Facultad de
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

ciam
Centro de Investigación
Aplicada del Mar

UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

INFORME FINAL
CRUCERO BIO-OCEANOGRAFICO DE VERANO

MARZO DE 2016

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 **6**

RESULTADOS **10**

Condiciones físicas y químicas **10**

Estructura de la Comunidad Planctónica **17**

Fitoplancton **17**

Zooplancton **29**

Ictioplancton **36**

Análisis Estadístico **42**

DISCUSION **47**

LITERATURA CITADA **48**

RESUMEN EJECUTIVO

En el área comprendida entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S), se llevó a cabo el crucero de verano de 2016, entre los días 25 y 30 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 la zona se dispusieron seis transectas perpendiculares a la costa con estaciones distribuidas entre 1 y 40 mn, desde donde se obtuvieron perfiles verticales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto utilizando un CTDO SeaBird19. Entre 1 y 20 mn de la costa se tomaron muestras discretas 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 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 físico-químicas y biológicas registradas durante el verano de 2015 y de 2016.

Los valores de temperatura superficial del mar, indicaron la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) en toda la zona y aunque la franja costera (1 mn) se mantuvo más fría, las temperaturas no descendieron de los 20°C. Entre Arica (18°525'S) y Punta Madrid (19°00'S) la salinidad y la densidad confirmaron el dominio del ASS entre 1 y 40 mn de la costa y en toda la columna de agua (0-50 m), la cual mostró una alta estabilidad y escasa presencia del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Valores de oxígeno disuelto por sobre los 4,0 mL O_2/L se registraron hasta aproximadamente los 30 m de profundidad, y el límite superior de la ZMO se detectó alrededor de los 50 m. Los valores del Transporte Ekman evidenciaron la ocurrencia de surgencia durante los días previos y de realización del crucero.

El microfitoplancton presentó abundancias máximas cercanas a las 100 cél/mL. Las mayores concentraciones (>30,0 cél/mL) se registraron en Arica (18°25'S), Punta Madrid (19°00'S), Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S), donde el principal aporte porcentual (>80%) lo realizó el grupo de los microflagelados. Los valores y distribución de la biomasa fitoplanctónica fueron coincidentes con el microfitoplancton, observándose la máxima concentración (117,7 µg Cl-a/L) en Mejillones (23°00'S). El zooplancton presentó abundancias superiores a 100 ind/10 m^2 en Punta Madrid (19°00'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), en estaciones localizadas a 10 mn y 20 mn. El máximo (122,8 ind/10 m^2) se detectó en Mejillones (23°00'S) coincidente con la presencia de una alta abundancia de microflagelados. El grupo dominante fue Copepoda en el rango de tamaño entre 0,25 y 075 mm, los que aportaron en promedio a la abundancia total, por sobre el 80%.

Dentro del componente ictioplanctónico, los huevos de anchoveta fueron los más abundantes. Densidades superiores a 5.000 huevos/10 m^2 se registraron en Arica (18°25'S) y Chucumata (21°20'S), y el máximo fue de 8.650 huevos/10 m^2 a 1 mn frente a Arica (18°25'S). Entre las larvas se identificaron los estados yolk-sac y pre-flexión. El estado yolk-sac se localizó entre Punta Madrid (19°00'S) y Chucumata (20°30'S) restringido a 1 mn de la costa, y sus concentraciones no superaron las 300 larvas/10 m^2. Las larvas en pre-flexión presentaron las mayores densidades, pero limitadas al sector de Arica (18°25'S) donde alcanzaron un máximo de 1.621 larvas/10 m^2 a 20 mn de la costa. La abundancia de huevos se encontró correlacionada con la abundancia de flagelados y con la biomasa fitoplanctónica, mientras que la abundancia de las larvas no se asoció a ningún parámetro físico o biológico.

El análisis comparativo global reveló diferencias significativas con el verano de 2015, las cuales se debieron al incremento en la temperatura y en la biomasa fitoplanctónica, y a la disminución de la abundancia de las diatomeas y del zooplancton durante el verano de 2016. Al analizar las diferencias por áreas, los resultados anteriores derivaron del aumento en la temperatura en las áreas Arica (18°25'S-19°00'S) y Chipana (20°30'S-21°20'S), donde además se registró una disminución del componente larval de anchoveta. En el área Mejillones (22°20'S-23°00'S) se detectó el aumento en la biomasa fitoplanctónica, debido a la presencia de los microflagelados.

La presencia del ASS en la zona se hizo evidente en toda el área. En Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), donde habitualmente se observa la influencia de los procesos de surgencia costera, no se detectaron señales de su ocurrencia. Estas condiciones, asociadas a la presencia del evento El Niño, generaron una "tropicalización" del sistema que se vio reflejado principalmente en el microfitoplancton, el cual mostró una notoria disminución de sus abundancias y se vio dominado por los microflagelados. El zooplancton también presentó una disminución de sus abundancias, respecto del verano de 2015, pero éstas se mantuvieron dentro de rangos registrados durante otros periodos de ese año. El grupo Copepoda continuó dominando al igual que los tamaños pequeños (0,25-0,75 mm).

Entre los estadios tempranos de *Engraulis ringens*, la densidad de las larvas descendió respecto de 2015, y sólo se detectaron los estadios yolk-sac y pre-flexión, lo cual podría interpretarse como una situación de desove reciente. Se siguen observando las mayores abundancias en las áreas caracterizadas como de desove y retención (Arica, Chipana y Mejillones), coincidentes esta vez con la presencia de altas concentraciones de microflagelados y zooplancton, aunque este componente no se encontró asociado a ninguna de esas variables.

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 séptimo crucero bio-oceanográfico estacional, correspondiente al crucero de verano de 2016, 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).

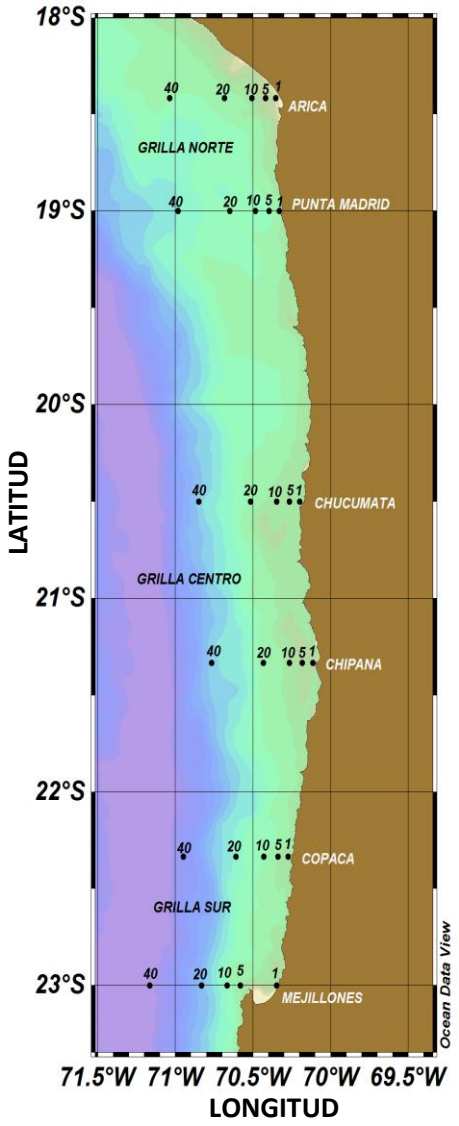

Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo del crucero bio-oceanográfico realizado entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

Muestreo y registro de información

El crucero se llevó a cabo entre los días 25 y 30 de enero de 2016. Entre los días 25 y 26 de enero se visitó la Grilla Norte en la embarcación PAM "Don Ernesto" de la empresa pesquera CORPESCA S.A., y entre el 28 y 30 de enero se muestreó la Grilla Centro y la Grilla Sur a bordo del PAM "Collén" de la empresa pesquera Camanchaca 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. Para efectos de presentación en tablas y análisis estadístico, los datos de abundancia fitoplanctónica, fueron integrados entre la superficie y los 10 m de profundidad, según lo propuesto por Hasle (1969).

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, las cuales estuvieron representadas por las grillas de muestreo. 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 desde interpolación lineal de los perfiles de OD construidos con los datos registrados por el CTDO. Para cuantificar la estabilidad de la columna de agua, 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, del periodo entre el 20 y 31 de enero de 2016, proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile.

Análisis estadístico

Utilizando la plataforma R, se examinó la influencia de la temperatura y de los parámetros biológicos sobre los componentes ictioplanctónicos, aplicando un modelo aditivo generalizado (GAM), el cual permite determinar los efectos no lineales de las variables, en este caso 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.

Mediante 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 el verano de 2015. La comparación se realizó con toda la información y luego separándola por áreas, las cuales estuvieron representadas por las grillas de muestreo, denominándose área Arica (Arica-Punta Madrid), área Chipana (Chucumata-Chipana) y área Mejillones (Copaca-Mejillones).

RESULTADOS

Condiciones físicas y químicas

Temperatura

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre un mínimo de 20,0°C y un máximo de 25,7°C. La distribución horizontal mostró temperaturas inferiores a 23,0°C a lo largo de toda la franja costera entre 1 mn y 5 mn, excepto en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), donde se registraron valores superiores a 23°C en toda la transecta, y en Mejillones (23°00'S) donde aguas con temperaturas cercanas a 20°C se extendieron hasta 20 mn de la costa. El resto del área se encontró influenciada por temperaturas superiores a 25°C asociadas a la intrusión, desde el norte y desde la región oceánica, del Agua Subtropical Superficial (ASS) (Figura 2).

En la componente vertical las secciones de Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) mostraron los primeros 25 m de profundidad influenciados por aguas de temperaturas superiores a 18°C. En Arica (18°25'S) las isolíneas mostraron un marcado hundimiento entre 1 y 10 mn de la costa, donde la isoterma de 15°C se registró hasta los 200 m de profundidad. A 40 mn de la costa se observó una intrusión de aguas cercanas a 13°C bajo los 150 m. En Punta Madrid (19°00'S), las isolíneas ascendieron levemente en la costa, observándose la isoterma de 15°C cerca de los 100 m de profundidad en toda la transecta (Figura 4-panel izquierdo).

Salinidad

En la zona entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) la salinidad superficial varió entre 35,17 ups y 35,59 ups, observándose un foco de bajos valores (35,17 ups) a 10 mn de la costa frente a Punta Madrid (19°00'S). Hacia la región más alejada de la costa el sistema estuvo dominado por salinidades iguales o superiores a 35,5 ups (Figura 3-A).

La sección vertical de Arica (18°25'S) mostró el dominio del ASS (salinidades iguales o superiores a 35 ups) entre la superficie y los 50 m de profundidad, alcanzando los 200 m en la costa (1-10 mn). Bajo los 50 m los valores sugieren la mezcla con el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) registrándose a 40 mn la intrusión de un agua con salinidades inferiores a 34,9 ups, coincidente con el foco frío. En Punta Madrid (19°00'S) toda la columna de agua se encontró influenciada por salinidades cercanas a 35 ups (Figura 4-panel derecho).

Densidad

En la zona entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) la densidad (σ-t) superficial fluctuó entre 23,61 y 24,78, valores indicadores del predominio del ASS. Las mayores

densidades (>24) se registraron en la franja costera entre 1 y 5 mn y en el resto del área predominaron valores cercanos a 23,5 (Figura 3-B). Coincidente con la salinidad y la temperatura, la distribución vertical en Arica (18°25'S) reveló la presencia de valores inferiores a 25,7 entre la superficie y los 50 m de profundidad, asociadas a la presencia del ASS. En los estratos más profundos la densidad aumentó, sugiriendo la presencia del AESS, alcanzando un máximo de 26,42 a 40 mn y a 200 m de profundidad. En Punta Madrid (19°00'S) valores iguales o superiores a 26, se observaron desde los 100 m hacia los estratos más profundos (Figura 5-panel izquierdo).

Oxígeno Disuelto (OD)

En la zona entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) el oxígeno disuelto superficial fluctuó entre 5,0 y 7,4 mL/L. La máxima concentración (7,4 mL O_2/L) se detectó asociada a un foco localizado a 1 mn de la costa frente a Arica (18°25'S), observándose un gradiente leve de disminución hacia el sur y hacia las estaciones más alejadas de la costa, donde los valores se mantuvieron sobre los 5,0 mL O_2/L (Figura 3-C). Las secciones verticales mostraron un estrato bien oxigenado (>4,0 mL O_2/L) entre la superficie y los 30 m de profundidad, predominando desde los 50 m hacia los estratos más profundos, concentraciones iguales o inferiores a 1,0 mL O_2/L (Figura 5-panel derecho).

Diagrama T-S

El diagrama T-S confeccionado con la información proveniente de la zona entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) reveló la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), con una fuerte predominancia del ASS considerando los valores de densidad (Figura 6).

Profundidad del límite superior de la ZMO (LS_ZMO)

El LS_ZMO en Arica (18°25'S) se detectó sólo entre las 20 mn y 40 mn de la costa, localizándose a 73 m y 52 m de profundidad respectivamente. En Punta Madrid (19°00'S) tuvo una posición más somera, observándose un hundimiento desde los 31 m hasta los 48 m de profundidad, entre la costa (1 mn) y las 20 mn (Tabla 1).

Estabilidad (PEA)

Sólo a 1 mn de la costa se registraron valores del índice PEA que indican baja estabilidad (<50 J/m^3). Desde las 5 mn y hacia las estaciones más alejadas de la costa, el índice reveló una alta estabilidad, con valores por sobre 150 J/m^3 (Tabla 1).

Transporte de Ekman (TEk)

Los valores positivos del TEk revelaron la ocurrencia de procesos de surgencia durante los días previos y de realización del crucero. Estos habrían sido más intensos en

Arica, donde se mantuvieron alrededor de los 2.000 m^3/s/km durante los días del muestreo, mientras que en Iquique y Antofagasta predominaron valores cercanos a los 1.500 m^3/s/km. Al igual que en los periodos anteriores, los mayores valores (>1.000 m^3/s/km) se registraron entre las 17:00 y las 22:00 horas en las tres localidades (Figura 7).

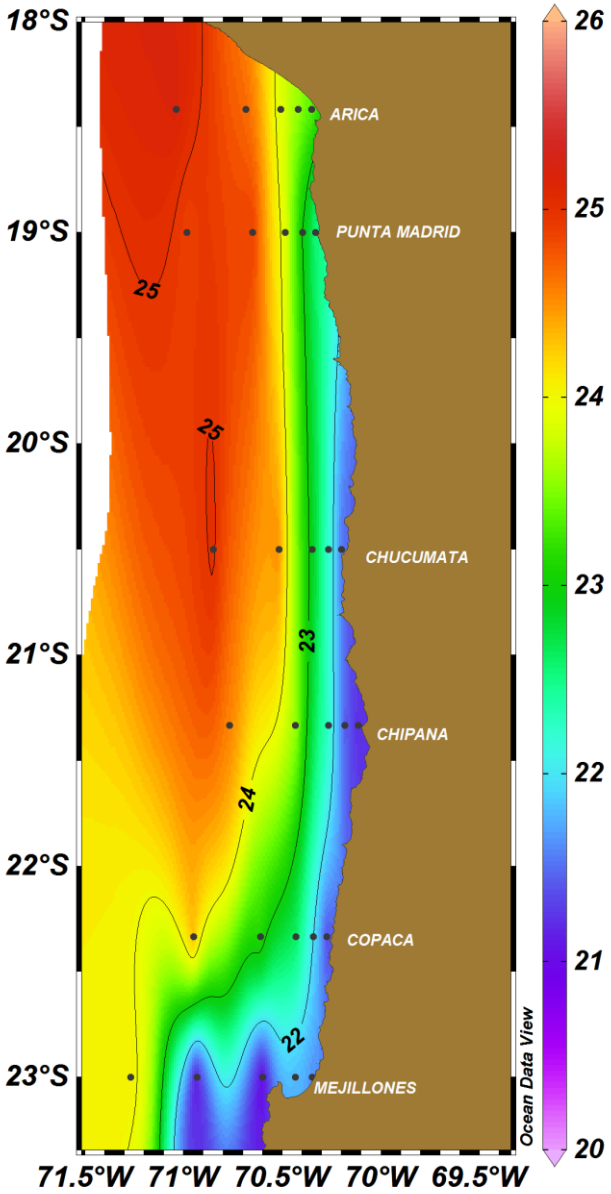

Figura 2. Distribución superficial de Temperatura (°C), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

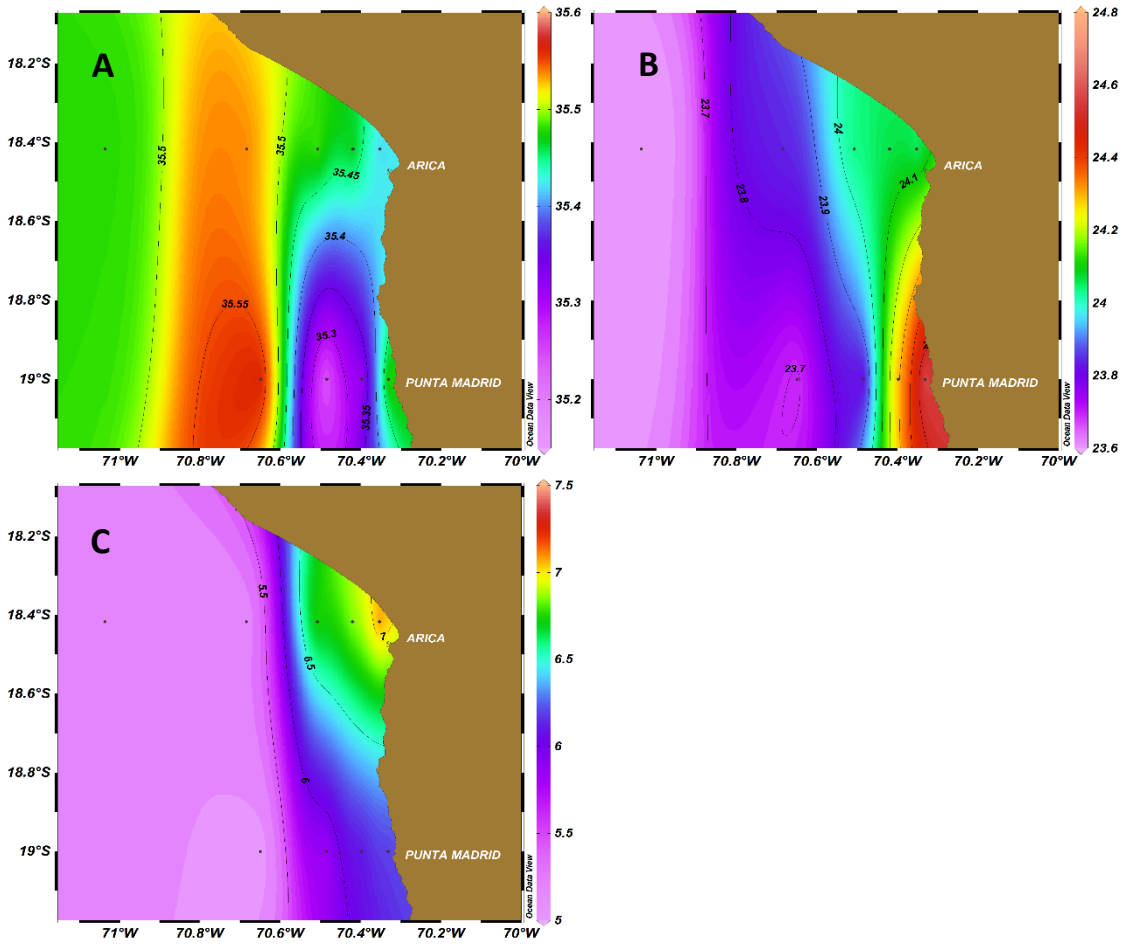

Figura 3. Distribución superficial de A: Salinidad (ups), B: Densidad (σ-t) y C: Oxígeno disuelto (mL/L) en el área entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

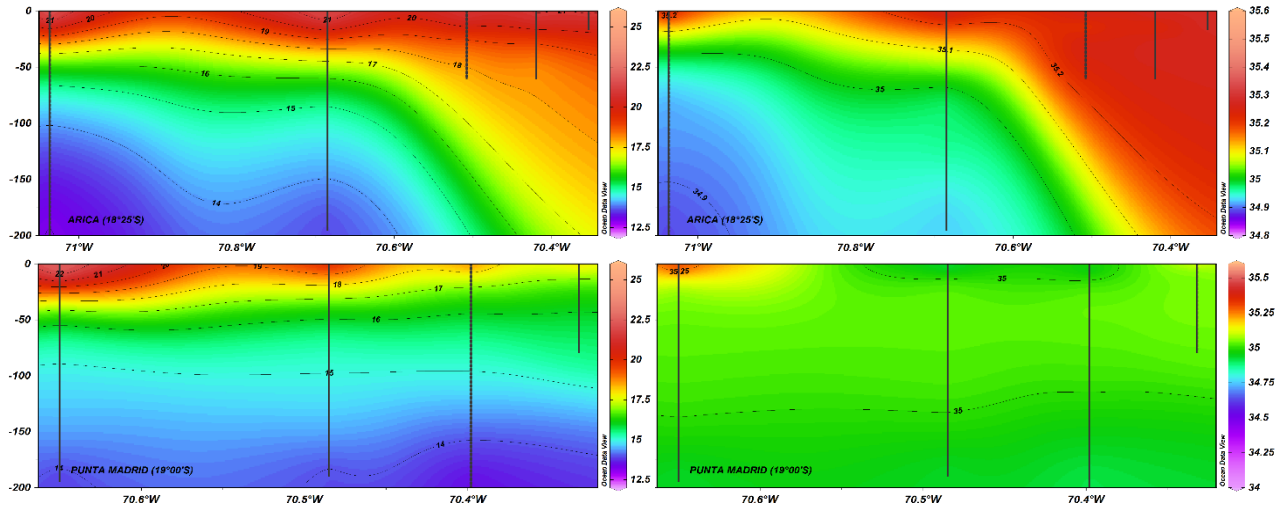

Figura 4. Secciones verticales de Temperatura (°C) (panel izquierdo) y Salinidad (ups) (panel derecho) en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

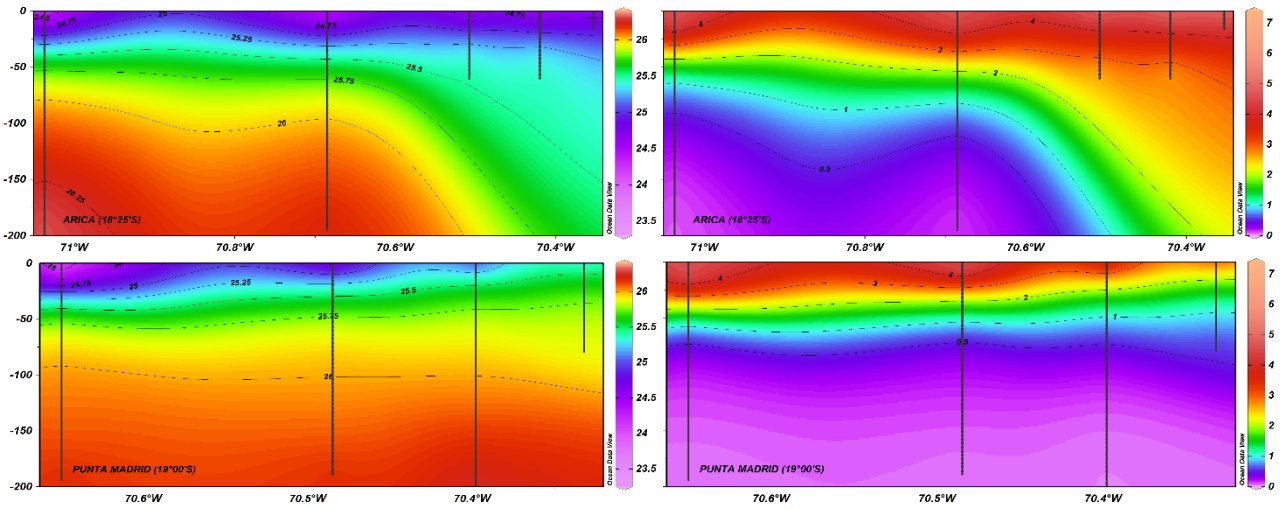

Figura 5. Secciones verticales de Densidad (σ-t) (panel izquierdo) y Oxígeno Disuelto (mL/L) (panel derecho) en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

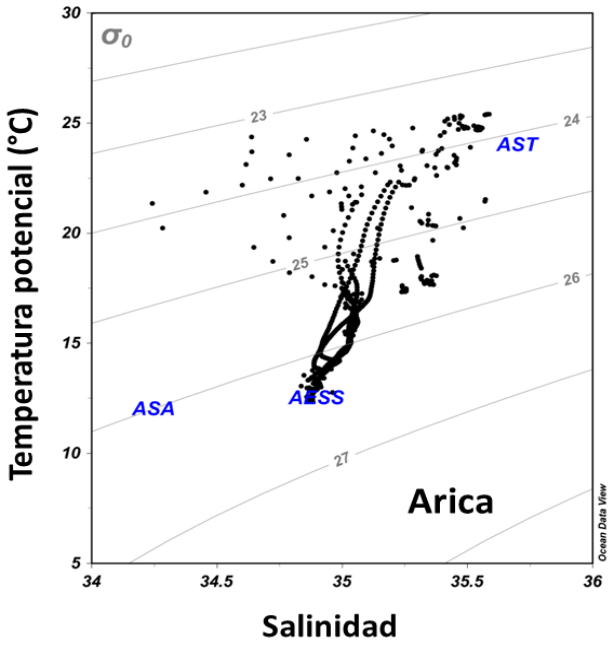

Figura 6. Diagrama Temperatura-Salinidad (T-S) para la zona entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

Tabla 1. Profundidad del límite superior de la ZMO (LS_ZMO) (m) y valores del Índice de la Anomalía de la Energía Potencial (PEA) (J/m^3) entre los días 25 y 30 de enero de 2016. DC: Distancia de la costa (mn), PROF-CTDO: profundidad de registro del CTDO (m), PROFEST: profundidad estación (m).

LOCALIDAD	DC (mn)	LS_ZMO (m)	PEA (J/m^3)	PROF-CTDO (m)	PROF-EST (m)
Arica (18°25'S)	1		14,6	16	21
	5		91,7	60	82
	10		91,7	60	124
	20	73	321,4	195	778
	40	52	347,6	200	1050
Punta Madrid (19°00'S)	1	31	44,7	79	110
	5	42	171,7	199	550
	10	47	193,8	189	1000
	20	48	283,1	194	1370

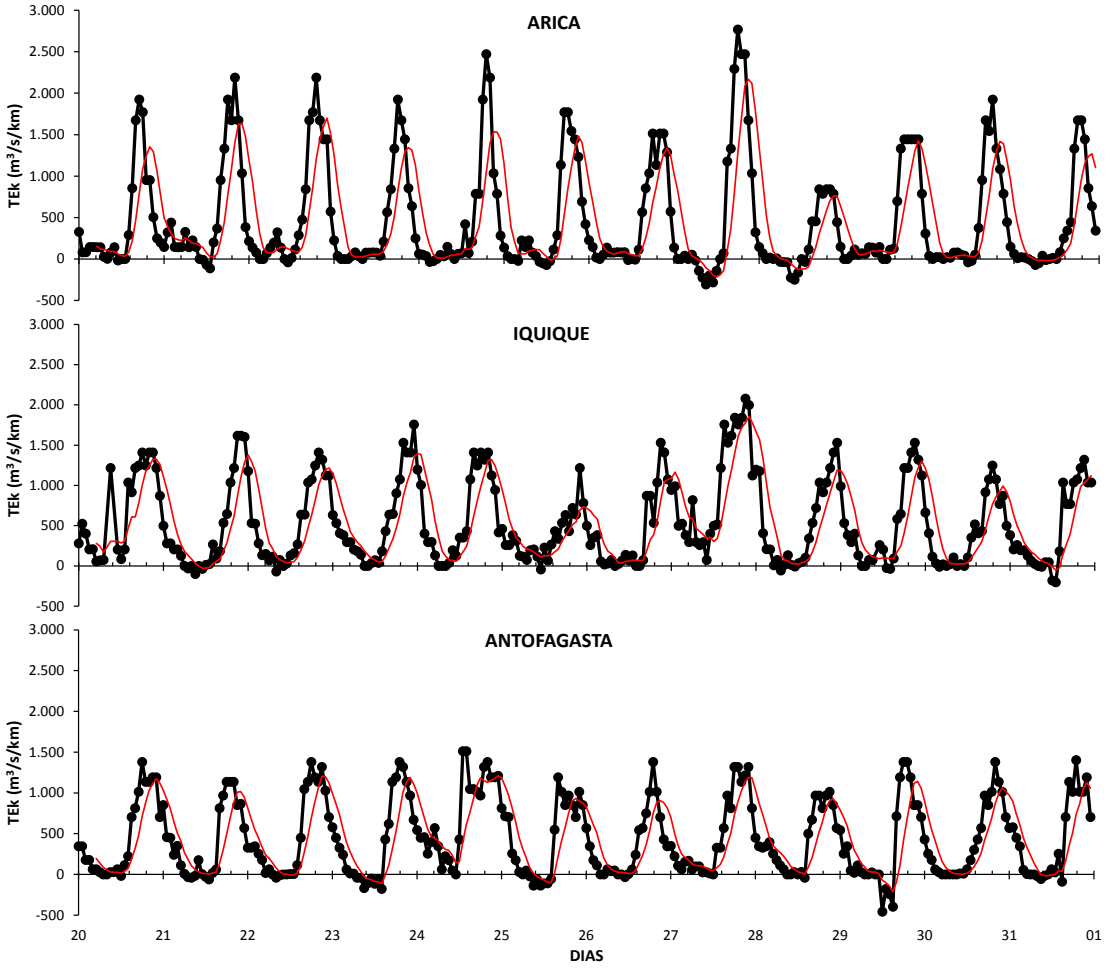

Figura 7. Transporte Ekman diario (m^3/s/km), en Arica, Iquique y Antofagasta, entre los días 20 y 31 de enero de 2016.

Estructura de la Comunidad Planctónica

Fitoplancton

El microfitoplancton (20-200 µm) estuvo representado por un total de 103 especies y géneros, de las cuales 48 correspondieron a diatomeas y 55 a flagelados. Las diatomeas que exhibieron abundancias máximas superiores a 10,0 cél/mL fueron el género *Pseudo-nitzschia* sp. y las especies *Guinardia delicatula* y *Thalassiosira rotula*, las que además, dieron cuenta de las abundancias registradas en Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), con aportes porcentuales, a la abundancia total del grupo, de 83,8% y 69,2% respectivamente. Entre los microflagelados destacaron con abundancias mayores a 10,0 cél/mL, el silicoflagelado *Dictyocha fibula*, dinoflagelados atecados del género *Gymnodinium* sp., y las especies tecadas *Gonyaulax polygramma* y *Prorocentrum gracile*. Las concentraciones registradas en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) se debieron a la presencia de *G. polygramma* y *P. gracile*. En Chipana (21°20'S) se registró a *D. fibula* que reapareció en Mejillones (23°00'S) junto a *P. gracile* (Tabla 2).

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,1 y 139,8 cél/mL. Las concentraciones integradas entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostraron valores superiores a 30 cél/mL restringidos a 1 mn de la costa. El grupo responsable de las abundancias registradas en Arica (18°25'S), Punta Madrid (19°00'S) y Mejillones (23°00'S) fue el de los microflagelados, el cual realizó aportes porcentuales superiores al 80% en estas localidades. Las diatomeas predominaron en Chucumata (20°30'S) con una contribución del 83,4%, mientras que en Chipana (21°20'S) la densidad de ambos grupos fue similar. La fracción nanofitoplanctónica exhibió concentraciones superiores a 100 cél/mL en toda el área, y sus abundancias máximas coincidieron principalmente con los máximos de diatomeas (Tabla 3).

La distribución horizontal de la abundancia de las diatomeas mostró el mismo patrón entre la superficie y los 10 m de profundidad. Un foco de alta concentración (>20,0 cél/mL) se observó a lo largo de la zona costera (1 mn) entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), el cual alcanzó un máximo de 129,2 cél/mL frente a Chucumata (20°30'S) a los 10 m de profundidad. Hacia el norte y sur del área las abundancias fueron inferiores a 20,0 cél/mL (Figura 8). A 25 m la mayor parte del área exhibió abundancias cercanas a 5,0 cél/mL, excepto por un foco de 30,0 cél/mL que se registró frente a Punta Madrid (19°00'S) a 20 mn de la costa. En el estrato de los 50 m de profundidad predominaron concentraciones inferiores a 1,0 cél/mL (Figura 9).

La distribución de la abundancia de los microflagelados se caracterizó por presentar a nivel superficial y a 5 m de profundidad, dos focos de alta abundancia. El primero se extendió por la costa (1-5 mn) entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), y alcanzó un máximo de 104,0 cél/mL a 5 m en Punta Madrid (19°00'S). El segundo se registró frente a Mejillones (23°00'S), y tuvo un máximo de 67,4 cél/mL a 1 mn de la costa. En el estrato de

los 10 m de profundidad el foco del norte se mantuvo, registrándose 34,6 cél/mL a 1 mn frente a Arica (18°25'S), y se detectó un segundo máximo en Chipana (21°20'S) de 42,6 cél/mL (Figura 10). A 25 m y 50 m de profundidad las abundancias fueron inferiores a 1,0 cél/mL (Figura 11).

Las secciones verticales de la abundancia de las diatomeas, mostraron el dominio de bajas concentraciones (<10,0 cél/mL) en toda la columna de agua de la zona norte del área (Arica-Punta Madrid), excepto por el foco (30,0 cél/mL) detectado en Punta Madrid (19°00'S) a 25 m de profundidad. En Chucumata (20°30'S) se observó la máxima concentración (129,2 cél/mL) muy restringida a la costa (1 mn) y a los 10 m de profundidad, registrándose abundancias iguales o superiores 40,0 cél/mL hasta los 20 m de profundidad. En el resto de la columna de agua predominaron valores inferiores a 10,0 cél/mL. En Chipana (21°20'S) se observó la extensión del foco desde el norte, que alcanzó un máximo de 46,2 cél/mL y se mantuvo restringido a la superficie y a 1 mn de la costa. En el resto de la columna de agua, y hacia las estaciones más alejadas de la costa, las abundancias fueron inferiores a 10 cél/mL, lo mismo que en Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S), donde la abundancia de las diatomeas se mantuvo dentro de los rangos registrados en el sector norte (Figura 12-panel izquierdo).

Los flagelados exhibieron altas abundancias en el sector norte, observándose focos de carácter subsuperficial en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00') con máximos a 5 m de profundidad de 81,2 cél/mL y 104,0 cél/mL respectivamente. Desde las 5 mn y en los estratos más profundos las concentraciones fueron inferiores a 10,0 cél/mL. Entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) hubo un predominio de valores menores a 5,0 cél/mL en toda la columna de agua, excepto por un foco de 42,6 cél/mL que se encontró muy restringido a la milla y a los 10 m de profundidad en Chipana (21°20'S). En Mejillones se detectó la misma situación, con un núcleo muy costero (1 mn) y superficial de 67,4 cél/mL (Figura 12-panel derecho).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,2 y 117,7 µg Cl-a/L. La distribución horizontal estuvo determinada por la presencia de ambos grupos microfitoplanctónicos. A los 10 m de profundidad se observó un foco de alta concentración (>30,0 µg Cl-a/L) que se extendió entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), con un máximo de 86,2 µg Cl-a/L a 1 mn frente a Chipana (21°20'S). El máximo principal de 117,7 µg Cl-a/L, se registró a 1 mn en Mejillones (23°00'S) a 5 m de profundidad, coincidente con una importante concentración de flagelados. En el resto del área dominaron valores de biomasa inferiores a 10,0 µg Cl-a/L (Figura 13). A 25 m de profundidad los núcleos se mantuvieron, con concentraciones levemente superiores a 10,0 µg Cl-a/L, mientras que en el estrato de los 50 m fueron iguales o inferiores a 1,0 µg Cl-a/L (Figura 14).

En la distribución vertical, las secciones de Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) mostraron una columna de agua dominada por biomasas inferiores a 10,0 µg Cl-a/L, con focos aislados en superficie y a 25 m de profundidad, los cuales coincidieron con la abundancia de las diatomeas allí registrada. En Chucumata (20°30'S) y en Chipana (21°20'S)

se observaron los núcleos subsuperficiales (10 m) de alta biomasa muy restringidos a la franja costera (1 mn), el cual en Chucumata (20°30'S) alcanzó los 77,5 µg Cl-a/L y en Chipana (21°20'S) los 86,2 µg Cl-a/L. En Mejillones (23°00'S), donde se detectó la mayor biomasa (117,7 µg Cl-a/L) se observó el foco extendiéndose hasta las 5 mn muy restringido a los 5 m de profundidad. Hacia las estaciones más alejadas de la costa y hacia los estratos más profundos las biomasas fueron inferiores a 10,0 µg Cl-a/L (Figura 15).

Tabla 2. Abundancia máxima (ABMAX) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de las especies y géneros de diatomeas y flagelados que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 25 y 30 de enero de 2016. DIATOMEAS*: Gdelicatula: Guinardia delicatula, Pseudo sp.: Pseudo-nitzschia sp., Trotula: Thalassiosira rotula.* FLAGELADOS: *Dfibula: Dictyocha fibula, Gpolygramma: Gonyaulax polygramma, Gymno sp.: Gymnodinium sp., Pgracile: Prorocentrum gracile.*

DIATOMEAS	**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)**	
	ABMAX (cél/mL)	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**	**ABMAX (cél/mL)**	**AP (%)**
Gdelicatula					46,2	33,2						
Pseudo sp.			14,2	26,8	15,6	14,7	22,4	46,6	10,4	39,8		
Trotula					72,6	35,9	17,8	22,6				
FLAGELADOS												
Dfibula					10,8	45,8	27,6	42,1			22,6	24,5
Gpolygramma	36,2	35,5	43,2	41,7								
Gymno sp.	10,4	16,1										
Pgracile			46,6	39,4							41,2	34,8

Tabla 3. 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 25 y 30 de enero de 2016. MF_TOTAL: microfitoplancton total, N_FLAGE: nanoflagelados, DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	MF_TOTAL	DIATO	M_FLAGE	%DIATO	%M_FLAGE	N_FLAGE
Arica (18°25'S)	1	66,0	6,5	59,5	9,9	90,1	206,9
	5	9,0	3,4	5,6	38,0	62,0	331,3
	10	1,0	0,9	0,1	87,0	13,0	188,0
	20	3,5	3,2	0,3	91,2	8,8	113,8
Punta Madrid (19°00'S)	1	76,9	3,5	73,4	4,6	95,4	338,8
	5	13,7	11,5	2,3	83,6	16,4	467,3
	10	4,2	3,0	1,1	72,9	27,1	162,9
	20	5,4	4,5	0,9	84,2	15,8	169,0
Chucumata (20°30'S)	1	85,0	70,9	14,1	83,4	16,6	427,4
	5	27,6	21,6	6,0	78,2	21,8	487,5
	10	13,6	13,4	0,3	97,9	2,1	177,3
	20	0,4	0,3	0,1	73,0	27,0	48,4
Chipana (21°20'S)	1	49,7	27,1	22,6	54,5	45,5	349,3
	5	36,5	33,5	3,0	91,8	8,2	380,1
	10	13,4	12,2	1,2	91,0	9,0	102,7
	20	19,3	18,4	0,9	95,5	4,5	121,9
Copaca (22°20'S)	1	11,6	8,7	2,9	75,0	25,0	641,3
	5	13,7	10,3	3,4	75,2	24,8	406,5
	10	15,9	14,5	1,5	90,8	9,2	97,4
	20	5,2	3,6	1,6	69,0	31,0	75,4
Mejillones (23°00'S)	1	32,4	6,0	26,5	18,4	81,6	297,2
	5	27,0	9,6	17,4	35,6	64,4	380,6
	10	2,0	0,4	1,6	19,8	80,2	87,3
	20	0,1	0,0	0,1	33,3	66,7	70,8

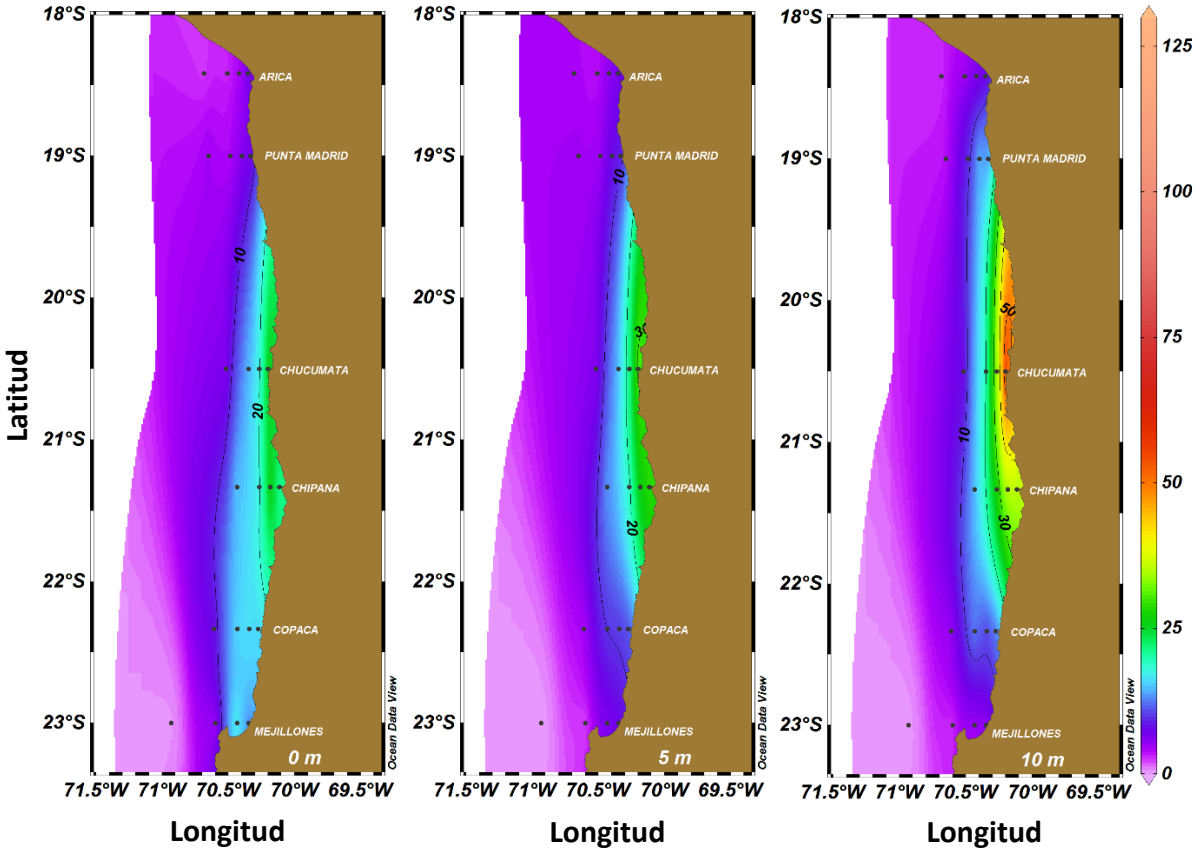

Figura 8. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

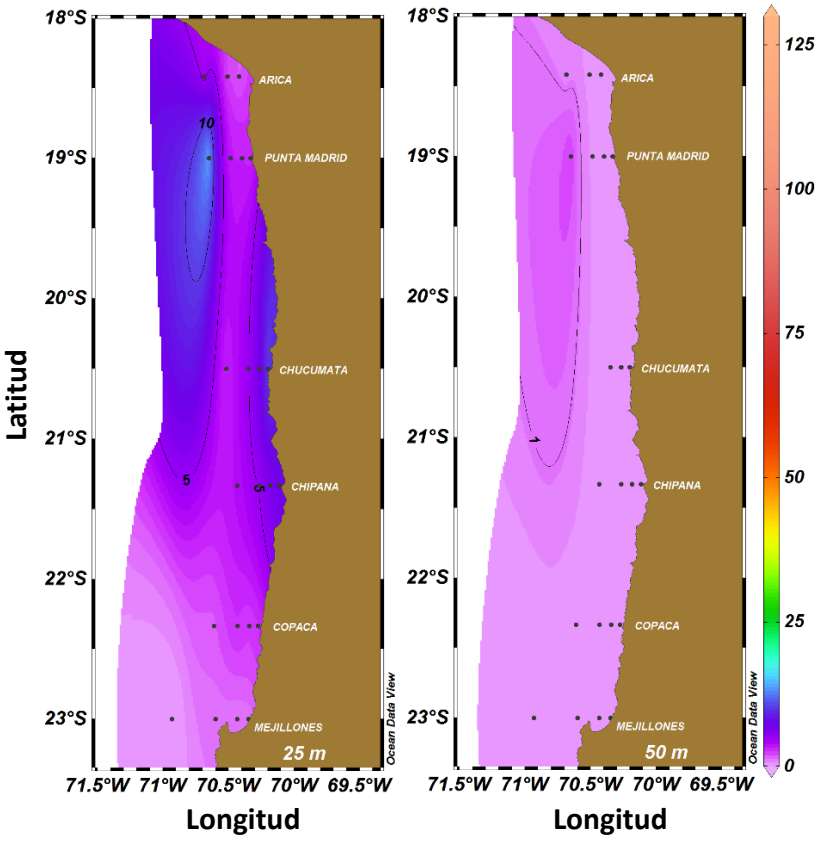

Figura 9. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

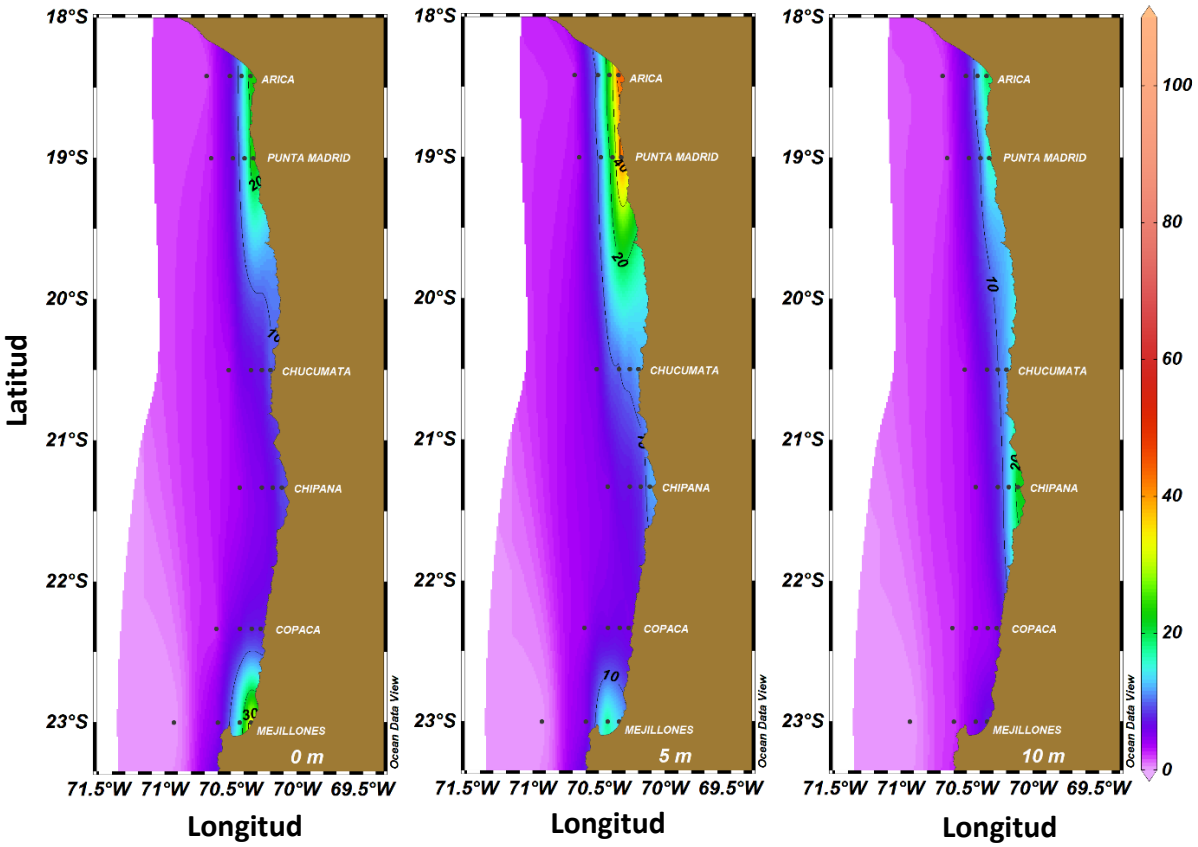

Figura 10. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

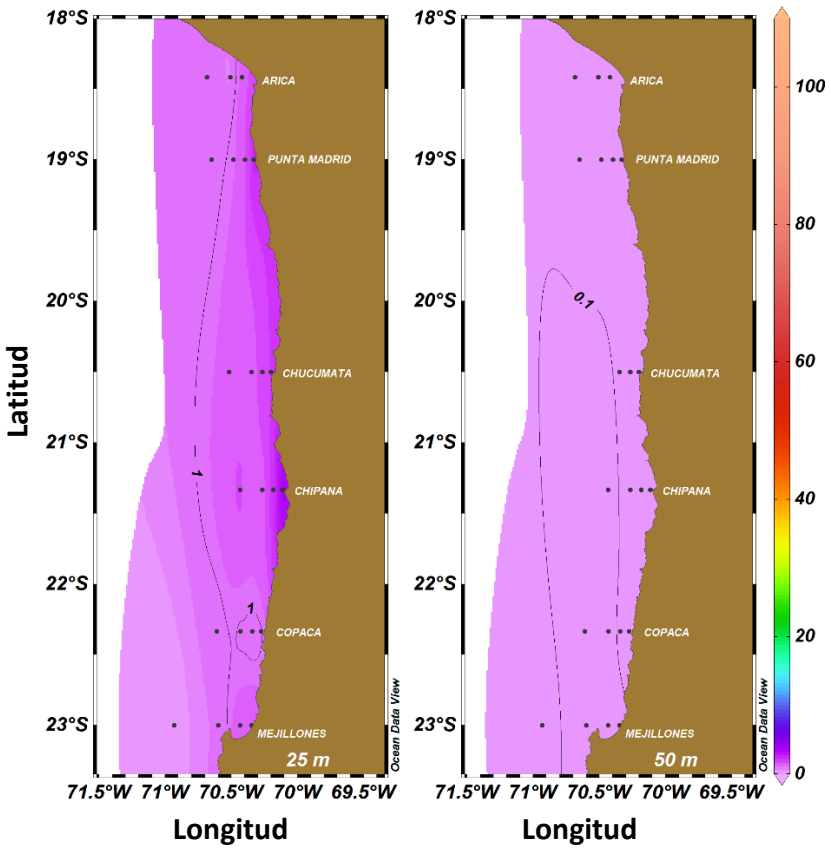

Figura 11. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

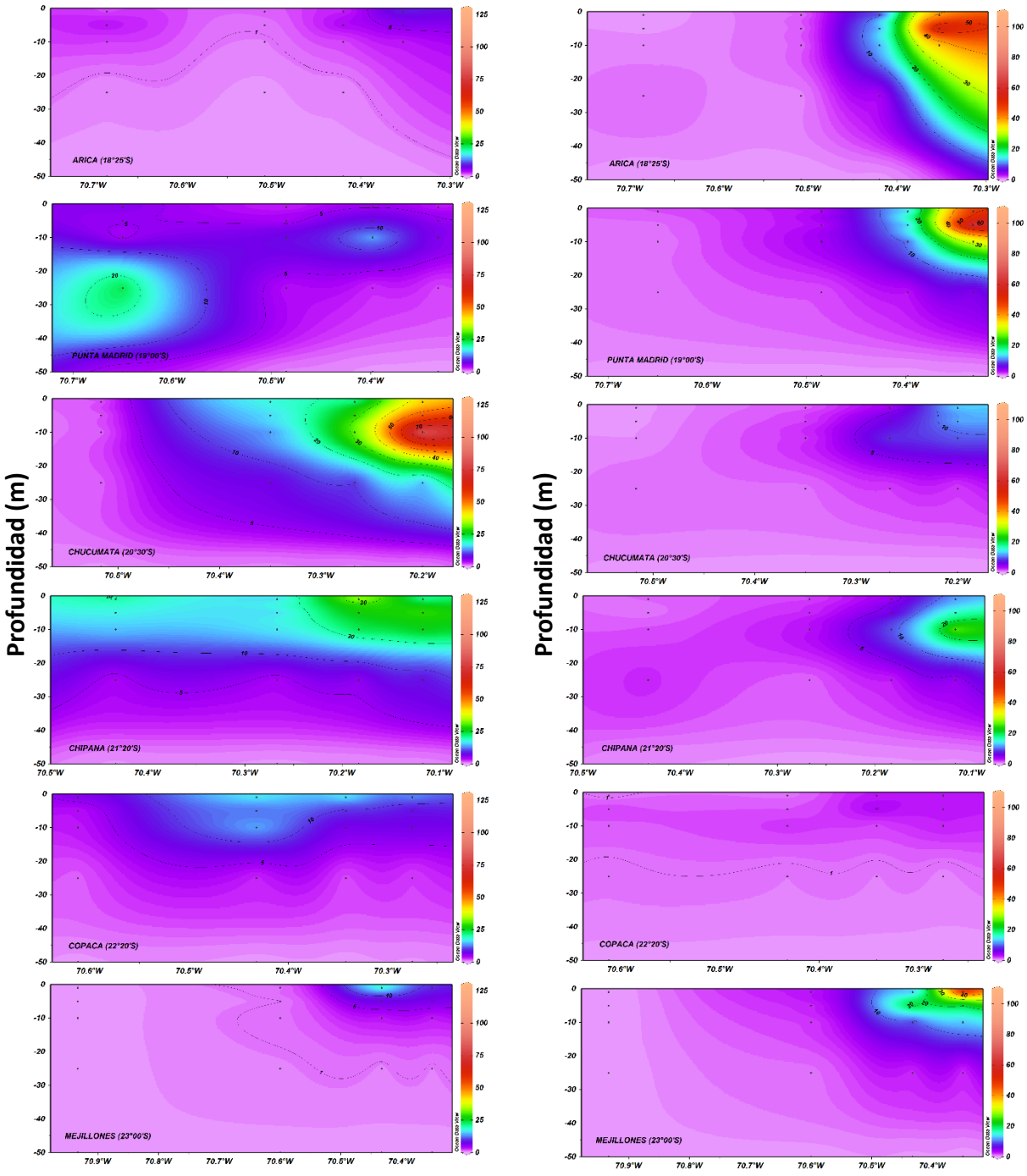

Figura 12. Secciones verticales de la abundancia (cél/mL) de diatomeas (panel-izquierdo) y microflagelados (panel-derecho), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

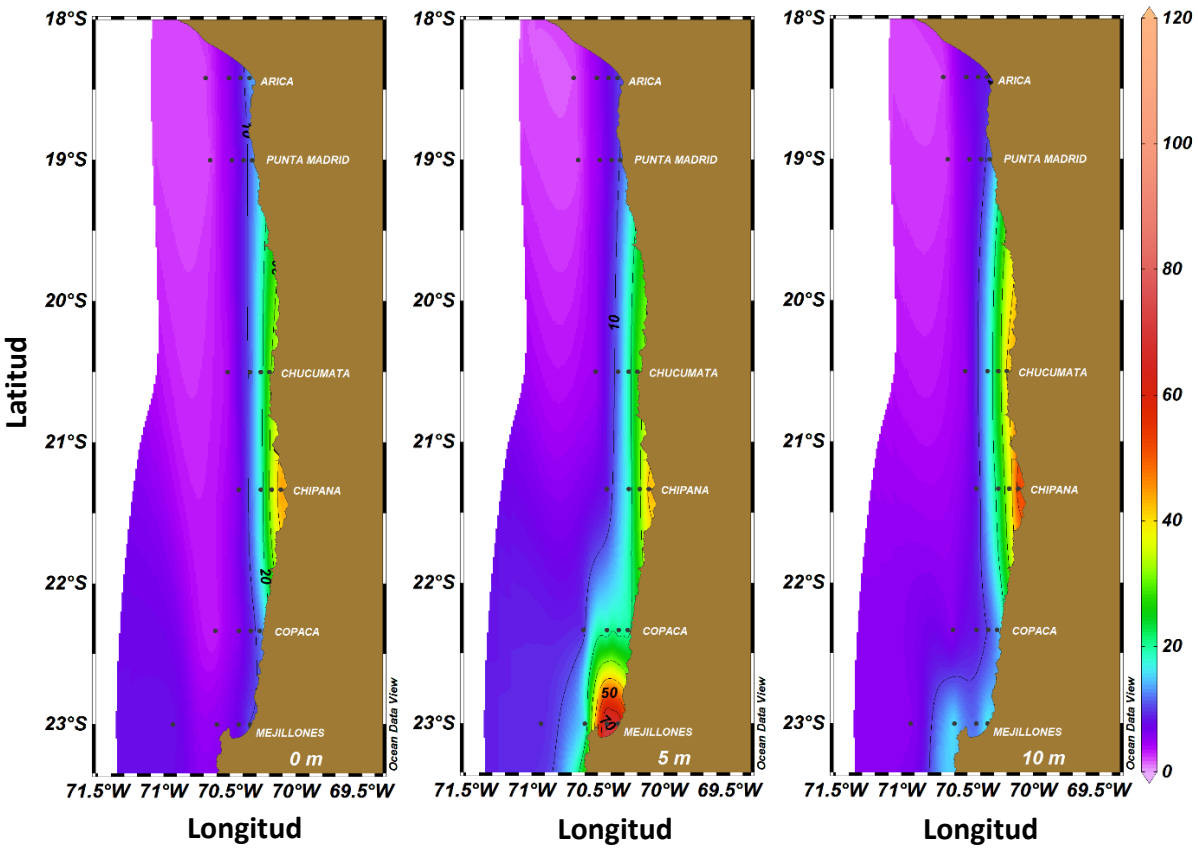

Figura 13. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

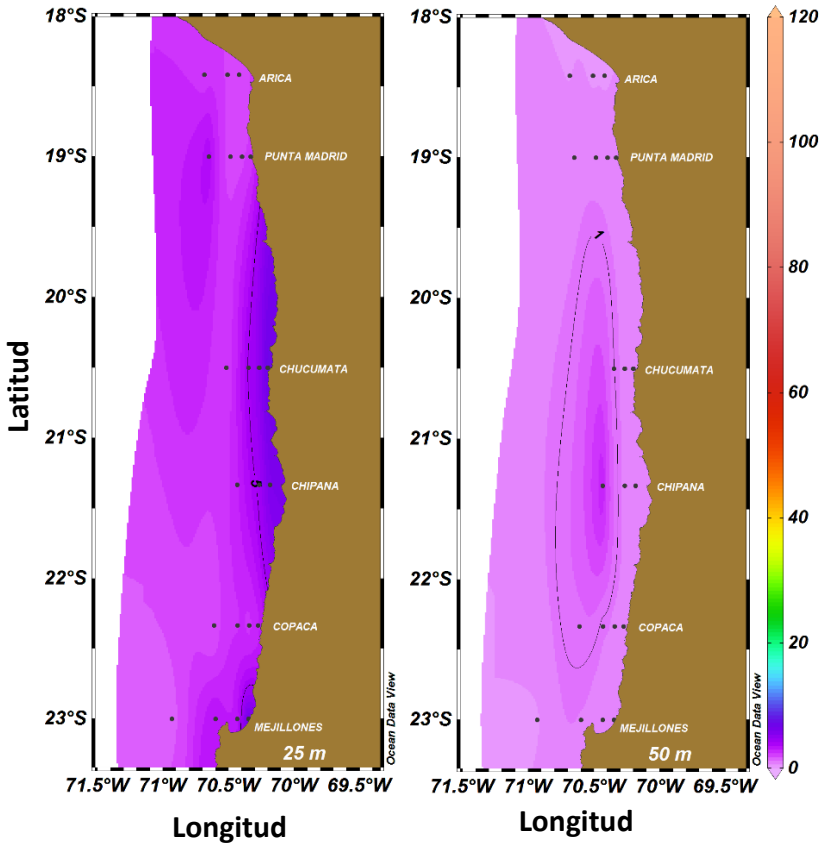

Figura 14. Distribución de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

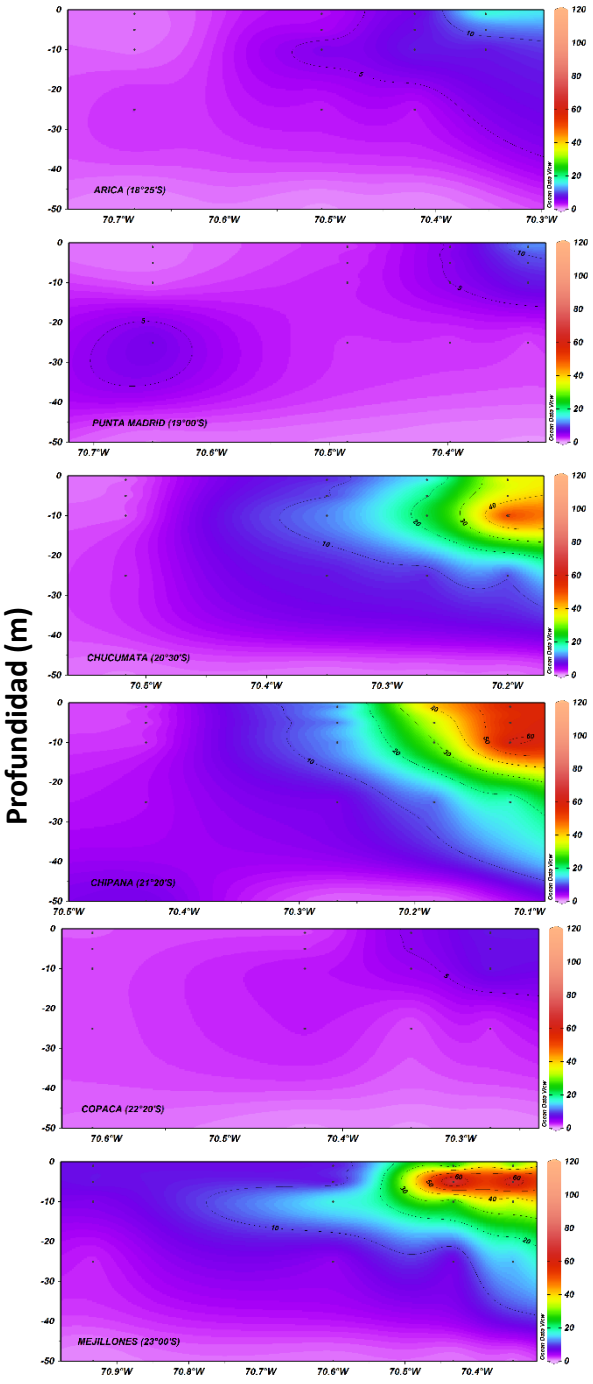

Figura 15. Secciones verticales de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

Zooplancton

La abundancia total de zooplancton fluctuó entre 8,1 y 122,8 ind/10 m^2. Abundancias superiores a 100 ind/10 m^2 sólo se registraron en Punta Madrid (19°00'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) y a una distancia de 10 mn y 20 mn de la costa. En el resto del área se mantuvieron principalmente entre 60 ind/10 m^2 y 90 ind/10 m^2 (Tabla 4).

Tabla 4. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) entre los días 25 y 30 de enero de 2016. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m^2)
Arica (18°25'S)	1	8,1
	5	61,1
	10	78,3
	20	64,6
Punta Madrid (19°00'S)	1	88,4
	5	49,4
	10	80,3
	20	102,7
Chucumata (20°30'S)	1	31,5
	5	96,5
	10	93,8
	20	65,7
Chipana 21°20'S	1	19,3
	5	68,0
	10	52,2
	20	110,4
Copaca (22°20'S)	1	49,5
	5	71,7
	10	82,0
	20	67,9
Mejillones (23°00'S)	1	76,4
	5	67,3
	10	122,8
	20	69,3

El grupo Copepoda presentó las mayores abundancias, las cuales fluctuaron entre 7,3 y 103,5 ind/10 m^2, realizando una contribución porcentual que varió entre 66,8 y 93,9%. Los otros grupos exhibieron abundancias inferiores a 10 ind/10 m^2 (23°00'S) (Tabla 5).

Tabla 5. Abundancia de Copepoda y de los otros grupos zooplanctónicos (ind/10 m^2) y aporte porcentual de Copepoda (AP-Cop) (%), entre los días 25 y 30 de enero de 2016. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	Copepoda	Otros grupos	AP-Cop (%)
Arica (18°25'S)	1	7,3	0,8	90,5
	5	55,2	5,9	90,4
	10	68,2	10,1	87,1
	20	51,0	13,6	78,9
Punta Madrid (19°00'S)	1	83,0	5,4	93,9
	5	41,9	7,4	84,9
	10	58,1	22,2	72,4
	20	68,6	34,1	66,8
Chucumata (20°30'S)	1	27,9	3,6	88,6
	5	86,3	10,2	89,4
	10	82,0	11,8	87,4
	20	46,2	19,5	70,3
Chipana (21°20'S)	1	17,8	1,5	92,0
	5	61,3	6,6	90,2
	10	39,4	12,9	75,3
	20	76,2	34,1	69,1
Copaca (22°20'S)	1	44,6	4,9	90,1
	5	49,0	22,7	68,4
	10	61,5	20,5	75,0
	20	50,7	17,3	74,6
Mejillones (23°00'S)	1	69,5	6,9	91,0
	5	57,3	10,0	85,2
	10	103,5	19,2	84,3
	20	60,9	8,4	87,9

El análisis del espectro de tamaño reveló la presencia de individuos entre 0,25 mm y 10,75 mm. El rango entre 0,25-0,75 mm agrupó la mayor concentración de organismos, exhibiendo abundancias entre 7,9 y 116,0 ind/10 m^2, lo que se tradujo en aportes porcentuales superiores al 85% en todas las estaciones. El rango de tamaño entre 1,25-1,75 mm fue el segundo más abundante, pero escasamente superó los 10 ind/10 m^2. Las otras categorías estuvieron representadas en general por menos de 1,0 ind/10 m^2 (Tabla 6). El rango más abundante (0,25-0,75 mm) estuvo representado por el grupo Copepoda, el que realizó aportes porcentuales, a esta categoría de tamaño, entre 75,7% y 94,7% (Tabla 7).

Tabla 6. Abundancia zooplanctónica (ind/10 m^2) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual (AP) (%) del rango 0,25-0,75 mm, entre los días 25 y 30 de enero de 2016. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	RANGOS DE TAMAÑO (mm)					
		0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-3,75	4,25-10,25	AP (%) 0,25-0,75
Arica (18°25'S)	1	7,9	0,2				97,8
	5	59,2	1,6	0,1			97,2
	10	73,7	1,9	1,6	0,1	1,0	94,2
	20	59,1	4,0	0,7	0,7		91,7
Punta Madrid (19°00'S)	1	87,2	0,9	0,1			98,8
	5	46,0	2,5	0,6	0,0		93,6
	10	69,5	8,1	1,7	0,3	0,2	87,0
	20	86,9	13,0	1,6	1,0		84,7
Chucumata (20°30'S)	1	30,5	0,8	0,1			97,1
	5	94,6	1,6	0,1			98,2
	10	88,9	4,0	0,5	0,3	0,1	94,8
	20	59,5	4,8	0,9	0,2	0,1	90,8
Chipana (21°20'S)	1	19,0	0,2	0,0			98,7
	5	65,1	2,1	0,3	0,1	0,2	96,0
	10	48,0	3,7	0,3	0,1	0,1	92,0
	20	95,7	10,6	3,0	0,6	0,4	86,8
Copaca (22°20'S)	1	47,1	1,1	0,3	0,7	0,2	95,4
	5	56,2	12,3	2,2	0,6	0,3	78,5
	10	67,3	11,6	2,3	0,6	0,1	82,2
	20	61,1	5,1	0,8	0,5	0,1	90,4
Mejillones (23°00'S)	1	75,4	0,9	0,0			98,8
	5	64,3	2,7	0,2	0,0		95,6
	10	116,0	6,4	0,2			94,6
	20	66,1	2,4	0,5	0,3		95,5

Tabla 7. Abundancia Total (ABTOT) y del grupo Copepoda (ABCOP) (ind/10 m^2) en el rango de tamaño 0,25-0,75 mm, y aporte porcentual de Copepoda (APCOP) (%), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

LOCALIDAD	DC (mn)	0,25-0,75 mm		
		ABTOT	ABCOP	APCOP
Arica (18°25'S)	1	7,9	7,3	92,3
	5	59,2	54,9	92,7
	10	73,7	67,4	91,6
	20	59,1	50,1	84,8
Punta Madrid (19°00'S)	1	87,2	82,6	94,7
	5	46,0	41,3	89,6
	10	69,5	56,2	80,9
	20	86,9	65,8	75,7
Chucumata (20°30'S)	1	30,5	27,7	90,8
	5	94,6	85,9	90,8
	10	88,9	80,8	91,0
	20	59,5	45,7	76,8
Chipana (21°20'S)	1	19,0	17,7	92,9
	5	65,1	60,8	93,4
	10	48,0	38,7	80,6
	20	95,7	74,9	78,2
Copaca (22°20'S)	1	47,1	44,0	93,5
	5	56,2	47,1	83,7
	10	67,3	59,3	88,1
	20	61,1	49,2	80,5
Mejillones (23°00'S)	1	75,4	69,3	91,9
	5	64,3	57,2	88,9
	10	116,0	102,7	88,5
	20	66,1	60,3	91,2

La distribución de la abundancia total del zooplancton, mostró el dominio de densidades entre 70,0 y 80,0 ind/10 m^2 en toda el área, con tres focos de abundancias superiores a 100 ind/10 m^2 localizados a 20 mn frente a Punta Madrid (19°00'S) y Chucumata (20°30'S), y a 10 mn de la costa en Mejillones (23°00'S) donde se registró la máxima densidad del zooplancton (122,8 ind/10 m^2). En Arica (18°25'S) y entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), a 1 mn de la costa, donde se registraron altas abundancias fitoplanctónicas, el zooplancton presentó valores inferiores a 50,0 ind/10 m^2 (Figura 16-panel izquierdo). Este patrón de distribución fue dado por el grupo Copepoda, el que mostró un foco de máxima concentración (103,5 ind/10 m^2) frente a Mejillones (23°00'S) a 10 mn de la costa (Figura 16-panel derecho).

Al analizar la distribución de la abundancia del zooplancton perteneciente al rango entre 0,25-0,75 mm se observó el mismo patrón. Bajas abundancias en la costa (1 mn) en Arica (18°25'S) y Chipana (20°30'S) y concentraciones superiores a 50 ind/10 m^2 en la zona entre 10 mn y 20 mn de la costa, alcanzando la totalidad de los individuos un máximo de 116,0 ind/10 m^2 en Mejillones (23°00'S) (Figura 17-panel izquierdo), y el grupo Copepoda un máximo de 102,7 ind/10 m^2 (Figura 17-panel derecho).

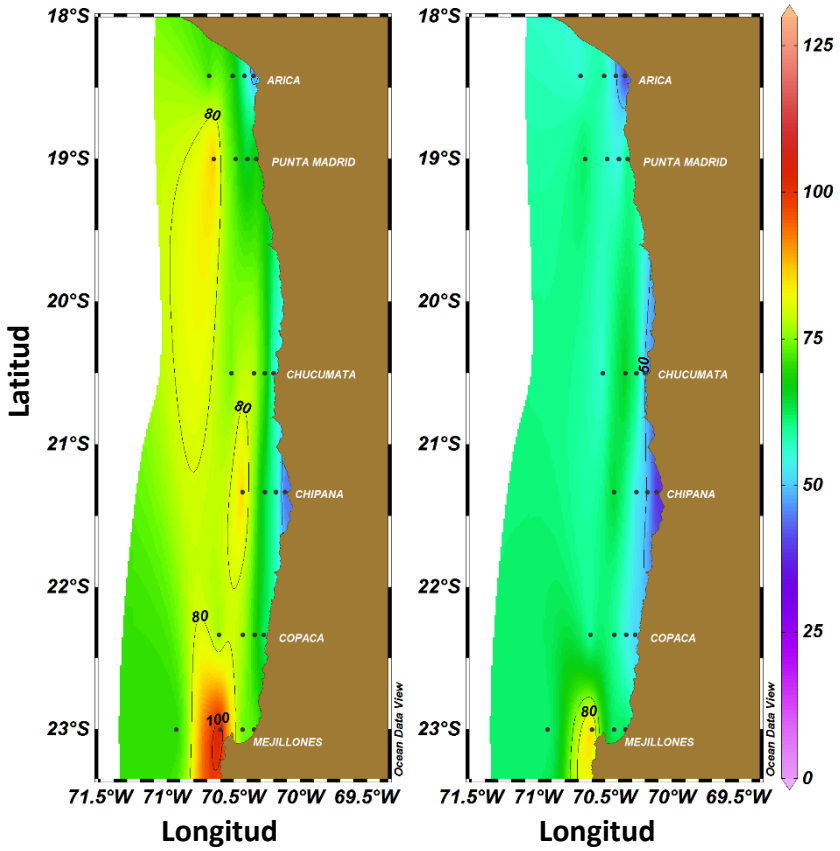

Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) (panel izquierdo) y del grupo Copepoda (panel derecho), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

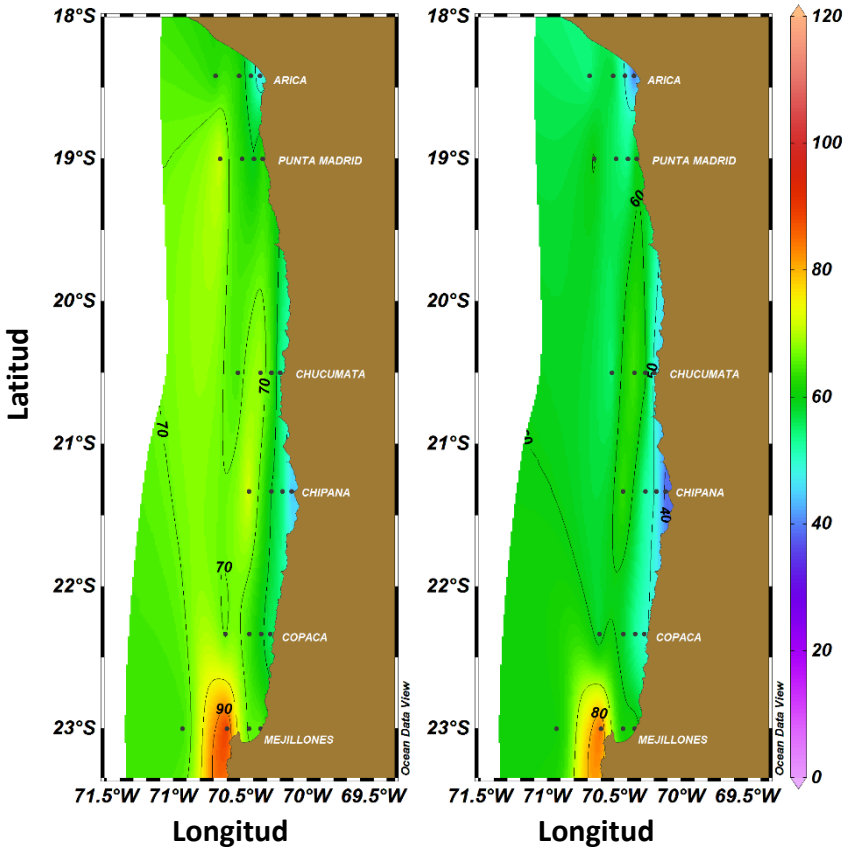

Figura 17. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) del zooplancton total (panel izquierdo) y del grupo Copepoda (panel derecho) pertenecientes al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

Ictioplancton

La abundancia total de estadios tempranos estimada en el área de estudio fue de 41.122 huevos/10 m^2 y 9.874 larvas/10 m^2, de los cuales un 72,5% y un 31,0% respectivamente, pertenecieron a *Engraulis ringens* (Tabla 8).

Dentro del componente larval de anchoveta, se identificaron los estados de desarrollo yolk-sac y pre-flexión, siendo el estado pre-flexión el más abundantes, con un aporte de 72,1% a la abundancia total de larvas de esta especie, y de 22,3% a la abundancia total de larvas (Tabla 8).

Tabla 8. Abundancia de huevos y larvas (N°/10 m^2) de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies, entre los días 25 y 30 de noviembre de 2016. Larvas Y-S: larvas en estado yolk-sac, Larvas Pre-F: larvas en estado de pre-flexión. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	*Engraulis ringens*			Otras Especies		Totales	
		Huevos	Larvas Y-S	Larvas Pre-F	Huevos	Larvas	Huevos	Larvas
Arica (18°25'S)	1	8.650			145		8.795	
	5	8.238					8.238	
	10			329				329
	20			1.621	147	958	147	2.578
Punta Madrid (19°00'S)	1	640	116		0	58	640	174
	5		61		0	243		303
	10	144			2.442	431	2.586	431
	20			55	218	382	218	437
Chucumata (20°30'S)	1	7.649	159	0	398		8.047	159
	5	721	240	120	180		901	360
	10				243	121	243	121
	20				82	82	82	82
Chipana (21°20'S)	1	1.079			450	90	1.529	90
	5			79		79		158
	10				72	144	72	144
	20				424	2.968	424	2.968
Copaca (22°20'S)	1	63					63	
	5				1.473	307	1.473	307
	10				4.734	192	4.734	192
	20				303	606	303	606
Mejillones (23°00'S)	1	1.019	278			93	1.019	371
	5	1.607					1.607	
	10							
	20					62		62
TOTAL		29.809	855	2.204	11.313	6.816	41.122	9.874
AP (%)		72,5	8,7	22,3	27,5	69,0		

Del total de estaciones (24), 15 resultaron positivas para la presencia de estadios tempranos de *Engraulis ringens*, y en Arica (15°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) se registró su presencia a 10 mn y a 20 mn de la costa (Figura 18).

La distribución de la abundancia de huevos mostró la presencia de las mayores densidades (>5.000 huevos/10 m^2) en Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S) y entre 1 mn y 5 mm de la costa. En Arica (18°25'S) se registraron los mayores valores, 8.650 y 8.238 huevos/10 m^2 a 1 mn y 5 mn respectivamente, y en Chucumata (20°30'S) se observó un máximo secundario de 7.649 huevos/10 m^2 a 1 mn. En Chipana (21°00'S) y Mejillones (23°00'S) la abundancia de huevos escasamente superó los 1.000 huevos/10 m^2, y en el resto de la zona las densidades fueron inferiores a 100 huevos/10 m^2 (Figura 19).

Larvas de *E. ringens* en estado yolk-sac se detectaron en Punta Madrid (19°00'S), Chucumata (20°30'S) y Mejillones 23°00'S). En todas estas localidades las densidades fueron superiores a 100 larvas/10 m^2, con una máxima 240 larvas/10 m^2 en Chucumata (20°30'S) a 5 mn de la costa, y de 278 larvas/10 m^2 a 1 mn en Mejillones (23°00'S). En el resto del área no se detectó la presencia de larvas en estado yolk-sac (Figura 20-panel izquierdo).

Larvas en estado pre-flexión se registraron entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S). El máximo fue de 1.621 larvas/10 m^2 y se observó a 20 mn de la costa frente a Arica (18°25'S). En Chucumata (20°30'S) a 5 mn, se registraron 120 larvas/10 m^2, y en Punta Madrid (19°00'S) y Chipana (21°20'S) las densidades no superaron las 100 larvas/10 m^2 (Figura 20-panel derecho).

Los huevos de otras especies presentaron una mayor distribución costa afuera, exhibiendo densidades superiores a 1.000 huevos/10 m^2 en Punta Madrid (19°00'S) y Copaca (22°20'S), con un máximo de 4.734 huevos/10 m^2 frente a Copaca (22°20'S) a 10 mn de la costa (Figura 21-panel izquierdo). Las larvas, también con una mayor distribución latitudinal y longitudinal, presentaron concentraciones superiores a 100 larvas/10m^2 en toda la zona y principalmente entre las 10 mn y 20 mn de la costa, con un máximo de 2.968 larvas/10 m^2 frente a Chipana (21°20'S) a 20 mn (Figura 21-panel derecho).

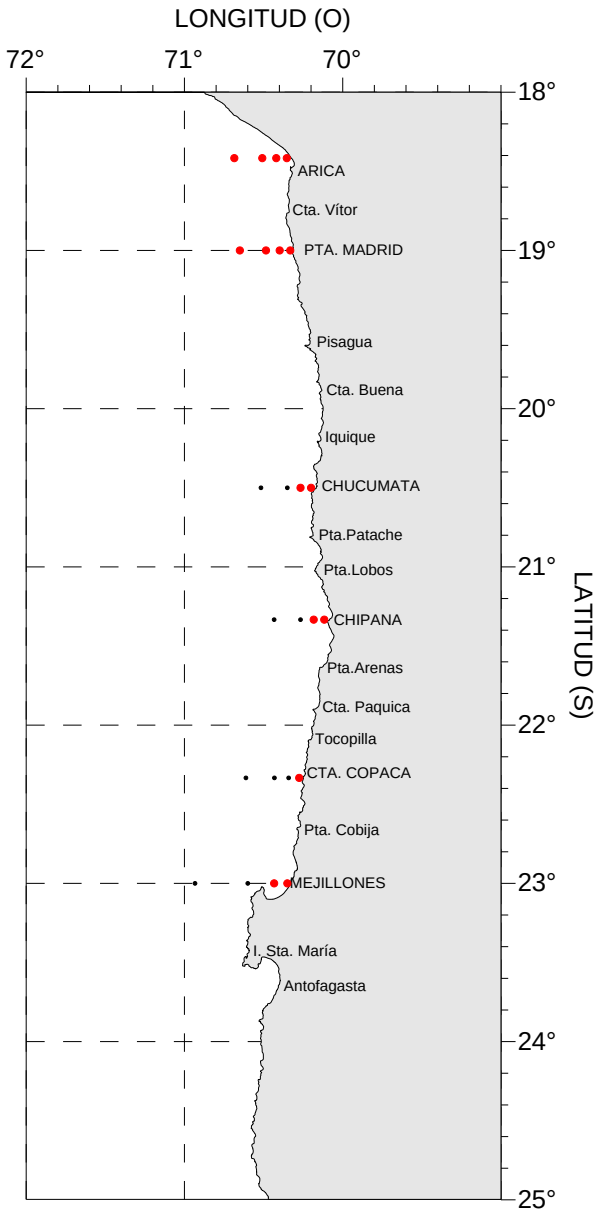

Figura 18. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

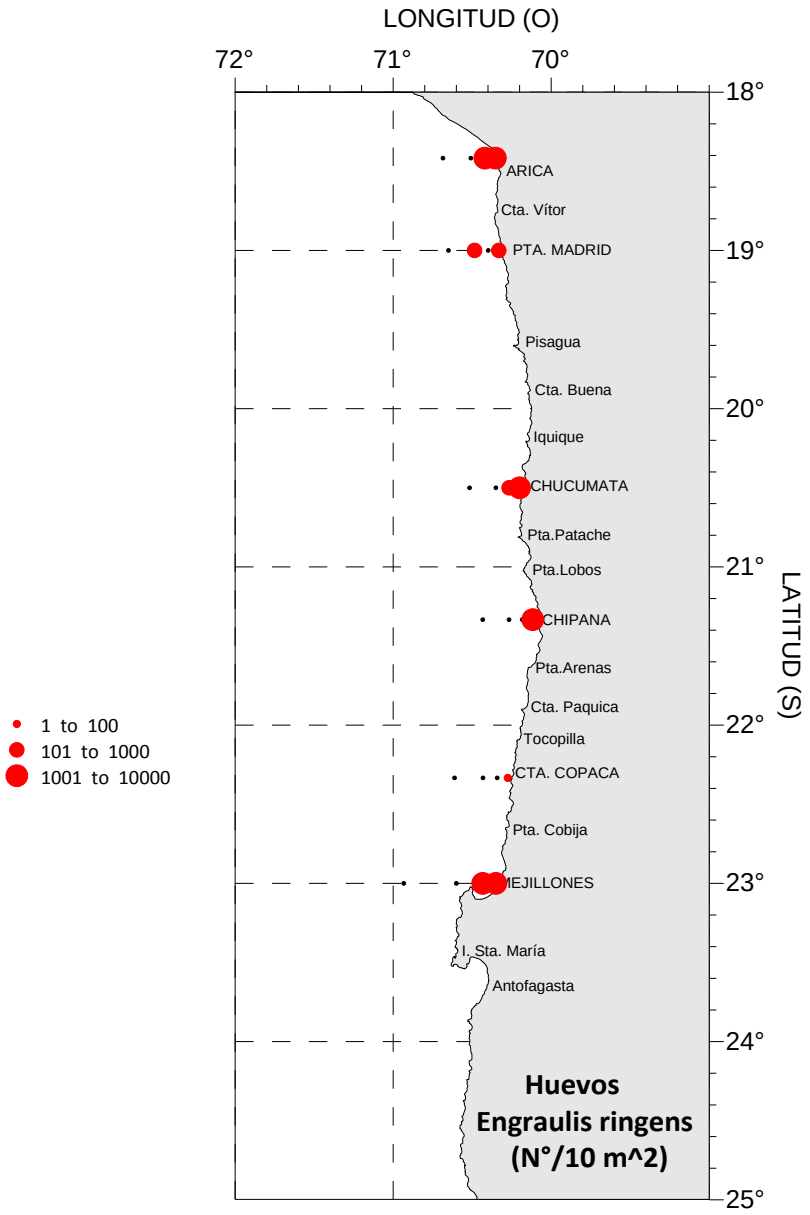

Figura 19. Distribución de la abundancia de huevos (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

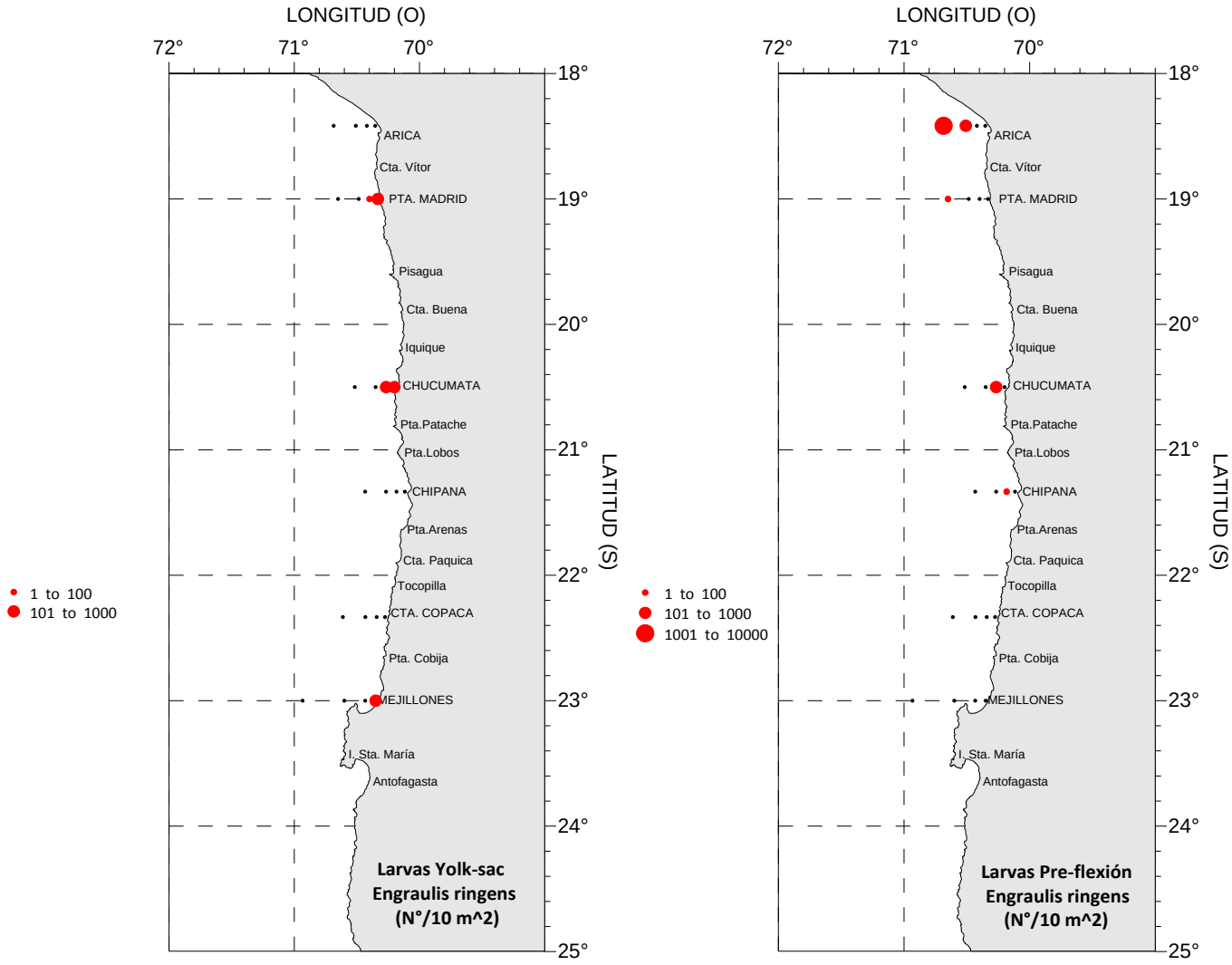

Figura 20. Distribución de la abundancia de larvas (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* en estado yolk-sac (panel izquierdo) y en estado de pre-flexión (panel derecho) entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

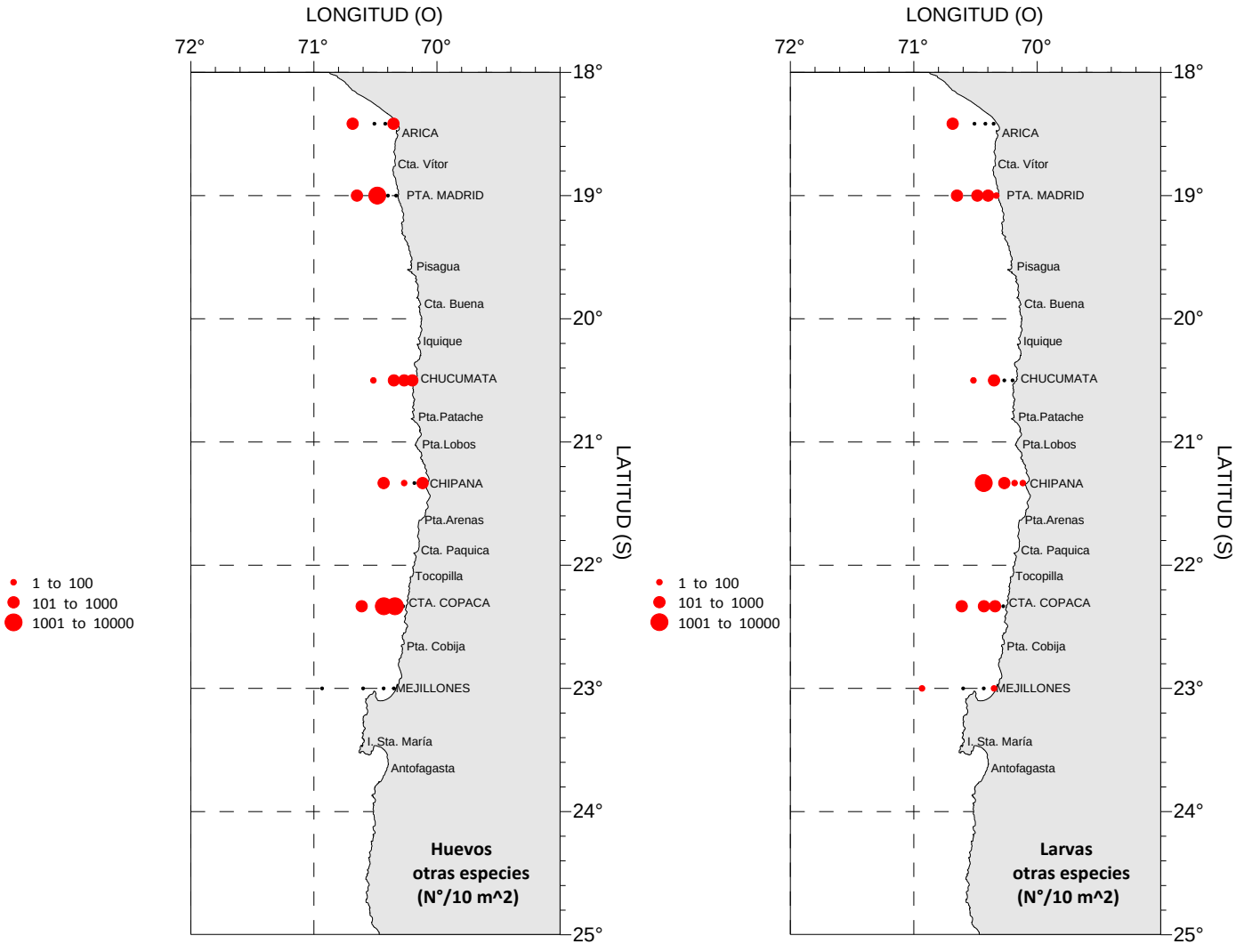

Figura 21. Distribución horizontal de la abundancia (N°/10 m^2) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

Análisis Estadístico

El análisis de correlación entre la abundancia de los estadios tempranos de anchoveta y las variables ambientales físicas y biológicas, mostró una asociación significativa entre la abundancia de huevos y la abundancia de flagelados ($r=0,72$, $p<0,01$) y la biomasa fitoplanctónica ($r=0,44$, $p<0,01$) (Figura 22), mientras que la abundancia de las larvas no se encontró asociada a ninguna de las variables (Figura 23).

Respecto de la comparación entre el verano de 2015 y el verano de 2016, el análisis global mostró la existencias de diferencias significativas entre las variables temperatura, abundancia de diatomeas, biomasa fitoplanctónica y abundancia zooplanctónica (Tabla 9). Estas diferencias se debieron por una parte, a que el verano de 2016 exhibió un notorio incremento en la temperatura respecto de 2015, y por otra a que las diatomeas y el zooplancton disminuyeron sus abundancias. No obstante, la biomasa fitoplanctónica mostró un aumento en 2016 (Figura 24), lo cual se debió a la mayor presencia de microflagelados.

En el análisis comparativo por área, Arica (18°25'S-19°00'S) sólo exhibió diferencias estadísticamente significativas entre la temperatura y abundancia de zooplancton, lo mismo ocurrió en el área Chipana (20°30'S-21°20'S) donde además, la abundancia de larvas de anchoveta evidenció un cambio. En el área Mejillones (22°00'S-23°00'S) sólo la biomasa fitoplanctónica arrojó diferencias significativas (Tabla 10). Las diferencias en el área Arica (18°25'S-19°00'S) y Chipana (20°30'S-21°20'S) se debieron a un verano 2016 con mayores temperaturas y con menor biomasa zooplanctónica, y a un descenso en la densidad de larvas en el área Chipana (20°30'S-21°20'S) durante el verano de 2016 (Figuras 25 y 26). En el área Mejillones (22°00'S-23°00'S) las diferencias entre la biomasa fitoplanctónica fueron producto de los altos valores registrados durante 2016, los cuales respondieron a la presencia de microflagelados (Figura 27).

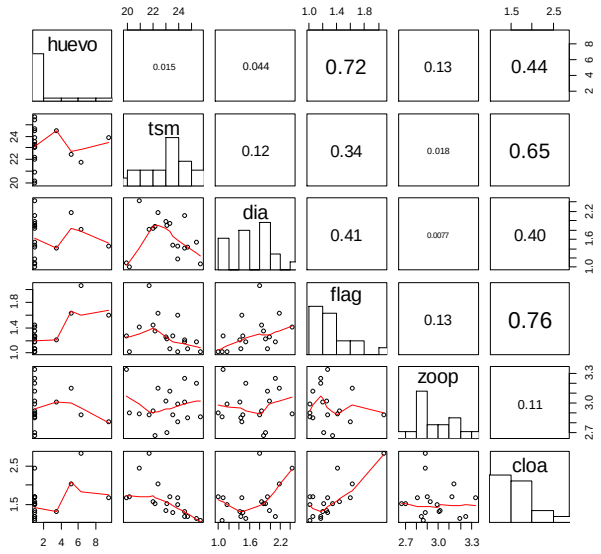

Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevo) (N°/10 m^2) y la temperatura superficial (tsm) (°C), abundancia de diatomeas (dia) (cél/m^3), abundancia de flagelados (flag) (cél/m^3), abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m^2) y biomasa fitoplanctónica (cloa) (µg Cl-a/ m^3), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

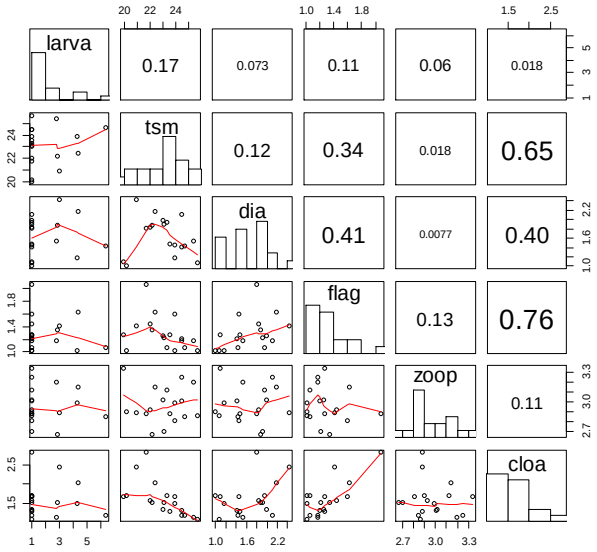

Figura 23. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larva) (N°/10 m^2) y la temperatura superficial (tsm) (°C), abundancia de diatomeas (dia) (cél/m^3), abundancia de flagelados (flag) (cél/m^3), abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m^2) y biomasa fitoplanctónica (cloa) (µg Cl-a/ m^3), entre los días 25 y 30 de enero de 2016.

Tabla 9. Resultados del análisis de varianza aplicado en forma global a las variables físicas y biológicas registradas durante los cruceros de verano de 2015 y de 2016. NS: nivel de significancia.

VARIABLES	F	VALOR *p*	NS
TEMPERATURA (°C)	12,870	0,001	**
ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)	5,422	0,026	*
ABUNDANCIA ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	12,870	0,001	**
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg Cla/L)	25,650	0,000	***
Código NS: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*'			

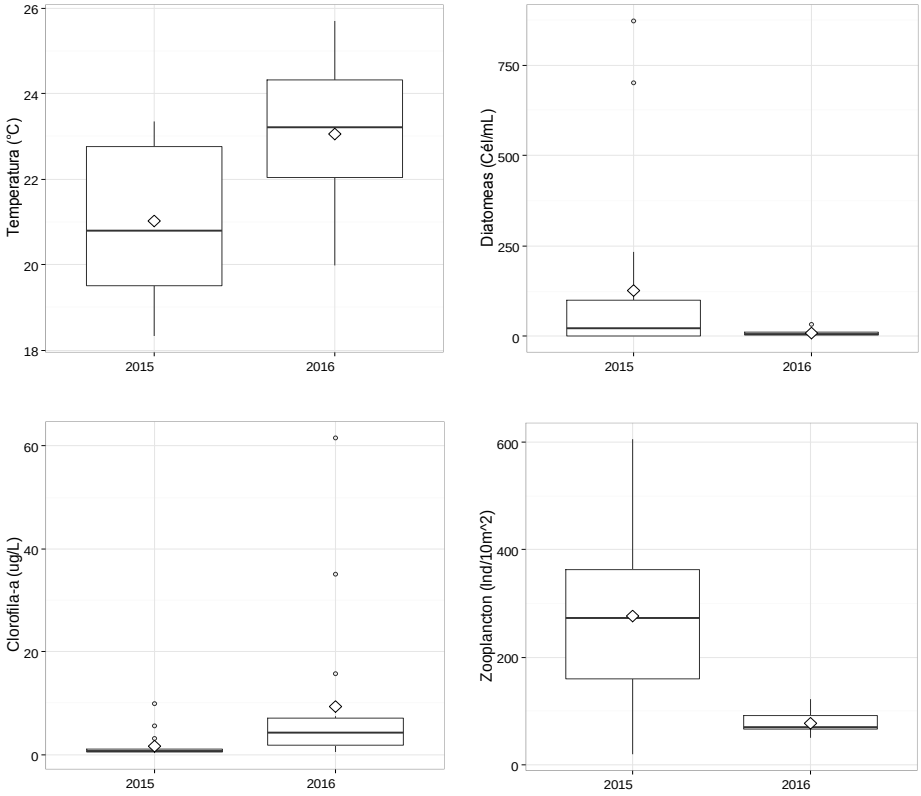

Figura 24. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza global aplicado a la información de temperatura (°C) y biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) (panel-izquierdo) y abundancia de diatomeas (cél/mL) y de zooplancton (ind/10 m^2) (panel-derecho), registrada durante los cruceros de verano de 2015 y verano de 2016.

Tabla 10. Resultados del análisis de varianza aplicado por área a las variables físicas y biológicas registradas durante los cruceros de verano de 2015 y de 2016. NS: nivel de significancia.

AREA	VARIABLE	F	VALOR *p*	NS
ARICA (18°25'S-19°00'S)	TEMPERATURA (°C)	5,843	0,036	*
	ABUNDANCIA ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	8,263	0,017	*
CHIPANA (20°30'S-21°20'S)	TEMPERATURA (°C)	8,321	0,016	*
	ABUNDANCIA ZOOPLANCTON (ind/10 m^2)	95,790	0,000	***
	ABUNDANCIA LARVAS (N°/10 m^2)	5,246	0,045	*
MEJILLONES (22°00'S-23°00'S)	BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg Cla/L)	5,962	0,035	*
Código NS: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*'				

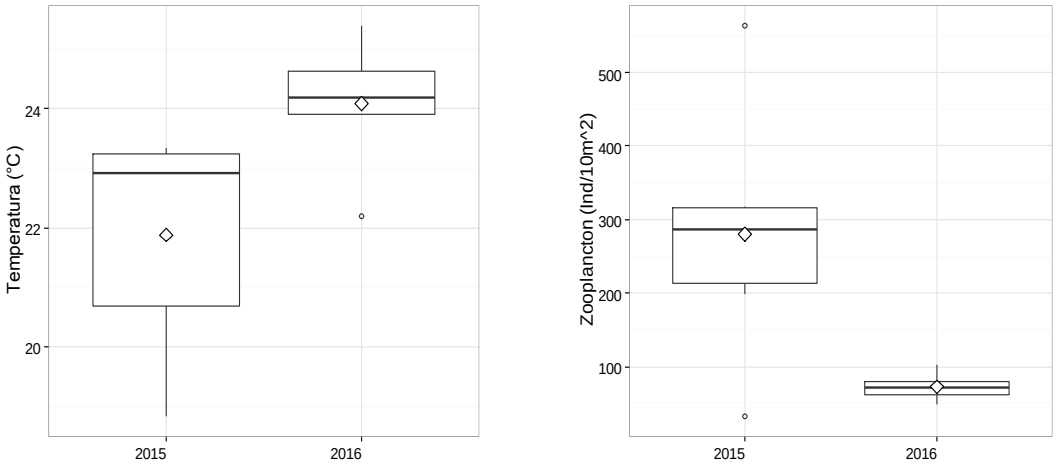

Figura 25. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de temperatura (°C) (panel-izquierdo) y abundancia zooplanctónica (ind/10 m^2) (panel-derecho) registrada durante los cruceros de verano de 2015 y verano de 2016 en el área Arica (18°25'S-19°00'S).

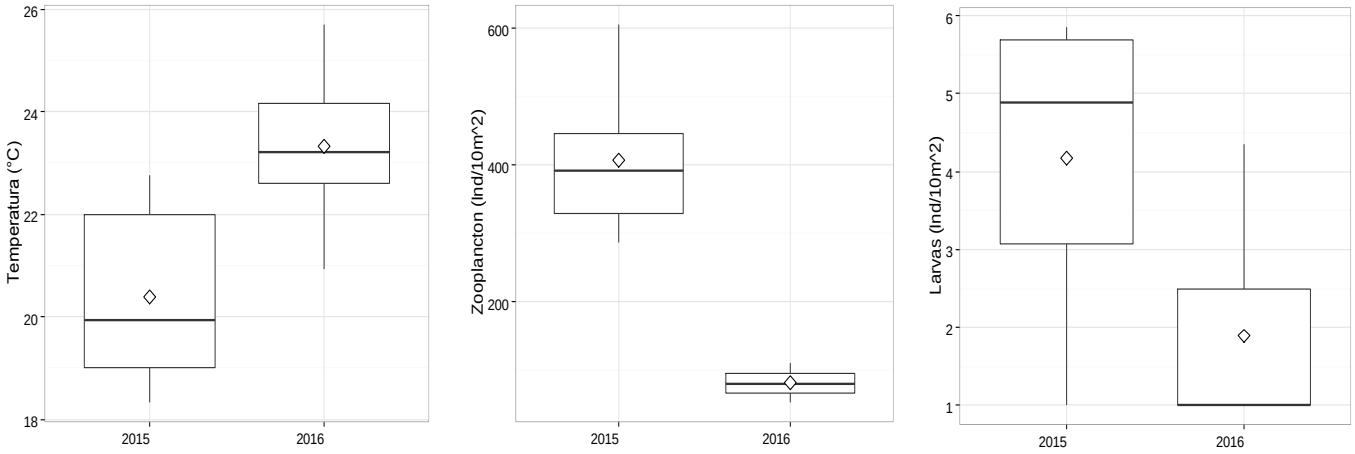

Figura 26. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de temperatura (°C) (panel-izquierdo), abundancia zooplanctónica (ind/10 m^2) (panel-central) y abundancia de larvas de anchoveta (N°/10 m^2) (panel-derecho) registrada durante los cruceros de verano de 2015 y verano de 2016 en el área Chipana (20°30'S-21°20'S).

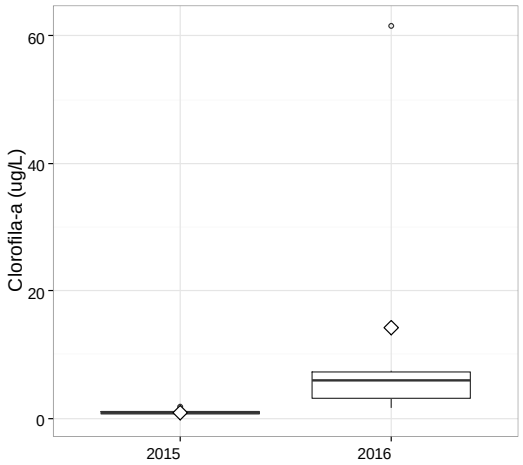

Figura 27. Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis de varianza aplicado a la información de biomasa fitoplanctónica (µ Cla/L) registrada durante los cruceros de verano de 2015 y verano de 2016 en el área Mejillones (22°00'S-23°00'S).

DISCUSION

Durante enero de 2016 la presencia del ASS se hizo evidente en toda el área de estudio y entre la costa y las 40 mn. La distribución vertical de las variables oceanográficas, especialmente de la salinidad y la densidad, indicaron la influencia de esta masa de agua en los primeros 50 m de profundidad, bajo la cual se evidenció levemente la presencia del AESS. Al igual que durante la primavera de 2015, los valores del TEk indicaron la ocurrencia de eventos de surgencia diarios durante los días previos y de realización del crucero, sin embargo la presencia del ASS en gran parte del estrato superficial habría impedido el ascenso del AESS a la superficie. Incluso en las localidades de Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), donde habitualmente se ha observado la influencia de los procesos de afloramiento costero, no se detectaron señales de su ocurrencia.

Estas condiciones asociadas a la presencia del evento El Niño, más la estacionalidad imperante, generaron una "tropicalización" del sistema que se vio reflejado en el componente biológico. La abundancia del componente característico del fitoplancton, las diatomeas, sufrió un notorio descenso a nivel global, como lo mostraron los resultados del análisis comparativo, alcanzando apenas un máximo cercano a 100 cél/mL a diferencia de otros periodos (2015) en los cuales se informaron hasta 1.000 cél/mL. No obstante, los microflagelados sí se vieron favorecido con este escenario ambiental, dando cuenta de las abundancias máximas registradas y de los valores de biomasa fitoplanctónica.

De igual manera el zooplancton presentó una disminución de sus abundancias, pero sólo respecto del verano de 2015, ya que éstas se mantuvieron dentro del mismo orden de magnitud de aquellas registradas durante los otros periodos de ese año. Es interesante destacar la dominancia casi absoluta de los tamaños pequeños (0,25-0,75 mm) durante este verano, con una distribución asociada a la zona más alejada de la costa (20 mn) y a la presencia de microflagelados. En aquellas localidades donde se registraron las más altas abundancias de diatomeas (Chucumata-Chipana) el grupo exhibió las menores densidades.

En relación a los estadios tempranos de *Engraulis ringens*, la abundancia de huevos fue, en promedio, levemente menor a la observada en verano de 2015, pero no se detectaron diferencias significativas. Por otra parte, la densidad de las larvas descendió y resultó estadísticamente diferente respecto del verano 2015, además, sólo se detectaron los estadios yolk-sac y pre-flexión, lo cual podría interpretarse como una situación de desove reciente. No obstante, al igual que en periodos anteriores, las mayores abundancias se observaron en las áreas caracterizadas como de desove y retención (Arica, Chipana y Mejillones), coincidentes esta vez con la presencia de microflagelados y zooplancton. Sin embargo, este componente, a diferencia de los huevos, no se asoció estadísticamente con ninguna de las variables ambientales.

LITERATURA CITADA

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

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

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

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

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

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.