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 PRIMAVERA

NOVIEMBRE 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 6

RESULTADOS 9

Condiciones físicas 9

Estructura de la Comunidad Planctónica 13

Fitoplancton 13

Zooplancton 28

Ictioplancton 35

Análisis Estadístico 41

DISCUSION 49

LITERATURA CITADA 50

RESUMEN EJECUTIVO

Entre los días 28 de noviembre y 01 de diciembre de 2017 se realizó el crucero de primavera, 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. Se obtuvieron perfiles verticales de temperatura utilizando un CTDO SeaBird19, se tomaron muestras de agua hasta 50 m de profundidad para determinar la abundancia y biomasa del fitoplancton, y para caracterizar la composición y abundancia del zooplancton e ictioplancton, se colectaron muestras verticales desde 60 m a superficie, utilizando una red WP-2 de 300 µm equipada con un flujómetro TSK. La información se analizó gráficamente y la influencia de los parámetros físicos, químicos y biológicos sobre los componentes ictioplanctónicos, se examinó mediante un modelo aditivo generalizado (GAM). Se realizó un análisis comparativo para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las variables registradas durante las primaveras de 2014, 2015, 2016 y 2017.

Los valores de temperatura y salinidad revelaron la influencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) en el sector norte del área (18°25'S-19°00'S), desplazándose hacia el sur entre las 20 y 40 mn. En la costa (1-5 mn) predominaron bajas temperaturas y salinidades (<17°C-34,9 ups), las que se extendieron hasta las 40 mn frente a Mejillones (23°00'S). Esta condición, más lo somero de la isoterma de 15°C (15 m) y los valores del TEk que se mantuvieron alrededor de los 800 m^3/s/km en Arica, Iquique y Antofagasta, reveló la influencia de eventos de surgencia intensos.

La abundancia máxima del microfitoplancton fue de 1.247,2 cél/mL. Las diatomeas realizaron los principales aportes al total (>90%) con máximas superiores a 1.000 cél/mL en el sector norte (18°25'S-19°00'S), donde los flagelados también presentaron la mayor concentración (188 cél/mL). La biomasa fitoplanctónica exhibió máximos cercanos a 40,0 µg Cl-a/L y fueron coincidentes con las mayores abundancias de diatomeas, de igual manera los feopigmentos que alcanzaron un máximo de 59,6 µg/L. El zooplancton presentó densidades superiores a 200 ind/10 m^2 en toda la franja costera (1-5 mn), con un máximo de 491,3 ind/10 m^2 en Copaca (22°20'S) a 1 mn. El grupo Copepoda fue el más dominante (aporte promedio de 80,4%) destacando la fracción de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm. Los huevos y larvas de anchoveta contribuyeron con un 86,5% y 33,6% respectivamente, a la abundancia total del ictioplancton. Los huevos mostraron densidades superiores a 2.000 huevos/10 m^2 desde Chipana (21°20'S) al sur, con un máximo de 9.347 huevos/10 m^2 en Copaca (22°20'S) a 1 mn. Entre las larvas, predominó el estado yolk-sac (58,9%) que exhibió un máximo de 329 larvas/10 m^2 también en Copaca (22°20'S) a 1 mn. El análisis de correlación mostró asociación entre la abundancia de huevos y la abundancia de diatomeas.

El análisis comparativo global reveló que en la primavera de 2017 la temperatura y la salinidad se encontraron en los rangos registrados durante 2014, mientras que la

densidad de larvas de anchoveta disminuyó. Por área destacó Arica (18°25’S-19°00’S) donde la abundancia de diatomeas se mantuvo similar a la primavera de 2016 mientras que los flagelados disminuyeron.

Los valores de temperatura y salinidad y las abundancias del componente planctónico (fitoplancton y zooplancton) se encontraron dentro de los rangos registrados durante la primavera de 2014. Los huevos de anchoveta mantuvieron densidades observadas en otras épocas de primavera, pero las larvas disminuyeron su abundancia, sin mostrar asociación con ninguna variable ambiental.

Las condiciones oceanográficas físicas y biológicas revelaron un sistema en condiciones normales de primavera influenciado por eventos de surgencia y por el enfriamiento del Pacífico ecuatorial centro-oriental, asociado al desarrollo de un evento La Niña débil.

INTRODUCCIÓN

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

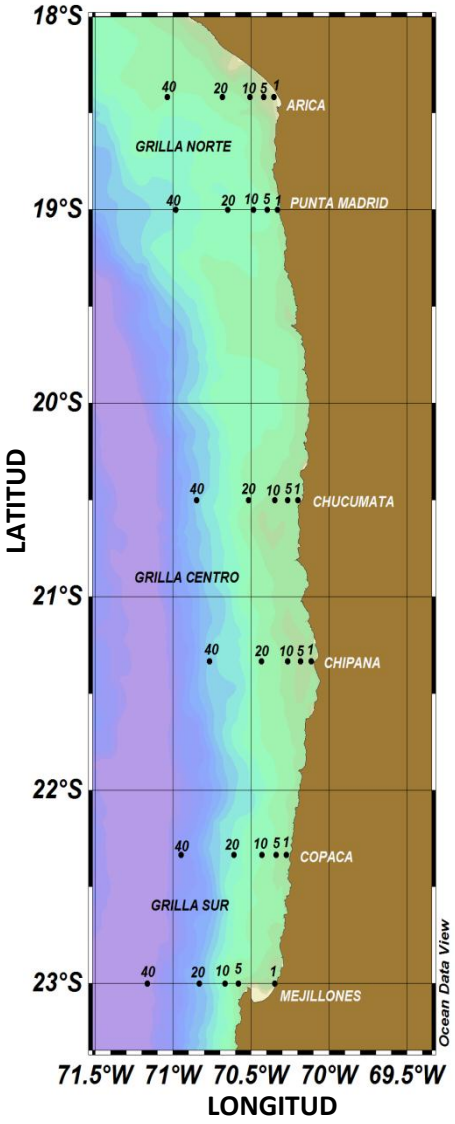


Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo del crucero bio-oceanográfico realizado entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

Muestreo y registro de información

El crucero se llevó a cabo entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017 a bordo de la embarcación PAM "Angamos IV" proporcionada por la empresa pesquera CORPESCA S.A.

En cada una de las estaciones se realizaron perfiles verticales de temperatura utilizando un CTDO SeaBird-19 y 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. 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.

La información de salinidad superficial se obtuvo de la base de satos satelitales proporcionada por Corpesca. 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 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 calculó el transporte de Ekman (TEk):

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

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 y biológicos obtenida en el presente crucero con aquella registrada durante la primavera de 2014, 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

Temperatura

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre un mínimo de 14,7°C y un máximo de 21,0°C. La distribución se caracterizó por la presencia de bajas temperaturas (<18°C) a lo largo de toda la franja costera entre 1 y 10 mn, con el mínimo (14,7°C) localizado a 10 mn frente a Mejillones (23°00'S). A 40 mn de la costa predominaron valores superiores a 19°C entre Arica (18°25'S) y Copaca (22°20'S) y la temperatura máxima (21,0°C) se registró frente a Punta Madrid (19°00'S) y Chucumata (20°30'S). (Figura 2A).

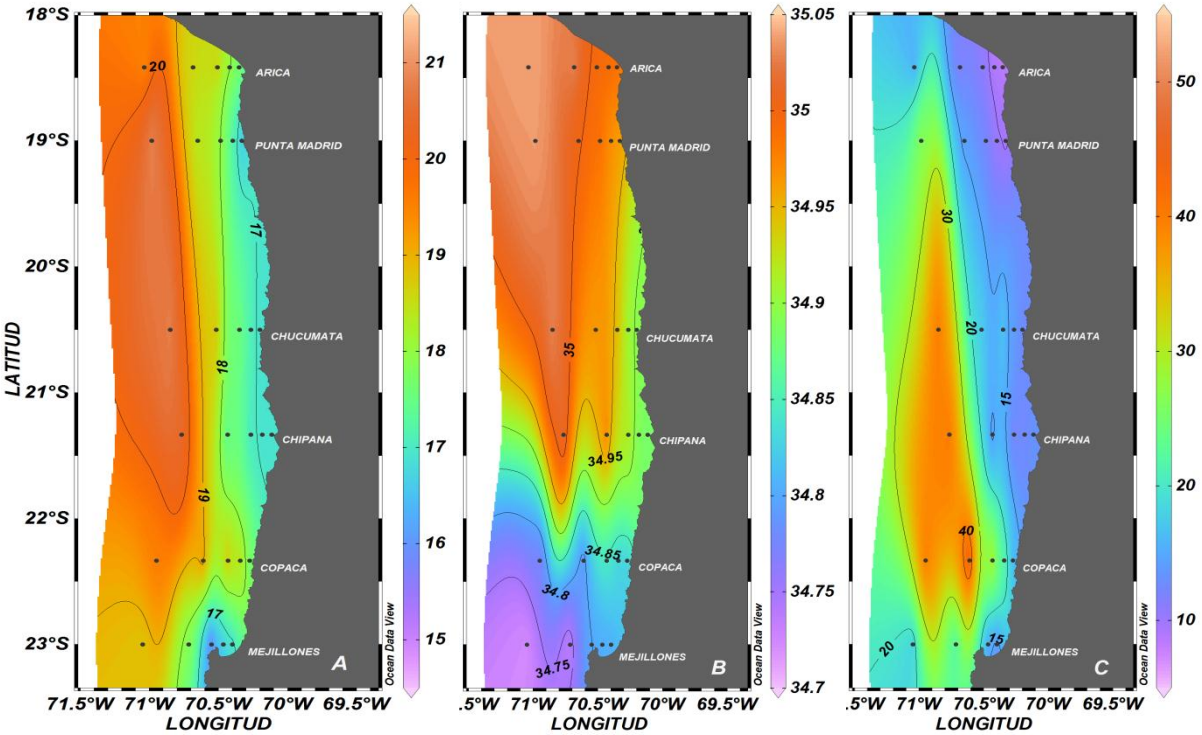
La salinidad en superficie fluctuó entre 34,72 y 35,04 ups. Coincidente con la temperatura, la distribución mostró el ingreso, desde el norte y desde la región oceánica, de un agua con salinidades superiores a 34,95 ups que se extendió hasta Chipana (21°20'S), acercándose a la costa en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S). Desde Chucumata (20°00'S) al sur, la franja costera (1-5 mn) estuvo influenciada por salinidades inferiores a 34,9 ups, las que en Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S) se extendieron hasta las 40 mn donde se registró el mínimo (34,72 ups) (Figura 2B).

La distribución vertical de la temperatura mostró valores superiores a 19°C restringidos al estrato superficial (0-5 m) y al sector más oceánico (20 mn). En la franja costera (1-10 mn) se observó el ascenso de las isotermas que llevaron temperaturas inferiores a 18°C a la superficie, lo que se hizo más evidente en Arica y Mejillones (Figura 3). De manera concordante, la isoterma de 15°C exhibió su posición más somera (<10 m) entre 1 y 5 mn de la costa, profundizándose hacia las 40 mn donde alcanzó un máximo de 52,8 m frente a Copaca (22°20'S) (Figura 2C).

Transporte de Ekman (TEk)

En todas las localidades el TEk reveló la ocurrencia de procesos de surgencia, con los mayores valores (>600 $m^3/s/km$) entre las 14:00 y las 23:00 horas. Durante los días previos y durante el crucero, las magnitudes máximas superaron los 1.000 $m^3/s/km$, registrándose las intensidades más altas en Iquique (Figura 4).

Figura 2. A: Distribución superficial de temperatura (°C), B: Distribución superficial de salinidad (ups) y C: Profundidad de la isoterma de 15°C (m) entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.



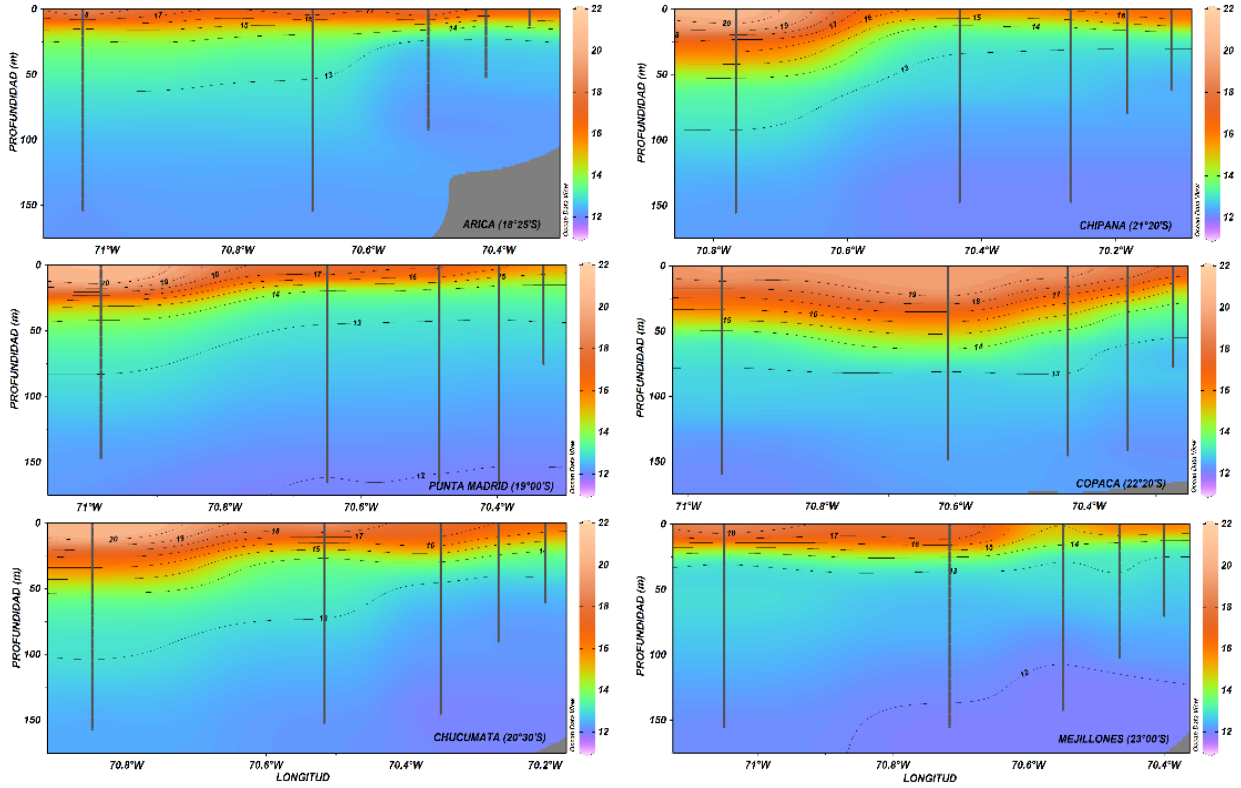


Figura 3. Distribución vertical de Temperatura (°C) entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

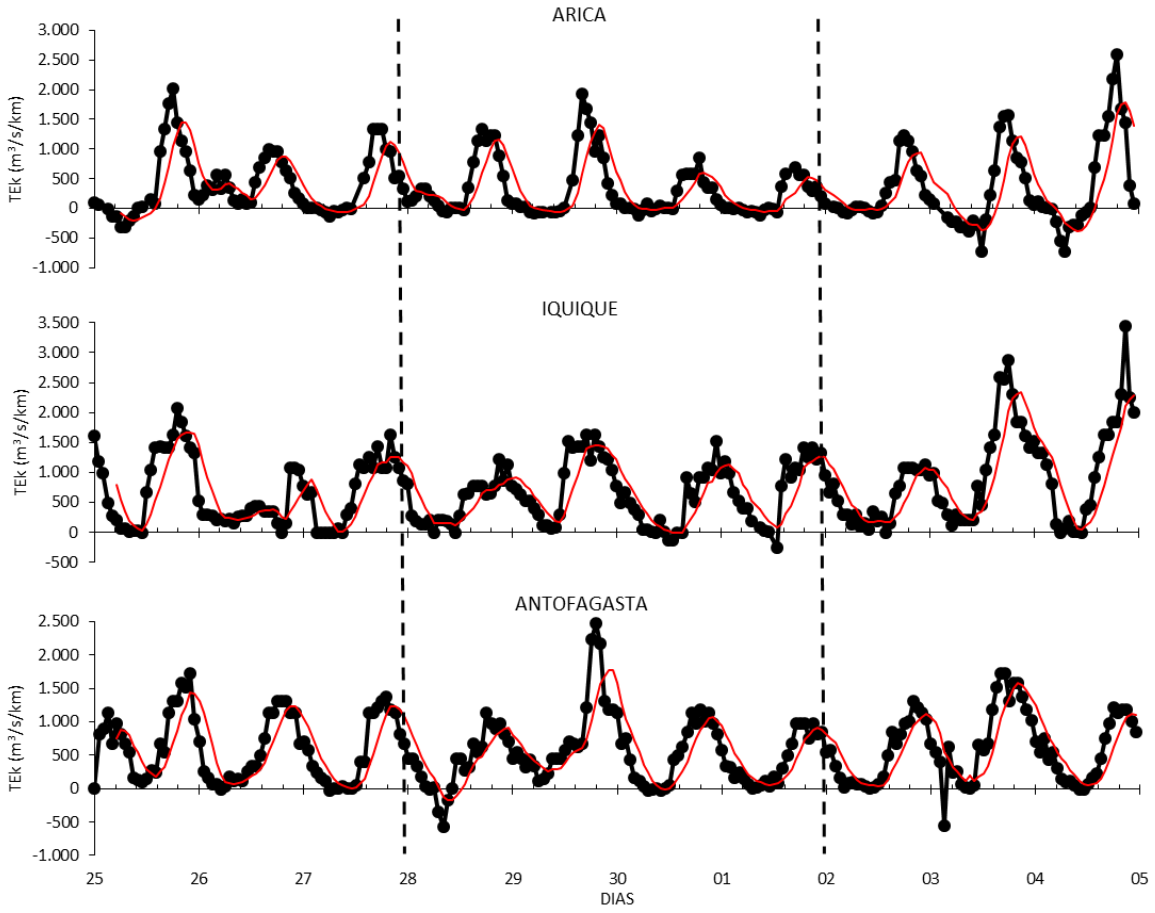


Figura 4. Transporte Ekman diario ($m^3/s/km$) en Arica, Iquique y Antofagasta, entre los días 25 de noviembre y 05 de diciembre de 2017 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).

Estructura de la Comunidad Planctónica

Fitoplancton

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,2 y 1.247,2 cél/mL. Los valores integrados entre la superficie y los 25 m de profundidad, mostraron concentraciones superiores a 200 cél/m^3 que se extendieron hasta las 10 mn entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), con valores máximos (>500 cél/mL) en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S). El grupo de las diatomeas exhibió las mayores concentraciones, realizando aportes porcentuales al total mayores al 95% en la mayoría de las estaciones. Los flagelados destacaron en Arica (18°25'S) con concentraciones superiores a 20,0 cél/m^3 entre 1 y 10 mn de la costa (Tabla 1).

La distribución horizontal de la abundancia de las diatomeas, entre la superficie y los 10 m de profundidad, se caracterizó por la presencia de concentraciones superiores a 250 cél/mL entre la costa y las 10 mn y entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), con la máxima abundancia (1.244,4 cél/mL) frente a punta Madrid (19°00'S) a 10 m de profundidad. En Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S) los valores se mantuvieron alrededor de las 200 cél/mL (Figura 5). A los 25 m se registró un foco de 704,8 cél/mL a 1 mn en Chipana (21°20'S), pero en el resto del área éstos descendieron de las 100 cél/mL, y a 50 m predominaron abundancias inferiores a 10,0 cél/mL (Figura 6). La distribución de la abundancia de los microflagelados mostró, entre la superficie y los 10 m de profundidad, la presencia de un foco de alta abundancia (>50,0 cél/mL) frente a Arica (18°25'), donde el grupo alcanzó la máxima concentración (188,0 cél/mL) a 1 mn en superficie (Figura 7). A 25 y 50 m los microflagelados mostraron abundancias inferiores a 1,0 cél/mL (Figura 8).

La distribución vertical de las diatomeas mostró en Arica (18°00'S) y punta Madrid (19°00'S) la localización de los máximos (>1.000 cél/mL) a 10 m de profundidad extendiéndose hacia las 10 mn asociados a un gradiente de disminución, con el predominio en la columna de agua de abundancias inferiores a 100 cél/mL. Desde Chucumata (20°30'S) al sur las magnitudes disminuyeron y los focos se mantuvieron en la costa con una tendencia a acercarse hacia la superficie en Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 9-panel izquierdo). Las secciones verticales de los microflagelados, mostraron el predominio de abundancias inferiores a 1,0 cél/mL en toda la columna de agua. Inclusive la máxima superficial de Arica (18°25'S) se mantuvo restringida a los primeros 5 m de profundidad, donde se registraron concentraciones cercanas a las 100 cél/mL (Figura 9-panel derecho).

Se identificó un total de 121 especies del microfitoplancton, 62 diatomeas y 59 formas flageladas. Cinco especies de diatomeas destacaron por sus aportes al total, las que exhibieron un marcado gradiente latitudinal. En Arica (18°25'S) destacó la diatomea *Thalassiosira minuscula*, con un aporte del 65,8%. En punta Madrid (19°00'S) y Chucumata (20°30'S) fueron *Chaetoceros compressus* y *Thalassionema nitzschioides*, y desde Chipana (21°20'S) al sur se unió *Leptocylindrus danicus* y *Guinardia striata* (Tabla 2). Entre las formas

flageladas, sólo *Prorocentrum gracile* exhibió abundancias importantes, dando cuenta de las concentraciones registradas en Arica y punta Madrid, en el resto del área destacaron otros grupos y especies más por ocurrencia que abundancia (Tabla 3).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,04 y 46,4 µg Cl-a/L. Los valores integrados entre la superficie y los 25 m de profundidad, mostraron concentraciones superiores a 10,0 µg Cl-a/m^3 en Arica (19°25'S) y punta Madrid (19°00'S) y entre 1 y 5 mn, mientras que en el resto del área predominaron valores inferiores a 5,0 µg Cl-a/m^3. Los feopigmentos fluctuaron entre 0,0 y 59,6 µg/L y los valores integrados revelaron la mayor concentración a 1 mn en punta Madrid (19°00'S) (Tabla 4).

La distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica, entre la superficie y los 10 m de profundidad, exhibió un foco de alta concentración en la zona entre Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S), donde se registraron valores superiores a 40,0 µg Cl-a/L con el máximo (46,4 µg Cl-a/L) localizado a 10 m de profundidad y a 1 mn de la costa en punta Madrid (19°00'S). En el resto del área la biomasa descendió notoriamente y predominaron valores inferiores a 5,0 µg Cl-a/L (Figura 10). A 25 m, siguiendo la distribución de las diatomeas, se observó un foco en Chipana (21°20'S) que alcanzó los 30,3 µg Cl-a/L y a 50 m de profundidad las biomasas fueron inferiores a 1,0 µg Cl-a/L (Figura 11). La distribución de los feopigmentos siguió el mismo patrón, con valores superiores a 40,0 µg/L en Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S), y el máximo (59,6 µg/L) localizado a 1 mn y a 10 m de profundidad frente a punta Madrid (19°00'S) (Figura 12). De igual manera, a 25 m se registró un foco en Chipana (21°20'S) de 22,8 µg/L y a 50 m de profundidad predominaron concentraciones inferiores a 1,0 µg/L (Figura 13).

En la componente vertical, las secciones de biomasa fitoplanctónica y feopigmentos, mostraron los máximos principales a nivel subsuperficial en Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S), restringidos a los 10 m de profundidad y a las primeras 5 mn de la costa, y asociados a la presencia de las diatomeas. Lo mismo para el foco detectado en Chipana (21°20'S) a 25 m de profundidad y a1 mn. El resto del área mostró una columna de agua dominada por valores inferiores a 5,0 µg/L (Figura 14).

Tabla 1. Abundancia fitoplanctónica integrada (cél/m^3) entre la superficie y los 10 m de profundidad y aporte porcentual (%) de diatomeas (DIATO) y microflagelados (M_FLAGE), entre los días 28 de

noviembre y 02 de diciembre 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	522,6	394,7	127,9	75,5	24,5
	5	327,2	299,4	27,8	91,5	8,5
	10	157,5	128,5	29,0	81,6	18,4
	20	155,5	149,9	5,6	96,4	3,6
Punta Madrid (19°00'S)	1	806,4	799,6	6,8	99,2	0,8
	5	147,8	146,4	1,4	99,1	0,9
	10	274,1	268,4	5,7	97,9	2,1
	20	51,2	49,7	1,5	97,0	3,0
Chucumata (20°30'S)	1	419,0	413,5	5,5	98,7	1,3
	5	302,7	301,5	1,2	99,6	0,4
	10	25,5	24,8	0,7	97,1	2,9
	20	5,2	3,8	1,4	73,6	26,4
Chipana (21°20'S)	1	237,4	231,5	5,8	97,5	2,5
	5	383,7	382,6	1,1	99,7	0,3
	10	248,2	247,4	0,8	99,7	0,3
	20	109,8	109,1	0,7	99,4	0,6
Copaca (22°20'S)	1	376,9	375,3	1,6	99,6	0,4
	5	66,8	65,4	1,4	97,9	2,1
	10	1,3	1,2	0,1	89,4	10,6
	20	6,8	6,4	0,4	94,1	5,9
Mejillones (23°00'S)	1	268,6	260,1	8,5	96,8	3,2
	5	128,4	124,1	4,3	96,7	3,3
	10	154,1	153,3	0,7	99,5	0,5
	20	25,6	25,3	0,3	98,9	1,1

Tabla 2. Abundancia máxima (ABMAX) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de las especies y géneros de diatomeas que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017. *Ccompressus*: *Chaetoceros compressus*, *Gstriata*: *Guinardia striata*,

Ldanicus: *Leptocylindrus danicus*, *Tnitzschioides*: *Thalassionema nitzschioides*, *Tminuscula*: *Thalassiosira minúscula*.

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 (%)**
Ccompressus			244,8	21,8	13,2	0,8	268,0	37,2	102,0	23,8		
Gstriata											267,6	31,7
Ldanicus							99,6	9,3	206,4	32,6	322,4	45,0
Tnitzschioides			184,8	15,5	727,2	93,6	139,0	4,7				
Tminuscula	940,8	65,8	268,0	12,9			142,8	8,2				
APORTE TOTAL		**65,8**		**50,2**		**94,4**		**59,5**		**56,4**		**76,7**

Tabla 3. 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 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017. *Cfurca*: *Ceratium furca*, *Pgracile*: *Prorocentrum gracile*, Atecados: *Gymnodinium* sp. y *Gyrodinium* sp., Silicoflagelados: *Dictyocha fibula* y *Distephanus speculum*.

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	24,8	10,5	1,2	4,1	2,2	9,1	2,0	13,4			1,6	8,1
Pgracile	161,2	73,0	12,0	30,5								
Atecados			2,4	12,1	2,9	28,5	1,0	23,1	1,8	50,3	5,6	39,5
Silicoflagelados			5,2	14,2	4,8	21,5						
APORTE TOTAL		**83,5**		**60,9**		**59,1**		**36,4**		**50,3**		**47,7**

Tabla 4. Valores integrados, entre la superficie y los 25 m de profundidad, de biomasa fitoplanctónica (BF) (µg Cl-a/m^3) y feopigmentos (FEOP) (µg/m^3) entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	BF (µg Cl-a/m^3)	FEOP (µg/m^3)
Arica (18°25'S)	1	13,8	8,3
	5	17,4	16,6
	10	3,8	2,2
	20	2,2	1,2
Punta Madrid (19°00'S)	1	31,0	28,9
	5	2,9	1,5
	10	3,1	1,3
	20	2,4	1,2
Chucumata (20°30'S)	1	5,1	2,2
	5	2,8	1,3
	10	1,7	1,4
	20	0,5	0,4
Chipana (21°20'S)	1	9,8	7,2
	5	6,2	2,6
	10	2,4	1,8
	20	0,8	0,5
Copaca (22°20'S)	1	4,1	2,0
	5	0,4	0,1
	10	0,3	0,1
	20	0,1	0,1
Mejillones (23°00'S)	1	3,7	2,7
	5	3,0	1,7
	10	2,0	0,8
	20	1,6	0,8

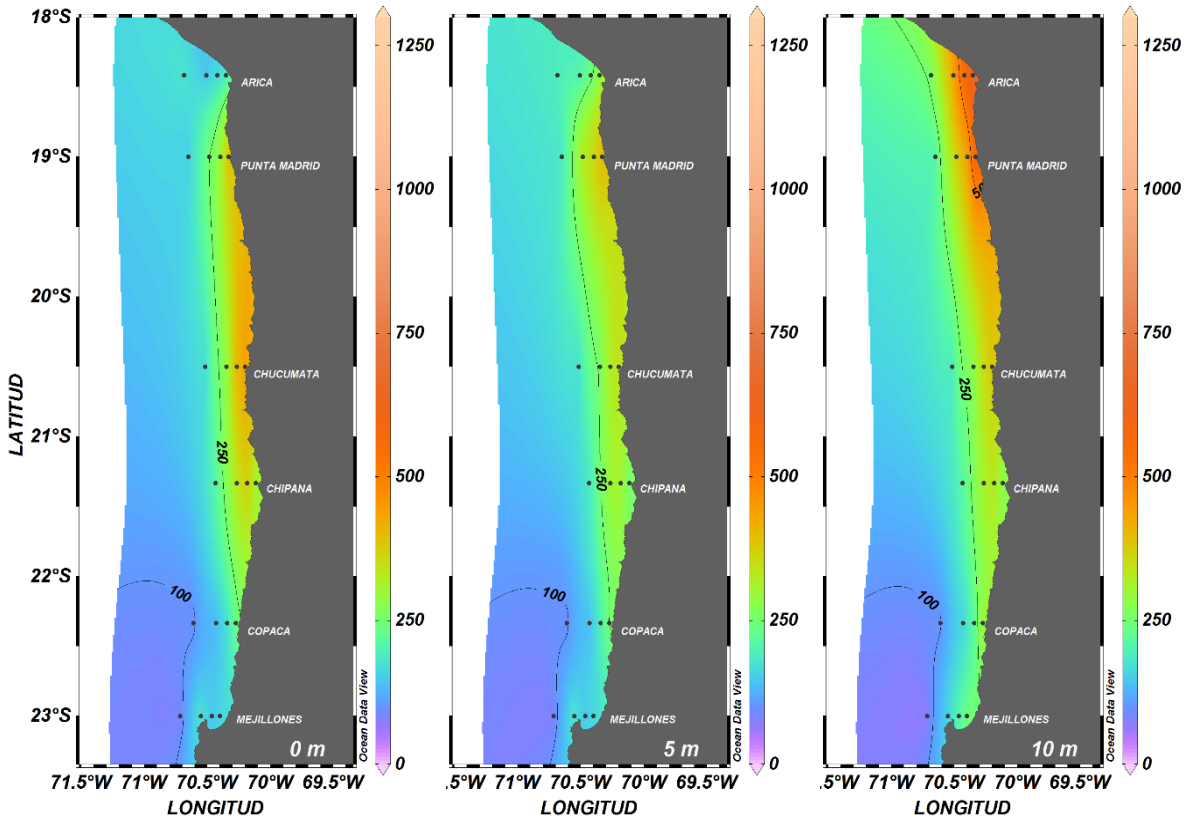


Figura 5. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

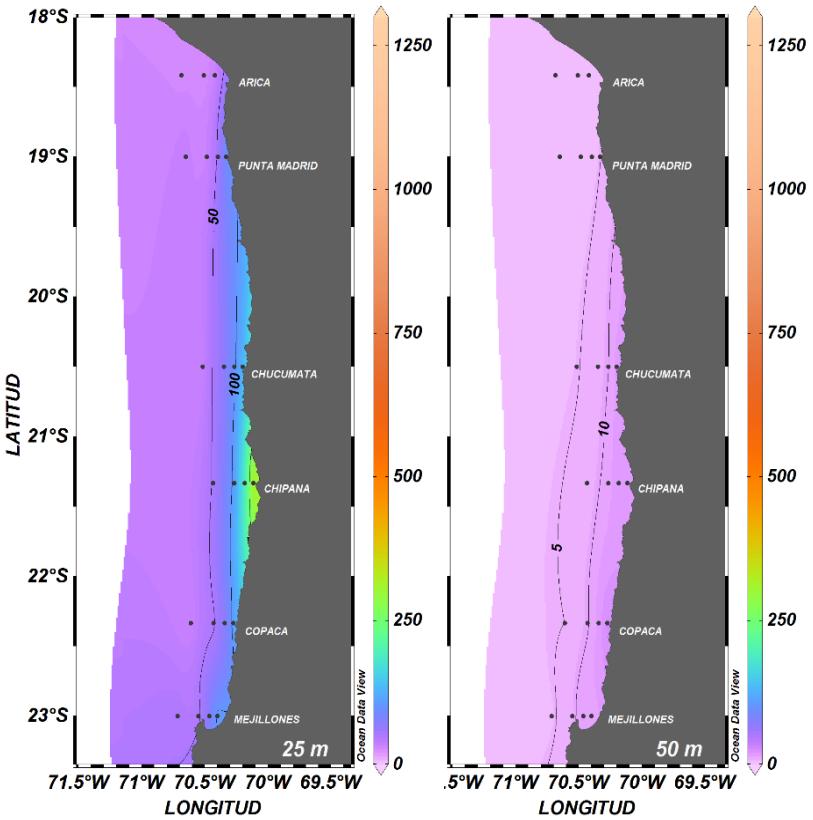


Figura 6. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

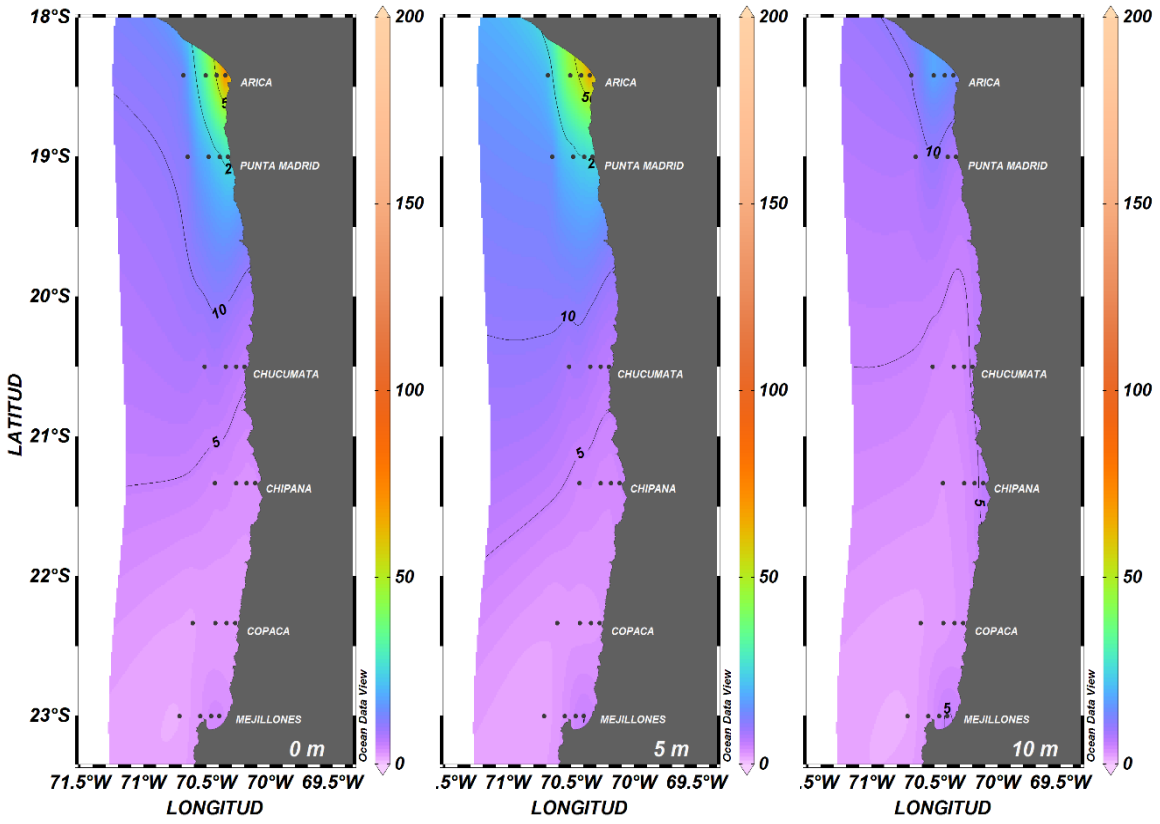


Figura 7. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

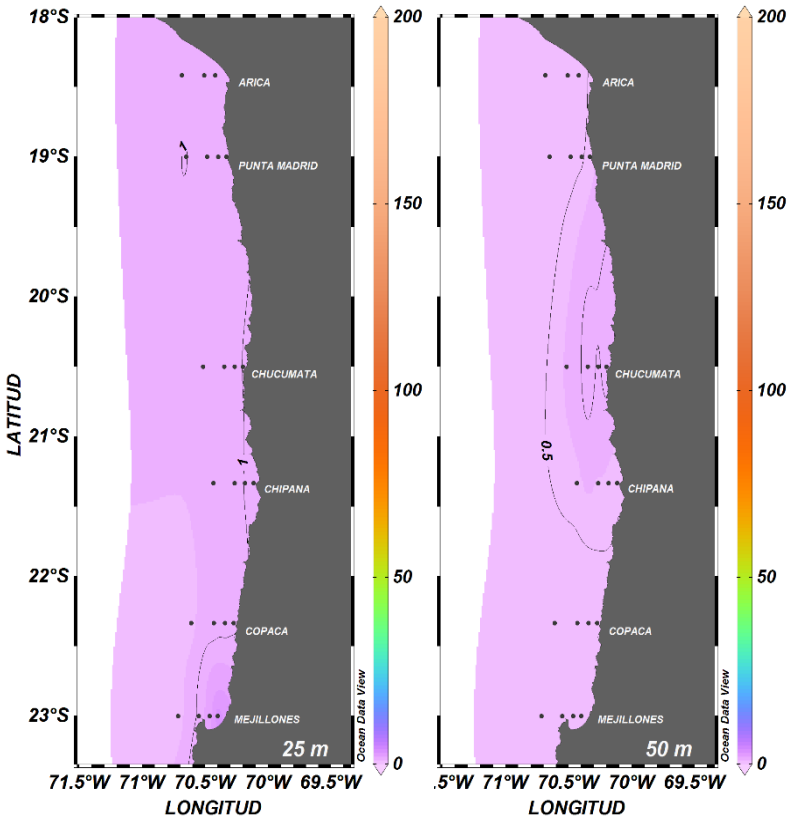


Figura 8. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

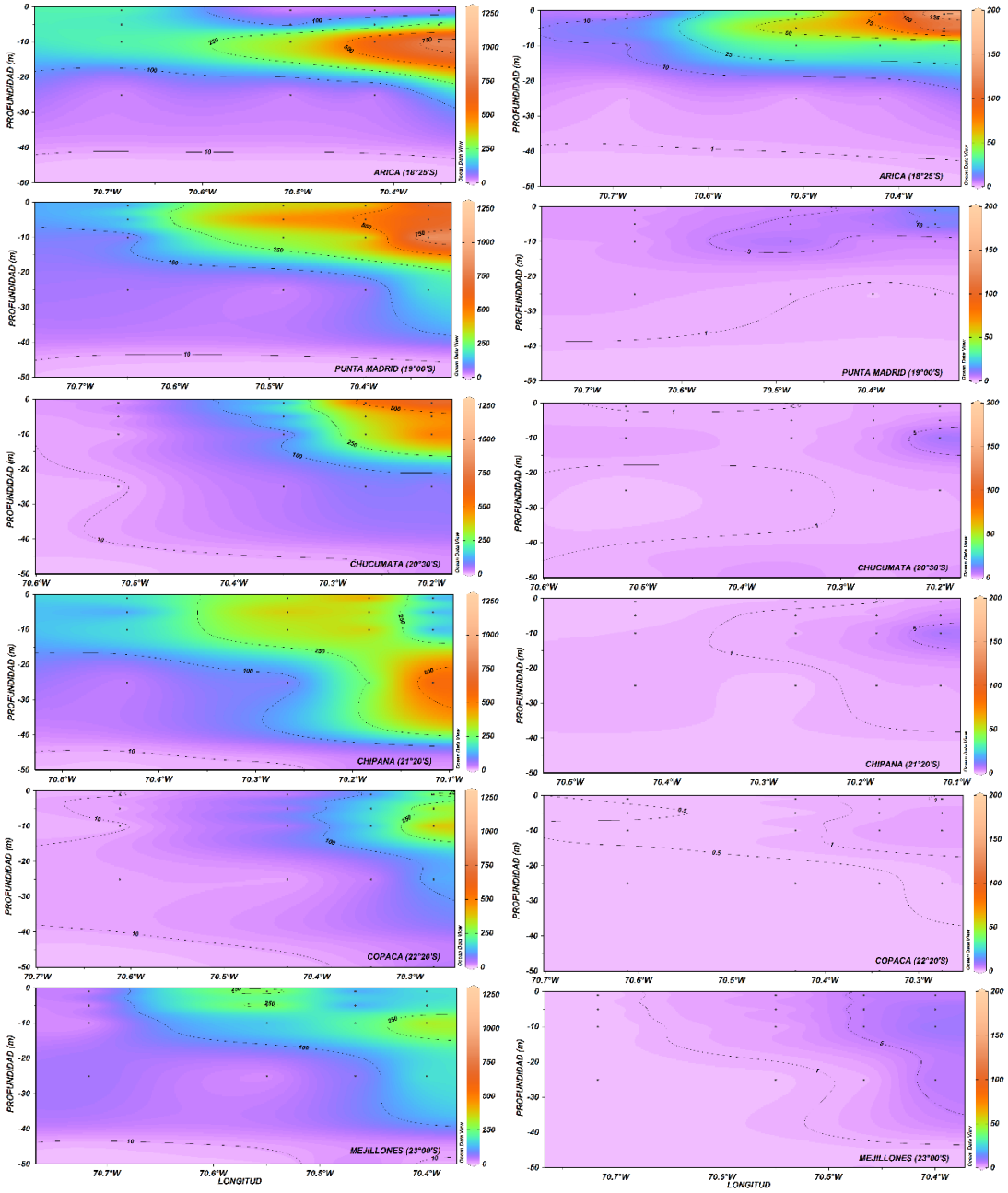


Figura 9. Secciones verticales de la abundancia (cél/mL) de diatomeas (panel-izquierdo) y microflagelados (panel-derecho), entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

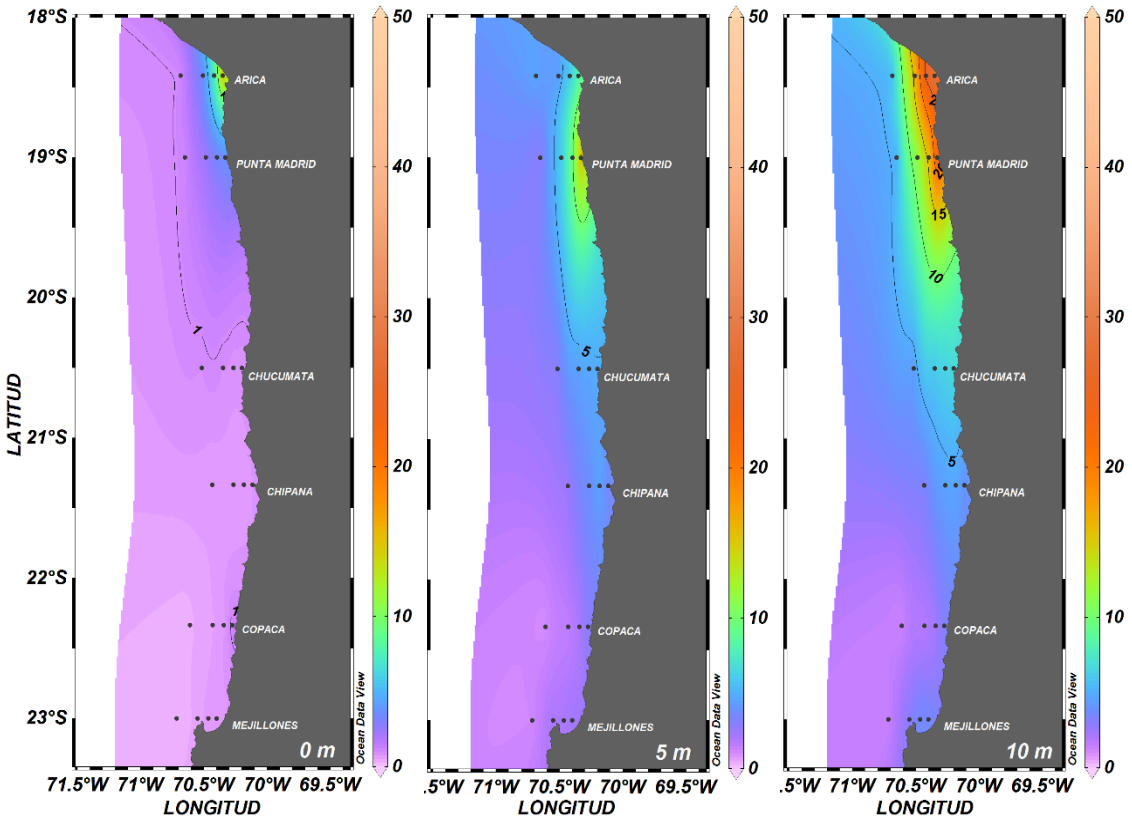


Figura 10. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

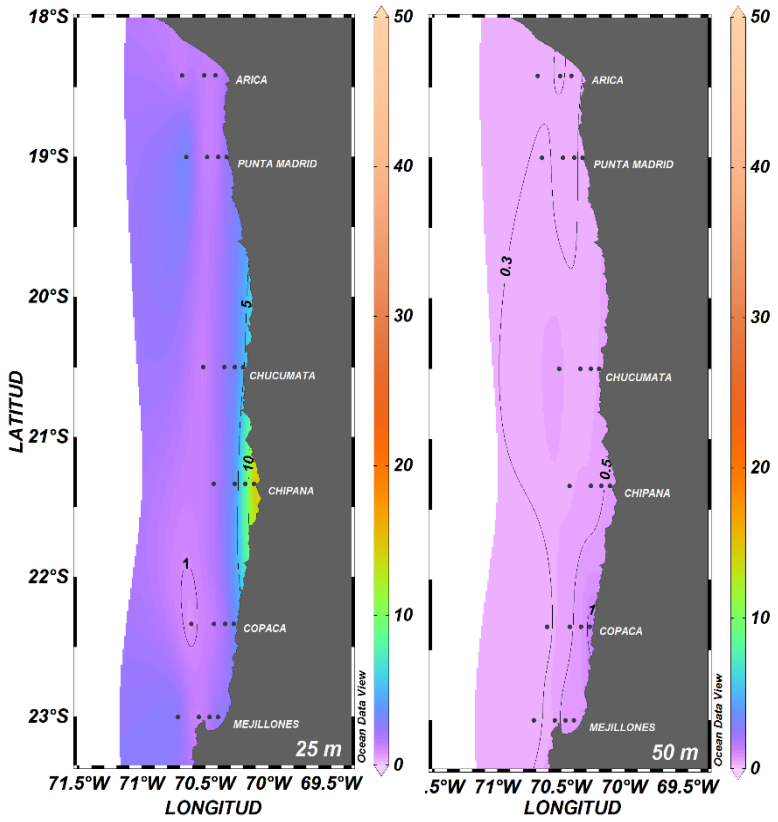


Figura 11. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

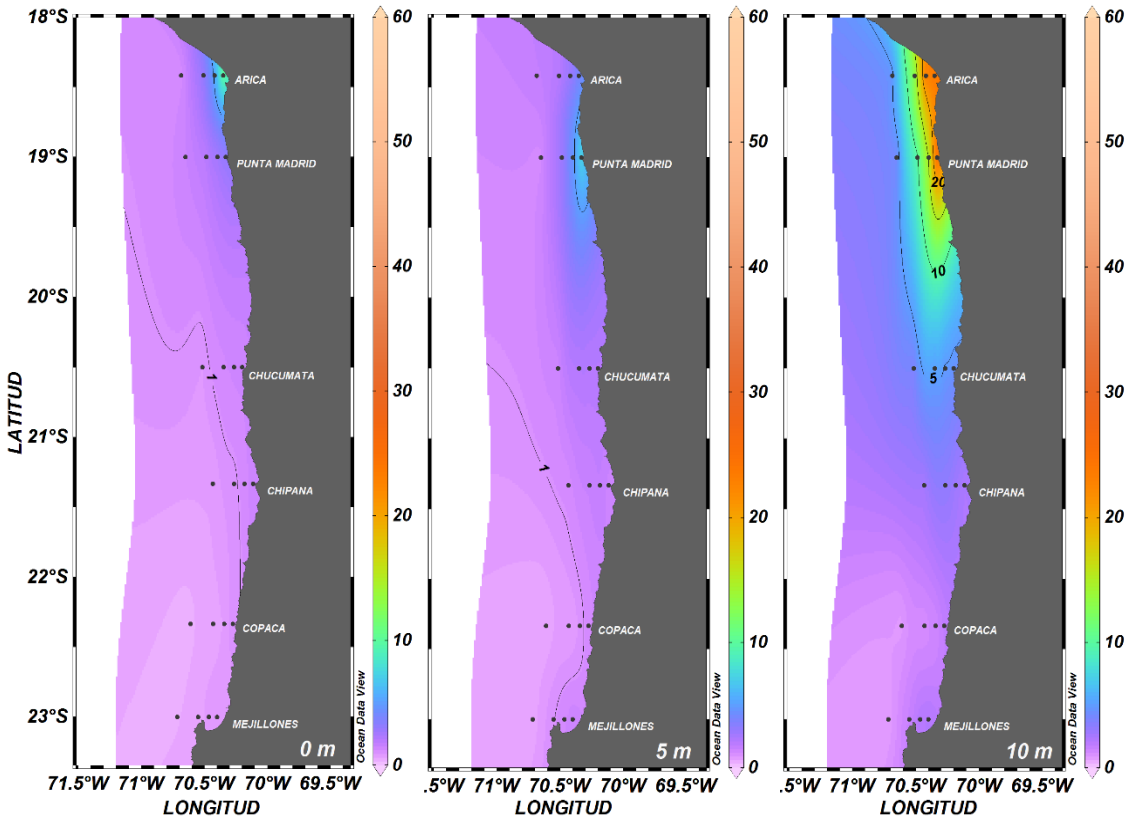


Figura 12. Distribución horizontal de feopigmentos (µg/L) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

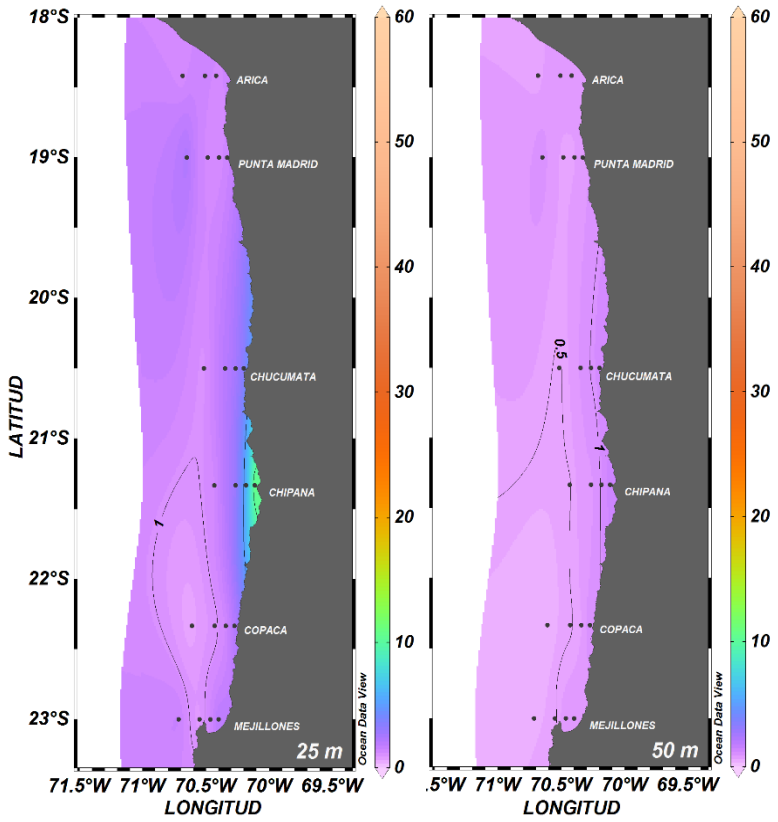


Figura 13. Distribución horizontal de feopigmentos (µg/L) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

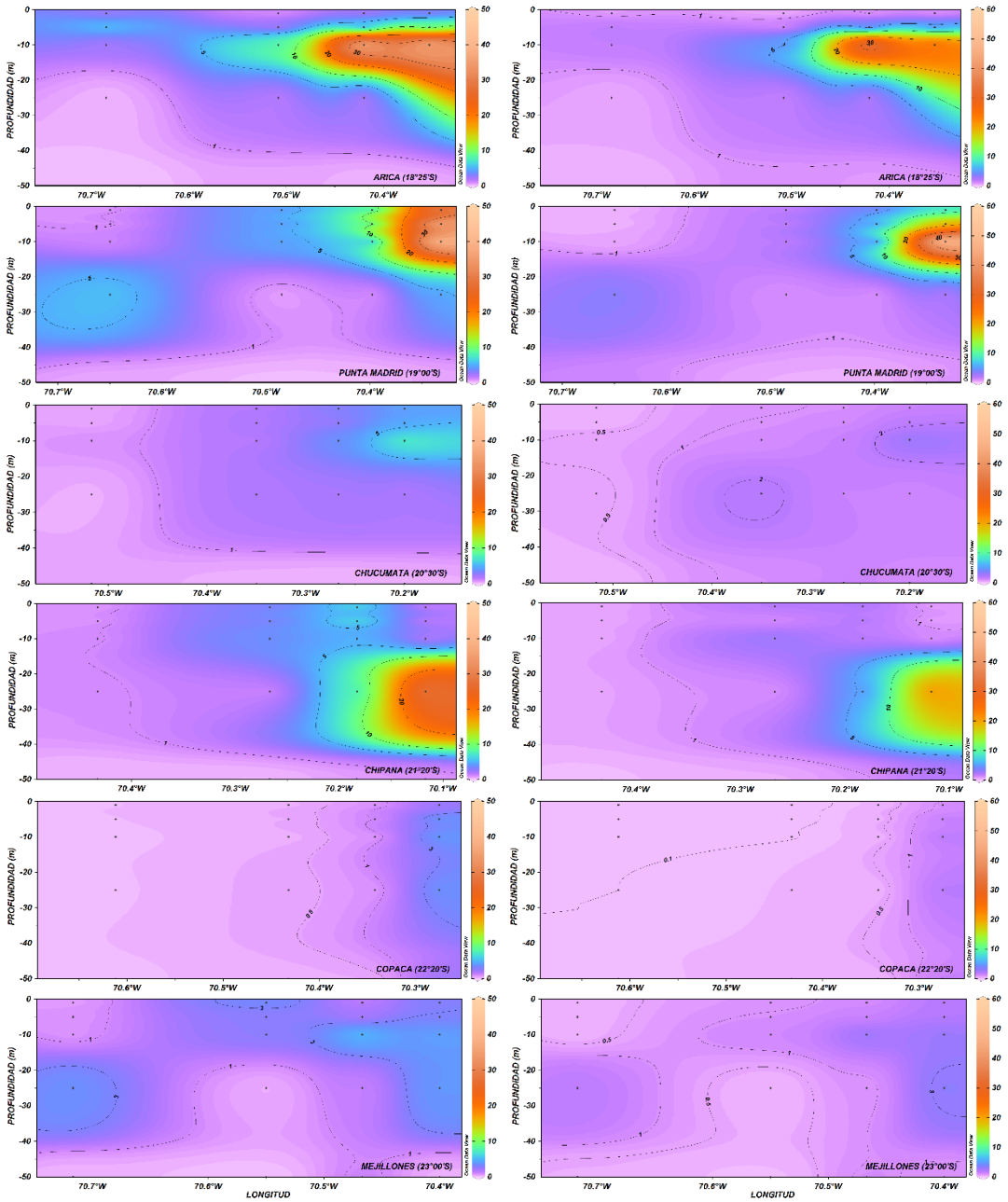


Figura 14. Secciones verticales de biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) (panel izquierdo) y feopigmentos (µg/L) (panel derecho), entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

Zooplancton

La abundancia total de zooplancton fluctuó entre 30,3 y 491,3 ind/10 m^2. En toda el área se registró un predominio de valores superiores a 100 ind/10 m^2, distribuidos entre 1 y 40 mn de la costa (Tabla 5). El grupo más abundante fue Copepoda, con un máximo de 401,4 ind/10 m^2 y un aporte porcentual al total que varió entre 66,9 y 89,4%. Siguieron en abundancia las larvas de anélidos que exhibieron un máximo de 107,2 ind/10 m^2. Otros grupos con abundancias máximas superiores a 10 ind/10 m^2 fueron las apendicularias, misidáceos y salpas (Tabla 6).

Tabla 5. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m^2) entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m^2)
Arica (18°25'S)	1	373,8
	5	181,7
	10	441,3
	20	110,3
	40	275,2
Punta Madrid (19°00'S)	1	481,5
	5	117,4
	10	30,3
	20	182,6
	40	46,5
Chucumata (20°30'S)	1	304,0
	5	341,2
	10	154,0
	20	88,9
	40	175,7
Chipana 21°20'S	1	181,2
	5	356,6
	10	102,1
	20	121,0
	40	82,9
Copaca (22°20'S)	1	491,3
	5	161,9
	10	107,0
	20	106,0
	40	73,5
Mejillones (23°00'S)	1	61,6
	5	458,5
	10	84,9
	20	98,5
	40	62,2

Tabla 6. 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 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017. DC: distancia de la costa (mn). App: Appendicularia, LAnn: larvas de Annelida, Mysci: Myscidacea, Sal: Salpas, OG: Otros grupos.

LOCALIDAD	DC (mn)	COP	App	LAnn	Mysci	Sal	OG	AP-COP (%)
Arica (18°25'S)	1	313,1	6,7	12,3	16,6	21,5	3,6	83,8
	5	155,9	1,6	2,3	5,2	13,5	3,2	85,8
	10	302,1	12,7	73,6	9,7	24,9	18,2	68,5
	20	97,4	1,7	4,5	0,9	5,3	0,5	88,3
	40	244,1	7,0	9,7	4,3	9,3	0,8	88,7
Punta Madrid (19°00'S)	1	322,3	15,6	107,2	10,2	16,1	10,0	66,9
	5	98,3	4,2	12,2	0,7	1,4	0,7	83,8
	10	21,8	1,9	4,8	0,4	0,6	0,8	72,0
	20	159,8	4,5	5,8	3,3	6,0	3,1	87,5
	40	39,7	0,4	3,4	0,8	1,5	0,7	85,4
Chucumata (20°30'S)	1	269,2	2,2	9,0	9,1	12,5	1,9	88,6
	5	245,2	14,1	26,5	12,9	35,5	7,0	71,9
	10	122,9	2,2	19,3	1,9	0,6	7,1	79,8
	20	72,4	1,3	6,7	1,3	1,0	6,2	81,5
	40	138,0	3,9	13,1	2,9	3,1	14,7	78,6
Chipana (21°20'S)	1	162,1	2,4	5,9	4,3	5,7	0,9	89,4
	5	271,7	3,7	48,8	10,1	9,4	12,8	76,2
	10	78,4	2,9	7,5	1,9	1,6	9,9	76,7
	20	98,5	3,0	7,2	2,5	0,7	9,1	81,4
	40	63,6	3,8	5,8	2,4	2,6	4,6	76,7
Copaca (22°20'S)	1	379,8	11,3	46,2	19,0	5,0	29,9	77,3
	5	137,5	2,8	11,3	2,9	1,0	6,3	84,9
	10	86,9	2,3	5,8	3,5	1,8	6,8	81,2
	20	78,6	4,9	9,7	1,6	2,1	9,1	74,2
		56,7	1,6	6,0	1,8	1,1	6,3	77,1
Mejillones (23°00'S)	1	53,2	0,9	3,6	1,5	1,4	1,0	86,4
	5	401,4	4,7	23,2	15,2	9,5	4,5	87,5
	10	61,7	4,0	6,5	4,1	1,5	7,1	72,7
	20	76,7	4,4	8,1	2,2	0,3	6,8	77,8
	40	45,8	2,1	6,6	3,1	0,8	3,9	73,6

El espectro de tamaño del zooplancton fluctuó entre 0,25 y 9,75 mm. La categoría 1,25-1,75 mm concentró a la mayoría de los grupos (Tabla 7), pero la mayor abundancia estuvo en el rango 0,25-0,75 mm.

La abundancia de individuos entre con tamaños entre 0,25 y 0,75 mm fluctuó entre 28,7 y 455,1 ind/10 m^2, y el grupo Copepoda realizó aportes porcentuales que variaron entre 56,1 y 89,0%. En el rango 1,25-1,75 mm se registró un máximo de 131,7 ind/10 m^2 y las otras categorías escasamente superaron los 5 ind/10 m^2 (Tabla 8).

Tabla 7. Abundancia relativa de los grupos zooplanctónicos por rango de tamaño (mm) entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

GRUPOS	**RANGOS DE TAMAÑO (mm)**			
	0,25-0,75	**1,25-1,75**	**2,25-2,75**	**3,25-9,75**
Anfipodos	1,5	11,3	4,7	1,2
Annelida		1,4	1,3	0,6
Appendicularia	129,3	5,2		
Copepoda	2,2	9,1	3,1	3,1
Cnidaria	4421,9	196,4	10,2	1,3
Ctenoforos	2,1	11,8	9,1	4,4
Chaetognata	1,2	3,1	2,4	3,1
Eufausiacea			0,8	5,1
Larvas Annelida	474,5	37,5		
Megalopas		4,9	4,4	0,8
Mysidacea	59,4	94,5	2,2	0,2
Salpas	160,5	36,4	0,7	
Sifonoforos	2,9	32,2	19,0	12,6
Stomatopoda		6,3	7,3	1,7
Zoeas	5,4	12,8	3,9	0,8

Tabla 8. Abundancia zooplanctónica (ind/10 m^2) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual de Copepoda (AP-COP) (%) a la categoría 0,25-0,75 mm, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre 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	2,25-2,75	3,25-9,75	0,25-0,75
Arica (18°25'S)	1	357,7	13,5	1,1	0,2	86,9
	5	174,6	5,5	0,7		88,8
	10	400,7	27,8	6,8	2,3	73,8
	20	108,9	0,9	0,1		89,0
	40	267,1	5,2	0,3	0,3	89,6
Punta Madrid (19°00'S)	1	455,1	18,1	3,5	2,6	69,8
	5	115,0	0,8		0,3	84,2
	10	28,7	0,8	0,1	0,4	74,2
	20	175,8	4,4	1,0	0,6	90,2
	40	44,6	1,4	0,3		88,2
Chucumata (20°30'S)	1	295,5	6,4	0,8		90,5
	5	321,0	16,4	1,9	0,4	75,8
	10	121,5	28,0	2,0	2,4	84,4
	20	75,5	10,2	1,7	0,9	88,2
	40	151,4	17,6	4,8	1,5	88,2
Chipana (21°20'S)	1	176,3	3,8	0,4	0,1	91,2
	5	316,3	27,8	6,8	3,0	81,5
	10	77,7	18,2	3,8	1,7	84,6
	20	102,7	12,9	3,5	1,6	90,1
	40	73,6	7,2	1,2	0,7	82,8
Copaca (22°20'S)	1	343,3	131,7	10,1	6,2	84,5
	5	147,2	10,8	1,8	1,5	89,5
	10	92,7	10,2	2,7	0,9	89,0
	20	92,6	9,5	2,6	0,7	81,9
	40	61,9	8,9	1,4	1,2	86,0
Mejillones (23°00'S)	1	59,3	1,8	0,2	0,2	88,9
	5	439,6	14,9	2,1	0,9	90,5
	10	63,8	16,4	2,8	1,5	83,8
	20	77,8	15,7	2,9	1,8	86,3
	40	43,1	16,2	1,6	0,8	80,5

La distribución horizontal de la abundancia total del zooplancton mostró la presencia de valores superiores a 200 ind/10 m^2 en toda la franja entre 1 y 10 mn de la costa y la máxima concentración (491,3 ind/10 m^2) se localizó en Copaca (22°20'S) a 1 mn. Máximos secundarios (>400 ind/10 m^2) se registraron también en Arica (18°00'S), punta Madrid (19°00'S), Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S), donde, además de Copepoda, las larvas de anélidos realizaron aporte importantes. En Arica (18°25'S) abundancias sobre 200 ind/10 m^2 se observaron a 40 mn, mientras que en las otras localidades se mantuvieron por sobre los 50 ind/10 m^2 (Figura 15A).

Dado el aporte del grupo Copepoda, la distribución de la abundancia de este grupo exhibió un patrón similar, con valores sobre los 150 ind/10 m^2 ocupando la franja entre 1 y 10 mn de la costa. Sin embargo, la concentración máxima (401,4 ind/10 m^2) no coincidió con el máximo principal del zooplancton total, localizándose en Mejillones (23°00'S) a 5 mn de la costa. Entre 20 y 40 mn y entre Arica (18°00'S) y Chucumata (20°30'S), se observaron abundancias superiores a 100 ind/10 m^2 (Figura 15B).

De igual manera, la distribución de la abundancia del rango de tamaño entre 0,25-0,75 mm presentó máximas superiores a 400 ind/10 m^2 en Arica (18°00'S), punta Madrid (19°00'S) y Mejillones (23°00'S), y el máximo de 455,1 ind/10 m^2 se asoció, además de con una importante abundancia de copépodos (317,9 ind/10 m^2), con la concentración máxima de las larvas de anélidos (107,2 ind/10 m^2) (Figura 16A). Por otra parte, los copépodos pertenecientes a esta categoría, exhibieron un máximo de 397,7 ind/10 m^2 que se registró en Mejillones (23°00'S) a 5 mn, coincidiendo con el máximo del grupo (Figura 16B).

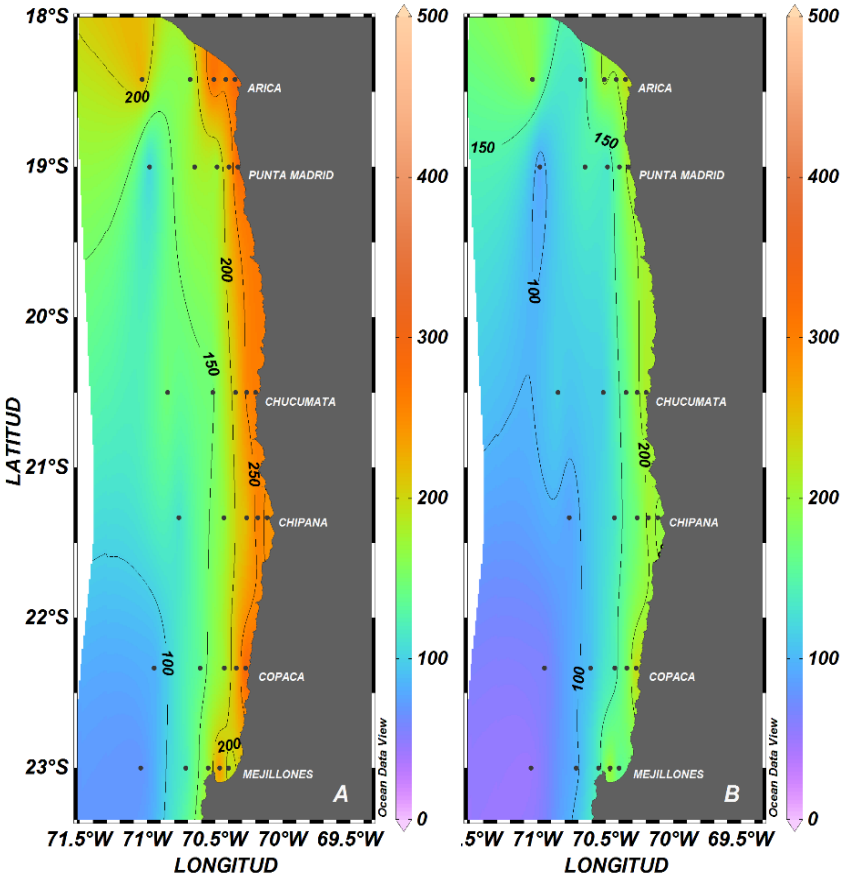


Figura 15.
Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

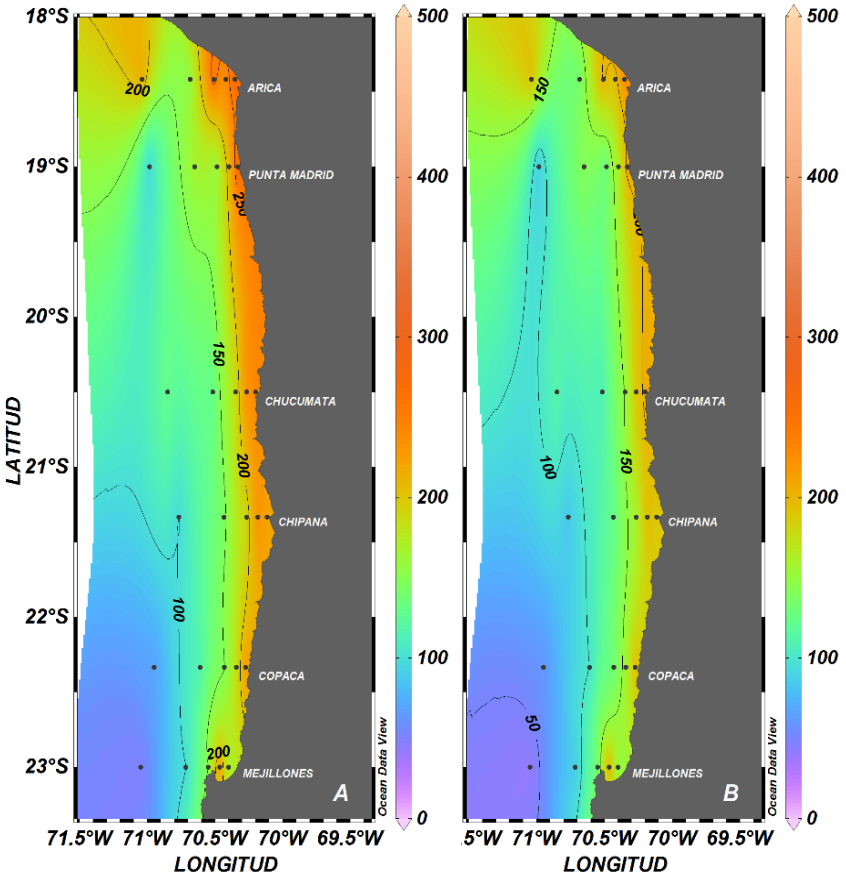


Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m^2) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda pertenecientes al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

Ictioplancton

Se registró un total de 31.215 huevos/10 m^2 y 4-011 larvas/10 m^2. El aporte de huevos y larvas de *Engraulis ringens* fue de un 86,5 y 33,6% respectivamente, y el 0,4% correspondió a huevos de *Sardinops sagax* detectados en Mejillones (23°00'S) (Tabla 9).

Las larvas de anchoveta se encontraron en estado yolk-sac y pre-flexión. La abundancia del estado yolk-sac fue de 795 larvas/10 m^2, lo que representó el 58,9% de la densidad total de larvas de la especie y el 19,8% del total de larvas. En estado de pre-flexión se registró un total de 554 larvas /10 m^2 (Tabla 9).

En todas las localidades, en un total de 16 estaciones, se detectaron estadios tempranos de *Engraulis ringens*, distribuidos entre la costa y las 40 mn (Figura 17).

Altas densidades de huevos (>1.000 huevos/10 m^2) se registraron en Arica (18°25'S), Chipana (21°20'S), Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S), entre 1 y 5 mn de la costa. El máximo principal (9.347 huevos/10 m^2) se detectó en Copaca (22°20'S) a 1 mn, y uno secundario de 6.530 huevos/10 m^2 en Chipana (21°20'S) a 5 mn. Hacia Mejillones (23°00'S) las densidades disminuyeron a valores cercanos a 2.500 huevos/10 m^2 y en Arica (18°25'S) una concentración de 1.386 huevos/10 m^2 se observó a 20 mn de la costa (Figura 18).

Larvas en estado yolk-sac se encontraron distribuidas principalmente desde Chipana (21°20'S) al sur. Máximos superiores a 200 larvas/10 m^2 se detectaron a 1 mn en Chipana (21°20'S) y Copaca (22°20'S). En Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) se registraron a 20 mn de la costa densidades de 92 y 144 larvas/10 m^2 respectivamente (Figura 19-panel izquierdo). El estado pre-flexión se detectó en Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), a 10 y 20 mn, con densidades que no superaron las 300 larvas/10 m^2 (Figura 19-panel derecho).

Los huevos de otras especies se distribuyeron desde Chucumata (20°30'S) al sur y entre 1 y 40 mn de la costa, observándose un gradiente latitudinal caracterizado por el aumento de las densidades que alcanzaron un máximo de 1.309 huevos/10 m^2 frente a Mejillones (23°00'S) a 40 mn (Figura 20-panel izquierdo). Las larvas mostraron una distribución similar y sus densidades se mantuvieron relativamente homogéneas, con un máximo de 891 larvas/10 m^2 localizado a 40 mn frente a Chucumata (20°30'S) (Figura 20-panel derecho).

Tabla 9. Abundancia de huevos y larvas (N°/10 m^2) de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017. 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***			***Sardinops sagax***	**Otras Especies**		**Totales**	
		Huevos	**Larvas Y-S**	**Larvas Pre-F**	**Huevos**	**Huevos**	**Larvas**	**Huevos**	**Larvas**
Arica (18°25'S)	1	1.600						1600	
	5								
	10	362						362	
	20	1.386	92					1.386	92
	40	151						151	
Punta Madrid (19°00'S)	1	49						49	
	5								
	10	754						754	
	20	80						80	
	40								
Chucumata (20°30'S)	1								
	5								
	10			135					135
	20					476		476	
	40					99	891	99	891
Chipana (21°20'S)	1	534	229					534	229
	5	6.530						6.530	
	10	755		275				755	275
	20					140	350	140	350
	40					121	363	121	363
Copaca (22°20'S)	1	9.347	329				124	9.347	453
	5					326	217	326	217
	10					55	55	55	55
	20					177	59	177	59
	40					61		61	
Mejillones (23°00'S)	1	2.875						2.875	
	5	2.310				113		2.423	
	10	250			125		250	376	250
	20		144	144		1.228	289	1.228	578
	40					1.309	62	1.309	62
TOTAL		26.985	795	554	125	4.104	2.661	31.215	4.011
AP (%)		86,5	19,8	13,8	0,4	13,1	66,4		

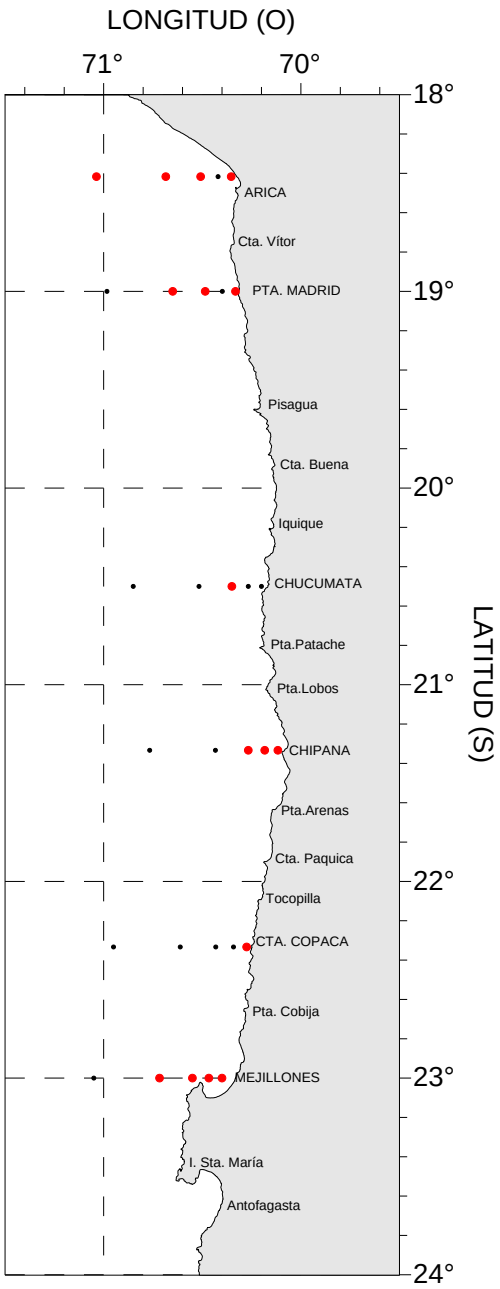


Figura 17. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

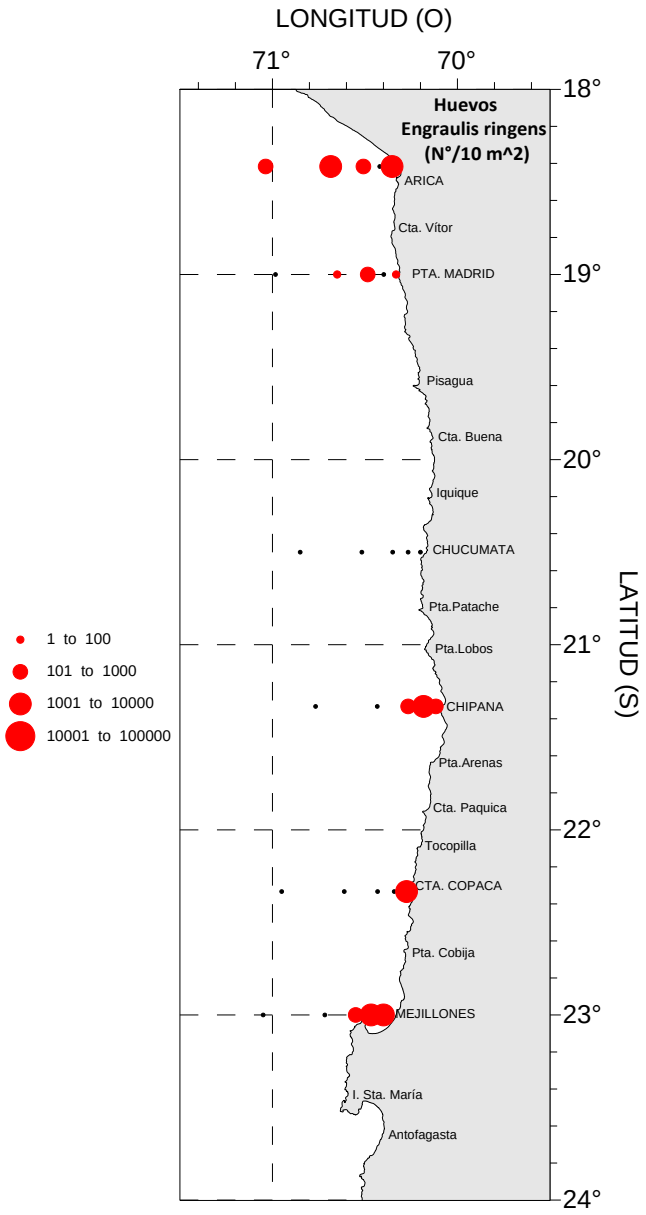


Figura 18. Distribución de la abundancia de huevos (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

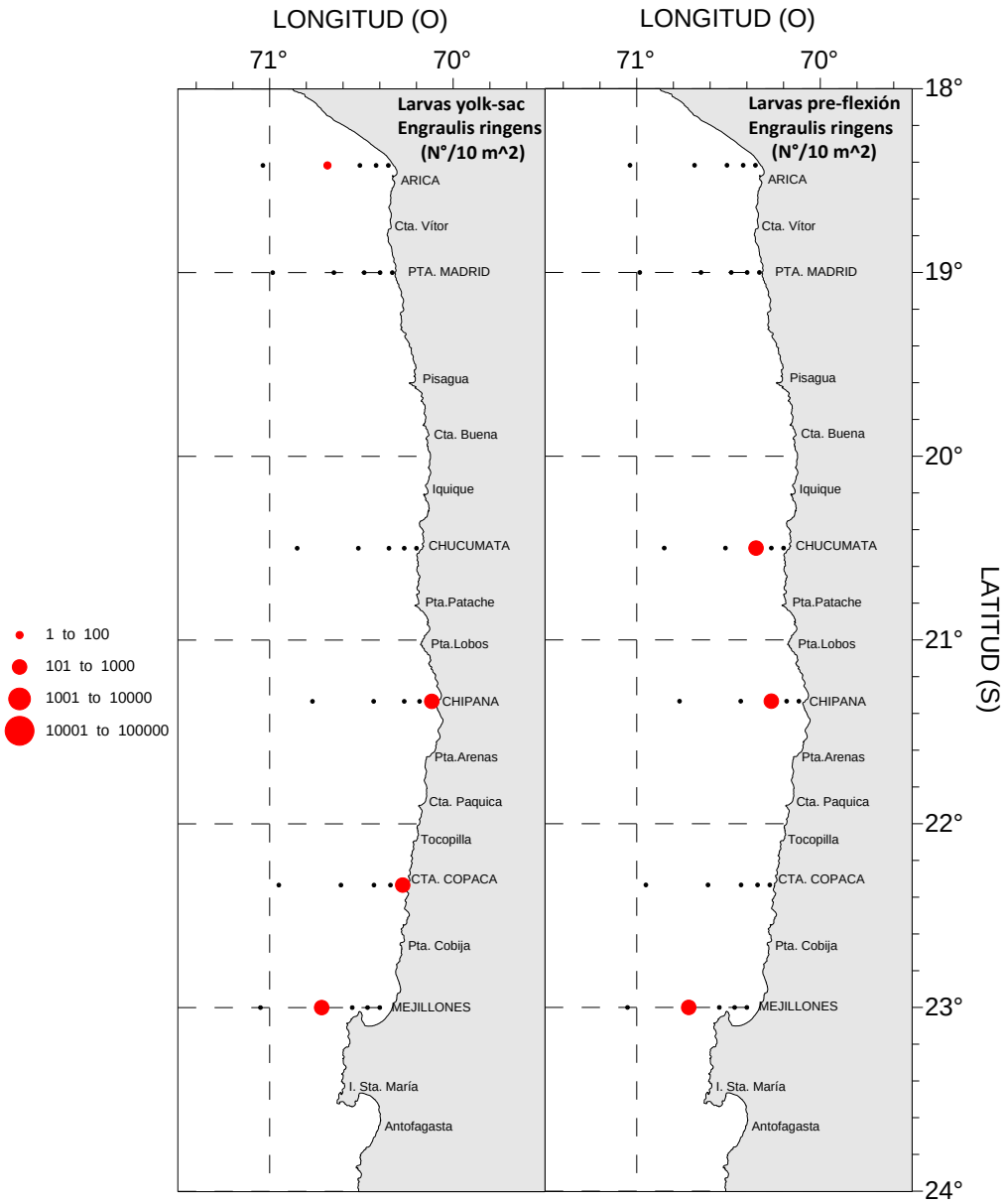


Figura 19. Distribución de la abundancia de larvas (N°/10 m^2) de *Engraulis ringens* en estado yolk-sac (panel izquierdo) y pre-flexión (panel derecho) entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

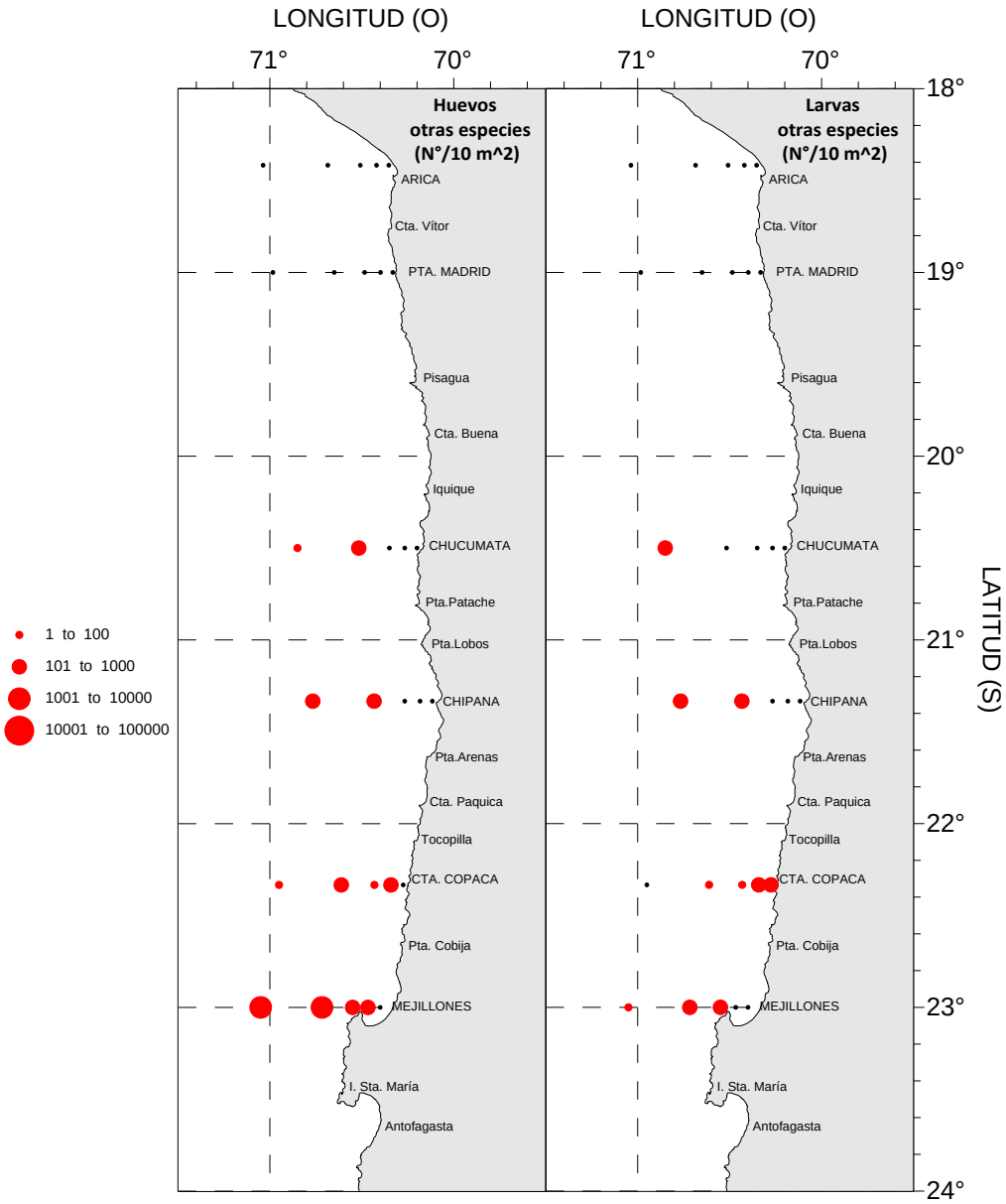


Figura 20. Distribución horizontal de la abundancia (N°/10 m^2) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

Análisis Estadístico

Los resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta y las variables físicas, químicas y biológicas, reveló asociaciones significativas sólo con la abundancia de diatomeas ($r=0,41$, $p<0,01$) (Figura 21), mientras que la abundancia de las larvas no se correlacionó con ningún parámetro (Figura 22).

El análisis comparativo global reveló diferencias estadísticamente significativas entre la temperatura y la salinidad registradas durante las primaveras de 2014, 2015, 2016 y 2017, y entre la abundancia de flagelados, zooplancton y larvas de anchoveta (Tabla 10). Las diferencias en la temperatura se debieron a que la primavera de 2017 y la de 2014 fueron más frías que la de 2015 y 2016, mientras que en el caso de la salinidad el año 2015 registró las salinidades más altas de todos los periodos analizados (Tabla 11, Figura 23). Dentro del componente biológico, el año 2016 continúa arrojando diferencias significativas por las menores abundancias de microflagelados y zooplancton, y la densidad de larvas de anchoveta exhibió menores concentraciones en 2017 respecto de 2014 (Tabla 11, Figuras 24).

El análisis por área mostró que en Arica (18°25'S-19°00'S) las variables salinidad y abundancia de fitoplancton mostraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 12). Las diferencias en la salinidad coincidieron con el análisis global, en el caso de las diatomeas, el año 2015 destacó por sus bajos valores respecto de 2016 y 2017, y los flagelados exhibieron en 2016 abundancias significativamente más altas a las de las otras primaveras (Tabla 13, Figura 25). En el área Chipana (20°30'S-21°20'S) se observaron diferencias entre la temperatura, salinidad y densidad de huevos y larvas de anchoveta (Tabla 12). La temperatura registrada en 2017 fue menor a la de 2015, y la salinidad de la primavera de 2015 resultó ser mayor a la de 2016. Las diferencias entre la abundancia de huevos se debieron a los altos valores registrados en 2014 respecto de 2015 y 2016, lo mismo en el caso de la densidad de larvas (Tabla 14, Figura 26). En el área Mejillones (22°20'S-23°00'S) la temperatura y la salinidad mostraron diferencias estadísticamente significativas (Tabla 12). Estas diferencias se debieron a que la temperatura de 2016 fue más alta respecto de 2014, y la salinidad en 2015 respecto de 2016 y 2017 (Tabla 15, Figuras 27).

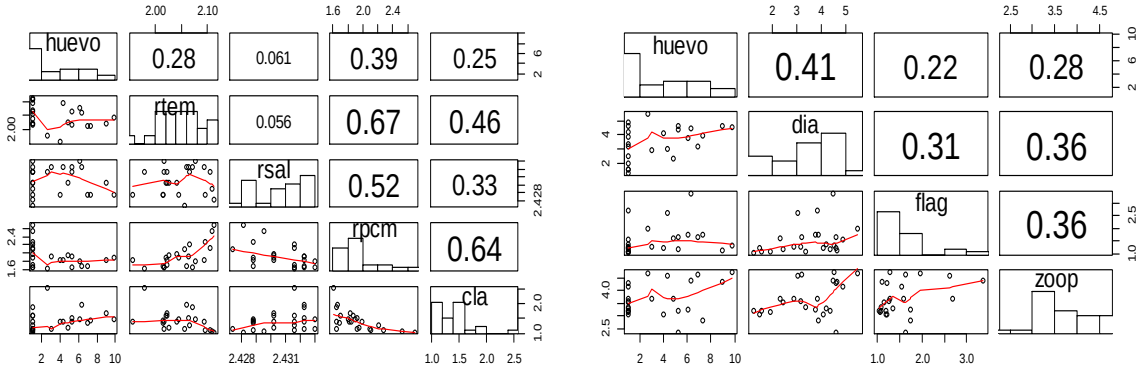


Figura 21. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevo) (N°/10 m^2) y las variables temperatura (rtem) (°C), salinidad (rsal) (ups), profundidad de la isoterma de 15°C (rpcm) (m), biomasa fitoplanctónica (cla) (µg Cl-a/m^3), abundancia de diatomeas (diato) (cél/m^3), abundancia de microflagelados (flag) (cél/m^3) y abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m^2), registradas entre el 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

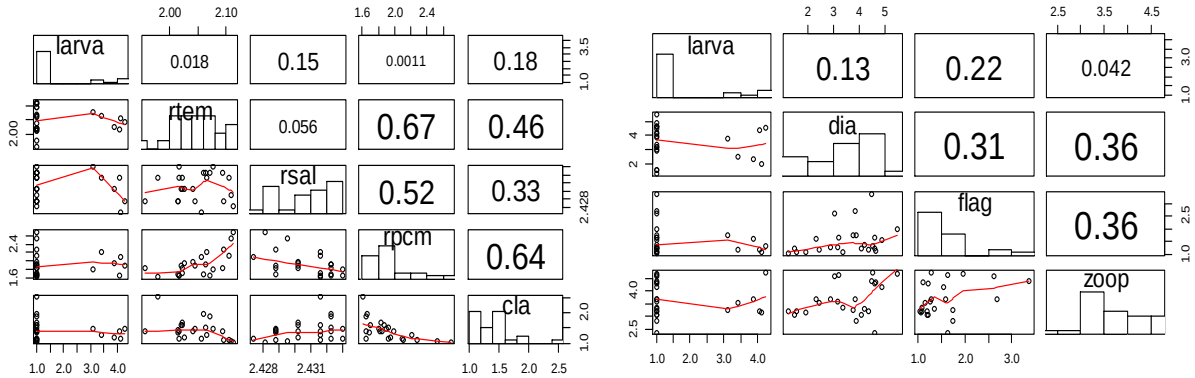


Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larva) (N°/10 m^2) y las variables temperatura (rtem) (°C), salinidad (rsal) (ups), profundidad de la isoterma de 15°C (rpcm) (m), biomasa fitoplanctónica (cla) (µg Cl-a/m^3), abundancia de diatomeas (diato) (cél/m^3), abundancia de microflagelados (flag) (cél/m^3) y abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m^2), registradas entre el 28 de noviembre y 02 de diciembre de 2017.

Tabla 10. Resultados del análisis de varianza aplicado en forma global a las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017. NS: nivel de significancia.

Variable	F	Valor *p*	NS
TEMPERATURA (°C)	6,54	0,000	0,000
SALINIDAD (ups)	16,96	0,000	0,000
MICROFLAGELADOS (cél/mL)	3,51	0,02	<0,05
ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	3,46	0,02	<0,05
LARVAS (larvas/10 m^2)	2,88	0,04	<0,05

Tabla 11. Resultados del test de Tukey para el análisis comparativo global realizado a las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017.

Variable	Campañas	Diferencia	Lím. inf.	Lím. sup.	Valor *p*
TEMPERATURA (°C)	2014-2015	1.229	0.009	2.448	0.048
	2014-2016	1.466	0.247	2.685	0.012
	2017-2015	-1.427	-2.664	-0.190	0.017
	2017-2016	-1.664	-2.901	-0.427	0.004
SALINIDAD (ups)	2015-2014	0.219	0.083	0.356	0.000
	2015-2016	-0.353	-0.489	-0.216	0.000
	2015-2017	-0.273	-0.410	-0.136	0.000
MICROFLAGELADOS (cél/mL)	2016-2014	0.689	0.060	1.319	0.026
	2016-2015	0.648	0.019	1.278	0.041
ZOOPLANCTON (N°/10 m^2)	2016-2014	-0.496	-0.963	-0.028	0.033
LARVAS (N°/10 m^2)	2017-2014	-1.531	-3.130	0.068	0.050

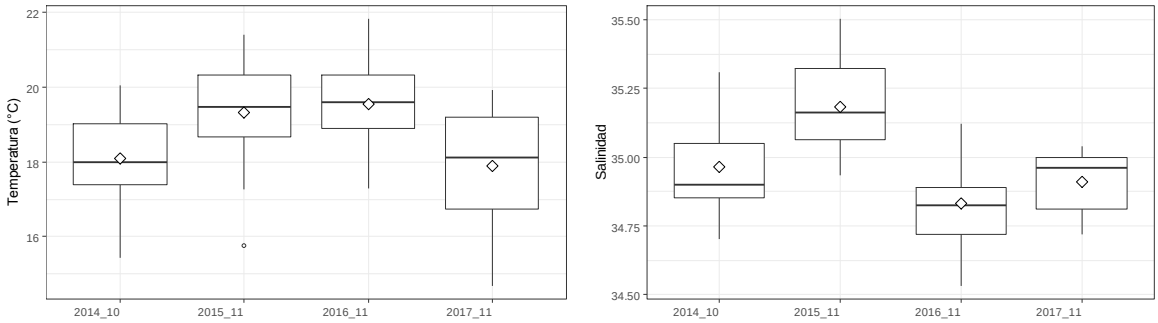


Figura 23. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información global de temperatura (°C) y de salinidad (ups) registrada durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017.

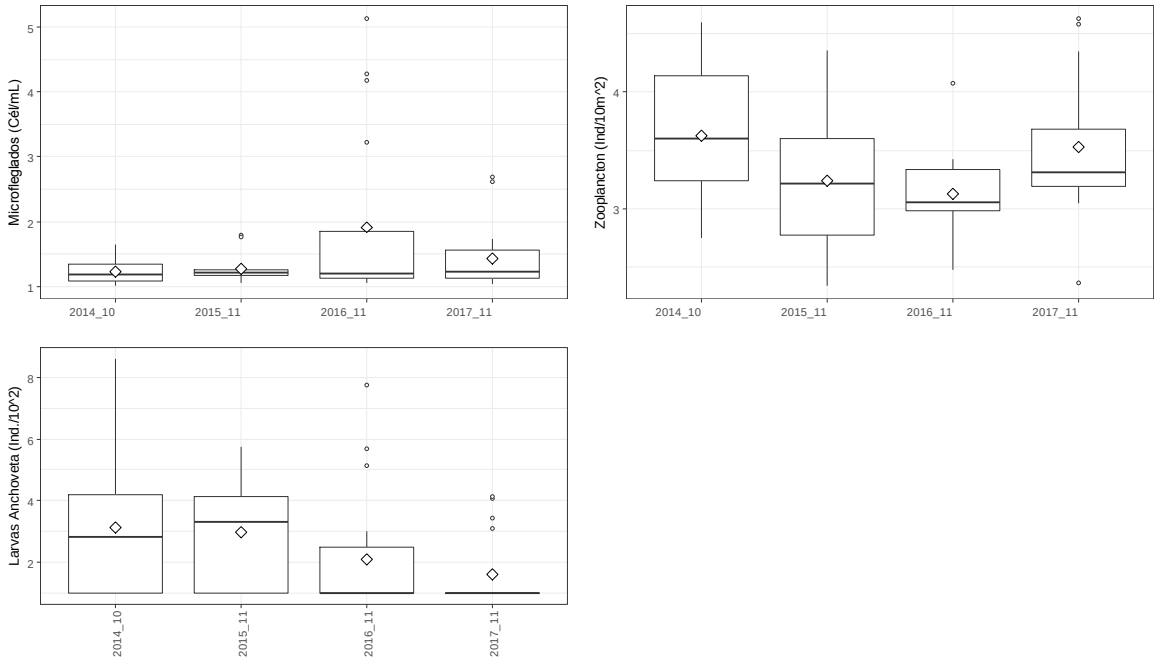


Figura 24. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información global de abundancia de microflagelados (cél/mL), de zooplancton (N°/10 m^2) y de larvas de anchoveta (N°/10 m^2) registrada durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017.

Tabla 12. Resultados del análisis de varianza aplicado por área a las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017. NS: nivel de significancia.

AREA	Variable	F	Valor *p*	NS
ARICA (18°25'S-19°00'S)	SALINIDAD (ups)	13,67	0,000	0,000
	DIATOMEAS (cél/mL)	4,38	0,016	<0,05
	MICROFLAGELADOS (cél/mL)	8,21	0,000	0,000
CHIPANA (20°30'S-21°20'S)	TEMPERATURA (°C)	4,20	0,019	<0,05
	SALINIDAD (ups)	5,91	0,004	<0,01
	HUEVOS (N°/10 m^2)	3,39	0,038	<0,05
	LARVAS (N°/10 m^2)	4,38	0,016	<0,05
MEJILLONES (22°20'S-23°00'S)	TEMPERATURA (°C)	3,48	0,035	<0,05
	SALINIDAD (ups)	4,39	0,016	<0,05

Tabla 13. Resultados del test de Tukey para el análisis comparativo realizado a las variables físicas, químicas y biológicas registradas en el área Arica (18°25'S-19°00') durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017.

Variable	Campañas	Diferencia	Lím. inf.	Lím. Sup.	Valor *p*
SALINIDAD (ups)	2015-2014	0.293	0.090	0.496	0.003
	2015-2016	-0.446	-0.650	-0.243	0.000
	2015-2017	-0.329	-0.532	-0.126	0.001
DIATOMEAS (cél/mL)	2015-2016	1.596	0.044	3.149	0.043
	2015-2017	1.817	0.264	3.370	0.018
MICROFLAGELADOS (cél/mL)	2016-2014	2.015	0.662	3.369	0.002
	2016-2015	2.135	0.782	3.489	0.001
	2016-2017	-1.417	-2.771	-0.064	0.038

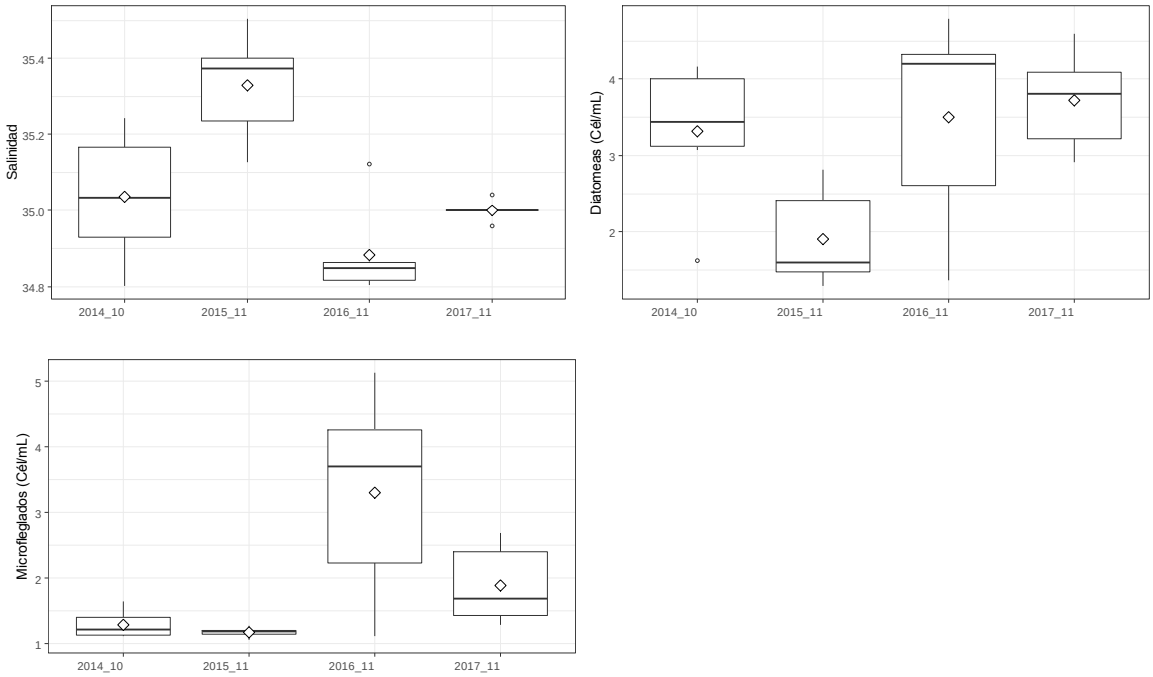


Figura 25. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de salinidad (ups) y de abundancia de diatomeas (cél/mL) y de microflagelados (cél/mL) en el área Arica (18°25'S-19°00'S) durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017.

Tabla 14. Resultados del test de Tukey para el análisis comparativo realizado a las variables físicas, químicas y biológicas registradas en el área Chipana (20°30'S-21°20') durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017.

Variable	Campañas	Diferencia	Lím. inf.	Lím. Sup.	Valor *p*
TEMPERATURA (°C)	2015-2017	-2,257	-4,201	-0,312	0,019
SALINIDAD (ups)	2015-2016	-0,372	-0,621	-0,122	0,002
HUEVOS (N°/10 m^2)	2014-2015	-3,364	-6,964	0,236	0,072
	2014-2016	-3,703	-7,303	-0,103	0,042
LARVAS (N°/10 m^2)	2014-2016	-2,775	-5,071	-0,479	0,014

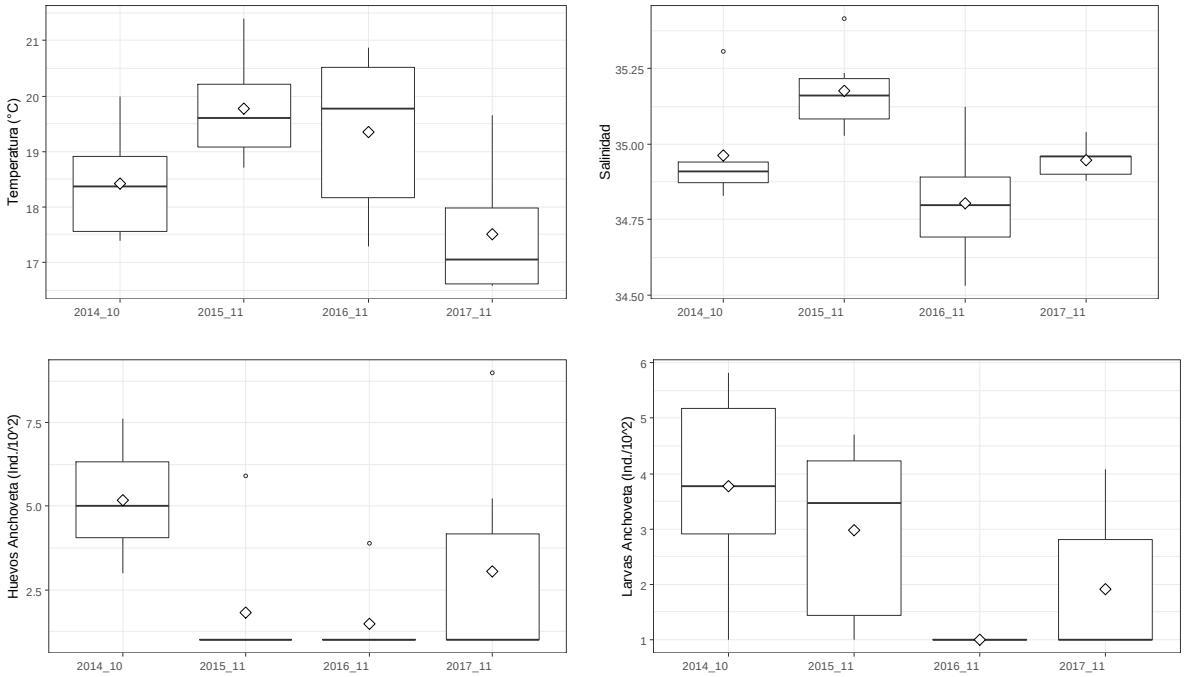


Figura 26. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de temperatura (°C), de salinidad (ups) y de abundancia (N°/10 m^2) de huevos y larvas de anchoveta registrada en el área Chipana (20°30'S-21°20'S) durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017.

Tabla 15. Resultados del test de Tukey para el análisis comparativo realizado a las variables físicas, químicas y biológicas registradas en el área Mejillones (22°20'S-23°00') durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017.

Variable	Campañas	Diferencia	Lím. inf.	Lím. Sup.	Valor *p*
TEMPERATURA (°C)	2014-2016	2,824	0,343	5,305	0,022
SALINIDAD (ups)	2015-2016	-0,240	-0,464	-0,016	0,032
	2015-2017	-0,259	-0,483	-0,036	0,019

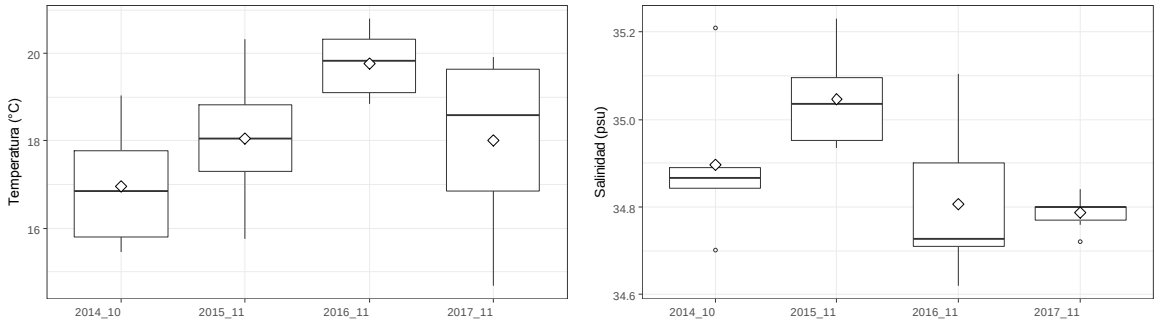


Figura 27. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de temperatura (°C) y de salinidad (ups) registrada en el área Mejillones (22°20'S-23°00'S) durante los cruceros de primavera de 2014, 2015, 2016 y 2017.

DISCUSION

Los valores de temperatura registrados durante el presente crucero mostraron un descenso respecto de las primaveras de 2015 y 2016, manteniéndose dentro de los rangos observados en 2014. Asociado a lo anterior, la salinidad, reveló la influencia del ASS en la región norte (18°25'S-19°00'S) y la zona entre las 20 y 40 mn, con una mayor presencia de aguas menos salinas (<34,9) en la costa (1-5 mn) y particularmente entre Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S). Este cuadro que se ha observado en otros periodos analizados, sugiere la presencia del ASAA y su mezcla con el AESS que asciende producto de los procesos de surgencia, los cuales se hacen más evidente en el sector de punta Angamos (23°00'S). Al respecto, los valores del TEk se mantuvieron alrededor de los 800 $m^3/s/km$, como en primaveras anteriores (Figura 28) y si se considera que la profundidad de la isoterma de 15°C se mantuvo alrededor de los 15 m en la franja costera (1-10 mn), es posible señalar que el sistema se encontró influenciado por procesos de surgencia intensos.

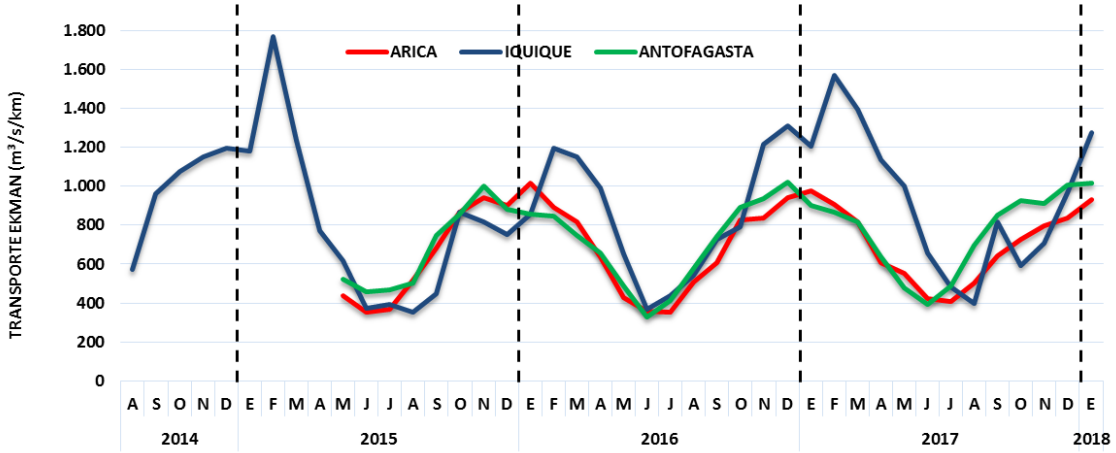


Figura 28. Transporte Ekman promedio mensual ($m^3/s/km$) en Arica, Iquique y Antofagasta, entre agosto de 2014 y agosto de 2017.

Dentro del componente fitoplanctónico, las diatomeas exhibieron abundancias propias de un periodo de primavera (>500 cél/mL), manteniendo sus concentraciones dentro de los rangos registrados en 2014 y 2016. Toda la franja costera (1-10 mn), especialmente entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), se encontró influenciada por valores altos de abundancia (>300 cél/mL) a diferencia de otros años en que los focos se restringieron principalmente al sector de Chipana (21°20'S). De igual manera, los flagelados exhibieron concentraciones altas en Arica (18°25'S), como ocurrió en 2016, dadas las condiciones favorables que se dan para este grupo en esa zona debido a la influencia del agua más cálida, propiciando la proliferación del dinoflagelado *Prorocentrum gracile*, que habitualmente genera eventos de marea roja.

La biomasa fitoplanctónica respondió con valores observados en periodos anteriores, sin mostrar diferencias estadísticamente significativas. Las máximas

concentraciones registradas en la zona norte (18°25'S-19°00'S) coincidieron principalmente con la presencia de las altas abundancias de diatomeas, sin embargo es interesante considerar el importante aporte de los feopigmentos, cuyos valores máximos se asociaron a la presencia de las diatomeas, lo que sugiere una condición fisiológica deteriorada (que no se observó microscópicamente) o una alta presión de pastoreo.

Relacionado a lo anterior, la abundancia zooplanctónica registrada en esta primavera, si bien no mostró diferencias significativas, fue mayor a la de 2015 y 2016. Valores superiores a 200 ind/10 m^2 se registraron en toda la franja costera (1-10 mn) asociados al fitoplancton, especialmente en Arica (18°25'S). Por otra parte, se mantuvo el dominio del grupo Copepoda perteneciente al rango de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm, quien exhibió, como consecuencia, una distribución similar a la del fitoplancton, sugiriendo presencia por disponibilidad de alimento para el grupo.

Los estadios tempranos de anchoveta, como en cruceros anteriores, mostraron sus mayores densidades en las localidades descritas como áreas de desove y retención (Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S)). Sólo la abundancia de las larvas mostró diferencias significativas, las cuales en el análisis global se debieron a una disminución en 2017 respecto de 2014. Por otra parte, el análisis de correlación solamente reveló una asociación entre la abundancia de huevos y la concentración de diatomeas, lo que se ha observado en todos los cruceros excepto en el periodo cálido entre la primavera de 2015 y el otoño de 2016 y en otoño de 2017.

Las condiciones oceanográficas registradas, físicas y biológicas, sugieren que el sistema se encontró bajo una condición de primavera normal, influenciado por eventos de surgencia, que promovieron el desarrollo del componente plantónico (fitoplancton y zooplancton), y por el enfriamiento que se ha sostenido en el Pacífico ecuatorial centro-oriental desde septiembre de 2017, producto del desarrollo de un débil evento La Niña (Boletines CIIFEN, diciembre de 2017).

LITERATURA CITADA

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

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

CIIFEN. 2017. Boletín diciembre 2017. www.ciifen.org.

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

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

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

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

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

Smith PE & SL Richardson. 1979. Técnicas estándar para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. FAO, Doc. Téc. Pesca, (175): 107 pp.

UNESCO. 1978. Phytoplankton Manual. A Sournia (ed.). Monogr. Oceanogr. Methodology, 6, 337 pp.

Villafañe VE & FMH Reid. 1995. Métodos de microscopía para la cuantificación del fitoplancton. En: Manual de Métodos Ficológicos. K Alveal, ME Ferrario, EC Oliveira y E Sar (eds.). Universidad de Concepción, Concepción. 169-185 pp.