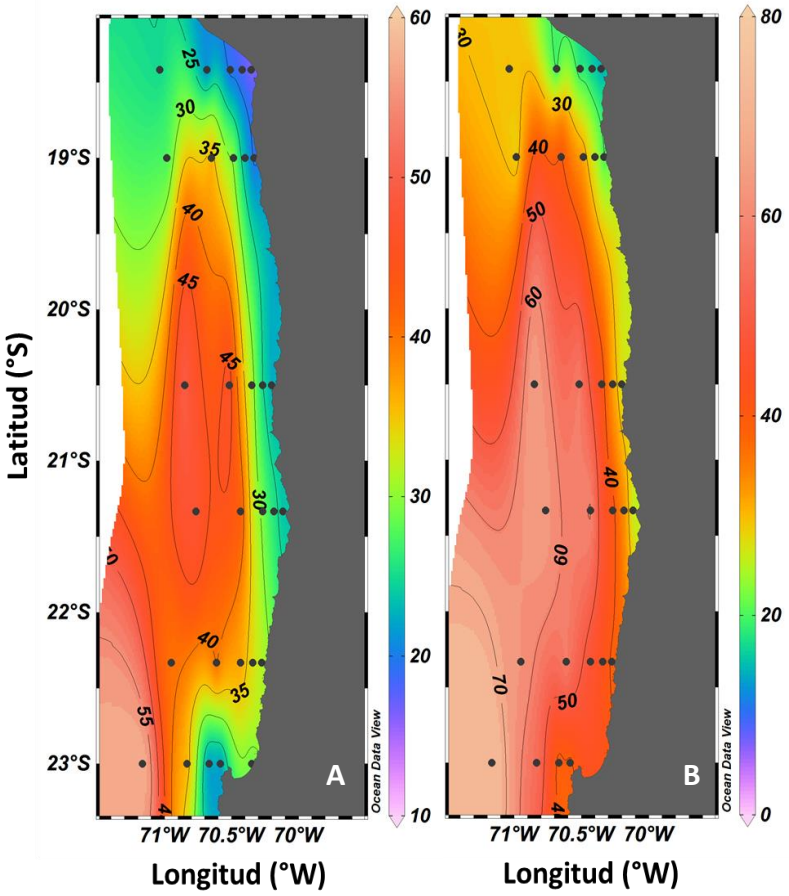

Figura 6. Profundidad de la isoterma de 15°C (m) (panel-izquierdo) y profundidad del LS_ZMO (m) (panel-derecho) entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

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 23 y 28 de enero de 2017. DC: Distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	PEA (J/m^3)	LS_ZMO (m)
Arica (18°25'S)	1	28,1	7,6
	5	107,0	12,1
	10	103,8	11,2
	20	105,7	11,1
	40	127,2	29,9
Punta Madrid (19°00'S)	1	34,8	8,5
	5	82,2	25,7
	10	119,2	38,1
	20	143,6	47,3
	40	130,8	24,1
Chucumata (20°30'S)	1	88,2	14,6
	5	79,1	23,9
	10	144,6	50,8
	20	138,1	70,1
	40	137,3	73,3
Chipana (21°20'S)	1	57,8	15,3
	5	136,6	39,4
	10	133,6	54,5
	20	148,0	79,1
	40	145,5	67,0
Copaca (22°20'S)	1	123,9	35,0
	5	146,3	42,2
	10	125,6	46,0
	20	138,2	67,6
	40	126,0	64,4
Mejillones (23°00'S)	1	128,8	
	5	152,3	34,3
	10	124,1	31,5
	20	132,3	56,3
	40	111,1	76,9

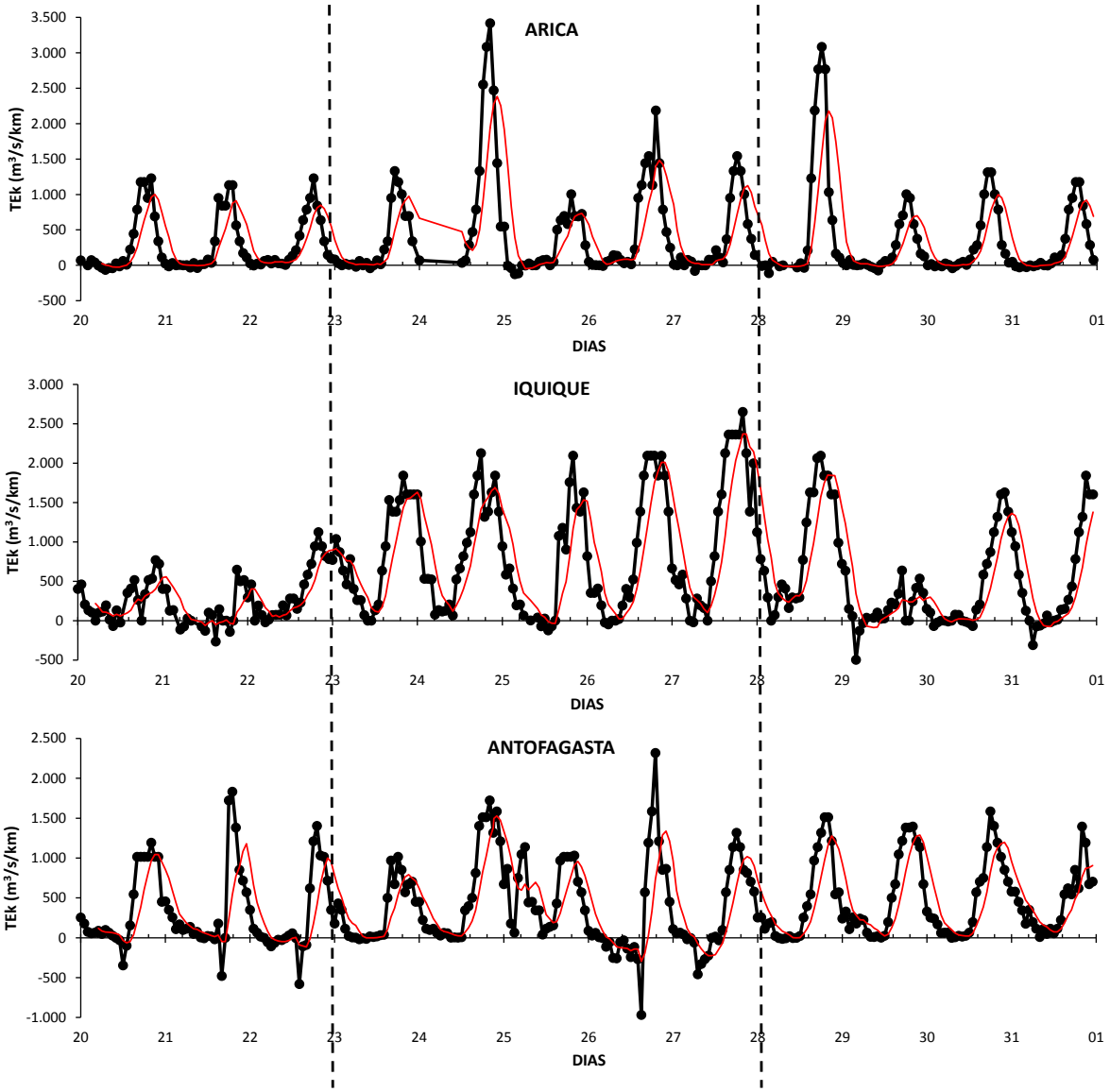

Figura 7. Transporte Ekman diario ($m^3/s/km$) en Arica, Iquique y Antofagasta, entre los días 20 y 31 de enero de 2017 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).

Estructura de la Comunidad Planctónica

Fitoplancton

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,1 y 710,6 cél/mL. Los valores integrados entre la superficie y los 10 m de profundidad muestran que las concentraciones superiores a 100 cél/mL se restringieron a 1 mn de la costa, excepto en Arica (18°15'S) donde se extendieron hasta las 10 mn, y en Copaca (22°20'S) donde las abundancias fueron inferiores a 50 cél/mL. Las diatomeas realizaron las mayores contribuciones al total registrado, con aportes cercanos al 90% entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S). Los flagelados, si bien exhibieron abundancias superiores a 30 cél/mL en ciertos sectores de la zona dominada por las diatomeas, desplazaron a este grupo en Mejillones (23°00'S) donde alcanzaron un máximo integrado superior a 100 cél/mL a 1 mn (Tabla 2).

Las mayores abundancias de las diatomeas (>300 cél/mL) se registraron entre la superficie y los 10 m de profundidad, donde mantuvieron el mismo patrón de distribución. Un foco de máxima concentración (683,6 cél/mL) se observó en Arica (18°25'S) a 5 mn y a 5 m de profundidad, manteniéndose por sobre las 400 cél/mL hasta 10 mn de la costa. Otro foco de 689,8 cél/mL se detectó en Chucumata (20°30'S) a 1 mn y a 5 m de profundidad. Este se extendió hacia Chipana (21°20'S) donde se observaron concentraciones superiores a 100 cél/mL hasta 5 mn de la costa. En el resto del área predominaron abundancias inferiores a 100 cél/mL (Figura 8). A 25 m el foco de Arica (18°25'S) se mantuvo con un máximo de 157,8 cél/mL, y en el estrato de los 50 m de profundidad las concentraciones fueron inferiores a 5,0 cél/mL (Figura 9).

La distribución vertical de la abundancia de las diatomeas en Arica (18°25'S) mostró concentraciones superiores a 300 cél/mL hasta los 10 m de profundidad entre la costa y las 10 mn. En Chucumata (20°30'S) si bien altos valores (>300 cél/mL) se detectaron hasta 10 m de profundidad, éstos se restringieron a la costa (1 mn), descendiendo a menos de 100 cél/mL hacia las 10 mn. En Chipana (21°20'S), con una magnitud menor, se observó el mismo patrón de distribución, y en las otras localidades la columna de agua se encontró dominada por abundancias inferiores a 50 cél/mL (Figura 12-panel izquierdo).

Los microflagelados a nivel superficial presentaron dos focos de abundancia superior a 100 cél/mL. Uno, de 104,2 cél/mL, se localizó en Chipana (21°20'S) a 1 mn de la costa y el otro de 156,0 cél/mL se registró frente a Mejillones (23°00'S) a 1 mn. Éste último se intensificó a los 5 m de profundidad, donde se detectó la máxima concentración del grupo (365,5 cél/mL) y, además, se observó un segundo máximo en Arica (18°25'S) que alcanzó 188,6 cél/mL a 20 mn de la costa. A los 10 m el foco de Mejillones se mantuvo, pero descendió a 112,8 cél/mL. En el resto del área predominaron abundancias inferiores

a 10 cél/mL (Figura 10), al igual que en el estrato de los 25 m y 50 m de profundidad (Figura 11).

Las secciones verticales muestran, en toda la zona, una columna de agua dominada por abundancias inferiores a 10 cél/mL. En Arica (18°25'S), se observa el foco de 188,6 cél/mL muy restringido a los 5 m de profundidad. Lo mismo en Mejillones (23°00'S) donde se registró la máxima concentración del grupo (365,5 cél/mL), la cual se limitó a la costa (1 mn) y se extendió hasta los 25 m de profundidad con abundancias superiores a 50 cél/mL (Figura 12-panel derecho).

Al analizar la composición específica del microfitoplancton (20-200 µm), se identificó un total de 53 especies de diatomeas y 62 de flagelados. Entre las diatomeas, las especies con las mayores abundancias fueron *Chaetoceros affinis*, *Leptocylindrus danicus* y el género *Peudo-nitzschia*, las cuales en forma solitaria o en conjunto aportaron con más del 60% a la abundancia del grupo por localidad (tabla 3). Entre los microflagelados destacó en el sector norte el género *Prorocentrum*, mientras que en Mejillones (23°00'S), además de *P. gracile*, la especie *Ceratium furca* aportó con más del 60% (Tabla 4).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,2 y 84,2 µg Cl-a/L. Las concentraciones integradas entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostraron, excepto en Copaca (22°20'), valores superiores a 10,0 µg Cl-a/L a 1 mn de la costa, los que se extendieron hasta las 10 mn y 20 mn en Mejillones (23°00'S) y en Arica (18°25'S) respectivamente (Tabla 5).

La distribución horizontal coincidió con las máximas abundancias fitoplanctónicas, tanto de diatomeas como de flagelados. A 5 m de profundidad se registró un foco de 19,7 µg Cl-a/L frente a Arica (18°25'S) a 20 mn de la costa, otro en Chucumata (20°30'S) de 46,8 µg Cl-a/L a 1 mn, que se extendió a Chipana (21°20'S) donde se registraron 27,7 µg Cl-a/L, y un tercer foco de 31,5 µg Cl-a/L, a 1 mn en Mejillones (23°00'S). A los 10 m se detectó la máxima biomasa (84,2 µg Cl-a/L) asociada al foco de diatomeas entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), y en Mejillones (23°00'S) se observó un máximo secundario de 79,7 µg Cl-a/L (Figura 13). A 25 m el núcleo de Mejillones (23°00'S) se mantuvo con 25,5 µg Cl-a/L, y a 50 m predominaron biomasas inferiores a 1,0 µg Cl-a/L (Figura 14).

La distribución vertical se caracterizó, en toda la zona, por el dominio de biomasas inferiores a 10,0 µg Cl-a/L en toda la columna de agua. En Arica (18°25'S) se observa el foco a las 20 mn muy restringido a los 5 m de profundidad. Las máximas subsuperficiales de Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) se encontraron muy restringidos a la costa (1 mn) y al estrato entre la superficie y los 10 m. Sólo en Mejillones (23°00'S) el núcleo se extendió hasta los 25 m de profundidad, con valores superiores a 20 µg Cl-a/L, pero se mantuvo localizado a 1 mn de la costa (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 23 y 28 de enero 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	355,6	305,6	50,0	86,0	14,0
	5	421,7	391,1	30,7	92,7	7,3
	10	235,9	231,2	4,7	98,0	2,0
	20	66,3	22,3	44,0	33,7	66,3
Punta Madrid (19°00'S)	1	38,0	13,6	24,4	35,8	64,2
	5	165,6	159,6	6,0	96,4	3,6
	10	56,8	54,4	2,4	95,7	4,3
	20	0,5	0,1	0,3	26,5	73,5
Chucumata (20°30'S)	1	386,7	376,9	9,8	97,5	2,5
	5	43,1	40,1	2,9	93,2	6,8
	10	28,2	27,3	0,8	97,0	3,0
	20	0,4	0,1	0,3	28,9	71,1
Chipana (21°20'S)	1	169,8	134,4	35,4	79,2	20,8
	5	8,5	3,3	5,3	38,3	61,7
	10	1,9	1,6	0,3	85,8	14,2
	20	0,9	0,5	0,5	50,8	49,2
Copaca (22°20'S)	1	26,8	24,8	2,0	92,7	7,3
	5	1,5	1,1	0,4	73,7	26,3
	10	2,9	2,2	0,7	77,2	22,8
	20	1,2	0,6	0,7	45,3	54,7
Mejillones (23°00'S)	1	198,2	55,0	143,2	27,7	72,3
	5	73,1	48,8	24,3	66,8	33,2
	10	37,6	6,8	30,8	18,1	81,9
	20	0,5	0,1	0,4	19,2	80,8

Tabla 3. Abundancia máxima (ABMAX) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de las especies y géneros de diatomeas flagelados que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 23 y 28 de enero de 2017. *Caffinis*: *Chaetoceros affinis*, *Ldanicus*: *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nit*: *Pseudo-nitzschia* sp.

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			33,6	5,4	658,4	84,1	114,0	49,7			97,2	54,9
Ldanicus	677,2	77,7					37,2	15,7	105,8	77,2		
Pseudo-nit			189,6	68,4								
APORTE TOTAL		**77,7**		**73,8**		**84,1**		**65,4**		**77,2**		**54,9**

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 23 y 28 de enero de 2017. *Cfurca*: *Ceratium furca*, *Pgracile*: *Prorocentrum gracile*, *Proro* sp.: *Prorocentrum* sp., Atecados: dinoflagelados atecados.

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 (%)**
Cfurca			37,5	33,5	5,0	13,4	29,6	21,1			250,2	62,4
Pgracile	91,2	22,1									113,2	30,2
Proro sp	85,4	20,7			8,8	16,8	93,6	59,1				
Atecados	36,7	19,5			13,4	47,8			3,8	67,6		
APORTE TOTAL		**62,3**		**33,5**		**78,0**		**80,2**		**67,6**		**92,6**

Tabla 5. Biomasa fitoplanctónica (BF) integrada (µg Cl-a/L) entre la superficie y los 10 m de profundidad, entre los días 23 y 28 de enero de 2017. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	BF (µg Cl-a/L)
Arica (18°25'S)	1	11,8
	5	10,7
	10	4,8
	20	12,6
Punta Madrid (19°00'S)	1	3,5
	5	7,8
	10	0,8
	20	0,5
Chucumata (20°30'S)	1	48,1
	5	6,0
	10	0,9
	20	0,4
Chipana (21°20'S)	1	25,2
	5	0,9
	10	0,5
	20	0,3
Copaca (22°20'S)	1	1,8
	5	0,6
	10	0,5
	20	0,4
Mejillones (23°00'S)	1	37,2
	5	7,5
	10	12,8
	20	0,4

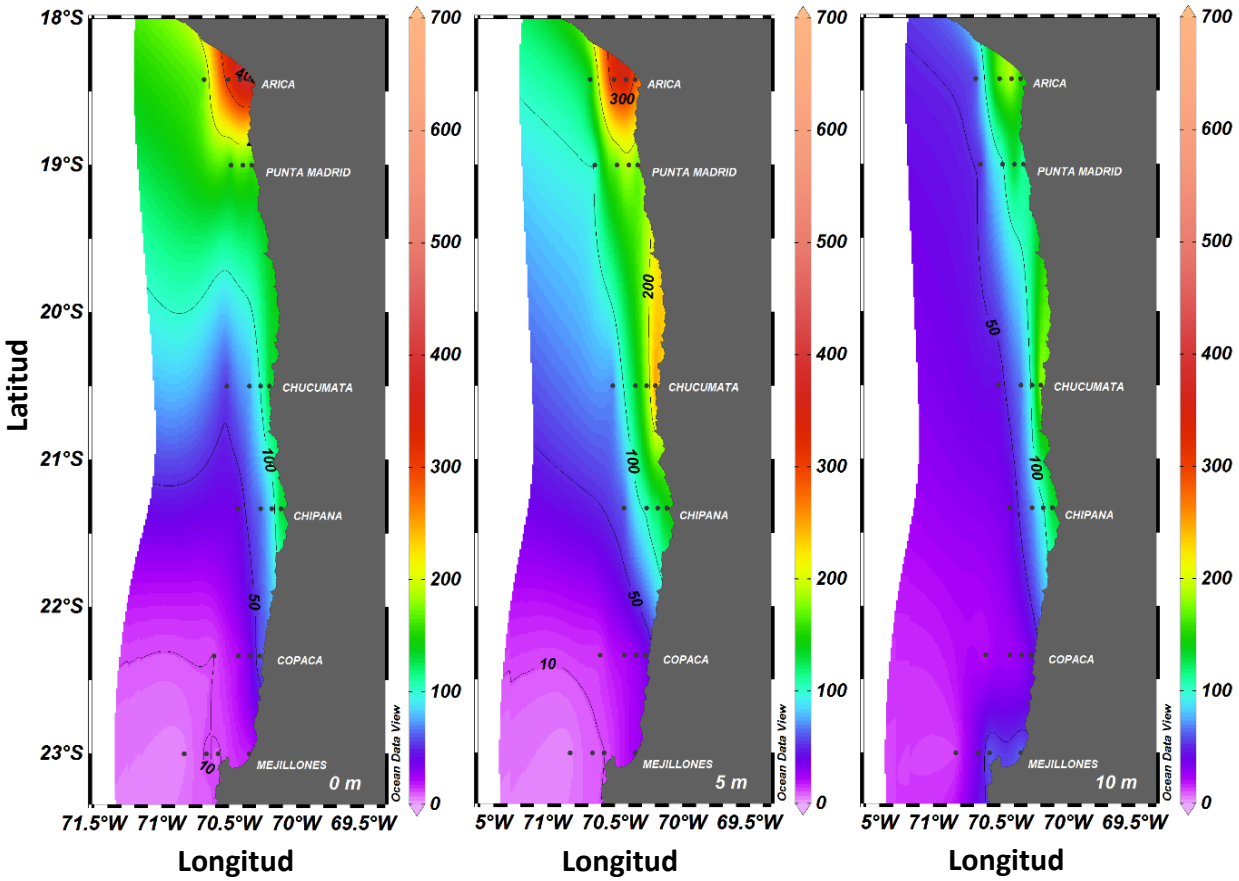

Figura 8. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

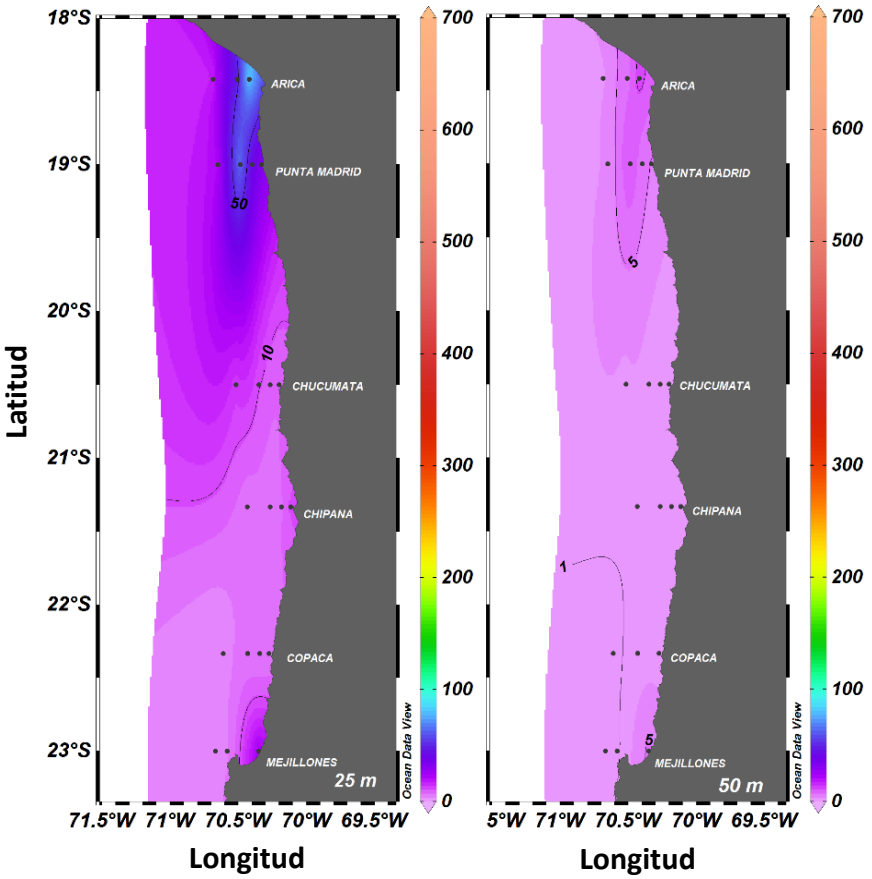

Figura 9. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

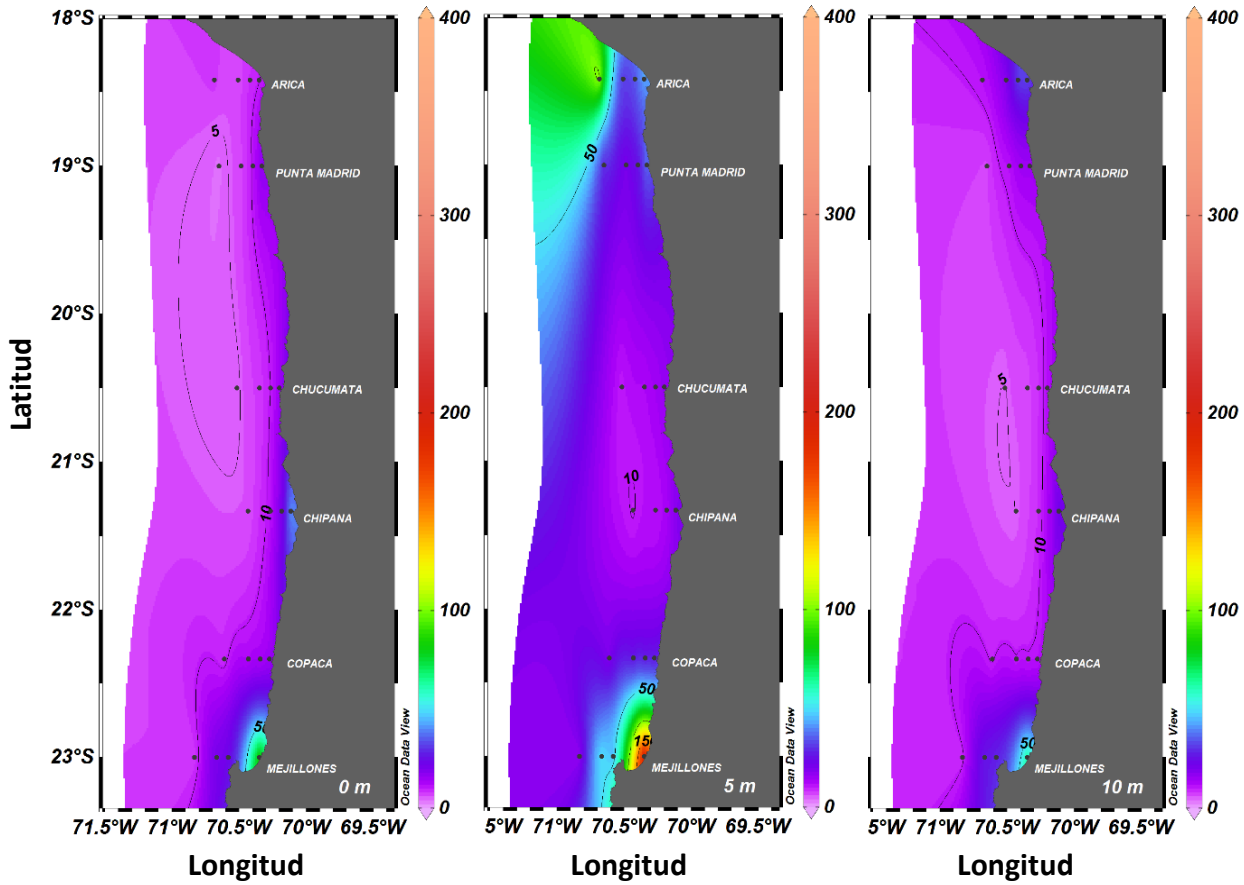

Figura 10. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 23 y 28 de enero de2017.

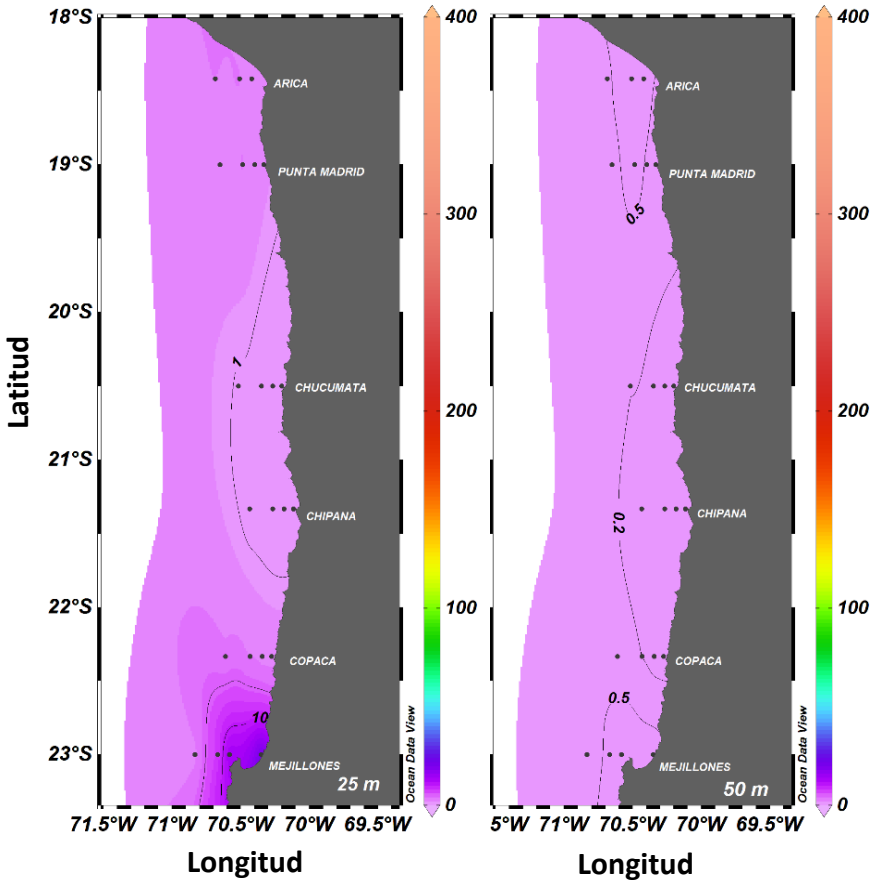

Figura 11. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

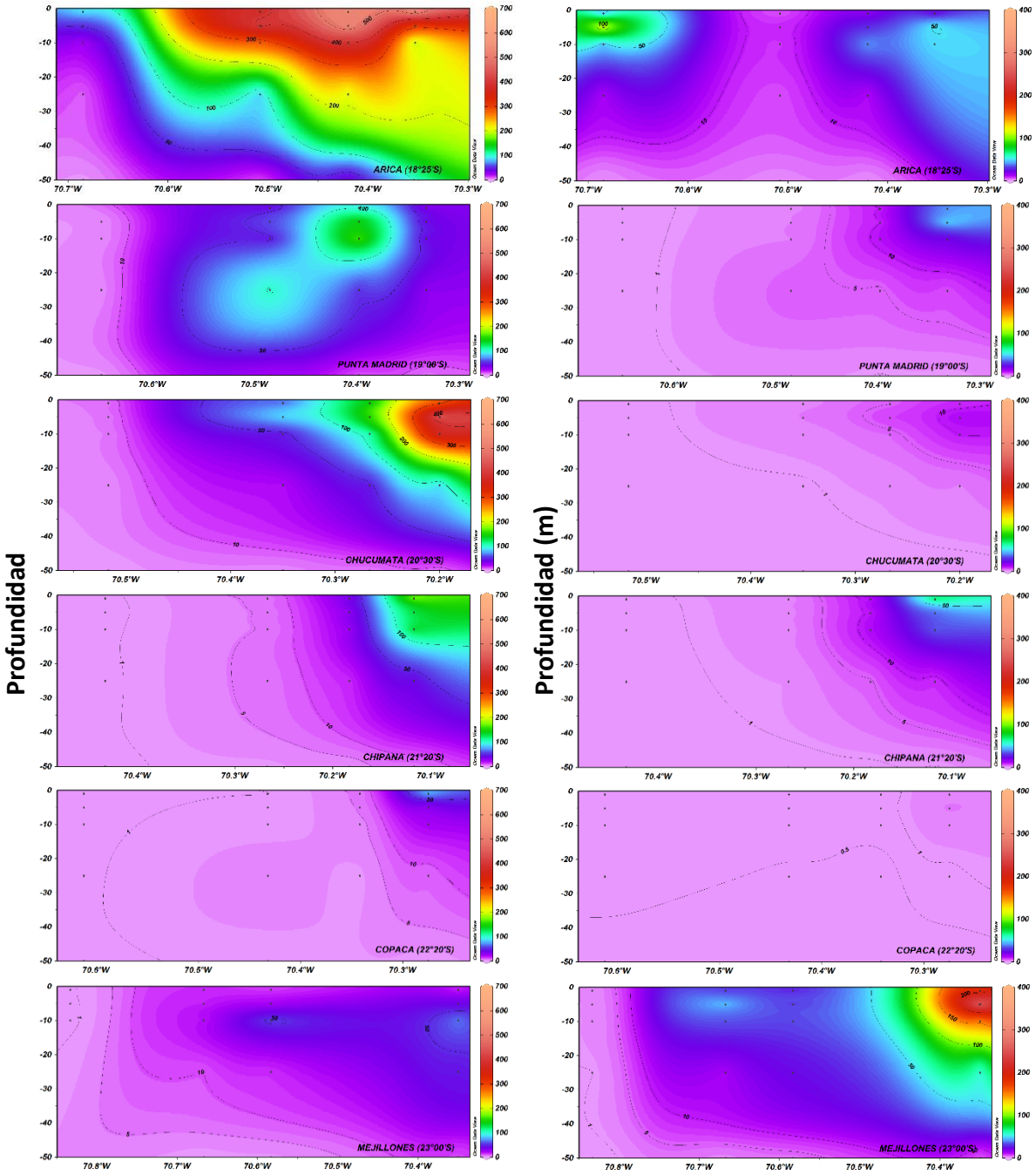

Figura 12. Secciones verticales de la abundancia (cél/mL) de diatomeas (panel-izquierdo) y microflagelados (panel-derecho), entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

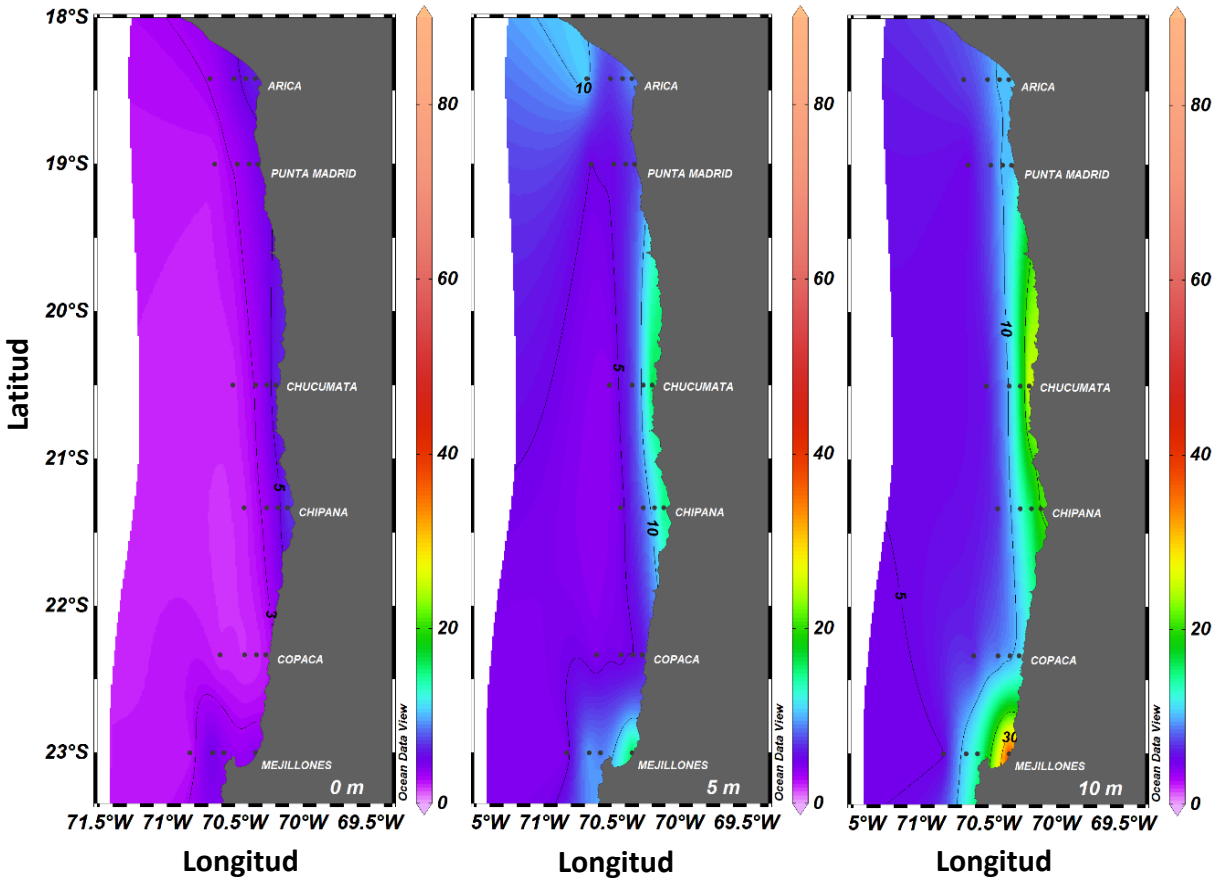

Figura 13. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

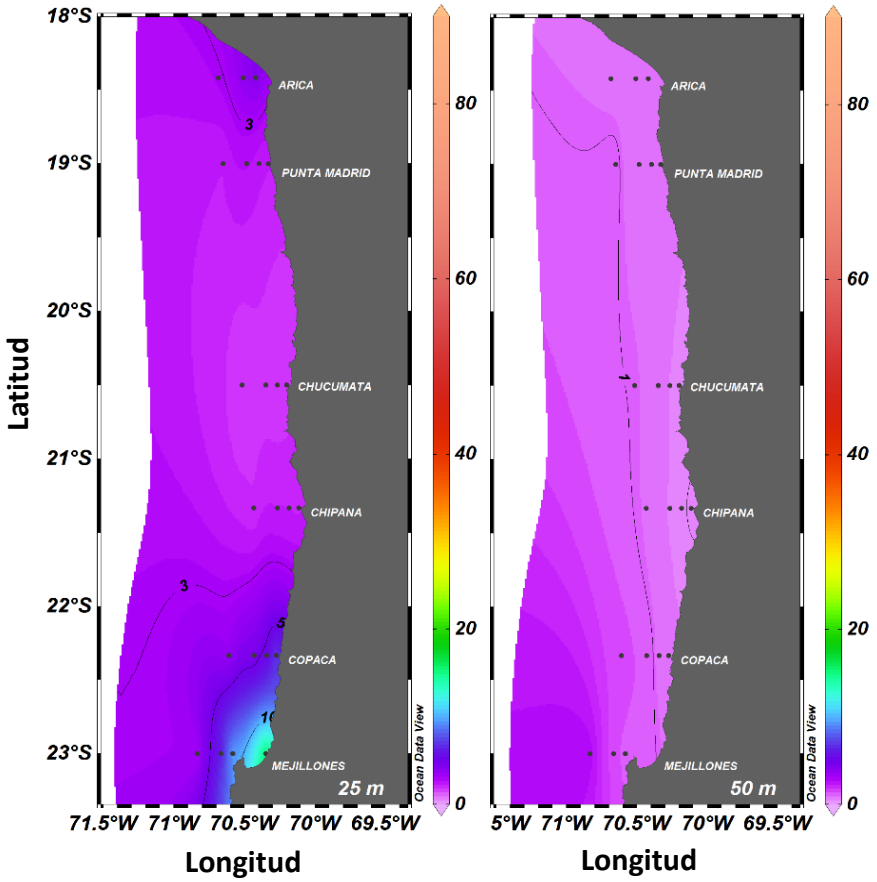

Figura 14. Distribución de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

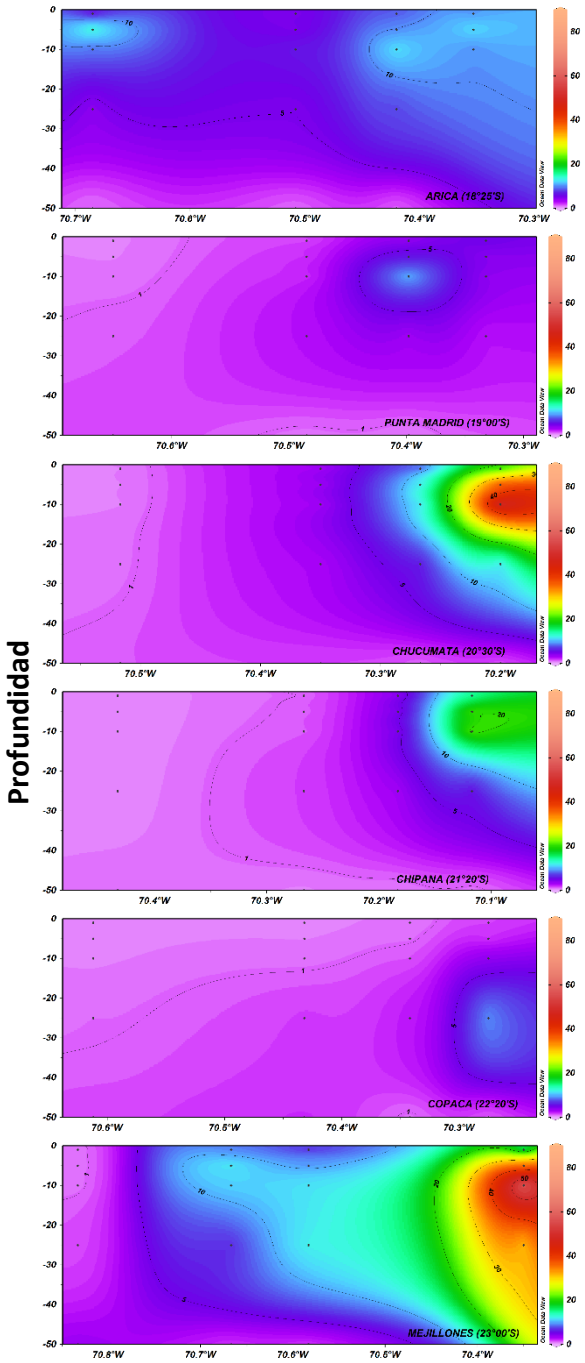

Figura 15. Secciones verticales de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L), entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

Zooplancton

El zooplancton exhibió una abundancia total que fluctuó entre 20,1 y 246,6 ind/10 m^2. En toda el área, excepto en Arica (18°25'S), valores superiores a 100 ind /10 m^2 se registraron distribuidos entre la costa (1 mn) y las 20 mn, detectándose las mayores concentraciones en Mejillones (23°00'S) (Tabla 6).

El grupo Copepoda fue responsable de los totales observados. Este grupo realizó aportes entre el 74% y 89,5%, con una abundancia máxima de 220,6 ind/10 m^2. Otros grupos que destacaron más por su ocurrencia que por su contribución, fueron las larvas de anélidos, misidáceas, salpas y sifonóforos, los cuales concentraron sus mayores densidades desde Chucumata (20°30'S) al sur (Tabla 7).

Tabla 6. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) entre los días 23 y 28 de enero de 2017. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m^2)
Arica (18°25'S)	1	26,2
	5	28,3
	10	24,2
	20	73,2
Punta Madrid (19°00'S)	1	20,1
	5	79,5
	10	100,2
	20	66,1
Chucumata (20°30'S)	1	51,4
	5	92,6
	10	
	20	154,4
Chipana 21°20'S	1	75,7
	5	148,2
	10	51,6
	20	96,3
Copaca (22°20'S)	1	86,1
	5	96,5
	10	137,9
	20	73,0
Mejillones (23°00'S)	1	246,6
	5	212,6
	10	145,7
	20	93,4

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 23 y 28 de enero de 2017. DC: distancia de la costa (mn). LAnn: larvas de Annelida, Mysi: Mysidacea, Salp: salpas, Sifo: sifonóforos, OG: Otros grupos.

LOCALIDAD	DC (mn)	Cop	LAnn	Mysi	Salp	Sifo	OG	AP-Cop (%)
Arica (18°25'S)	1	21,5	2,9	0,2	1,1	0,0	0,3	82,3
	5	23,0	2,8	0,3	1,5	0,1	0,5	81,4
	10	18,9	1,4	0,4	2,0	0,3	1,3	78,1
	20	56,7	2,2	2,8	8,0	0,2	3,3	77,5
Punta Madrid (19°00'S)	1	17,4	1,5	0,1	0,7	0,0	0,4	86,5
	5	70,5	6,3	0,3	0,7	0,4	1,4	88,7
	10	88,5	3,8	0,7	2,3	1,8	3,2	88,3
	20	53,5	4,1	0,9	1,0	2,0	4,6	80,9
Chucumata (20°30'S)	1	38,4	6,7	1,5	1,4	0,9	2,7	74,6
	5	74,1	8,2	1,9	2,7	1,5	4,2	80,0
	10							
	20	119,3	15,3	4,9	3,3	2,7	8,9	77,3
Chipana (21°20'S)	1	62,9	4,9	1,8	2,3	0,2	3,5	83,1
	5	117,8	9,4	4,2	3,1	5,8	7,8	79,5
	10	39,9	2,0	2,0	1,8	2,2	3,6	77,4
	20	71,3	10,9	1,1	2,0	5,0	6,0	74,0
Copaca (22°20'S)	1	68,4	6,4	3,8	2,5	1,3	3,7	79,4
	5	75,6	7,5	2,8	1,6	3,2	5,9	78,3
	10	107,5	10,7	2,9	3,5	5,7	7,6	77,9
	20	55,1	5,8	1,0	2,0	2,5	6,7	75,4
Mejillones (23°00'S)	1	220,6	15,0	4,6	4,7	0,2	1,6	89,5
	5	180,2	13,4	6,0	6,5	0,4	6,1	84,8
	10	123,5	9,0	4,8	3,4	0,8	4,2	84,8
	20	69,8	7,7	3,4	3,7	3,2	5,5	74,8

El análisis del espectro de tamaño reveló la presencia de individuos entre 0,25 mm y 8,25 mm. La mayoría de los grupos estuvo representado por organismos pertenecientes a las categorías entre 0,25 mm y 1,75 mm, destacando entre los más pequeños Copepoda y larvas de anélidos, y misidáceas, salpas y sifonóforos en el rango 1,25-1,75 mm (Tabla 8).

El rango 0,25-0,75 mm presentó las mayores abundancias, entre 19,6 y 243,5 ind/10 m^2, y estuvo representado por el grupo Copepoda, el que realizó aportes a esta categoría de tamaño entre 79,3% y 92,3%. La segunda más abundante fue la categoría 1,25-1,75 mm, pero la concentración máxima alcanzó sólo los 20,5 ind/10 m^2. Los otros rangos estuvieron representados por menos de 5,0 ind/10 m^2 (Tabla 9).

Tabla 8. Abundancia relativa de los grupos zooplanctónicos por rango de tamaño (mm) entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

GRUPOS	**RANGOS DE TAMAÑO (mm)**				
	0,25-0,75	**1,25-1,75**	**2,25-2,75**	**3,25-3,75**	**4,25-8,5**
Anfipodos	2,5	4,4	1,0	0,4	0,1
Annelida		0,3	0,2		
Appendicularia	30,8	1,2			
Copepoda	1.718,3	49,2	2,9	0,2	0,1
Cnidaria	1,5	6,7	2,3	0,6	0,0
Ctenoforos	1,4	6,8	2,1	0,1	0,7
Chaetognata	0,8	2,4	1,6	0,7	0,2
Eufausiacea		0,1	0,8	0,9	2,4
Larva_annelida	150,3	7,0			
Megalopas		1,7	1,0	0,3	
Mysidacea	17,4	34,3	0,7		
Salpas	48,2	13,2	0,3		
Sifonoforos	4,5	22,8	10,3	2,4	0,6
Stomatopoda		2,8	2,2	0,5	0,3
Zoeas	2,1	6,9	2,1		0,1

Tabla 9. Abundancia zooplanctónica (ind/10 m^2) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual de Copepoda (APCOP) (%) a la categoría 0,25-0,75 mm, entre los días 23 y 28 de enero 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	2,25-8,25	0,25-0,75
Arica (18°25'S)	1	25,6	0,4	0,0	83,5
	5	27,6	0,6	0,1	82,9
	10	21,7	2,2	0,3	83,4
	20	67,1	5,2	0,8	84,3
Punta Madrid (19°00'S)	1	19,6	0,2	0,1	86,8
	5	77,5	1,0	0,6	90,2
	10	94,5	3,6	1,6	92,3
	20	57,2	6,2	2,5	89,2
Chucumata (20°30'S)	1	47,2	2,5	1,5	79,3
	5	81,6	9,6	1,3	84,9
	10				
	20	135,6	14,5	4,3	84,5
Chipana (21°20'S)	1	69,2	5,6	0,7	85,8
	5	123,3	20,5	4,2	88,8
	10	44,0	6,2	1,4	87,8
	20	83,0	9,5	3,5	81,9
Copaca (22°20'S)	1	73,0	11,4	1,4	85,8
	5	80,7	12,6	2,9	86,7
	10	119,1	15,6	2,8	85,4
	20	63,7	7,4	1,8	83,5
Mejillones (23°00'S)	1	243,5	2,3	0,2	90,4
	5	204,0	7,5	0,9	87,9
	10	138,6	5,1	1,9	88,6
	20	80,3	9,9	3,1	83,9

La distribución horizontal de la abundancia total del zooplancton, mostró la presencia de altas concentraciones (>100,0 ind/10 m^2) desde Chucumata (20°30'S) al sur. Frente a Mejillones (23°00'S) a 1 mn, coincidente con la mayor abundancia de los microflagelados, se registró el máximo de 246,6 ind/10 m^2. Este foco se extendió longitudinalmente hasta las 10 mn, donde se detectaron 145,7 ind/10 m^2, y latitudinalmente hacia el norte asociado a las estaciones más alejadas de la costa, observándose en Chucumata (20°30'S) una concentración de 154,4 ind/10 m^2 a 20 mn. En Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) cabe destacar la ocurrencia de densidades cercanas a 100 ind/10 m^2 asociadas a la presencia de las diatomeas (Figura 16-panel izquierdo).

Dado que el grupo Copepoda fue el responsable de más del 80% de la abundancia total registrada, la distribución horizontal de este grupo exhibió el mismo patrón, con el máximo (220,6 ind/10 m^2) localizado a 1 mn en Mejillones (23°00'S) y el descenso de las concentraciones hacia el norte del área (Figura 16-panel derecho).

De igual manera, debido a que el 90,9% de la abundancia total se concentró en el rango 0,25-0,75 mm, esta categoría presentó la misma distribución, con un máximo de 243,5 ind/10 m^2 en el sector de Mejillones (23°00'S) (Figura 17-panel izquierdo), directamente asociado a la presencia del grupo Copepoda perteneciente a ese tamaño (Figura 17-panel derecho).

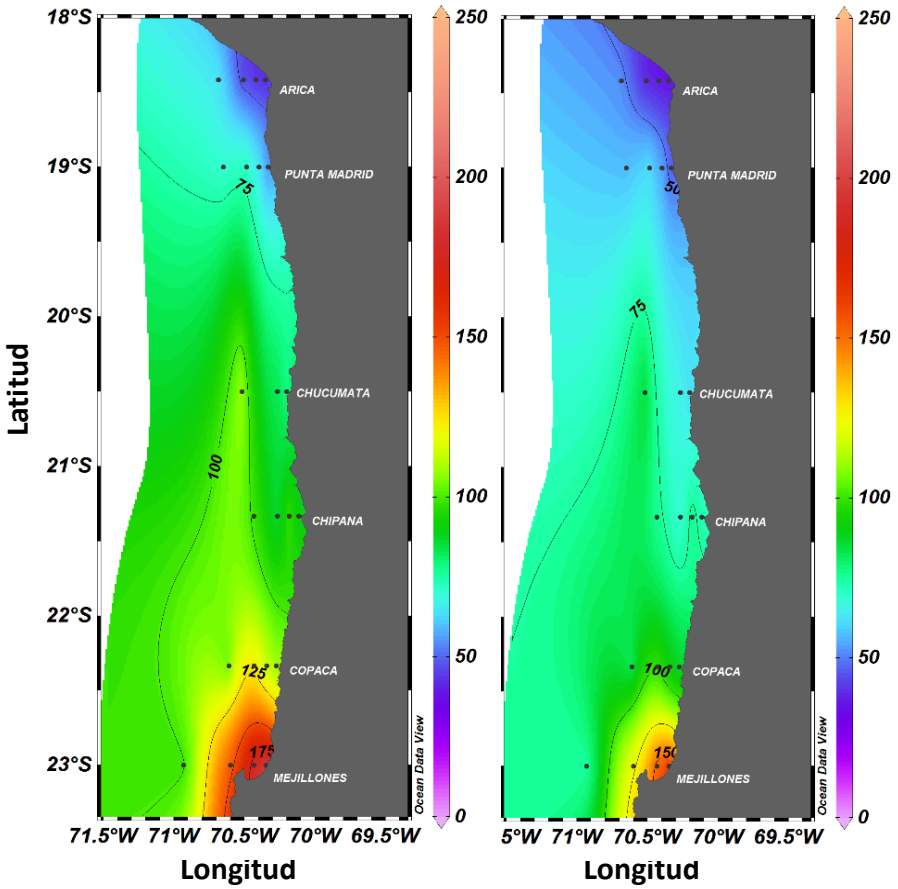

Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) (panel izquierdo) y del grupo Copepoda (panel derecho), entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

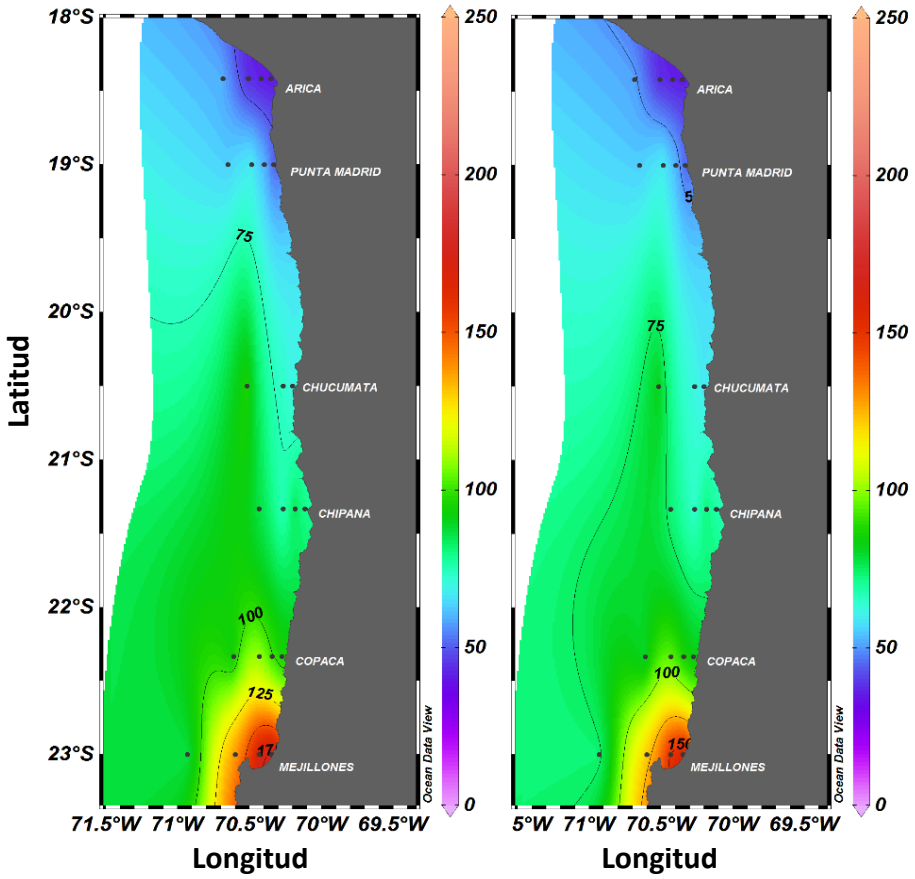

Figura 17. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) del zooplancton total (panel izquierdo) y del grupo Copepoda (panel derecho) pertenecientes al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

Ictioplancton

La abundancia total de estadios tempranos fue de 152.940 huevos/10 m^2 y 50.634 larvas/10 m^2, de los cuales el 93,4% y 66,8% 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 superior a 30.000 larvas/10 m^2, lo que representó el 90,1% de la abundancia total de larvas de esta especie, y el 60,2% de la abundancia total de larvas. Las larvas en estado de flexión se detectaron sólo en Punta Madrid (19°00'S) y su concentración fue inferior a 100 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 23 y 28 de enero 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	5.579	72					5.579	72
	5	30.773	4.000	77		77	154	30.850	4.231
	10	13.113						13.113	0
	20	407	325				163	407	488
Punta Madrid (19°00'S)	1								
	5	531	109	109	55		55	531	328
	10		549				150		698
	20	704	176	1.174		528	411	1.233	1.761
Chucumata (20°30'S)	1	769	577				144	769	721
	5			543		1.508	60	1.508	603
	10								
	20			50		2.504		2504	50
Chipana (21°20'S)	1	39.225	18.751	72		72	718	39.297	19.541
	5	190	142			664	95	854	237
	10					266	11.525	266	11.525
	20					321	129	321	129
Copaca (22°20'S)	1		127	1.016		381	571	381	1.714
	5					232	58	232	58
	10					1.527		1.527	
	20	73				1.235	363	1.308	363
Mejillones (23°00'S)	1	4.646	505	101		51	101	4.697	707
	5	20.477	2.575	60		180	539	20.657	3.173
	10	26.391	2.568	89		177	1.240	26.568	3.897
	20					338	338	338	338
TOTAL		142.879	30.476	3.290	55	10.062	16.814	152.940	50.634
AP (%)		93,4	60,2	6,5	0,1	19,9	33,2		

Se registraron estadios tempranos de *Engraulis ringens* en 17 de las 24 estaciones de muestreo, y entre 1 mn y 20 mn de la costa (Figura 18).

La distribución de los huevos mostró abundancias superiores a 10.000 huevos/10 m^2 en Arica (18°25'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) y entre la costa (1 mn) y las 10 mn. Se registró un máximo principal de 39.225 huevos/10 m^2 en Chipana (21°20'S) a 1 mn, y otro secundario en Arica (18°25'S) de 30.773 huevos/10 m^2 a 5 mn. En el resto del área las densidades fueron inferiores a 1.000 huevos/10 m^2 (Figura 19).

Las larvas en estado yolk-sac exhibieron una distribución similar. El máximo (18.751 larvas/10 m^2) se detectó en Chipana (21°20'S) a 1 mn de la costa, y valores superiores a 1.000 larvas/10 m^2 se observaron en Arica (18°25'S) a 5 mn, y Mejillones (23°00'S) a 5 mn y a 10 mn de la costa (Figura 20-panel izquierdo). El estado pre-flexión, con una menor ocurrencia, presentó un máximo de 1.174 larvas/10 m^2 en Punta Madrid (19°00'S) a 20 mn, y otro de 1.016 larvas/10 m^2 en Copaca (22°20'S). En las otras localidades las abundancias se mantuvieron cercanas a 100 larvas/10 m^2 (Figura 20-panel derecho).

Los huevos de otras especies se concentraron desde Chucumata (20°30'S) al sur, con un predominio de abundancias inferiores a 1.000 huevos/10 m^2. El máximo fue de 2.504 huevos huevos/10 m^2 y se registró a 20 mn frente a Chucumata (20°30'S) (Figura 21-panel izquierdo). Las larvas, con una mayor distribución latitudinal y longitudinal, también presentaron una predominancia de densidades menores a 1.000 larvas/10 m^2, pero alcanzaron un máximo de 11.525 larvas/10 m^2 a 10 mn frente a Chipana (21°20'S) (Figura 21-panel derecho).

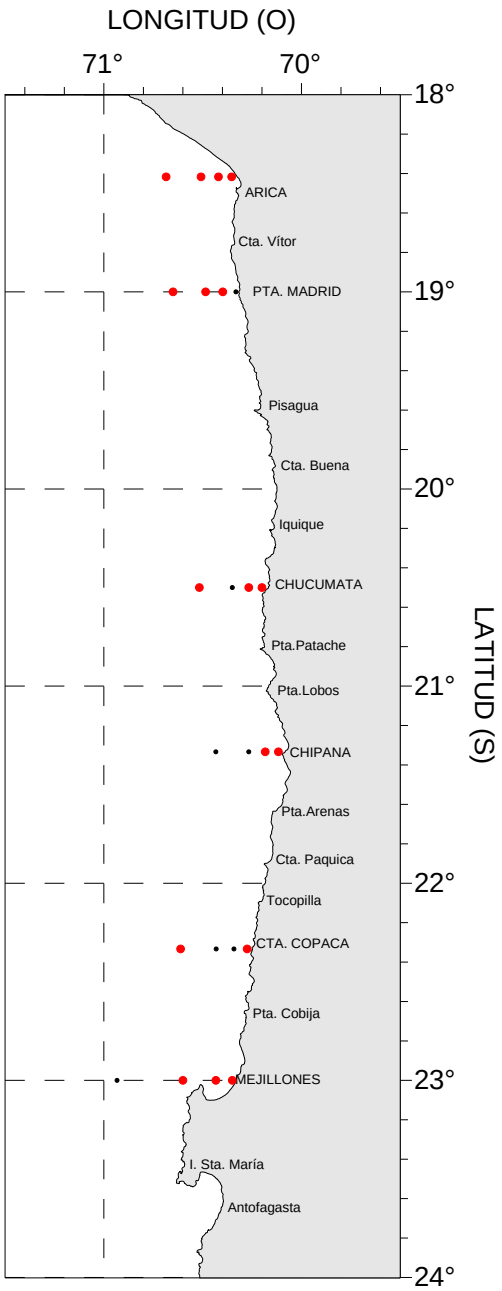

Figura 18. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

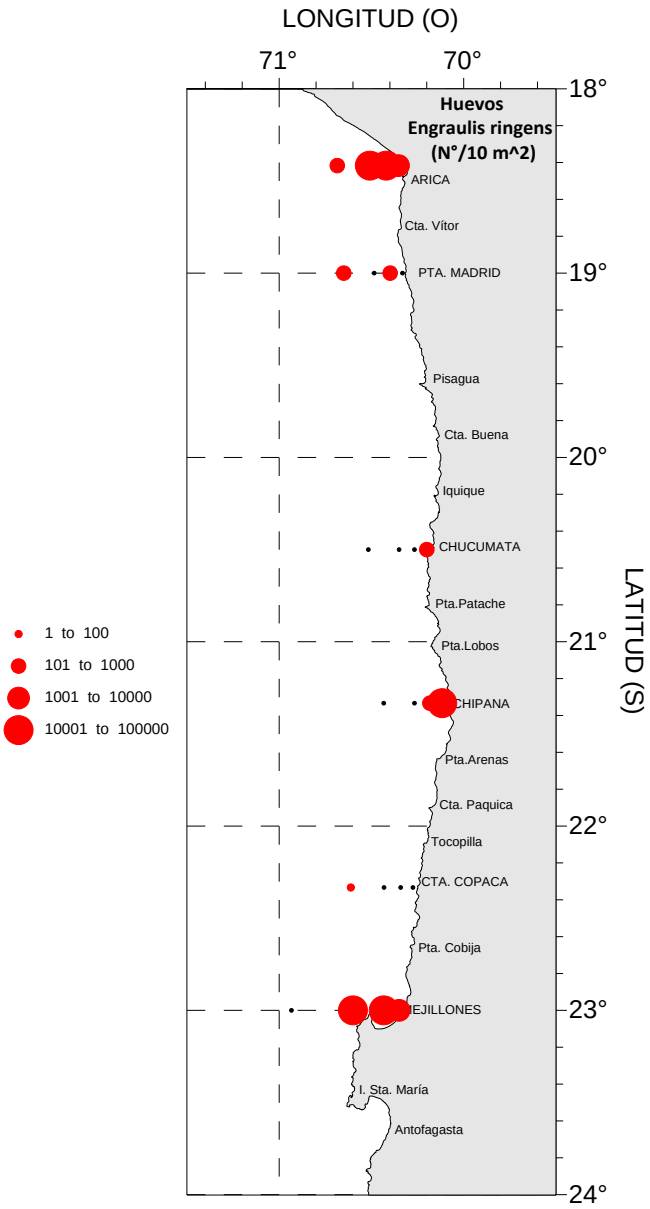

Figura 19. Distribución de la abundancia de huevos (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

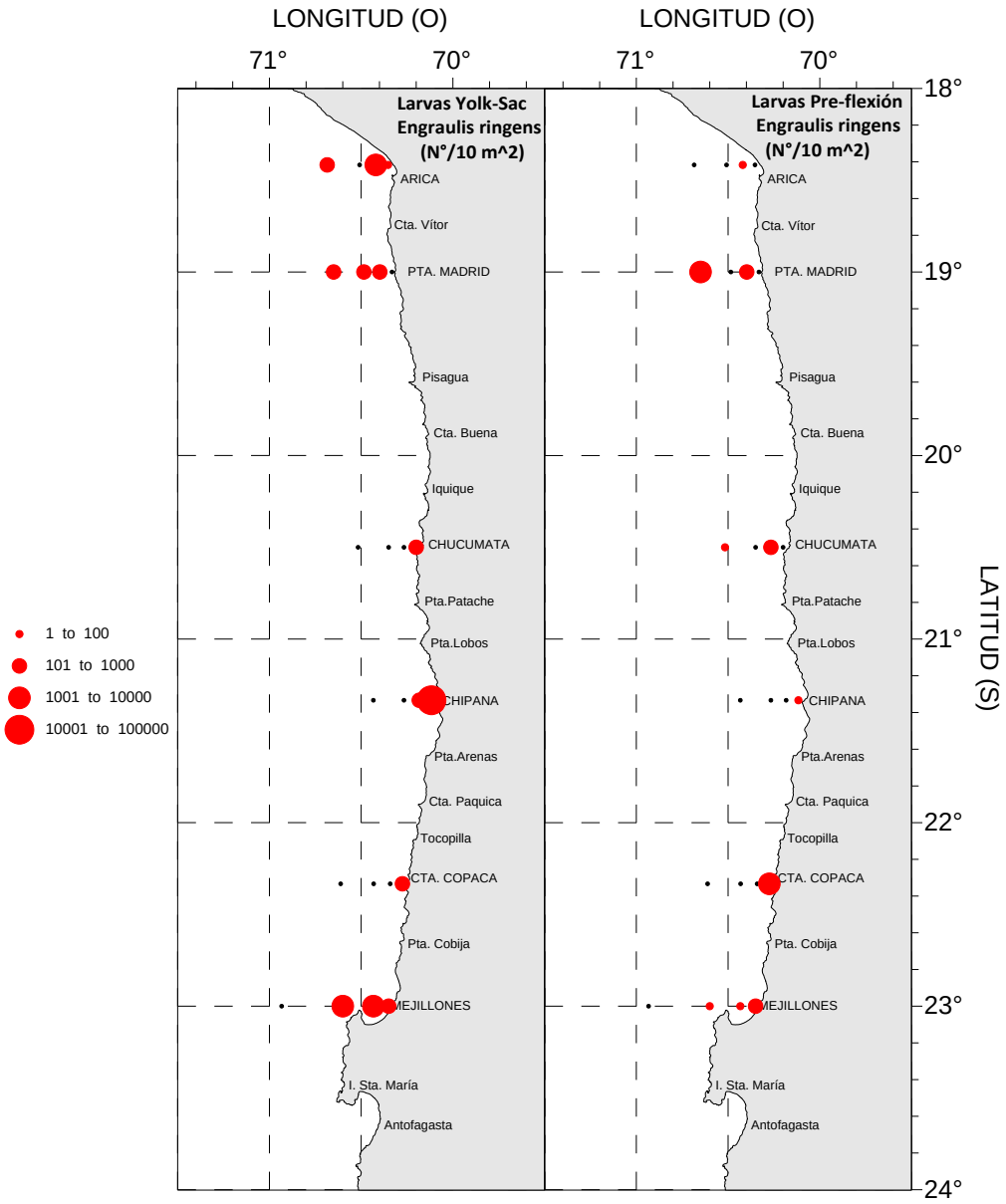

Figura 20. Distribución de la abundancia de larvas (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* en estado yolk-sac (panel izquierdo) y pre-flexión (panel derecho) entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

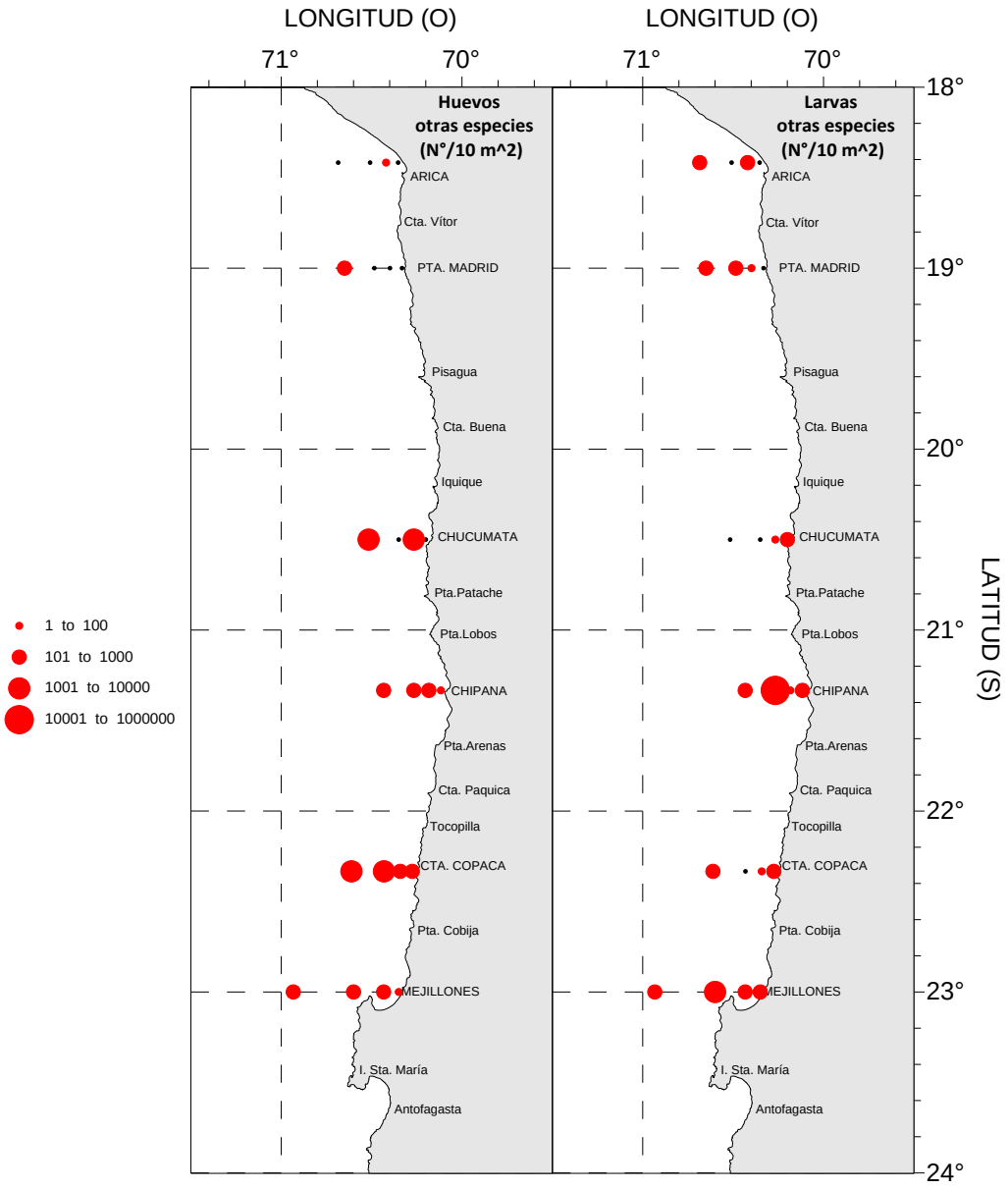

Figura 21. Distribución horizontal de la abundancia (N°/10 m^2) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 23 y 28 de enero de 2017.

Análisis Estadístico

Al analizar la asociación entre los estadios tempranos de anchoveta y las variables oceanográficas, los resultados mostraron que la abundancia de huevos se correlacionó significativamente con la salinidad ($r=0,56$, $p<0,01$), con la profundidad de la isoterma de 15°C ($r=0,59$, $p<0,01$), con el oxígeno disuelto ($r=0,47$, $p<0,01$) y con la profundidad del LS_ZMO ($r=0,56$, $p<0,01$), y presentó una fuerte asociación con la biomasa fitoplanctónica ($r=0,72$, $p<0,01$) y la abundancia de diatomeas ($r=0,66$, $p<0,01$) y microflagelados ($r=0,55$, $p<0,01$) (Figura 22). La abundancia de las larvas se encontró correlacionada con las mismas variables, excepto con la profundidad de la isoterma de 15°C (Figura 23).

El análisis comparativo global aplicado a las variables registradas durante el verano de 2015, 2016 y 2017, reveló diferencias estadísticamente significativas entre la temperatura, la salinidad, el oxígeno disuelto y la abundancia de zooplancton (Tabla 11). Los resultados del test de Tukey (Tabla 12) indicaron que las diferencias en la temperatura se debieron a que el 2017 resultó ser el verano más cálido, a diferencia del 2016 que presentó las mayores salinidades, la mayor concentración de oxígeno disuelto y la menor abundancia zooplanctónica respecto de 2015 y 2017 (Figura 24).

Al realiza el análisis comparativo por área, en Arica (18°25’S-19°00’S) las variables salinidad y abundancia de diatomeas, de zooplancton y de larvas de anchoveta mostraron diferencias significativas (Tabla 13). Las diferencias en la salinidad se debieron principalmente a los bajos valores registrados en 2017, mientras que en el caso de las diatomeas y larvas de anchoveta, el verano de 2017 exhibió las mayores magnitudes. Respecto del zooplancton, el verano de 2015 sigue siendo el de abundancias más altas (Tabla 14, Figura 25). En el área Chipana (20°30’S-21°20’S) presentaron diferencias la temperatura, la biomasa fitoplanctónica y la abundancia zooplanctónica (Tabla 13). La temperatura de 2017 resultó la más alta de los tres periodos y la biomasa fitoplanctónica descendió. En el caso del zooplancton, el 2015 nuevamente resultó ser el de mayor abundancia (Tabla 14, Figura 26). En el área Mejillones (22°20’S-23°00’S) se detectaron diferencias significativas en la temperatura y la biomasa fitoplanctónica (Tabla 13), las cuales respondieron al mismo patrón observado en el área Chipana (20°30’S-21°20’S) (Tabla 14, Figura 27).

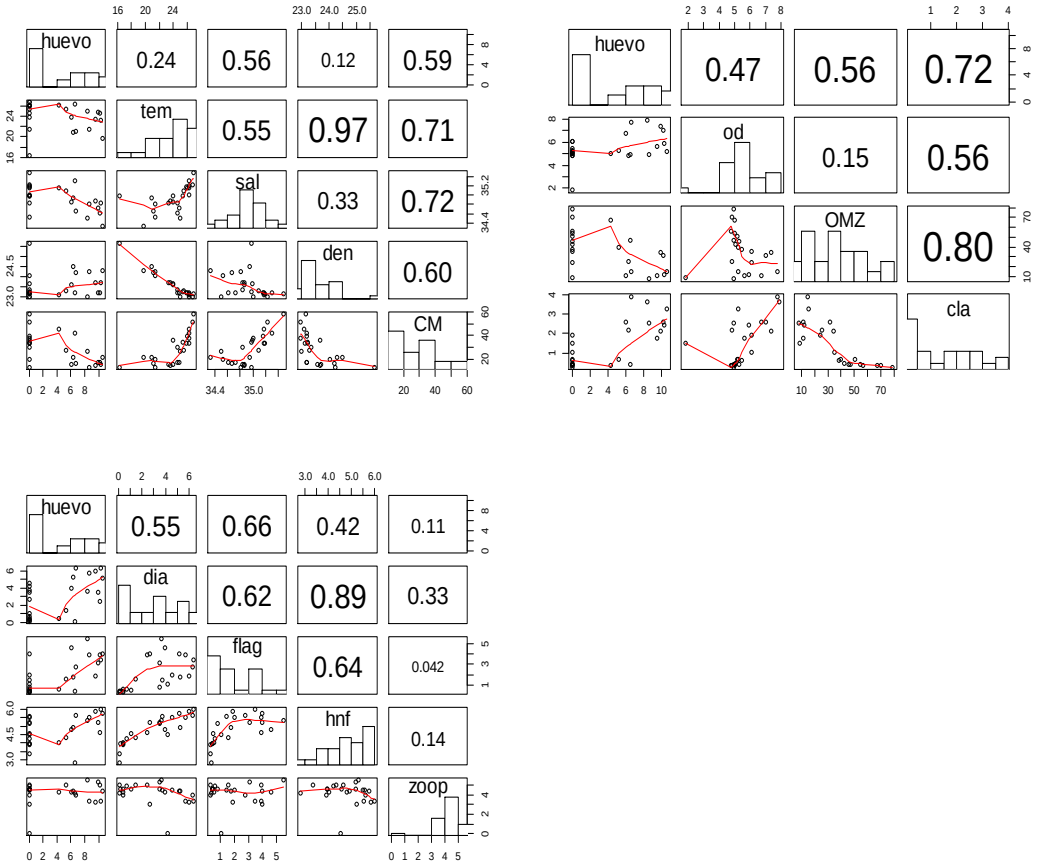

Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevo) (N°/10 m^2) y las variables temperatura (tem) (°C), salinidad (sal) (ups), densidad (den) (σ-t), profundidad de la isoterma de 15°C (m) (CM), oxígeno disuelto (mL/L) (od), profundidad del límite superior de la ZMO (m) (OMZ), biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) (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 23 y 28 de enero de 2017.

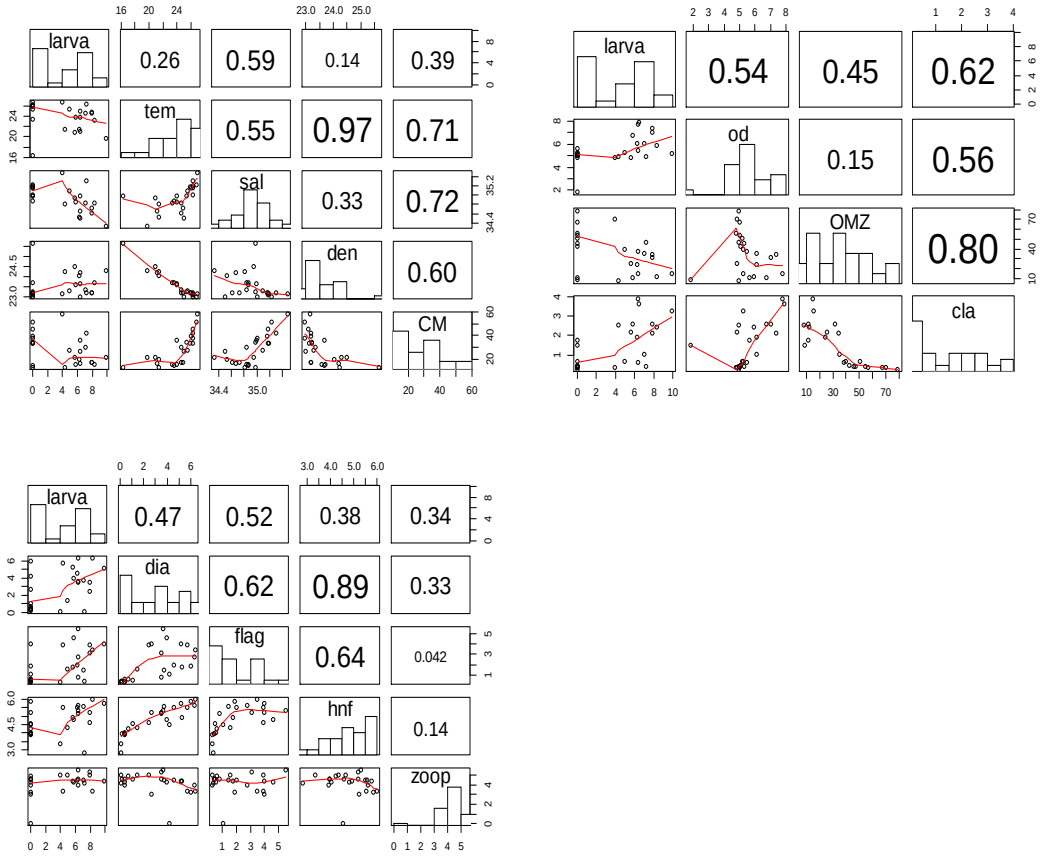

Figura 23. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larva) (N°/10 m^2) y las variables temperatura (tem) (°C), salinidad (sal) (ups), densidad (den) (σ-t), profundidad de la isoterma de 15°C (m) (CM), oxígeno disuelto (mL/L) (od), profundidad del límite superior de la ZMO (m) (OMZ), biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) (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 23 y 28 de enero 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 verano de 2015, 2016 y 2017. NS: nivel de significancia.

Variable	F	Valor *p*	NS
TEMPERATURA (°C)	21,32	0,000	<0,001
SALINIDAD (ups)	11,38	0,000	<0,001
OXIGENO DISUELTO (mL/L)	3,71	0,032	<0,05
ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	9,69	0,000	<0,001

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 verano de 2015, 2016 y 2017.

Variables	Campañas	Diferencia	Lím. inf.	Lím. sup.	Valor *p*
TEMPERATURA (°C)	2015-2016	1,30	0,09	2,50	0,03
	2015-2017	3,52	2,22	4,83	0,00
	2016-2017	2,23	0,94	3,51	0,00
SALINIDAD (ups)	2016-2015	0,36	0,14	0,57	0,00
	2016-2017	-0,43	-0,65	-0,21	0,00
OXIGENO DISUELTO (mL/L)	2016-2015	0,79	0,09	1,49	0,02
ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	2016-2015	1,16	0,48	1,84	0,00
	2016-2017	-0,89	-1,63	-0,15	0,01

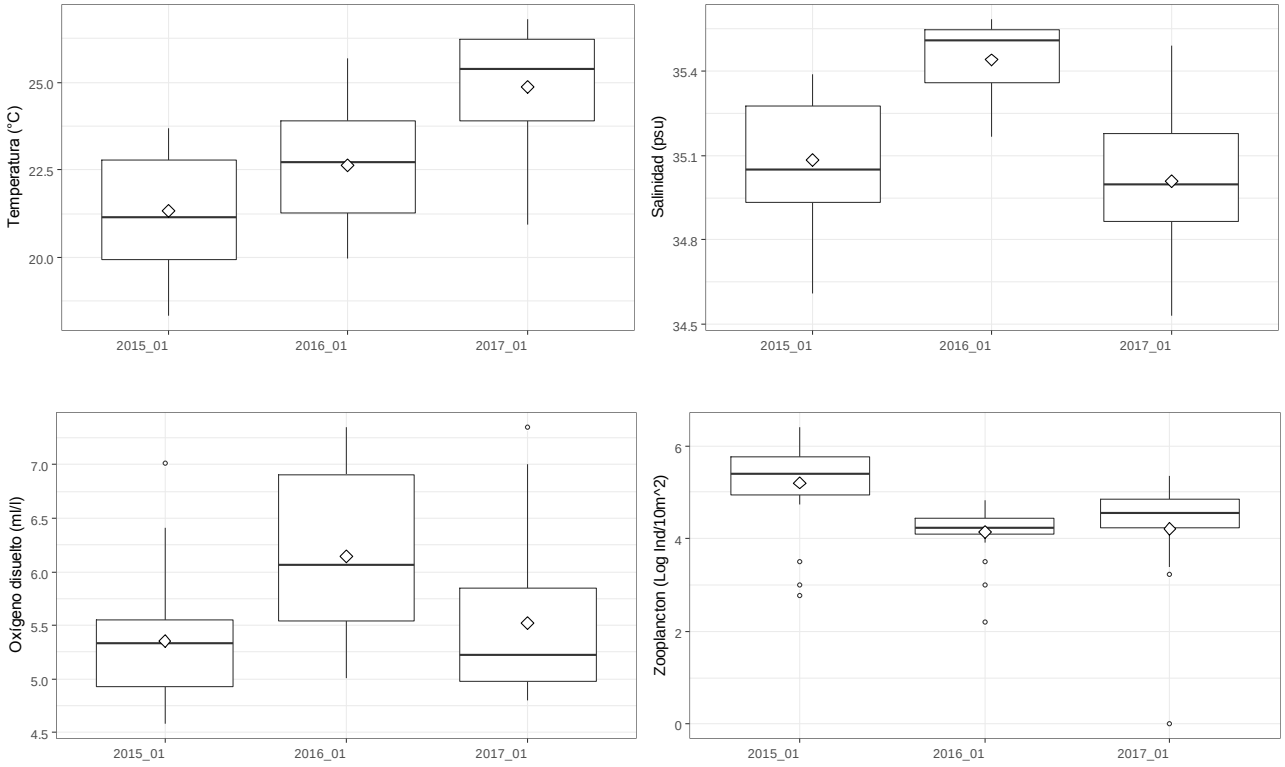

Figura 24. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información global registrada durante los cruceros de verano de 2015, 2016 y 2017. Panel superior: temperatura (°C) y salinidad (ups), Panel inferior: oxígeno disuelto (mL/L) y abundancia zooplanctónica (ind/10 m^2).

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

AREA	Variable	F	Valor *p*	NS
ARICA (18°25'S-19°00'S)	SALINIDAD (ups)	15,86	0,000	<0,001
	DIATOMEAS (cél/mL)	5,80	0,011	<0,05
	ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	8,05	0,003	<0,01
	LARVAS ANCHOVETA (ind/10 m^2)	7,22	0,005	<0,01
CHIPANA (20°30'S-21°20'S)	TEMPERATURA (°C)	8,59	0,002	<0,01
	BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg Cl-a/L)	4,54	0,025	<0,05
	ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	6,57	0,007	<0,01
MEJILLONES (22°20'S-23°00'S)	TEMPERATURA (°C)	32,82	0,000	<0,001
	BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg Cl-a/L)	5,48	0,013	<0,05

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 verano de 2015, 2016 y 2017.

AREA	Variable	Campañas	Diferencia	Lím. inf.	Lím. Sup.	Valor *p*
ARICA (18°25'S-19°00'S)	SALINIDAD (ups)	2016-2015	0,21	0,00	0,41	0,05
		2016-2017	-0,47	-0,69	-0,26	0,00
		2015-2017	-0,27	-0,49	-0,04	0,02
	DIATOMEAS (cél/mL)	2017-2015	2,34	0,25	4,44	0,03
		2017-2016	2,61	0,51	4,70	0,01
	ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	2015-2016	-1,34	-2,30	-0,38	0,01
		2015-2017	-1,36	-2,40	-0,32	0,01
	LARVAS ANCHOVETA (ind/10 m^2)	2015-2016	2,74	-0,39	5,88	0,09
		2015-2017	5,02	1,63	8,41	0,00
CHIPANA (20°30'S-21°20'S)	TEMPERATURA (°C)	2017-2015	4,29	1,66	6,93	0,00
		2017-2016	2,61	-0,03	5,24	0,05
	BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg Cl-a/L)	2017-2016	-1,65	-3,16	-0,13	0,03
	ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	2015-2016	-1,65	-3,04	-0,26	0,02
		2015-2017	-1,89	-3,39	-0,38	0,01
MEJILLONES (22°20'S-23°00'S)	TEMPERATURA (°C)	2017-2015	4,67	3,10	6,24	0,00
		2017-2016	4,17	2,59	5,74	0,00
	BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg Cl-a/L)	2016-2015	1,52	0,30	2,73	0,01
		2016-2017	-1,18	-2,49	0,13	0,08

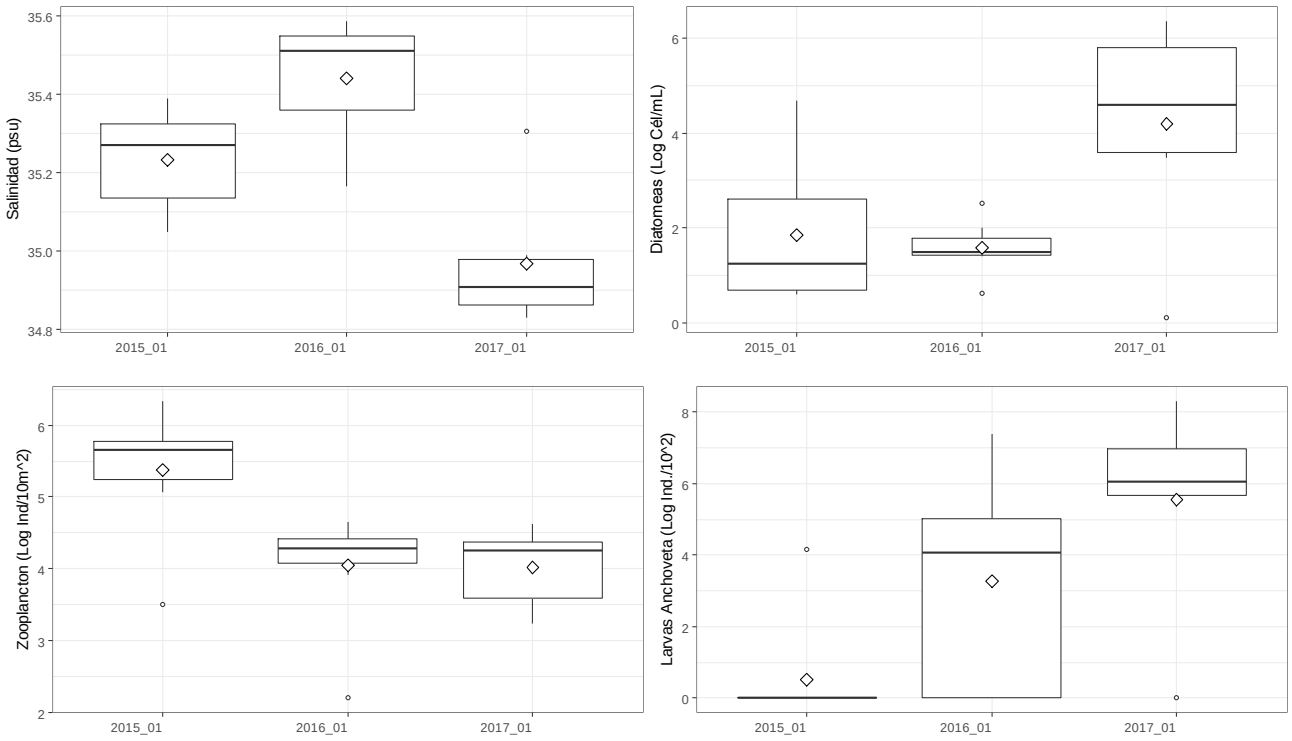

Figura 25. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información registrada en el área Arica (18°25'S-19°00'S) durante los cruceros de verano de 2015, 2016 y 2017. Panel superior: salinidad (ups) y abundancia de diatomeas (cél/mL), Panel Inferior: abundancia de zooplancton (ind/10 m^2) y abundancia de larvas de anchoveta (larvas/10 m^2).

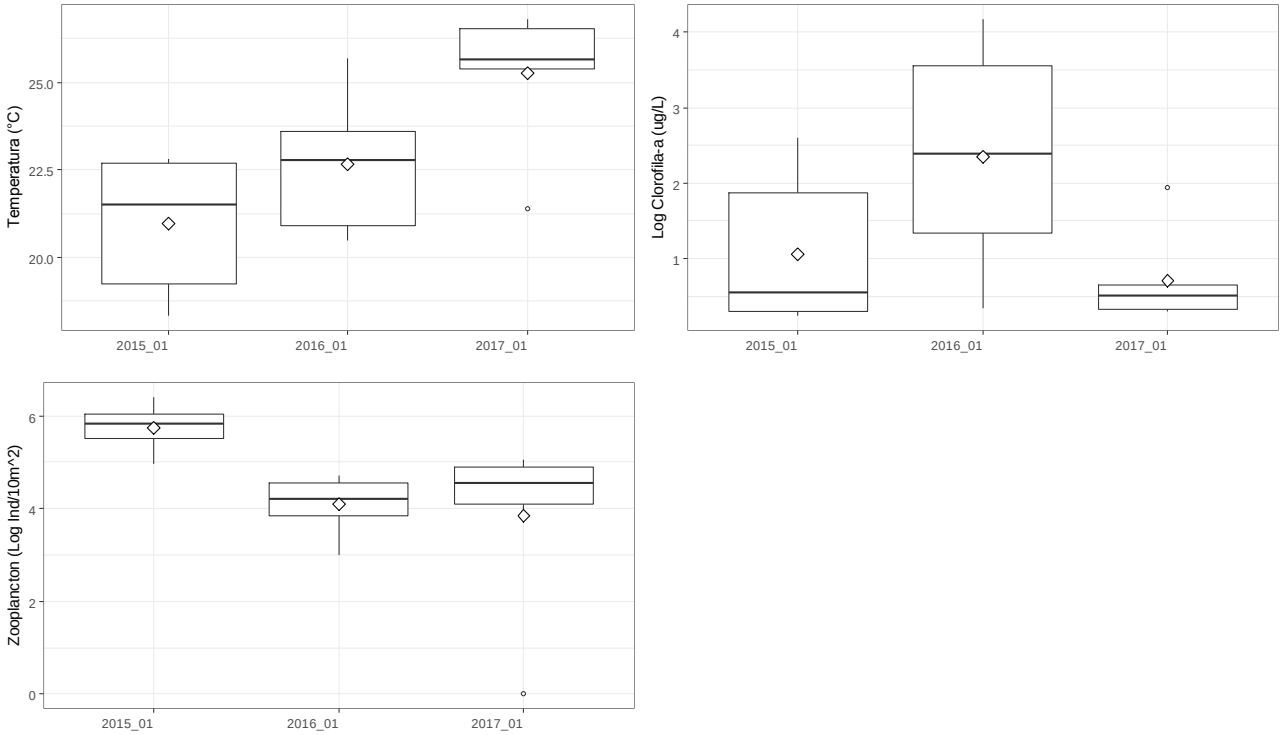

Figura 26. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información registrada en el área Chipana (20°30'S-21°20'S) durante los cruceros de verano de 2015, 2016 y 2017. Panel superior: temperatura (°C) y biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L), Panel Inferior: abundancia de zooplancton (ind/10 m^2).

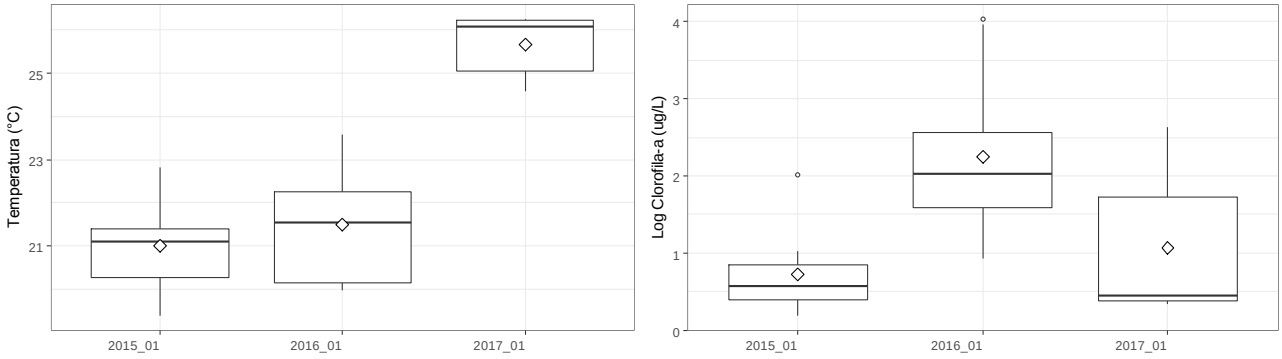

Figura 27. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información física, química y biológica registrada en el área Mejillones (22°20'S-23°00'S) durante los cruceros de verano de 2015, 2016 y 2017. Panel izquierdo: temperatura (°C), Panel derecho: biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L).

DISCUSION

Las condiciones oceanográficas registradas durante el periodo de estudio, revelaron el retorno del sistema a una condición cálida luego del enfriamiento observado en la primavera de 2016, asociado al retiro del evento El Niño 2015-2016, cuando el ambiente permitía informar un escenario de neutralidad (Ciifen, 2016).

Las altas temperaturas (>25°C), en la franja entre 1 y 10 mn, se encontraron restringidas a un estrato muy somero (0-5 m) en el área Arica, profundizándose hacia Copaca y Mejillones, donde se registró la intrusión de agua cálida hasta las 5 mn de la costa. El dominio en la columna de agua del Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), indicó que en el sector norte, los procesos de surgencia permanecieron activos, tal como lo revelaron los valores del TEk, la posición de la isoterma de 15°C y la localización del LS_ZMO. Esta condición más cálida y la mayor influencia del ASAA, quedó evidenciada en los resultados del análisis comparativo, que corroboraron que este verano presentó las mayores temperaturas y las salinidades más bajas.

Respecto del componente biológico, las diatomeas desaparecieron del área Mejillones. Este grupo se concentró particularmente en Arica, donde las condiciones resultaron más favorables, lo que dio lugar a las diferencias significativas en el análisis por área. Por el contrario, asociados al agua cálida, los microflagelados exhibieron sus mayores concentraciones en Mejillones. Del mismo modo, esta condición de disponibilidad de alimento, habría resultado favorable para el zooplancton. La máxima abundancia de este grupo, dominado por Copepoda y por formas con tamaños entre 0,25 y 0,75 mm, coincidió con la presencia de los microflagelados. Distinto de otros veranos, en los cuales el zooplancton dominó el sector de Arica, lo cual también resultó en las diferencias estadísticamente significativas detectadas en esa área.

Los estadios tempranos de anchoveta presentaron sus mayores densidades en las áreas típicamente descritas como de retención, Arica, Chipana y Mejillones. Huevos y larvas en estado yolk-sac, exhibieron un incremento respecto de los veranos anteriores, lo que se observó especialmente en Arica, dando lugar a diferencias estadísticamente significativas. Los resultados del análisis de asociación, indicaron que huevos y larvas se encontraron fuertemente correlacionados con el componente fitoplanctónico, diatomeas y microflagelados, lo cual puede explicar su presencia en aquellos sectores donde cada grupo fue dominante. Además del componente biológico, las bajas salinidades, lo somero de la capa de mezcla (isoterma 15°C) y del LS_ZMO, también habrían favorecido a los estadios tempranos de anchoveta, condiciones que se registraron particularmente en el área Arica (Arica-Punta Madrid).

Los resultados obtenidos son coincidente con la información proporcionada por Ciifen (2017), que señala que durante enero de 2017 en el Pacífico Sur Oriental, se incrementó la temperatura, alcanzando valores de hasta +3°C por encima de lo normal frente a las costas del norte de Chile. Sin embargo, una condición desfavorable, asociada al incremento de la temperatura, no se registró en toda la zona. A diferencia de otros periodos cálidos, el sector de Arica no exhibió una gran influencia del ASS, por el contrario, el escenario físico y químico resultó favorable para las diatomeas, grupo que puede ser considerado indicador de normalidad en sistemas de surgencia. Hay que destacar la influencia del agua de mayor temperatura en el sector sur. Mejillones habitualmente exhibe en superficie menores temperaturas asociadas a la presencia del AESS, sin embargo, durante este crucero la zona ofreció un ambiente cálido, dominado por flagelados y con una baja influencia de los procesos de afloramiento.

LITERATURA CITADA

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

CIIFEN. 2016. Boletín octubre 2016. www.ciifen.org.

CIIFEN. 2017. Análisis Oceanográfico del Pacífico Oriental febrero 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.

http://www.ciifen.org. CIIFEN. 2016. Boletines Noviembre 2014, Octubre 2016.

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

Schlitzer, R., Ocean Data View, http://odv.awi.de, 2017

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.