



# UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

# **UNAP-CIAM**

**INFORME FINAL** 

**CRUCERO BIO-OCEANOGRAFICO DE OTOÑO** 

**JULIO 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
ETAPA I: Chucumata (20°30'S) – Mejillones (23°00'S)	10
Condiciones físicas y químicas	10
Estructura de la Comunidad Planctónica	19
Fitoplancton	19
Zooplancton	27
Ictioplancton	32
Análisis Estadístico	
ETAPA II: Arica (18°25'S) – Punta Madrid (19°00'S)	40
Condiciones físicas y químicas	40
Estructura de la Comunidad Planctónica	47
Fitoplancton	47
Zooplancton	54
Ictioplancton	59
Análisis Estadístico	63
DISCUSION	67
LITERATURA CITADA	69

#### **RESUMEN EJECUTIVO**

En el área comprendida entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) se llevó a cabo el crucero de otoño de 2016, con el objetivo de evaluar las condiciones oceanográficas y explorar la influencia de las variables físicas, químicas y biológicas sobre los primeros estadios de vida del recurso anchoveta (*Engraulis ringens*). El área entre Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S) se muestreó entre los días 21 y 23 de abril, y entre el 16 y 17 de mayo se trabajó en la zona entre Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00').

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, 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 físico-químicas y biológicas registradas durante el otoño de 2015 y de 2016.

Los valores de temperatura y salinidad indicaron el predominio del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en la franja costera (1-10 mn) y en el estrato entre la superficie y los 30 m de profundidad. Se detectó la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) restringida al sector entre las 20 mn y 40 mn de la costa y a los primeros 10 m de profundidad. En la costa (1-10 mn) predominaron valores de oxígeno disuelto inferiores a 4,0 mL O<sub>2</sub>/L, indicando el ascenso del AESS, registrándose el límite superior de la ZMO alrededor de los 20 m en el sector norte del área (Arica-punta Madrid). 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 1.000 cél/mL. Las mayores concentraciones (>500,0 cél/mL) se registraron en Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), donde el principal aporte porcentual (>80%) lo realizó el grupo de las diatomeas. En Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S) se registró la presencia inusual de un dinoflagelado que alcanzó concentraciones superiores a 300,0 cél/mL. Los valores y distribución de la biomasa fitoplanctónica fueron coincidentes con las abundancias de ambos grupos fitoplanctónicos, observándose la máxima concentración (62,5  $\mu$ g Cl-a/L) en Chipana (21°20'S). El zooplancton presentó abundancias superiores a 100 ind/10 m<sup>2</sup> a lo largo de toda la franja costera (1-10 mn). Las mayores concentraciones se registraron en la zona norte del área, donde se observaron máximas de 359,2 y 301,0 ind/10 m<sup>2</sup>, frente a

Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S) respectivamente. El grupo dominante fue Copepoda, en el rango de tamaño entre 0,25 y 075 mm, realizando un aporte porcentual promedio a la abundancia total, superior al 70%.

Se registraron densidades de huevos de anchoveta superiores a 3.000 huevos/10 m<sup>2</sup> entre Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S), con un máximo de 24.308 huevos/10 m<sup>2</sup> localizado a 1 mn frente a punta Madrid (19°00'S). Entre el componente larval, predominaron las larvas en estado yolk-sac restringidas a 1 mn de la costa. La abundancia máxima se observó en Arica (18°25'S) y fue de 535 larvas/10 m<sup>2</sup>. En el resto del área escasamente superó las 100 larvas/10 m<sup>2</sup>. El análisis de correlación mostró una asociación entre ambos estadios con la abundancia y biomasa del componente biológico.

El análisis comparativo reveló diferencias significativas con el otoño de 2015, las cuales se debieron a la disminución en los valores de salinidad, y al incremento de la abundancia de los flagelados y del zooplancton durante el otoño de 2016.

La condición ambiental imperante se correspondió con un periodo de declinación de El Niño 2015-2016. Los procesos de surgencia tuvieron mayor influencia en la zona costera (1-10 mn), evidenciados por las menores temperaturas, la dominancia del AESS y la somera posición del LS\_ZMO. El componente planctónico, principalmente las diatomeas, se vio favorecido con el escenario ambiental, mostrando un incremento en sus concentraciones. El zooplancton también exhibió un aumento en sus abundancias debido a las mayores densidades del grupo Copepoda, lo cual pudo ser una respuesta a una mayor disponibilidad de alimento, generándose diferencias significativas con el otoño de 2015.

Entre los estadios tempranos de anchoveta, los huevos tuvieron baja presencia, especialmente en el área entre Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S), donde no fueron detectados. Entre el componente larval, destacó la presencia del estado yolk-sac, lo que sugiere el hallazgo de un desove reciente, con estadios prontos a entrar en su etapa de primera alimentación. Esto puede dar significado a la correlación que se encontró entre la abundancia de las larvas con las abundancias y biomasas de componente planctónico. El análisis de varianza no reveló diferencias con otoño de 2015, lo que indica que las abundancias se mantuvieron dentro de los mismos rangos informados para esa época.

# 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 octavo crucero bio-oceanográfico estacional, correspondiente al crucero de otoño 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 de otoño de 2016.

#### Muestreo y registro de información

El crucero de otoño se llevó a cabo en dos etapas. La primera comprendió el muestreo en las grillas Centro y Sur y se efectuó entre los días 21 y 23 de abril a bordo del PAM "Eperva 64". La segunda etapa, en la cual se cubrió la grilla Norte, se realizó entre los días 16 y 17 de mayo en el PAM "Reñaca". Ambas embarcaciones fueron proporcionadas por la empresa pesquera CORPESCA S.A.

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

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

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

donde  $\phi$  es el índice de la anomalía de la energía potencial (PEA) (J/m<sup>3</sup>), *H* es la altura de la columna de agua (m),  $\rho$  es la densidad en cualquier profundidad *z*,  $\rho m$  es la densidad promedio de la columna de agua, y *g* es la aceleración gravitacional (9,8 m/s<sup>2</sup>). 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<sup>3</sup>/s/km), f es el parámetro de Coriolis y  $\tau_y$  es el estrés del viento (Bowden, 1983). Se trabajó con la información de vientos horarios de los periodos 18-26 de abril y 14-21 de mayo de 2016, proporcionada por la Dirección Meteorológica de Chile.

#### Análisis estadístico

Utilizando la plataforma R, se examinó la influencia de las variables físicas, químicas y biológicas 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 otoño de 2015. La comparación se realizó por áreas, las cuales estuvieron representadas por las grillas de muestreo, denominándose área Arica a la grilla norte (Arica-Punta Madrid), área Chipana a la grilla centro (Chucumata- Chipana) y área Mejillones a la grilla sur (Copaca-Mejillones).

#### RESULTADOS

## ETAPA I: Chucumata (20°30'S) – Mejillones (23°00'S)

#### Condiciones físicas y químicas

#### Temperatura

La temperatura fluctuó entre un mínimo de 11,4°C y un máximo de 22,3°C. A nivel superficial, la distribución mostró toda la banda costera (1-10 mn) influenciada por temperaturas inferiores a 18°C, observándose dos focos de valores mínimos localizados a 1 mn de la costa frente a Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S), donde se registraron 15,6°C y 16,2°C respectivamente. La temperatura se incrementó costa afuera alcanzando valores cercanos a 20°C a 40 mn, registrándose el máximo (22,3°C) frente a Chucumata (20°30'S) (Figura 2A).

En la componente vertical todas las secciones mostraron el ascenso de las isolíneas en la zona costera (1 mn). Esto fue más evidente en Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S), donde se registraron temperaturas cercanas a 16°C en superficie. Temperaturas superiores a 18°C se encontraron restringidas a los primeros 25 m de profundidad desde las 10 mn hacia las estaciones más alejadas de la costa, observándose en general una columna de agua influenciada por valores inferiores a 14°C desde los 60 m (Figura 3-panel izquierdo). Acorde con este patrón, la isoterma de 15°C presentó un hundimiento costa afuera, desde una profundidad mínima de 8 m, en Mejillones (23°00'S), hasta cerca de los 60 m de profundidad a 40 mn (Figura 6-panel izquierdo).

#### Salinidad

La salinidad varió entre 34,28 ups y 35,26 ups. En superficie se observó el dominio de valores cercanos a 34,9 ups. Sólo en Chucumata (20°30'S), entre 20 mn y 40 mn, se registraron salinidades superiores a 35,0 ups, asociadas a la presencia de aguas de mayor temperatura (>20°C), mientras que en el resto del área, estos valores se encontraron restringidos a las 40 mn. En el sector sur, se detectó la presencia de bajas salinidades (<34,8) en la forma de una intrusión que se extendió desde Mejillones (23°00'S) hasta Copaca (22°20'S), donde se detectó el mínimo superficial de 34,74 ups a 10 mn de la costa (Figura 2B).

En las secciones verticales se observó el dominio de salinidades cercanas a 34,9 ups en toda la columna de agua, con excepción de Chucumata (20°30'S) donde se registraron valores superiores a 35 ups ocupando el estrato superficial (0-20 m) entre las 20 mn y 40 mn. Entre los 50 m y 100 m de profundidad se registró la intrusión, desde la región más oceánica, de un agua de menor salinidad (<34,8) que se propagó hacia la costa y alcanzó la superficie en Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S). Esta agua presentó un mínimo de 34,28 ups frente a Copaca (22°20'S) a 15 m de profundidad (Figura 3-panel derecho).

# Densidad

La densidad (o-t) presentó valores extremos de 24,27 y 26,54. La distribución superficial mostró las mayores densidades (>25) en la franja entre 1 y 10 mn de la costa, registrándose máximas de valores 25,82 y 25,61 a 1 mn frente a Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S) respectivamente, coincidentes con el agua de menor temperatura. Entre las 20 mn y 40 mn se observaron densidades inferiores a 25, con un mínimo de 24,32 en Chucumata (20°30'S) a 40 mn (Figura 2C).

En la componente vertical, las secciones mostraron el ascenso de las isolíneas en la zona costera (1 mn), el cual fue más evidente en Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S), donde se observaron densidades superiores a 25,5 en superficie. Sólo entre las 20 mn y 40 mn el estrato entre los 0 m y 50 m estuvo influenciado por aguas con densidades inferiores a 25,5, mientras que el resto de la columna de agua se encontró dominada por valores superiores a 26 (Figura 4-panel izquierdo).

# **Oxígeno Disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto fluctuó entre 0,03 y 6,2 mL/L. La distribución superficial mostró el predominio en el área de valores cercanos a 5,0 mL O<sub>2</sub>/L. En la franja (1-5 mn) se observaron tres focos de mínima concentración (<4,0 mL O<sub>2</sub>/L), los cuales se localizaron en Chucumata (20°30'S), Copaca (22°20'S) y Mejillones (23°00'S), donde se registraron valores de 1,74, 3,67 y 3,94 mL O<sub>2</sub>/L respectivamente. En Chipana, a 1 mn, se detectó un máximo superficial que alcanzó 6,1 mL O<sub>2</sub>/L (Figura 2D).

Las secciones verticales mostraron el ascenso de las isolíneas en la zona costera (1 mn), con un estrato bien oxigenado (>4,0 mL  $O_2/L$ ) que se profundizó hacia las 40 mn donde alcanzó cerca de los 50 m de profundidad. Bajo los 100 m, las concentraciones descendieron, dominando valores iguales o inferiores a 0,5 mL  $O_2/L$  (Figura 4-panel derecho).

# **Diagramas T-S**

Los diagramas T-S revelaron la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS), Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). En el área Chipana (20°30'S-21°20'S), además de la predominancia del AESS, se observó una influencia importante del ASAA y del ASS, mientras que en el área Mejillones (22°00'S-23°00'S) el ASS tuvo baja representatividad (Figura 5).

# Profundidad del límite superior de la ZMO (LS\_ZMO)

En todas las localidades se observó un hundimiento del LS\_ZMO desde la costa hacia las 40 mn. La menor profundidad se registró en Chucumata (20°30'S) donde se detectó a 7 m a 1 mn, mientras que en las otras localidades estuvo entre los 25 m y 30 m. A 5 mn de la costa se localizó bajo los 30 m, alcanzando más de 100 m a 40 mn (Figura 6-panel derecho, Tabla 1).

# Estabilidad (PEA)

Toda la franja costera alrededor de 1 mn, y hasta 5 mn en Mejillones (23°00'S), se encontró influenciada por una alta inestabilidad, con valores del índice inferiores a 50 J/m<sup>3</sup>. El resto del área presentó alta estabilidad (Tabla 1).

# Transporte de Ekman (TEk)

El TEk reveló la ocurrencia de procesos de surgencia durante los días previos y de realización del crucero. Estos tuvieron mayor intensidad en Iquique, donde se registraron valores superiores a los 2.000 m<sup>3</sup>/s/km durante los días del muestreo, mientras que en Antofagasta estuvieron cercanos a los 1.000 m<sup>3</sup>/s/km. Al igual que en los periodos anteriores, los mayores valores (>1.000 m<sup>3</sup>/s/km) se registraron entre las 18:00 y las 20:00 horas en las dos localidades (Figura 7).



Figura 2. Distribución superficial de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups), C: Densidad ( $\sigma$ -t) y D: Oxígeno disuelto (mL/L), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.







Figura 4. Secciones verticales de Densidad ( $\sigma$ -t) (panel izquierdo) y Oxígeno Disuelto (mL/L) (panel derecho) entre los días 21 y 23 de abril de 2016. A: Chucumata (20°30'S), B: Chipana (21°20'S), C: Copaca (22°20'S), D: Mejillones (23°00'S).



Figura 5. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para las áreas Chipana (20°30'S-21°20'S) y Mejillones (22°20'S-23°00'S), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 6. Profundidad de la isoterma de 15°C (m) (panel-izquierdo) y profundidad del LS\_ZMO (m) (panel-derecho) (m), entre los días 21 y 23 de abril 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<sup>3</sup>) entre los días 21 y 23 de abril de 2016. DC: Distancia de la costa (mn), PROFCTDO: profundidad de registro del CTDO (m), PROFEST: profundidad estación (m).

		LS_ZMO	PEA	PROFCTDO	PROF-EST
LOCALIDAD	DC (mn)	(m)	(J/m³)	(m)	(m)
	1	7		60	80
Chusumata	5	41	49,8	80	111
	10	49	221,9	200	226
(20 30 3)	20	72	293,6	200	650
	40	110	357,3	200	2850
	1	27	38,2	60	75
Chinana	5	42	66,6	75	120
	10	62	155,9	150	410
(21 20 3)	20	90	257,4	200	2700
	40	102	285,9	190	2800
	1	32	47,0	80	100
Canada	5	56	164,5	200	431
	10	80	180,1	194	1200
(22 20 3)	20	83	260,6	200	1900
	40	110	267,6	197	4900
	1	27	19,1	59	100
Maillance	5	43	46,3	80	480
	10	33	62,2	86	1350
(23 00 3)	20	72	208,5	190	3200
	40	133	303,3	200	6100



Figura 7. Transporte Ekman diario (m<sup>3</sup>/s/km), en Arica, Iquique y Antofagasta, entre los días 18 y 26 de abril de 2016.

#### Estructura de la Comunidad Planctónica

#### Fitoplancton

Se identificó un total de 99 especies pertenecientes al microfitoplancton (20-200  $\mu$ m), de las cuales 64 pertenecieron al grupo de las diatomeas y 35 correspondieron a formas flageladas. En términos de distribución y abundancia los géneros de diatomeas más importantes fueron *Chaetoceros y Peudo-nitzschia*, los cuales exhibieron, en gran parte del área, concentraciones superiores a 100 cél/mL. Hubo otras especies y géneros que se registraron sólo en ciertas localidades, con abundancias y aportes porcentuales similares, permitiendo definir un gradiente de distribución de este grupo que se caracterizó por presentar las máximas abundancias en Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S). Entre los microflagelados destacaron, sólo en términos de distribución, el dinoflagelado *Ceratium furca*, los dinoflagelados atecados y silicoflagelados (Tabla 2).

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,1 y 1.012,4 cél/mL. Las concentraciones integradas entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostraron valores superiores a 400 cél/mL en Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), donde las diatomeas realizaron aportes casi del 100% a la abundancia total. Los microflagelados presentaron abundancias casi desestimables. Los nanoflagelados (2-20  $\mu$ m) presentaron concentraciones superiores a 100 cél/mL en casi toda el área, las cuales se localizaron entre 1 mn y 10 mn de la costa (Tabla 3).

La abundancia de las diatomeas se caracterizó por exhibir el mismo patrón de distribución entre la superficie y los 10 m de profundidad. Se registraron dos focos de alta concentración (>400,0 cél/mL) que se extendieron entre la costa y las 5 mn. El primero se localizó frente a Chipana (21°20'S) y alcanzó un máximo de 1.007,6 cél/mL a los 10 m de profundidad, y el otro se ubicó en Mejillones donde se registró a nivel superficial un máximo de 557,2 cél/mL. En el sector de Chucumata (20°30'S) se observó un pequeño núcleo cercano a 60,0 cél/mL a 5 m de profundidad. En toda el área la zona de las 20 mn exhibió abundancias iguales o inferiores a 10,0 cél/mL (Figura 8). A 25 m los focos costeros se mantuvieron, pero los valores máximos estuvieron cercanos a 100,0 cél/mL. En el estrato de los 50 m de profundidad predominaron concentraciones inferiores a 1,0 cél/mL (Figura 9).

La abundancia de los microflagelados también presentó la misma distribución entre la superficie y los 10 m de profundidad, observándose dos focos de alta abundancia a lo largo de la franja costera entre 1 mn y 5 mn. El primero se ubicó en Chucumata (20°30'S), con un máximo de 11,4 cél/mL a 10 m de profundidad. Éste se extendió hacia Chipana (21°20'S) pero las concentraciones descendieron a valores que no superaron las 4,0 cél/mL. El segundo foco se detectó frente a Mejillones (23°00'S) con un máximo superficial de 5,0 cél/mL. Entre las 10 mn y 20 mm predominaron en toda la zona concentraciones inferiores a 1,0 cél/mL (Figura 10). En el estrato de los 25 m de profundidad el foco del norte se mantuvo con un máximo de 2,8 cél/mL y a 50 m las abundancias fueron inferiores a 0,5 cél/mL (Figura 11).

La distribución vertical de la abundancia de las diatomeas, mostró la presencia de los máximos a nivel subsuperficial y restringidos a las primeras 10 mn de la costa. En las secciones verticales de Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S), se observó que estos núcleos de alta concentración se extendieron en profundidad, registrándose abundancias iguales o superiores a 100 cél/mL hasta los 40 m aproximadamente. El resto de la columna de agua exhibió valores cercanos a 10 cél/mL. Chucumata (20°30'S) se caracterizó por presentar en toda la transecta y en todas las profundidades, concentraciones inferiores a 50,0 cél/mL, lo mismo que el sector de Copaca (22°20'S) donde los valores descendieron de 1,0 cél/mL (Figura 12-panel izquierdo).

La distribución vertical de los flagelados mostró la misma tendencia. Las máximas se localizaron a nivel subsuperficial y restringidas a las primeras 5 mn de la costa. Los núcleos de máximos valores localizados en Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S), se mantuvieron entre la superficie y los 10 m, y hacia los estratos más profundos las concentraciones fueron iguales o inferiores a 2,0 cél/mL. Al igual que las diatomeas, en el sector de Copaca (22°20'S) este grupo exhibió abundancias casi desestimables (<1,0 cél/mL) entre la costa y las 20 mn y en toda la columna de agua (Figura 12-panel derecho).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,2 y 62,5 µg Cl-a/L. La distribución horizontal estuvo determinada por la presencia de las diatomeas, exhibiendo el mismo patrón entre la superficie y los 10 m de profundidad. A lo largo de la franja costera (1-5 mn) se detectaron dos focos de máxima concentración (>30,0 µg Cl-a/L), uno de ellos frente a Chipana (21°20'S), donde se observaron valores superiores a 50,0 µg Cl-a/L en los tres estratos, con el máximo (62,5 µg Cl-a/L) a 5 m de profundidad, y el otro en Mejillones (23°00'S) que alcanzó los 33,1 µg Cl-a/L en superficie. En el sector de Chucumata (20°30'S) los mayores valores escasamente superaron los 20,0 µg Cl-a/L entre los 5 y 10 m de profundidad. Entre las 10 mn y 20 mn, la biomasa descendió de 10,0 µg Cl-a/L (Figura 13). A 25 m de profundidad hubo un predominio de concentraciones inferiores a 10,0 µg Cl-a/L, y a los 50 m éstas descendieron de 1,0 µg Cl-a/L (Figura 14).

Las secciones verticales también evidenciaron la fuerte influencia de las diatomeas en la distribución, observándose la presencia de los focos de alta biomasas localizados a nivel subsuperficial y restringidos a las primeras 5 mn de la costa. Éstos en Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) se extendieron hacia los estratos más profundos, registrándose cerca de los 30 m valores iguales o superiores a 10,0 µg Cl-a/L, mientras que en Mejillones (23°00'S), el núcleo se mantuvo en el estrato superficial (0-15 m). Todo el resto de la columna de agua presentó valores inferiores a 10,0 µg Cl-a/L. En Copaca (22°20'S) toda la transecta y toda la columna de agua estuvo dominada por biomasas inferiores a 5,0 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 21 y 23 de abril de 2016. DIATOMEAS: *Bdelicatulum: Bacteriastrum delicatulum.* FLAGELADOS: D-Atecados: dinoflagelados atecados.

				LOC	ALIDAD			
DIATOMEAS	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 (%)
Bdelicatulum			296,0	23,3				
Chaetoceros sp.	14,8	20,3	514,2	37,7			556,4	36,8
Detonula pumila			224,4	16,4				
Guinardia sp.	21,9	12,4						
Pseudo-nitzschia sp.			206,4	14,8	1,4	54,2	101,6	14,1
Skeletonema sp.							249,2	43,4
Thalassiosira sp.	39,2	26,6						
FLAGELADOS								
Ceratium furca	10,8	61,3	1,6	24,2			1,6	23,1
D-Atecados			4,0	51,2			1,2	18,0
Silicoflagelados							2,0	25,9

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 21 y 23 de abril 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
	1	12,6	7,0	5,7	55,2	44,8	204,0
Chucumata	5	50,7	47,9	2,9	94,4	5,6	358,4
(20°30'S)	10	3,9	3,6	0,3	91,4	8,6	217,6
	20	0,7	0,5	0,2	71,6	28,4	24,9
	1	806,8	804,7	2,1	99,7	0,3	349,3
Chipana	5	487,5	484,9	2,6	99,5	0,5	199,1
(21°20'S)	10	1,0	0,8	0,2	78,4	21,6	54,4
	20	1,3	1,0	0,2	81,1	18,9	69,7
	1	1,0	1,0	0,1	95,0	5,0	62,5
Сораса	5	1,0	0,6	0,5	55 <i>,</i> 0	45,0	40,3
(22°20'S)	10	1,4	1,2	0,2	83,1	16,9	117,9
	20	2,1	1,4	0,7	67,9	32,1	57,1
	1	168,0	167,8	0,2	99,9	0,1	211,5
Mejillones	5	408,2	404,8	3,4	99,2	0,8	137,7
(23°00'S)	10	28,4	27,4	1,0	96,5	3,5	52,3
	20	4,4	4,1	0,4	91,6	8,4	48,8



Figura 8. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 9. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 21 y 23 de abril 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 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 11. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 12. Secciones verticales de la abundancia (cél/mL) de diatomeas (panel-izquierdo) y microflagelados (panel-derecho), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 13. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica ( $\mu$ g Cl-a/L) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 14. Distribución de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 15. Secciones verticales de la biomasa fitoplanctónica ( $\mu$ g Cl-a/L), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.

# Zooplancton

La abundancia total de zooplancton fluctuó entre 20,9 y 158,8 ind/10 m<sup>2</sup>. Abundancias superiores a 100 ind/10 m<sup>2</sup> se registraron en toda la zona, distribuidas entre la costa y las 20 mn, excepto en Copaca (22°20'S) donde se mantuvieron alrededor de los 60 ind/10 m<sup>2</sup> (Tabla 4). El grupo que presentó las mayores abundancias fue Copepoda, las que fluctuaron entre 17,2 y 132,2 ind/10 m<sup>2</sup>, realizando un aporte porcentual al total, que varió entre 68,5 y 87,4%. La abundancia total de los otros grupos no superó los 50 ind/10 m<sup>2</sup> (Tabla 5).

Tabla 4. Abundancia total del zooplancton (ind/10  $m^2$ ) entre los días 21 y 23 de abril de 2016. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m <sup>2</sup> )
	1	20,9
Chucumata	5	100,6
(20°30'S)	10	122,7
	20	40,5
	1	149,4
Chipana	5	117,1
21°20'S	10	124,9
	20	95,3
	1	65,0
Copaca	5	62,1
(22°20'S)	10	47,7
	20	77,0
	1	158,8
Mejillones	5	54,9
(23°00'S)	10	63,0
	20	110,4

Tabla 5. Abundancia de Copepoda y de los otros grupos zooplanctónicos (ind/10 m<sup>2</sup>) y aporte porcentual de Copepoda (AP-Cop) (%), entre los días 21 y 23 de abril de 2016. DC: distancia de la costa (mn).

	DC	Cononada	Otros	AP-Cop
LOCALIDAD	(mn)	Сорерова	grupos	(%)
	1	17,2	3,8	82,0
Chucumata	5	85,6	15,0	85,1
(20°30'S)	10	102,5	20,3	83 <i>,</i> 5
	20	29,0	11,5	71,7
	1	102,4	47,0	68 <i>,</i> 5
Chipana	5	85,1	32,0	72,7
(21°20'S)	10	106,6	18,3	85,4
	20	73,5	21,8	77,1
	1	56,8	8,2	87,4
Copaca	5	52,1	10,0	83,9
(22°20'S)	10	40,9	6,7	85,9
	20	60,6	16,4	78,7
	1	132,2	26,6	83,3
Mejillones	5	44,9	10,0	81,8
(23°00'S)	10	54,4	8,7	86,3
	20	86,6	23,8	78,4

El análisis del espectro de tamaño reveló la presencia de individuos entre 0,25 mm y 12,25 mm. Si bien la mayoría de los grupos estuvo representado por organismos pertenecientes a las categorías de tamaño entre 0,25 mm y 3,75 mm (Tabla 6), el rango entre 0,25-0,75 mm agrupó la mayor concentración, con abundancias entre 20,1 y 150,8 ind/10 m<sup>2</sup>, lo que se tradujo en aportes porcentuales superiores al 80% en todas las estaciones (Tabla 7).

El rango de tamaño entre 1,25-1,75 mm fue el segundo más abundante, pero escasamente superó los 10 ind/10 m<sup>2</sup>. Las otras categorías estuvieron representadas en general por menos de 1,0 ind/10 m<sup>2</sup> (Tabla 7). 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 77,4% y 93,4% (Tabla 8).

CRUDOS	RANGOS DE TAMAÑO (mm)									
GRUPUS	0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-3,75	4,25-4,75	4,25-12,25				
Amphipoda	1,8	3,1	1,0	0,7	0,2					
Annelida		0,2								
Appendicularia	29,6	2,1								
Copepoda	1.088,2	20,2	1,6	0,5		0,1				
Cnidaria	0,6	4,6	1,6	0,3	0,2					
Ctenophora	0,6	5,0	1,7	0,9	0,1	0,2				
Chaetognata	1,0	3,8	4,2	1,6	0,3	2,2				
Euphausiacea		0,0	1,2	1,7	0,7	0,4				
Larvas Annelida	85,0	5,5								
Larvas Megalopa		0,8	0,9	0,4	0,1					
Mysidacea	12,8	21,4	0,8							
Salpida	27,8	7,4	0,2	0,1						
Siphonophora	2,9	16,3	10,4	3,2	0,4	0,5				
Stomatopoda		1,0	0,8	0,3	0,03					
Larvas Zoea	1,3	5,0	1,8	0,5						

Tabla 6. Abundancia relativa de los grupos zooplanctónicos por rango de tamaño (mm) entre los días 21 y 23 de abril de 2016.

Tabla 7. Abundancia zooplanctónica (ind/10 m<sup>2</sup>) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual (AP) (%) del rango 0,25-0,75 mm, entre los días 21 y 23 de abril de 2016. DC: distancia de la costa (mn).

	DC		R	ANGOS DE 1	ʿAMAÑO (m	m)	
LOCALIDAD	(mn)	0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-3,75	4,25-12,25	AP (%) 0,25-0,75
	1	20,1	0,8				96,4
Chucumata	5	95,6	4,5	0,4	0,1		95,1
(20°30'S)	10	111,6	8,9	1,6	0,5		91,1
	20	36,1	3,2	0,7	0,3	0,1	89,3
	1	121,8	12,9	7,8	4,0	0,7	82,8
Chipana	5	95,7	15,7	3,8	1,2	0,2	82,1
(21°20'S)	10	116,3	5,9	1,3	0,9	0,5	93,2
	20	86,9	5,2	2,0	0,3	0,1	91,9
	1	58,6	4,6	1,3	0,3	2,4	87,2
Copaca	5	53,8	5,8	1,6	0,6	0,1	86,8
(22°20'S)	10	43,6	2,5	0,9	0,3	0,1	91,9
	20	67,5	7,0	1,5	0,4	0,5	87,9
	1	150,8	7,3	0,3	0,1	0,2	95,0
Mejillones	5	51,6	2,4	0,7	0,1	0,1	94,0
(23°00'S)	10	58,4	3,2	0,4	0,4	0,2	93,1
	20	99,1	7,2	2,0	0,8	0,4	90,5

Tabla 8. Abundancia Total (ABTOT) y del grupo Copepoda (ABCOP) (ind/10 m<sup>2</sup>) en el rango de tamaño 0,25-0,75 mm, y aporte porcentual de Copepoda (APCOP) (%), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.

		RANG	O 0,25-0,75 m	m
LOCALIDAD		ABTOT	ABCOP	APCOP
	(mn)	(ind/10 m²)	(ind/10 m <sup>2</sup> )	(%)
	1	20,1	17,1	84,8
Chucumata	5	95,6	85,1	89,0
(20°30'S)	10	111,6	99,9	89,6
	20	36,1	27,9	77,4
	1	121,8	99,5	81,7
Chipana	5	95,7	81,0	84,7
(21°20'S)	10	116,3	105,2	90,4
	20	86,9	72,0	82,8
	1	58,6	54,7	93,4
Copaca	5	53,8	50,1	93,2
(22°20'S)	10	43,6	39,9	91,6
	20	67,5	59,5	88,1
	1	150,8	130,6	86,6
Mejillones	5	51,6	44,3	85 <i>,</i> 9
(23°00'S)	10	58,4	52,8	90,4
	20	99,1	84,6	85,3

La distribución de la abundancia total del zooplancton, mostró un dominio de densidades entre 80,0 y 100,0 ind/10 m<sup>2</sup> en toda el área. A lo largo de la franja entre 1 mn y 10 mn, se detectaron tres focos de alta densidad (>100 ind/10 m<sup>2</sup>) coincidentes con las mayores abundancias de las diatomeas. El primero se localizó en Chucumata (20°30'S) donde se registró un valor máximo de 122,7 ind/10 m<sup>2</sup> a 10 mn. El segundo se ubicó frente a Chipana (21°20'S), donde el grupo mostró una densidad máxima de 149,4 ind/10 m<sup>2</sup>, y el último se observó a 1 mn en Mejillones (23°00'S) y correspondió a la máxima concentración zooplanctónica registrada (158,8 ind/10 m<sup>2</sup>). En esta localidad, valores superiores a 100 ind/10 m<sup>2</sup> se detectaron también a 20 mn de la costa (Figura 16-panel izquierdo). Al analizar la distribución de la abundancia del grupo Copepoda, se observó el mismo patrón. Este grupo exhibió sus mayores abundancias (>100 ind/10 m<sup>2</sup>) en las misma localidades, con su máxima concentración (132,2 ind/10 m<sup>2</sup>) frente a Mejillones (23°00'S) a 1 mn de la costa (Figura 16-panel derecho).

Dado que el rango de tamaño entre 0,25 mm y 0,75 mm fue el más abundante y que, además, estuvo representado en más del 80% por los copépodos, la distribución horizontal de la abundancia fue coincidente con aquella descrita para el zooplancton total y para el grupo Copepoda. La zona se encontró dominada por abundancias entre 70 y 80 ind/10 m<sup>2</sup>, y en la zona costera entre 1 mn y 10 mn se detectaron concentraciones superiores a 100 ind/10 m<sup>2</sup>, las cuales se localizaron frente a Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 17).



Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia total (ind/10 m<sup>2</sup>) de zooplancton (panel izquierdo) y del grupo Copepoda (panel derecho), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 17. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m<sup>2</sup>) del zooplancton (panel izquierdo) y del grupo Copepoda (panel derecho) perteneciente al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 21 y 23 de abril de 2016.

#### Ictioplancton

La abundancia total de estadios tempranos estimada para el área fue de 3.792 huevos/10 m<sup>2</sup> y 3.372 larvas/10 m<sup>2</sup>. La anchoveta *Engraulis ringens* contribuyó porcentualmente a estos totales con un 81,2% y 19,4% respectivamente (Tabla 9).

Dentro del componente larval de anchoveta, se identificaron los estados de desarrollo yolk-sac, pre-flexión y flexión. El más abundante fue el estado yolk-sac, el cual representó más del 70% de la abundancia total de larvas de esta especie, pero sólo el 15,0% de la abundancia total de larvas (Tabla 9).

Tabla 9. Abundancia de huevos y larvas (N°/10 m<sup>2</sup>) de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies, entre los días 21 y 23 de abril 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).

	DC		Engrauli	s ringens		Otras Es	species	Tota	es
Localidad	(mn)	Huevos	Larvas Y-S	Larvas Pre-F	Larvas Flexión	Huevos	Larvas	Huevos	Larvas
	1								
Chucumata	5	3.080	215					3.080	215
(20°30'S)	10					264	264	264	264
	20					76	685	76	685
	1		210		70	140	140	140	420
Chipana	5						123		123
(21°20'S)	10						487		487
	20						146		146
	1						0		
Copaca	5						549		549
(22°20'S)	10						72		72
	20					132		132	
	1		79	79					158
Mejillones	5						144		144
(23°00'S)	10						59		59
	20					100	50	100	50
	TOTAL	3.080	504	79	70	712	2.719	3.792	3.372
	AP (%)	81,2	15,0	2,3	2,1	18,8	80,6		

La presencia de estadios tempranos de *Engraulis ringens*, se registró en sólo 3 estaciones, distribuyéndose entre 1 mn y 5 mn de la costa en las localidades donde se detectaron las mayores abundancias planctónicas, Chucumata (20°30'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) (Figura 18).

La distribución de los huevos se restringió al sector de Chucumata (20°30'S), donde se observó una totalidad de 3.080 huevos/10 m<sup>2</sup> a 5 mm de la costa (Figura 19-panel izquierdo).

Las larvas de *E. ringens*, representadas principalmente por el estado yolk-sac, además de encontrarse en Chucumata (20°30'S), se detectaron en Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) a 1 mn de la costa, exhibiendo un gradiente latitudinal de disminución de sus densidades desde un máximo de 215 larvas/10 m<sup>2</sup>, observado en Chucumata (20°30'S), a 79 larvas/10 m<sup>2</sup> en Mejillones (23°00'S) (Figura 19-panel derecho).

Los huevos y larvas de otras especies se detectaron en toda el área, con una mayor distribución entre la costa y las 20 mn. Las máximas densidades de ambos estadios también se registraron en Chucumata (20°30'S), alcanzando un valor de 264 huevos/10 m<sup>2</sup> y 685 larvas/10m<sup>2</sup> (Figura 20).



Figura 18. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 19. Distribución de la abundancia (N°/10 m<sup>2</sup>) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de *Engraulis ringens* entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 20. Distribución de la abundancia (N°/10 m<sup>2</sup>) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 21 y 23 de abril de 2016.

### Análisis Estadístico

El análisis de correlación entre la abundancia de los estadios tempranos de anchoveta y las variables ambientales físicas, químicas y biológicas, mostró una asociación significativa entre la abundancia de huevos y el componente biológico, representado por la biomasa fitoplanctónica (r=0,40, p<0,01) (Figura 21) y la abundancia de microflagelados (r=0,62, p<0,01) y nanoflagelados (r=0,58, p<0,01) (Figura 22).

La abundancia de las larvas de anchoveta también se correlacionó con el componente biológico, encontrándose una asociación significativa con la biomasa fitoplanctónica (r=0,58, p<0,01) (Figura 23), con la abundancia de diatomeas (r=0,48, p<0,01), de microflagelados (r=0,42, p<0,01) y nanoflagelados (r=0,70, p<0,01) (Figura 24).

El análisis comparativo entre el otoño de 2015 y 2016, exhibió la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la salinidad y la abundancia de nanoflagelados en las dos áreas, Chipana (20°30'S-21°20'S) y Mejillones (22°00'S-23°00'S) (Tabla 10), las cuales se debieron a una disminución de los valores de salinidad y a un incremento en las concentraciones de nanoflagelados durante el otoño 2016 (Figuras 25 y 26).



Figura 21. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevo) (N°/10 m<sup>2</sup>) y la temperatura superficial (tem) (°C), Salinidad (sal) (ups), oxígeno disuelto (od\_ml) (mL O<sub>2</sub>/L) y biomasa fitoplanctónica (cla) (µg Cl-a/m<sup>3</sup>), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevo) (N°/10 m<sup>2</sup>) y la abundancia de diatomeas (dia) (cél/m<sup>3</sup>), abundancia de microflagelados (flag) (cél/m<sup>3</sup>), abundancia de nanoflagelados (hnf) (cél/m<sup>3</sup>) y abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m<sup>2</sup>), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 23. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larva) (N°/10 m<sup>2</sup>) y la temperatura superficial (tem) (°C), Salinidad (sal) (ups), oxígeno disuelto (od\_ml) (mL  $O_2/L$ ) y biomasa fitoplanctónica (cla) (µg Cl-a/m<sup>3</sup>), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.



Figura 24. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larva) (N°/10 m<sup>2</sup>) y la abundancia de diatomeas (dia) (cél/m<sup>3</sup>), abundancia de microflagelados (flag) (cél/m<sup>3</sup>), abundancia de nanoflagelados (hnf) (cél/m<sup>3</sup>) y abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m<sup>2</sup>), entre los días 21 y 23 de abril de 2016.

Tabla 10. Resultados del análisis de varianza aplicado por área a las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante los cruceros de otoño de 2015 y de 2016. ABNANOFLA: abundancia de nanoflagelados, NS: nivel de significancia.

AREA	VARIABLE	F	VALOR p	NS				
CHIPANA	SALINIDAD (ups)	20,48	0,000	***				
(20°30'S-21°20'S)	ABNANOFLA (cél/mL)	4,97	0,043	*				
MEJILLONES	SALINIDAD (ups)	7,29	0,015	*				
(22°00'S-23°00'S)	ABNANOFLA (cél/mL)	7,49	0,016	*				
Código NS: 0 '***' 0,00	Código NS: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*'							



Figura 25. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de salinidad (ups) (panel-izquierdo) y abundancia de nanoflagelados (cél/mL) (panel-derecho) registrada durante los cruceros de otoño de 2015 y otoño de 2016 en el área Chipana (20°30'S-21°20'S).



Figura 26 Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de salinidad (ups) (panel-izquierdo) y abundancia de nanoflagelados (cél/mL) (panel-derecho) registrada durante los cruceros de otoño de 2015 y otoño de 2016 en el área Mejillones (22°20'S-23°00'S).

### ETAPA II: Arica (18°25'S) – Punta Madrid (19°00'S)

#### Condiciones físicas y químicas

#### Temperatura

La temperatura presentó valores extremos de 11,7°C y 21,2°C. La distribución superficial se caracterizó por la presencia de bajos valores (<18°C) a lo largo de toda la franja costera entre 1 y 5 mn, con un mínimo de 16,8°C a 1 mn frente a punta Madrid (19°00'S). Hacia las estaciones más alejadas de la costa la temperatura aumentó a valores superiores a 20°C, alcanzando el máximo registrado (21,2°C) a 40 mn frente a Arica (18°25'S) (Figura 27-A).

Las secciones verticales de las dos localidades mostraron el ascenso de las isotermas en la costa (1-10 mn), lo que dio lugar a las bajas temperaturas (<18°C) registradas en superficie. Temperaturas superiores a 18°C se registraron entre las 20 mn y 40 mn, restringidas a los primeros 20 m de profundidad. Desde los 50 m y hacia los estratos más profundos, predominaron valores inferiores a 16°C (Figura 28-panel izquierdo). La isoterma de 15°C presentó un hundimiento costa afuera, desde una profundidad mínima de 28 m a 5 mn, hasta cerca de los 60 m de profundidad a 40 mn frente a Arica (18°25'S) (Figura 31panel izquierdo).

#### Salinidad

La salinidad fluctuó entre un mínimo de 34,34 ups y 35,30 ups. El máximo valor (35,30 ups) se detectó en superficie, donde la distribución mostró salinidades superiores a 35 ups dominando la zona entre 20 mn y 40 mn, acercándose a la costa en el sector de Arica (18°25'S). En punta Madrid (19°00'S), a 1 mn de la costa, se observó un mínimo superficial de 34,91 ups, coincidente con la menor temperatura (Figura 27-B).

En la componente vertical, las secciones mostraron un estrato muy reducido (0-10 m) con salinidades superiores a 35 ups entre las 20 mn y 40 mn de a costa, mientras que el resto de la columna de agua se encontró dominada por salinidades cercanas a 34,9 ups, por la presencia del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Entre los 50 m y 100 m de profundidad, se observó la intrusión, desde el sur y desde la región oceánica, de un agua con valores cercanos a 34,7 ups que se aproximó hasta cerca de las 10 mn en punta Madrid (19°00'S), que indicaría mezcla con el Agua Subantártica (ASAA) (Figura 28-panel derecho).

#### Densidad

La densidad ( $\sigma$ -t) fluctuó entre 24,26 y 26,52. En superficie predominaron valores inferiores a 25,7, revelando la influencia del agua de origen Subtropical (ASS). La distribución se caracterizó por presentar las mayores densidades (>25 ups) en el borde

costero (1-10 mn), con un máximo de 25,54 localizado a 1 mn frente a punta Madrid (19°00'S), mientras que hacia la región más oceánica los valores disminuyeron hasta un mínimo de 24,58 que se localizó a 40 mn frente a Arica (18°25'S) (Figura 27-C).

La distribución vertical mostró el ascenso de las isopicnas en la costa (1-10 mn), lo que generó la presencia de las altas densidades registradas en superficie. Valores inferiores a 25 se encontraron restringidos a los primeros 20 m de profundidad entre las 20 mn y 40 mn de la costa. A partir de los 60 m de profundidad, asociadas a la presencia del AESS, predominaron densidades superiores a 26, con un máximo de 26,52 cerca de los 200 m y a 40 mn de la costa frente a Punta Madrid (19°00'S) (Figura 29-panel izquierdo).

# **Oxígeno Disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto (OD) fluctuó entre 0,03 y 8,2 mL/L. La distribución superficial mostró un foco de bajos valores a 1 mn de la costa frente a punta Madrid (19°00'S), que alcanzó los 3,2 mL O<sub>2</sub>/L. Hacia la región más oceánica el OD aumentó, observándose los mayores valores (>6,0 mL O<sub>2</sub>/L) entre 5 mn y 10 mn en la forma de un núcleo que se extendió latitudinalmente, con el máximo (8,2 mL O<sub>2</sub>/L) localizado frente a Arica (18°25'S) a 5 mn de la costa. En la región más oceánica (20-40 mn) se registraron concentraciones de OD cercanas a 5,5 mL O<sub>2</sub>/L (Figura 27-D).

La distribución vertical mostró el ascenso de las oxilíneas en la zona costera (1-10 mn), el que fue más significativo en punta Madrid (19°00'S), donde se registraron los menores valores en superficie. El estrato oxigenado (>4,0 mL O<sub>2</sub>/L) se profundizó costa afuera, localizándose en la superficie, en la costa (5 mn), hasta cerca de los 40 m a las 40 mn (Figura 29-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), Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), con una fuerte predominancia del AESS (Figura 30).

# Profundidad del límite superior de la ZMO (LS\_ZMO)

El LS-ZMO mostró una profundización desde la costa hacia las 40 mn. Frente a punta Madrid (19°00'S) exhibió la posición más somera, manteniéndose sobre los 30 m de profundidad entre 1 mn y 10 mn de la costa. Entre las 20 mn y 40 mn se registró bajo los 50 m en ambas localidades (Figura 31-panel derecho, Tabla 11).

# Estabilidad (PEA)

Los valores del índice revelaron baja estabilidad a 1 mn de la costa, donde los valores fueron inferiores a <50 J/m<sup>3</sup>. A partir de las 5 mn éstos se incrementaron costa afuera, donde se registraron valores por sobre 100 J/m<sup>3</sup> (Tabla 11).

## Transporte de Ekman (TEk)

De acuerdo a los valores del TEk, la zona se encontró influenciada por procesos de surgencia activa durante los días previos y de realización del crucero. Las mayores intensidades se registraron entre las 17:00 y 20:00 horas, con una predominancia de máximos cercanos a 800 m<sup>3</sup>/s/km durante los días del muestreo (Figura 32).



Figura 27. Distribución superficial de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups), C: Densidad ( $\sigma$ -t) y D: Oxígeno disuelto (mL/L), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 28. Secciones verticales de Temperatura (°C) (panel izquierdo) y Salinidad (ups) (panel derecho) entre los días 16 y 17 de mayo de 2016. A: Arica (18°25'S), B: punta Madrid (19°00'S).



Figura 29. Secciones verticales de Densidad ( $\sigma$ -t) (panel izquierdo) y Oxígeno Disuelto (mL/L) (panel derecho) entre los días 16 y 17 de mayo de 2016. A: Arica (18°25'S), B: punta Madrid (19°00'S).



Figura 30. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para el área Arica (18°25'S-19°00'S) entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 31. Profundidad de la isoterma de 15°C (m) (panel-izquierdo) y profundidad del LS\_ZMO (m) (panel-derecho), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.

Tabla 11. Profundidad del límite superior de la ZMO (LS\_ZMO) (m) y valores del Índice de la Anomalía de la Energía Potencial (PEA) (J/m<sup>3</sup>) entre los días 16 y 17 de mayo de 2016. DC: Distancia de la costa (mn), PROF-CTDO: profundidad de registro del CTDO (m), PROF-EST: profundidad estación (m).

LOCALIDAD	DC (mn)	LS_ZMO	PEA	PROF-CTDO	PROF-EST
		(m)	(J/m°)	(m)	(m)
	1		8,0	15	21
Arico	5	15	53,4	58	82
(19°25'S)	10	43	101,7	97	124
(18 25 3)	20	49	250,5	195	778
	40	76	287,4	200	1.050
	1	11	38,6	80	110
punta	5	23	144,6	200	550
Madrid	10	29	174,4	200	1.000
(19°00'S)	20	65	235,0	200	1.370
	40	85	238,8	196	1.850



Figura 32. Transporte Ekman diario (m<sup>3</sup>/s/km) en Arica entre los días 14 y 21 de mayo de 2016.

#### Estructura de la Comunidad Planctónica

#### Fitoplancton

Un total de 63 especies microfitoplanctónicas (20-200 µm) fueron identificadas, de las cuales 37 correspondieron a diatomeas y 26 a flagelados. Los géneros y especies de diatomeas más importantes fueron *Guinardia* sp., *Pseudo-nitzschia* sp., *Thalassionema nitzschioides* y *Thalassiosira* sp., los cuales realizaron en conjunto, aportes al total del grupo superiores al 70%, destacando con abundancias máximas superiores a 50 cél/mL *Guinardia* sp. y *Thalassiosira* sp. Entre los flagelados *Prorocentrum micans* y *Prorocentrum* sp., exhibieron abundancias máximas superiores a las de las diatomeas, destacando *Prorocentrum* sp. que en punta Madrid realizó un aporte, a la abundancia total del grupo, cercano al 100% (Tabla 12).

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,1 y 605,4 cél/mL. Las concentraciones integradas entre la superficie y los 10 m de profundidad, mostraron valores superiores a 100 cél/mL en toda el área entre 1 mn y 10 mn de la costa. Las diatomeas presentaron bajas abundancias (<300 cél/mL), mientras que el grupo de los flagelados exhibió las mayores concentraciones, con aportes porcentuales al total, que, en punta Madrid (19°00'S), superaron el 90%. Siguiendo la misma tendencia, los nanoflagelados (2-20  $\mu$ m) exhibieron abundancias superiores a 200 cél/mL en toda el área y entre 1 mn y 5 mn de la costa (Tabla 13).

La distribución de la abundancia de las diatomeas presentó el mismo patrón entre la superficie y los 10 m de profundidad. Frente a Arica (18°25'S) se detectó un foco de altos valores que alcanzó un máximo de 173,2 cél/mL a 5 mn de la costa y a 5 m de profundidad. Este foco se extendió por la costa (1-5 mn) hacia punta Madrid (19°00'S) en la forma de un gradiente caracterizado por la disminución de las concentraciones que fueron levemente superiores a 20 cél/mL. Entre 10 mn y 20 mn las abundancias se mantuvieron cercanas a 20 cél/mL, excepto por un segundo foco registrado a 5 m y 10 m de profundidad y a 20 mn de la costa, donde los valores superaron las 30 cél/mL (Figura 33). A 25 m los focos se mantuvieron, pero las abundancias fueron inferiores a 10 cél/mL, y en el estrato de los 50 m de profundidad el grupo estuvo representado con concentraciones menores a 0,5 cél/mL (Figura 34).

La abundancia de los microflagelados también presentó una distribución similar entre la superficie y los 10 m de profundidad, la que se caracterizó por la presencia de concentraciones superiores a 100 cél/mL a lo largo de toda la franja costera entre 1 mn y 10 mn. En Arica (18°25'S), en superficie y a 1 mn de la costa, se detectó un foco con la concentración máxima del grupo (517,0 cél/mL), el cual se extendió hacia punta Madrid (19°00'S) con abundancias superiores a 200 cél/mL. A 20 mn las concentraciones fueron inferiores a 10,0 cél/mL (Figura 35). En el estrato de los 25 m de profundidad se detectaron

focos levemente superiores a 30,0 cél/mL, y a 50 m las abundancias fueron inferiores a 0,5 cél/mL en toda el área (Figura 36).

La distribución vertical de la abundancia de las diatomeas en Arica (18°25'S), se caracterizó por la presencia del núcleo de altos valores (>100 cél/mL) restringido a la zona costera (1-5 mn) y a los primeros 10 m, registrándose concentraciones mayores a 20,0 cél/mL hasta cerca de los 50 m de profundidad. El resto de la columna de agua, entre 10 mn y 20 mn, exhibió valores inferiores a 10,0 cél/mL. En punta Madrid (19°00'S) toda la columna de agua estuvo dominada por abundancias inferiores a 20,0 cél/mL, excepto por un pequeño núcleo de 66,0 cél/mL, que se localizó a 10 m de profundidad y a 20 mn de la costa (Figura 37-panel izquierdo).

La distribución vertical de la abundancia de los flagelados mostró los núcleos de alta concentración (>200,0 cél/mL) localizados a nivel superficial. En Arica (18°25'S) se extendió hasta las 5 mn y hasta cerca de los 40 m de profundidad, donde se registraron concentraciones superiores a 50 cél/mL, predominando en el resto de la columna de agua valores cercanos a 10,0 cél/mL. En punta Madrid (19°00'S) el foco se extendió hasta las 10 mn de la costa, pero en profundidad se restringió a los 25 m, observándose en el resto de la columna de agua concentraciones cercanas a 10,0 cél/mL (Figura 37-panel derecho).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,4 y 29,9 µg Cl-a/L. La distribución horizontal estuvo determinada por ambos grupos microfitoplanctónicos, exhibiendo el mismo patrón entre la superficie y los 10 m de profundidad. En este estrato toda la franja costera (1-5 mn) presentó concentraciones superiores a 20,0 µg Cl-a/L, detectándose dos focos de máxima biomasa a 5 mn de la costa, uno en Arica (18°25'S) de 29,9 µg Cl-a/L localizado a 5 m de profundidad, y otro superficial de 29,3 µg Cl-a/L en punta Madrid (19°00'S). Hacia el sector más oceánico, asociadas a un fuerte gradiente, las concentraciones disminuyeron a valores inferiores a 5,0 µg Cl-a/L (Figura 38). A 25 m de profundidad se observaron los núcleos localizados a las 5 mn de la costa, pero las concentraciones disminuyeron a menos de 10,0 Cl-a/L, y a 50 m predominaron biomasas inferiores a 1,0 µg Cl-a/L (Figura 39).

En la componente vertical, las secciones mostraron los focos de alta biomasa (>20,0  $\mu$ g Cl-a/L) restringidos al estrato superficial (0-10 m) y a las primeras 5 mn de la costa. En Arica (18°25'S), coincidiendo con la abundancia de las diatomeas, el foco de máxima se profundizó registrándose a 1 mn valores superiores a 10,0  $\mu$ g Cl-a/L hasta los 30 m de profundidad. En punta Madrid (19°00'S), siguiendo la tendencia de los flagelados, el núcleo se extendió hasta las 10 mn donde se registraron biomasas superiores a 10,0  $\mu$ g Cl-a/L. Hacia las 20 mn, en ambas localidades, predominaron concentraciones cercanas a 5,0  $\mu$ g Cl-a/L (Figura 40).

Tabla 12. 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 16 y 17 de mayo de 2016.

	LOCALIDAD						
DIATOMEAS	Aric (18°25	a 5'S)	punta Madrid (91°00'S)				
	ABMAX	AP	ABMAX	AP			
	(cél/mL)	(%)	(cél/mL)	(%)			
Guinardia sp.	52,2	25,4	88,1	38,3			
Pseudo-nitzschia sp.	27,8	15,1	5,8	10,7			
Thalassionema nitzschioides	32,8	17,4	21,2	18,8			
Thalassiosira sp.	104,8	32,6	8,4	6,8			
FLAGELADOS							
Prorocentrum micans	218,8	14,6					
Prorocentrum sp.	506,8	79,5	284,0	98,6			

Tabla 13. 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 16 y 17 de mayo 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
	1	396,5	80,3	316,2	20,2	79,8	525 <i>,</i> 0
Arica	5	285,9	138,5	159,8	48,4	55,9	650,7
(18°25'S)	10	14,6	4,6	10,1	31,1	68,9	67,4
	20	15,9	15,7	0,2	98 <i>,</i> 8	1,2	34,4
	1	196,8	6,6	190,2	3,3	96,7	259,2
punta Madrid	5	274,7	23,7	251,0	8,6	91,4	472,5
(19°00'S)	10	192,2	11,2	181,0	5,8	94,2	57,1
	20	40,7	39,9	0,7	98,2	1,8	39,2



Figura 33. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 34. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 35. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 36. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 37. Secciones verticales de la abundancia (cél/mL) de diatomeas (panel-izquierdo) y microflagelados (panel-derecho), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 38. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 39. Distribución de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 40. Secciones verticales de la biomasa fitoplanctónica ( $\mu$ g Cl-a/L), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.

# Zooplancton

La abundancia total de zooplancton fluctuó entre 49,8 y 359,2 ind/10 m<sup>2</sup>. Frente a Arica (18°25'S) se registraron abundancias superiores a 100 ind/10 m<sup>2</sup> entre la costa y las 20 mn, mientras que en punta Madrid (19°00'S) ésta se encontraron restringidas a la franja 1-5 mn, disminuyendo a valores cercanos a 50 ind/10 m<sup>2</sup>entre 10 mn y 20 mn (Tabla 14).

El grupo Copepoda presentó concentraciones en un rango entre 37,9 y 313,1 ind/10 m<sup>2</sup>, lo que fue equivalente a aportes porcentuales que variaron entre 59,7 y 95,2%. Otros grupos con abundancias superiores a 10 ind/10 m<sup>2</sup>, fueron las larvas de anélidos, salpas y sifonóforos, destacando las larvas de anélidos con los mayores aportes porcentuales (Tabla 15).

Tabla 14. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m<sup>2</sup>) entre los días 16 y 17 de mayo de 2016. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	Abundancia Total (ind/10 m²)
	1	104,6
Arica	5	359,2
(18°25'S)	10	256,9
	20	108,7
	1	59,0
punta Madrid	5	49,8
(19°00'S)	10	301,0
	20	126,0

Tabla 15. Abundancia de Copepoda, Larvas de Annelida, Salpida, Siphonophora y de los otros grupos zooplanctónicos (ind/10 m<sup>2</sup>) y aporte porcentual (%) de Copepoda (AP-Cop) y Larvas de Annelida (AP-Ann), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	Copepoda	Larvas Annelida	Salpida	Siphonophora	Otros grupos	AP-Cop (%)	AP-Ann (%)
	1	99,6	2,6	1,6		0,9	95,2	2,5
Arica	5	313,1	16,5	17,8	0,4	11,4	87,2	4,6
(18°25'S)	10	153,4	36,5	10,3	25,1	31,7	59,7	14,2
	20	68,7	13,4	4,2	9,0	13,4	63,2	12,3
nunto	1	117,9	5,8	1,2		1,0	93,6	4,6
punta Modrid	5	279,2	15,1	3,3		3,4	92,7	5,0
(19°00'S)	10	38,4	4,9	0,7	1,1	4,6	77,2	9,9
(13 00 3)	20	37,9	6,0	2,6	3,7	8,8	64,3	10,1

El análisis del espectro de tamaño reveló la presencia de individuos entre 0,25 mm y 8,25 mm, y la mayoría de los grupos estuvo representado por organismos pertenecientes a las categorías de tamaño entre 0,25 mm y 2,75 mm (Tabla 16).

El rango entre 0,25-0,75 mm presentó las mayores abundancias, las que fluctuaron abundancias entre 44,1 y 348,9 ind/10 m<sup>2</sup>, realizando aportes porcentuales, al total, superiores al 80% en la mayoría de las estaciones (Tabla 17). El rango de tamaño 1,25-1,75 mm fue el segundo más abundante, pero escasamente superó los 10 ind/10 m<sup>2</sup>. Las otras categorías estuvieron representadas en general, por menos de 1,0 ind/10 m<sup>2</sup> (Tabla 17).

El rango 0,25-0,75 mm estuvo representado por el grupo Copepoda, el que realizó aportes porcentuales, a esta categoría de tamaño, entre 73,2% y 95,3% (Tabla 18).

CRUDOS		RANGOS DE TAMAÑO (mm)							
GRUPUS	0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-3,75	4,25-8,25				
Amphipoda	1,2	2,1	0,3						
Annelida		1,4	1,8	0,9					
Appendicularia	25,2	1,6							
Copepoda	1.093,4	11,9	0,4	0,04	0,1				
Cnidaria		0,9	0,6	0,3	0,3				
Ctenophora	0,1	1,5	0,1	0,1	0,4				
Chaetognata	0,7	3,7	2,5	1,9	2,2				
Euphausiacea		0,1	0,4	1,3	2,4				
Larvas Annelida	96,9	4,0							
Larvas Megalopa		0,1	0,7						
Mysidacea	4,6	7,7							
Salpida	33,2	7,2	1,0	0,3					
Siphonophora	1,3	14,8	17,7	4,1	1,2				
Stomatopoda	0,1	0,9	0,9	0,6	0,1				
Larvas Zoea	1,7	3,2	0,4	0,1	0,1				

Tabla 16. Abundancia relativa de los grupos zooplanctónicos por rango de tamaño (mm) entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.

Tabla 17. Abundancia zooplanctónica (ind/10 m<sup>2</sup>) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual (AP) (%) del rango 0,25-0,75 mm, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016. DC: distancia de la costa (mn).

	DC (mn)	RANGOS DE TAMAÑO (mm)						
LOCALIDAD		0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-3,75	4,25-8,25	AP (%) 0,25-0,75	
	1	104,3	0,1	0,1			99,8	
Arica	5	348,9	9,5	0,5			97,2	
(18°25'S)	10	197,7	26,9	19,9	6,3	5,1	77,2	
	20	90,5	12,6	3,3	1,2	0,6	83,6	
	1	125,8	0,2				99,8	
punta Madrid	5	298,9	1,8	0,1	0,2		99,3	
(19°00'S)	10	44,1	3,4	0,9	0,6	0,6	88,9	
	20	48,3	6,5	2,0	1,5	0,6	82,1	

Tabla 18. Abundancia Total (ABTOT) y del grupo Copepoda (ABCOP) (ind/10 m<sup>2</sup>) en el rango de tamaño 0,25-0,75 mm, y aporte porcentual de Copepoda (APCOP) (%), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.

	DC	RANGO 0,25-0,75 mm					
LOCALIDAD	DC (mn)	ABTOT	ABCOP	APCOP			
	(mm)	(ind/10 m²)	(ind/10 m²)	(%)			
	1	104,3	99,4	95 <i>,</i> 3			
Arica (18°25'S)	5	348,9	310,5	89,0			
	10	197,7	147,0	74,4			
	20	90,5	66,2	73,2			
	1	125,8	117,9	93,8			
punta Madrid (19°00'S)	5	298,9	278,7	93,2			
	10	44,1	36,5	82,9			
	20	48,3	37,1	76,8			

La distribución horizontal de la abundancia total del zooplancton mostró frente a Arica (18°25'S), la presencia de valores superiores a 150 ind/10 m<sup>2</sup> desde la costa hasta casi las 20 mn, con un foco de máxima concentración (359,2 ind/10 m<sup>2</sup>) localizado a 5 mn. Este foco se extendió hacia punta Madrid (19°00'S) donde se encontró restringido a las primeras 5 mn con un valor de 301,0 ind/10 m<sup>2</sup>. Desde las 10 mn, hacia las estaciones más alejadas de la costa, predominaron densidades iguales o menores a 100 ind/10 m<sup>2</sup> (Figura 41-panel izquierdo). Dado que la abundancia del grupo Copepoda representó, en promedio, más del 70% de la abundancia total, su distribución presentó el mismo patrón, exhibiendo dos focos de máxima concentración a 5 mn de la costa. El primero, frente a Arica (18°25'S), donde alcanzó 313,1 ind/10 m<sup>2</sup>, y el segundo de 279,2 ind/10 m<sup>2</sup>, en punta Madrid (19°00'S) (Figura 41-panel derecho).

La misma estructura fue detectada al analizar la distribución de la abundancia del rango 0,25-0,75 mm, con un foco principal frente a Arica (18°25'S) de 348,9 ind/10 m<sup>2</sup> y uno

secundario en punta Madrid (19°00'S) de 298,9 ind/10 m<sup>2</sup> (Figura 42-panel izquierdo). De igual forma, la distribución de la abundancia del grupo Copepoda perteneciente a este rango de tamaño, se caracterizó por presentar máximo valores a 5 mn de la costa frente a Arica (18°25'S) y a punta Madrid (19°00'S), los que alcanzaron los 310,5 ind/10 m<sup>2</sup> y 278,7 ind/10 m<sup>2</sup> respectivamente (Figura 42- panel derecho).



Figura 41. Distribución horizontal de la abundancia total (ind/10 m<sup>2</sup>) de zooplancton (panel izquierdo) y del grupo Copepoda (panel derecho), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 42. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m<sup>2</sup>) del zooplancton (panel izquierdo) y del grupo Copepoda (panel derecho) perteneciente al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.

#### Ictioplancton

La abundancia total de estadios tempranos estimada para el área fue de 37.311 huevos/10 m<sup>2</sup> y 4.265 larvas/10 m<sup>2</sup>. La anchoveta *Engraulis ringens* contribuyó porcentualmente a estos totales con un 85,2% y 18,3% respectivamente (Tabla 19).

Dentro del componente larval de anchoveta, sólo se registraron larvas en estado yolk-sac, las que representaron el 18,3% de la abundancia total de larvas (Tabla 19).

Tabla 19. Abundancia de huevos y larvas (N°/10 m<sup>2</sup>) de anchoveta (*Engraulis ringens*) y de otras especies, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016. Larvas Y-S: larvas en estado yolk-sac. DC: distancia de la costa (mn), AP: aporte porcentual (%).

DC DC		Engraulis ringens		Otras Especies		Totales	
Localidad	(mn)	Huevos	Larvas Y-S	Huevos	Larvas	Huevos	Larvas
	1	3.948	535	1.405		5.354	535
Arica	5	3.542	67		67	3.542	134
(18°25'S)	10				636		636
	20			3.421	2.426	3.421	2.426
	1	24.308	179			24.308	179
Punta	5				90		90
(19°00'S)	10				179		179
(15 00 5)	20			686	86	686	86
	TOTAL	31.798	782	5.512	3.483	37.311	4.265
	AP (%)	85,2	18,3	14,8	81,7		

La presencia de estadios tempranos de *Engraulis ringens* se registró en ambas localidades y estuvo restringida a la franja entre 1 mn y 5 mn de la costa (Figura 43).

La distribución de los huevos de *E. ringens* mostró la máxima densidad (24.308 huevos/10 m<sup>2</sup>) a 1 mn frente a punta Madrid (20°30'S). En Arica su presencia se extendió hasta las 5 mn de la costa, donde las abundancias se mantuvieron cercanas a los 3.500 huevos/10 m<sup>2</sup> (Figura 44-panel izquierdo). Las larvas en estado yolk-sac presentaron la misma distribución, con un máximo principal de 535 larvas/10 m<sup>2</sup> observado a 1 mn en Arica (18°25'S), y uno secundario de 179 larvas/10 m<sup>2</sup> en punta Madrid (19°00'S) (Figura 44-panel derecho).

Los huevos de otras especies se detectaron a 1 mn y a 20 mn de la costa. La mayor concentración se registró en Arica (18°25'S), donde exhibieron un máximo de 3.421 huevos/10 m<sup>2</sup> a 20 mn (Figura 45-panel izquierdo). Las larvas, con una mayor distribución longitudinal, presentaron en Arica (18°25'S) un aumento de la densidad hacia las estaciones más alejadas de la costa, con un máximo de 2.426 larvas/10m<sup>2</sup> a 20 mn. En punta Madrid (19°00'S) la mayor concentración se observó a 10 mn y alcanzó las 179 larvas/10m<sup>2</sup> (Figura 45-panel derecho).



Figura 43. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 44. Distribución de la abundancia (N°/10 m<sup>2</sup>) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de *Engraulis ringens* entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 45. Distribución de la abundancia (N°/10 m<sup>2</sup>) de huevos (panel izquierdo) y larvas (panel derecho) de otras especies, entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.

## Análisis Estadístico

El análisis de correlación entre la abundancia de los estadios tempranos de anchoveta y las variables ambientales físicas, químicas y biológicas, mostró una asociación significativa entre la abundancia de huevos, la temperatura (r=0,53, p<0,01) (Figura 46) y el componente biológico, éste último representado por la biomasa fitoplanctónica (r=0,53, p<0,01) (Figura 46) y la abundancia de microflagelados (r=0,54 p<0,01) y de nanoflagelados (r=0,62, p<0,01) (Figura 47).

La abundancia de las larvas de anchoveta también se correlacionó con la temperatura (r=0,45, p<0,01) y la biomasa fitoplanctónica (r=0,58, p<0,01) (Figura 48), y con la abundancia de diatomeas (r=0,45, p<0,01), de microflagelados (r=0,60, p<0,01) y de nanoflagelados (r=0,68, p<0,01) (Figura 49).

El análisis comparativo entre el otoño de 2015 y 2016, exhibió la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre la salinidad, la abundancia de microflagelados y de zooplancton (Tabla 20), las cuales se debieron a una disminución de la salinidad y al incremento en la concentración de ambos grupos durante el otoño de 2016 (Figura 50).



Figura 46. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevo) (N°/10 m<sup>2</sup>) y la temperatura superficial (tem) (°C), Salinidad (sal) (ups), oxígeno disuelto (od\_ml) (mL O<sub>2</sub>/L) y biomasa fitoplanctónica (cla) (µg Cl-a/m<sup>3</sup>), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 47. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (huevo) (N°/10 m<sup>2</sup>) y la abundancia de diatomeas (dia) (cél/m<sup>3</sup>), abundancia de microflagelados (flag) (cél/m<sup>3</sup>), abundancia de nanoflagelados (hnf) (cél/m<sup>3</sup>) y abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m<sup>2</sup>), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 48. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larva) (N°/10 m<sup>2</sup>) y la temperatura superficial (tem) (°C), Salinidad (sal) (ups), oxígeno disuelto (od\_ml) (mL  $O_2/L$ ) y biomasa fitoplanctónica (cla) (µg Cl-a/m<sup>3</sup>), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.



Figura 49. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (larva) (N°/10 m<sup>2</sup>) y la abundancia de diatomeas (dia) (cél/m<sup>3</sup>), abundancia de microflagelados (flag) (cél/m<sup>3</sup>), abundancia de nanoflagelados (hnf) (cél/m<sup>3</sup>) y abundancia de zooplancton (zoop) (ind/10 m<sup>2</sup>), entre los días 16 y 17 de mayo de 2016.

Tabla 20. Resultados del análisis de varianza aplicado a las variables físicas, químicas y biológicas registradas en el área Arica (18°25'S-19°00'S) durante los cruceros de otoño de 2015 y de 2016. ABMICROFLA: abundancia de microflagelados, ABZOO: abundancia total del zooplancton, NS: nivel de significancia.

AREA	VARIABLE	F	VALOR p	NS				
ARICA (18°25'S-19°00'S)	SALINIDAD (ups)	15,64	0,001	**				
	ABMICROFLA (cél/mL)	14,80	0,002	**				
	ABZOO (ind/10 m <sup>2</sup> )	9,81	0,007	**				
Código NS: 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*'								



Figura 50. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis de varianza aplicado a la información de salinidad (ups) (panel-izquierdo), abundancia de microflagelados (cél/mL) (panel central) y abundancia total del zooplancton (ind/10 m<sup>2</sup>) (panel-derecho) registrada durante los cruceros de otoño de 2015 y otoño de 2016 en el área Arica (18°25'S-19°00'S).

#### DISCUSION

El crucero, en sus dos etapas, se realizó durante un periodo de declinación de El Niño 2015-2016. En los meses de abril y mayo de 2016 el Pacífico Sudoriental evidenció un incremento de condiciones frías, con una reducción de las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) (Figura 51), registrándose en la región EN 1+2 una anomalía negativa de -0,3°C (Figura 52) (CIIFEN, 2016).

Las variables temperatura y salinidad, claramente reflejaron este cambio a un estado frío más normal, con un descenso de sus valores extremos respecto del crucero de enero de 2016. Toda la franja costera entre 1 mn y 10 mn, se encontró influenciada por temperaturas inferiores a 19°C y salinidades que revelaron la dominancia del AESS. Estas condiciones responden al predominio de los procesos de surgencia, los cuales, de acuerdo a los valores del TEk, afectaron la zona durante los días previos y de realización del crucero y, si bien estos eventos estuvieron presentes durante el periodo cálido, no habían tenido influencia sobre el estrato superficial (0-30 m). Otro indicador fue la somera posición del LS\_ZMO, especialmente en la zona de Arica (18°25'S) y punta Madrid (19°00'S), donde se mantuvo alrededor de los 20 m de profundidad en la zona costera (1-10 mn). Por otra parte, los resultados del análisis comparativo con el otoño de 2015, también evidenciaron una condición "normal", al revelar diferencias estadísticamente significativas sólo en la salinidad, la cual experimentó un descenso durante otoño de 2016.

El componente planctónico, principalmente el grupo de las diatomeas, se vio favorecido con el escenario ambiental imperante, mostrando un notorio incremento en sus abundancias. Estas concentraciones se encontraron dentro de niveles normales para el periodo, coincidiendo con aquellos registrados en el otoño del año anterior. Los microflagelados también presentaron abundancias dentro de los rangos habituales, excepto por los valores registrados en el área Arica (18°25'S-19°00'S), que se correspondieron con una proliferación de carácter mono-específica de un género en particular, que generó las diferencias estadísticamente significativas con el otoño de 2015. Esta proliferación mono-específica sugiere que la condición ambiental no favoreció a todo el grupo y que tampoco fue excluyente del componente típico del sistema, las diatomeas. Por otra parte, ambos componentes influenciaron las concentraciones máximas de oxígeno disuelto registradas en superficie, y fueron responsables de los valores de clorofila-a.

El zooplancton también exhibió un incremento en sus abundancias, lo cual fue producto del aumento en las densidades del grupo Copepoda. Este incremento podría ser una respuesta a una mayor disponibilidad de alimento, considerando que las concentraciones de fitoplancton aumentaron y que la distribución de las abundancias máximas de los copépodos fue coincidentes con las del fitoplancton, lo cual sugiere actividad de pastoreo. Al analizar los resultados del análisis comparativo, se generaron diferencias con el otoño de 2015 debidas a que el zooplancton mostró densidades superiores durante otoño de 2016.

Respecto de los estadios tempranos de anchoveta, los huevos, si bien mostraron una densidad máxima comparable a los valores registrados durante la época principal de desove (agosto), éstos tuvieron baja presencia, especialmente en el área entre Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S), donde no fueron detectados. Entre el componente larval, destacó la ausencia de larvas en estadios más avanzados al yolk-sac, especialmente en el área Arica (18°25'S-19°00'S). Esto sugiere el hallazgo de un desove reciente, con estadios prontos a entrar en su etapa de primera alimentación, lo cual puede dar significado a la correlación que se encontró entre la abundancia de las larvas con las abundancias y biomasas del componente planctónico.



Figura 51. Temperatura Superficial del Mar en la región del Pacífico Sudoriental para los periodos 17-23 de abril y 15-21 de mayo de 2016. Fuente <u>www.ciifen.org</u>.



Figura 52. Anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región El Niño 1+2 durante la semana del 27 de abril de 2016. Fuente Boletín CIIFEN mayo de 2016.

## LITERATURA CITADA

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

CIIFEN. 2016. Boletines Abril y Mayor de 2016. Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño. <u>www.ciifen.org</u>.

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.