



# UNIVERSIDAD ARTURO PRAT

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

INFORME FINAL

**CRUCERO BIO-OCEANOGRAFICO DE VERANO** 

**ENERO DE 2019** 

# 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

<u>MUESTREADORES</u> CRISTHIAN DANKO ARANCIBIA AGUSTIN ARCOS ROJAS

# INDICE

RESUMEN EJECUTIVO
INTRODUCCIÓN
OBJETIVOS GENERALES
OBJETIVOS ESPECÍFICOS
MATERIAL Y METODOS
RESULTADOS9
Condiciones físicas y químicas9
Estructura de la Comunidad Planctónica 20
Fitoplancton
Zooplancton
Ictioplancton
Análisis Estadístico
DISCUSION Y CONCLUSIONES

#### **RESUMEN EJECUTIVO**

Entre los días 21 y 25 de enero se realizó el crucero de verano de 2019, con el objetivo de evaluar las condiciones oceanográficas y explorar su influencia sobre los primeros estadios de vida del recurso anchoveta (*Engraulis ringens*) en la zona norte de Chile (18°S-23°S).

En el área entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) se dispusieron siete transectas perpendiculares a la costa con estaciones distribuidas entre 1 y 40 mn. Se obtuvieron registros verticales continuos de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto utilizando un CTDO SeaBird19V2, y muestras discretas de agua hasta 50 m de profundidad para determinar la abundancia y biomasa del fitoplancton. 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 los veranos de 2015 a 2019.

Los valores de temperatura (>20°C) y salinidad (>35 ups) revelaron la presencia del Agua Subtropical Superficial (ASS) ocupando la región entre las 10 y 40 mn de la costa, pero restringida al estrato superficial (0-5 m), mientras que el resto de la columna de agua se encontró dominada por el Agua Subantártica (ASAA) y el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). En la costa (1 mn) predominaron temperaturas inferiores a 19°C, las que se extendieron hasta las 10 mn frente a Mejillones (23°00'S), junto a salinidades menores a 34,9 ups. Asociado a lo anterior, desde Chucumata (20°30'S) al sur, la isoterma de 15°C y el límite superior de la ZMO se localizaron a menos de 15 m de profundidad, evidenciando la influencia de eventos de surgencia, como lo indican los valores del transporte Ekman, que se mantuvieron cercanos a los 1.000 m<sup>3</sup>/s/km.

El microfitoplancton presentó una abundancia máxima de 804,4 cél/mL, valor al que las diatomeas aportaron con un 93%. Este grupo exhibió altas concentraciones (>500 cél/mL) en Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), distribuidas entre 1 y 10 mn de la costa. Asociados a los focos de Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S), los microflagelados exhibieron abundancias máximas superiores a 300 cél/mL. La biomasa fitoplanctónica, presentó altos valores (>5,0 µg Cl-a/L) coincidentes con la presencia de diatomeas y flagelados, y alcanzó un máximo de 18,6 µg Cl-a/L en Mejillones (23°00'S). La abundancia máxima del zooplancton fue de 307 ind/10 m<sup>2</sup>, la que se registró frente a Chucumata (20°30'S) a 10 mn. El grupo Copepoda fue dominante con un aporte promedio de 83% a la abundancia total. El rango de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm presentó la mayor abundancia, a la cual los copépodos aportaron con el 90%. Los huevos y larvas de anchoveta contribuyeron con un 97,8% y un 19,9% respectivamente, a la abundancia total del componente ictioplanctónico. Los huevos exhibieron la mayor distribución dentro del área, exhibiendo un máximo de 17.194 huevos/10 m<sup>2</sup> en Arica (18°25'S) y densidades superiores

a 10.000 huevos/10 m<sup>2</sup> en Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S). Se identificaron larvas en estado yolk-sac y pre-flexión. Los estados yolk-sac se localizaron en Arica (18°25'S), Chipana (21°20'S) y Tocopilla (22°10'S), con una densidad máxima de 463 larvas/10 m<sup>2</sup> frente a Chipana (21°20'S). Los estados pre-flexión se limitaron a punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S) y alcanzaron un máximo de 763 larvas/10 m<sup>2</sup> en Chucumata (20°30'S). El análisis de asociación mostró una correlación significativa entre la abundancia de larvas y la abundancia zooplanctónica.

Los resultados del análisis comparativo revelaron que el verano de 2019 exhibió mayores temperaturas que 2018, pero los de 2016 y 2017 continúan siendo los más cálidos de la serie. La salinidad se incrementó, pero no alcanzó los niveles de 2016, lo mismo ocurrió con la profundidad de la capa de mezcla y de localización del LS\_ZMO. Dentro del componente biológico, la concentración fitoplanctónica disminuyó, pero sólo en comparación a 2018, verano que destacó por las mayores abundancias, lo mismo para el zooplancton respecto del verano de 2015. En relación a los huevos y larvas de anchoveta, durante 2019 exhibieron las menores densidades de la serie.

En general, el sistema, si bien influenciado por eventos de surgencia, mostró una condición cálida que sostuvo una baja abundancia planctónica, la que exhibió valores similares a los registrados durante los veranos de 2016 y 2017, lo cual se evidenció también en los estados tempranos de anchoveta.

# INTRODUCCIÓN

El presente reporte contiene los resultados obtenidos mediante la realización del crucero de verano de 2019, requerido por el Centro de Investigación Aplicada del Mar (CIAM) y ejecutado por la Facultad de Recursos Naturales Renovables 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 7 transectas perpendiculares a la costa con estaciones localizadas a 1, 5, 10, 20 y 40 millas náuticas (mn) de la costa (Figura 1).



Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones de muestreo del crucero bio-oceanográfico realizado entre los días 21 y 25 de enero de 2019.

#### Muestreo y registro de información

El crucero se llevó a cabo entre los días 21 y 25 de enero de 2019 en la embarcación PAM "Atacama IV", proporcionada por la empresa pesquera Camanchaca S.A.

En cada una de las estaciones se realizaron perfiles verticales continuos de temperatura, salinidad y densidad, utilizando un CTDO SeaBird-19V2. Con el uso de botellas oceanográficas Niskin se obtuvieron muestras de agua desde 0, 5, 10, 25 y 50 m de profundidad para la medición de la abundancia y biomasa fitoplanctónicas. Para determinar la composición y abundancia del zooplancton e ictioplancton se tomaron muestras 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 estimó de acuerdo a la metodología propuesta en UNESCO (1978) y Villafañe & Reid (1995) y la biomasa, expresada en términos de la concentración de clorofila-a, según 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 & Driver (1976) y las densidades fueron estandarizadas por 10 m<sup>2</sup> de superficie oceánica (Smith & Richardson, 1979).

#### Análisis de la información

La información de las variables físicas, químicas y biológicas fue analizada mediante gráficos de distribución horizontal y vertical, los cuales fueron elaborados utilizando el programa Ocean Data View (ODV) (Schlitzer, 2018).

Para caracterizar el escenario ambiental imperante durante los días del muestreo, se identificaron las masas de agua mediante la confección de pares T-S. Para esto se consideró la información proveniente de toda la zona y aquella registrada por sectores: norte entre Arica y punta Junín (18°25'S-19°40'S), centro entre Chucumata y Chipana (20°30'S-21°20'S), y sur entre Tocopilla y Mejillones (22°10'S-23°00'S).

Se estimó, además, la profundidad de la capa de mezcla (PCM), la profundidad de localización del límite superior de la ZMO (LS\_ZMO) y el transporte de Ekman (TEk). Para determinar la PCM se utilizó como proxy la ubicación de la isoterma de 15°C, y la profundidad del LS\_ZMO correspondió a aquella a la cual la concentración de oxígeno disuelto fue de 1,0 mL/L. Ambas se obtuvieron mediante el programa ODV (Schlitzer, 2018).

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 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.

Utilizando la función kruskal.test de la plataforma R, se aplicó el análisis de varianza por rangos de Kruskal-Wallis para comparar la información de los parámetros físicos, químicos y biológicos registrada en el presente crucero con aquella obtenida durante los veranos de 2015 a 2018. Cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas, para determinar el periodo que las generó, se realizó la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis empleando la función kruskalmc. Los resultados se presentan en tablas y gráficos de cajas y bigotes.

#### RESULTADOS

#### Condiciones físicas y químicas

#### Temperatura

La temperatura superficial del mar (TSM) fluctuó entre 15,9 y 24,7°C. En toda el área predominaron valores superiores a 20°C, registrándose el máximo de (24,7°C) frente a punta Junín (19°40'S) a 40 mn, localidad donde el agua cálida, al igual que en Arica (18°25'S), se acercó hacia la costa (1 mn). En punta Madrid (19°00'S) y desde Chucumata (20°30'S) al sur, la franja de 1 mn se encontró influenciada por temperaturas menores a 17,5°C revelando el ascenso de aguas frías producto de los procesos de surgencia. En Mejillones (23°00'S), como es característico, los bajos valores se extendieron hasta las 10 mn, donde se detectó la mínima superficial de 15,9°C (Figura 2A).

La distribución vertical en punta Junín (19°40'S), reveló que las altas temperaturas (>20°C) se distribuyeron hasta los 30 m de profundidad, mientras que en el resto del área éstas ocuparon un estrato más somero (cerca de los 20 m) entre 10 y 40 mn. En la costa (1-5 mn) se observó la inclinación de las isolíneas hacia la superficie, asociada al ascenso de aguas subsuperficiales. Este proceso se acentuó hacia el sur, y en Mejillones (23°00'S) toda la columna de agua se encontró dominada por temperaturas inferiores a 15°C entre 1 y 10 mn (Figura 3). La ocurrencia de surgencia quedó evidenciada, además, por la profundidad de localización de la isoterma de 15°C que disminuyó de norte a sur, manteniéndose sobre los 15 m entre Chucumata (20°30'S) y Mejillones (23°00'S), donde alcanzó un mínimo de 9,5 m (Figura 2B).

#### Salinidad

La salinidad en superficie presentó un mínimo de 34,77 ups y un máximo de 35,51 ups. Siguiendo el patrón de distribución de la temperatura, valores superiores a 35 ups dominaron la zona, con el máximo (35,51 ups) localizado a 40 mn frente a punta Junín (19°40'S). En un sentido norte-sur se observó un repliegue de las aguas de alta salinidad hacia el sector más oceánico, generado por la influencia de las aguas provenientes de los procesos de afloramiento, observándose desde Chucumata (20°30'S) al sur el dominio de salinidades cercanas a 34,8 en la franja entre 1 y 10 mn, con el mínimo superficial (34,77 ups) localizado frente a Mejillones (23°00'S) a 10 mn de la costa (Figura 2C).

En la componente vertical, la sección de punta Junín (19°40'S) mostró la influencia de las altas salinidades (>35 ups) hasta cerca de los 20 m de profundidad y entre 20 y 40 mn de la costa, mientras que en las otras localidades se restringieron a la capa superficial y/o a las 40 mn. Se detectó la intrusión, desde el sector oceánico, de aguas con valores inferiores a 34,7 ups, registrándose mínimos de 34,22 ups entre 10 y 30 m desde punta Junín (19°40'S) al sur. Esto fue especialmente evidente en Mejillones (23°00'S) donde toda la columna de agua, a 20 mn de la costa, exhibió salinidades menores a 34,7 ups, las que se acercaron a la

costa manteniéndose en el estrato superficial. El resto de la columna de agua se encontró dominada por salinidades entre 34,8 y 34,9 ups (Figura 4).

## Densidad

La densidad ( $\sigma$ -t) en superficie fluctuó entre 23,82 y 25,59. Valores superiores a 24,75 se registraron a lo largo de toda la franja costera (1-5 mn), asociados a las aguas de menor temperatura y salinidades inferiores a 35 ups. Desde Chucumata (20°30'S) al sur la densidad se fue incrementando (>25), gradiente que estuvo acompañado con la expansión costa afuera de los altos valores, observándose el máximo (25,59) frente a Mejillones (23°00'S) a 10 mn. En toda la zona entre 20 y 40 mn la densidad fue menor a 24,5, coincidente con las mayores temperaturas y salinidades (Figura 2D).

La distribución vertical mostró la presencia de densidades inferiores a 25 en el estrato entre la superficie y los 20 m de profundidad. Estos valores se distribuyeron entre 10 y 40 mn, mientras que en la costa (1-5 mn) se registraron valores superiores a 25,5 producto del ascenso de agua subsuperficial. Bajo los 50 m la columna de agua se encontró influenciada por densidades superiores a 26, con focos levemente inferiores asociados a la intrusión de agua de baja salinidad (Figura 5).

# **Diagramas T-S**

El diagrama T-S global, reveló la presencia de las tres masas de agua en la zona: Agua Subtropical Superficial (ASS), Agua Subantártica (ASAA) y Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Los diagramas T-S por sectores, revelaron una mayor influencia del ASS entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), asociada a las altas temperaturas (>20°C) y salinidades (>35 ups) registradas en el estrato superficial (0-20 m). El ASAA se registró en toda el área, pero tuvo un mayor dominio en el sector sur (22°10'S-23°00'S), localizándose entre 20 y 100 m, y mezclándose a mayores profundidades (>100 m) con el Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) (Figura 6).

# Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto en superficie fluctuó entre 3,3 y 7,1 mL/L. La distribución mostró un predominio de valores superiores a 5,0 mL  $O_2/L$  en toda el área, observándose la concentración máxima (7,1 mL  $O_2/L$ ) en punta Junín, a 1 mn, y un valor de 7,0 mL  $O_2/L$  en Arica (18°25'S) también a 1 mn de la costa. Asociado a las aguas de menor temperatura, se registró el mínimo de 3,3 mL  $O_2/L$  en Chipana (21°20'S) a 1 mn de la costa, y un foco de 3,5 mL  $O_2/L$  en Mejillones (23°00'S) a 10 mn (Figura 7A).

La distribución vertical mostró valores superiores a 4,0 mL  $O_2/L$  en un estrato que exhibió una profundización hacia las 40 mn donde alcanzó un máximo de 30 m frente a punta Junín (19°40'S). En la costa (1-5 mn) se observó el ascenso de las oxilíneas que llevaron aguas de bajo contenido de oxígeno a la superficie, lo que fue más evidente en

Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S) donde se detectaron los mínimos superficiales (Figura 8). Asociado a estos procesos de afloramiento, el límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno (LS\_ZMO), exhibió una profundización costa afuera, localizándose a menos de 20 m en la costa (1 mn) en punta Madrid (19°00'S) y desde Chipana (21°20'S) al sur, registrándose su ubicación más somera (7,3 m) en Chipana (21°20'S) (Figura 7B).

## Transporte de Ekman (TEk)

Los valores del TEk mostraron la ocurrencia de activos procesos de surgencia durante los días previos y de realización del crucero. Las mayores intensidades se registraron en Iquique (>3.000 m<sup>3</sup>/s/km), y en Arica y Antofagasta se mantuvieron cercanas a los 2.000 m<sup>3</sup>/s/km (Figura 9).



Figura 2. A: distribución superficial de Temperatura (°C), B: profundidad de localización de la isoterma de 15°C (m), C: distribución superficial de Salinidad (ups) y D: distribución superficial de Densidad ( $\sigma$ -t), entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 3. Distribución vertical de Temperatura (°C) entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 4. Distribución vertical de Salinidad (ups) entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 5. Distribución vertical de Densidad ( $\sigma$ -t) entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 6. Diagramas Temperatura-Salinidad (T-S) para toda la zona entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) (panel superior) y para los sectores norte: 18°25'S-19°40'S, centro: 20°30'S-21°20'S y sur: 22°10'S-23°00'S (panel inferior), entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 7. A: Distribución superficial de Oxígeno Disuelto (mL  $O_2/L$ ) y B: profundidad de localización del LS\_ZMO (m) entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 8. Distribución vertical de Oxígeno Disuelto (mL O<sub>2</sub>/L) entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 9. Transporte Ekman diario (m<sup>3</sup>/s/km) en Arica, Iquique y Antofagasta, entre los días 18 y 29 de enero de 2019 (entre líneas punteadas los días de realización del crucero).

#### Estructura de la Comunidad Planctónica

#### Fitoplancton

Se identificó un total de 94 especies microfitoplanctónicas, 44 pertenecientes al grupo de las diatomeas y 50 al de los flagelados. Los géneros y especies de diatomeas que exhibieron las mayores abundancias fueron *Eucampia zodiacus*, con abundancias superiores a 500 cél/mL entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), y *Pseudo-nitzschia* sp. y *Leptocylindrus danicus* dieron cuenta de las concentraciones registradas en el sector norte (18°25'S-19°40'S) y en Mejillones (23°00'S) respectivamente (Tabla 1). Entre los flagelados, los dinoflagelados atecados de los géneros *Gymnodinium* y *Gyrodinium* dominaron en toda el área con proliferaciones casi mono específicas en punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S). Además, destacaron con aportes importantes los géneros *Gonyaulax* al norte (18°25'S) y *Prorocentrum* al sur (23°00'S) del área (Tabla 2).

La abundancia total del microfitoplancton fluctuó entre 0,1 y 804,4 cél/mL. La concentración celular integrada entre la superficie y los 50 m de profundidad, exhibió valores superiores a 100 cél/m<sup>3</sup> en el norte del área (18°25'S-19°00'S) y desde Chipana (21°20'S) al sur, distribuidos entre 1 y 10 mn de la costa. Éstos respondieron a la presencia de las diatomeas, que aportaron con más del 70% a la abundancia total (Tabla 3).

La distribución horizontal de las diatomeas en superficie mostró dos focos de altos valores (>500 cél/mL), uno de 548 cél/mL localizado frente a Arica (18°25'S) a 1 mn de la costa, y el otro que se extendió entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), donde se registró la máxima concentración del grupo (790,8 cél/mL), y un foco secundario de 676 cél/mL a 1 y 10 mn respectivamente. A los 5 y 10 m el foco de Arica (18°25'S) se extendió hacia punta Madrid (19°00'S), y el segundo se restringió a Chipana (21°20'S). En los estratos más profundos se detectó un núcleo localizado a 10 mn entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), que alcanzó un máximo de 459,2 cél/mL a los 25 m, y de 120,9 cél/mL a 50 m de profundidad (Figura 10). En la componente vertical se observó el predominio de abundancias inferiores a 50 cél/mL en toda la columna de agua, con los focos principales (>500 cél/mL) restringidos a los primeros 10 m de profundidad y extendiéndose hasta 10 mn de la costa, excepto en el sector sur, donde éstos fueron registrados entre los 25 y 50 m (Figura 11).

La distribución de la abundancia de los flagelados mostró en superficie tres focos superiores a 50 cél/mL, localizados en Arica (18°25'S), Chipana (21°20'S) y Mejillones (23°00'S). El más importante fue el de Arica (18°25'S) que alcanzó las 318,9 cél/mL a 5 mn de la costa, y que a los 5 m exhibió la máxima abundancia del grupo (363,2cél/mL). Entre los 5 y 10 m de profundidad, se registró un núcleo frente a Chucumata (20°30'S) a 10 mn, donde la abundancia máxima fue de 324,4 cél/mL. A 25 y 50 m de profundidad concentraciones de 124,4 y 36,6 cél/mL respectivamente, se observaron en Mejillones (23°00'S) restringidas a la costa (1 mn) (Figura 12). La distribución vertical, mostró el predominio de abundancias inferiores a 10 cél/mL en toda la columna de agua,

observándose los focos de alta concentración (>300 cél/mL) restringidos al estrato superficial (1-10 m) y a las primeras 10 mn de la costa, excepto en Mejillones (23°00'S) donde el máximo estuvo a 25 m de profundidad (Figura 13).

La biomasa fitoplanctónica fluctuó entre 0,04 y 18,6 µg Cl-a/L. Los valores integrados entre la superficie y los 50 m de profundidad, mostraron concentraciones superiores o cercanas a 5,0 µg Cl-a/m<sup>3</sup> en Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) distribuidas entre 1 y 5 mn de la costa, mientras que en el resto del área predominaron biomasas inferiores a 3,0 µg Cl-a/m<sup>3</sup> (Tabla 4).

La distribución horizontal, entre la superficie y los 10 m de profundidad, se caracterizó por la presencia de concentraciones superiores a 3,0 µg Cl-a/L a lo largo de toda la franja entre 1 y 10 mn y, coincidente con la presencia de diatomeas y flagelados, se registraron focos de altos valores (>5,0 µg Cl-a/L) en Arica (18°25'S), entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) y en Mejillones (23°00'S). En Arica (18°25'S) se registraron 17,0 µg Cl-a/L en superficie, en Mejillones (23°00'S) se detectó la máxima biomasa (18,6 µg Cl-a/L) a 5 m de profundidad y a 5 mn, junto a dos máximos secundarios de 9,7 y 9,0 µg Cl-a/L localizados a 1 mn en Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S) respectivamente. A 25 m se detectó un foco cercano a los 5,5 µg Cl-a/L entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S), y a los 50 m de profundidad predominaron biomasas inferiores a 1,0 µg Cl-a/L en toda en toda el área (Figura 14).

En la componente vertical, se observó la presencia de los focos de alta biomasa (>5,0  $\mu$ g Cl-a/L) distribuidos entre 1 y 10 mn de la costa y ocupando el estrato superficial (1-10 m), bajo el cual predominaron biomasas inferiores a 5,0  $\mu$ g Cl-a/L, excepto en Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S) donde los máximos se registraron a 25 m de profundidad (Figura 15).

Tabla 1. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de las especies y géneros de diatomeas que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 21 y 25 de enero de 2019.

							LOCAL	IDAD							
GRUPO	Ari (18°2	ica 25'S)	punta (19°	Madrid 00'S)	punta (19°4	Junín O'S)	Chucເ (20°ິ	umata 30'S)	Chip (21°2	ana 20'S)	Toco (22°	opilla 10'S)	Mejill (23°0	ones )0'S)	
DIATOMEAS	AM	AP	AM	AP	AM	AP	AM	AP	AM	AP	AM	AP	AM	AP	
Eucampia zodiacus					5,2	5,2	764,4	72,3	506,4	68,7	259,2	26,1			
Leptocylindrus danicus	110,0	15,4	262,0	48,0	2,8	8,6	58,8	13,2	133,6	9,8	103,4	29,2	360,0	70,0	
Pseudo-nitzschia sp.	428,8	69,3	170,4	40,0	18,4	48,2									

Tabla 2. Abundancia máxima (AM) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de las especies y géneros de flagelados que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 21 y 25 de enero de 2019.

							LOCAL	IDAD						
GRUPO	Ari (18°2	ca 25'S)	punta (19°	Madrid 00'S)	punta (19°4	Junín 0'S)	Chucu (20°3	mata O'S)	Chipa (21°2	ana O'S)	Tocc (22°	opilla 10'S)	Mejill (23°0	ones )0'S)
FLAGELADOS	AM	AP	AM	AP	AM	AP	AM	AP	AM	AP	AM	AP	AM	AP
Gonyaulax c.f. taylorii	136,4	28,3	1,7	1,4										
Gonyaulax spinifera	95,4	13,2	7,4	14,0	3,0	8,9	19,2	4,9						
Lingulodinium polyedrum									44,4	24,2				
Prorocentrum gracile	75,5	14,8	12,6	18,0							55,2	49,4	96,8	48,0
Prorocentrum micans													38,4	20,3
Atecados	146,0	41,0	18,2	47,0	28,0	76,7	338,4	73,0	36,0	38,3	18,0	20,8	51,2	17,1

Tabla 3. Abundancia fitoplanctónica integrada (cél/m<sup>3</sup>) entre la superficie y los 50 m de profundidad y aporte porcentual (%) de diatomeas (DIATO) y microflagelados (M\_FLAGE), entre los días 21 y 25 de enero de 2019. MF\_TOTAL: microfitoplancton total, DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	MF_TOTAL	DIATO	M_FLAGE	%DIATO	%M_FLAGE
	1	383,8	355,6	28,2	92,7	7,3
Arica	5	93,7	33,7	60,0	36,0	64,0
(18°25'S)	10	41,5	39,4	2,1	94,9	5,1
	20	1,2	0,3	0,9	24,1	75,9
	1	0,3	0,1	0,2	39,7	60,3
punta Madrid	5	9,4	9,0	0,3	96,4	3,6
(19°00'S)	10	107,8	106,8	1,1	99,0	1,0
	20	20,6	4,4	16,2	21,4	78,6
	1	3,1	2,6	0,4	85,7	14,3
punta Junín	5	5,1	4,9	0,2	95,4	4,6
(19°40'S)	10	17,0	14,5	2,5	85,1	14,9
	20	7,3	3,6	3,7	49,0	51,0
	1	89,9	44,7	45,2	49,7	50,3
Chucumata	5	46,0	13,8	32,2	30,1	69,9
(20°30'S)	10	86,4	15,1	71,2	17,5	82,5
	20	9,9	7,2	2,7	72,7	27,3
	1	40,8	31,1	9,6	76,4	23,6
Chipana	5	172,5	166,0	6,5	96,2	3,8
(21°20'S)	10	35,6	34,4	1,2	96,6	3,4
	20	6,7	5,2	1,4	78,3	21,7
	1	111,5	88,7	26,3	79,5	23,6
Tocopilla	5	181,7	178,0	3,6	98,0	2,0
(22°10'S)	10	219,4	215,1	4,3	98,0	2,0
	20	5,8	5,3	0,5	90,8	9,2
	1	243,1	181,5	61,6	74,7	25,3
Mejillones	5	14,6	8,9	5,7	60,8	39,2
(23°00'S)	10	6,5	1,8	4,7	28,3	71,7
	20	0,8	0,6	0,2	79,1	20,9

Tabla 4. Biomasa fitoplanctónica integrada (µg Cl-a/m<sup>3</sup>) entre la superficie y los 50 m de profundidad, entre los días 21 y 25 de enero de 2019. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	BF (µg Cl-a/m <sup>3</sup> )
	1	7,0
Arica	5	1,5
(18°25'S)	10	0,4
	20	0,3
	1	2,0
punta Madrid	5	2,4
(19°00'S)	10	1,2
	20	0,5
	1	2,8
punta Junín	5	0,5
(19°40'S)	10	0,5
	20	0,2
	1	2,6
Chucumata	5	1,7
(20°30'S)	10	1,0
	20	1,9
	1	2,5
Chipana	5	2,2
(21°20'S)	10	1,8
	20	0,5
	1	3,1
Tocopilla	5	1,0
(22°10'S)	10	2,6
	20	0,5
	1	4,7
Mejillones	5	4,2
(23°00'S)	10	3,0
	20	0,4



Figura 10. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 11. Distribución vertical de la abundancia (cél/mL) de diatomeas entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 12. Distribución horizontal de la abundancia de microflagelados (cél/mL) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 13. Distribución vertical de la abundancia (cél/mL) de microflagelados entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 14. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) entre la superficie y 50 m de profundidad, entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 15. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica ( $\mu$ g Cl-a/L) entre los días 21 y 25 de enero de 2019.

#### Zooplancton

La abundancia total del zooplancton fluctuó entre 1,8 y 307 ind/10 m<sup>2</sup>. Valores superiores a 100 ind/10 m<sup>2</sup> se detectaron en Chucumata (20°30'S) y en Tocopilla (22°10'S), distribuidas entre la costa (1 mn) y las 40 mn, y en el resto del área predominaron abundancias cercanas a 50 ind/10 m<sup>2</sup> (Tabla 5).

Del total de grupos identificados (15) Copepoda destacó por exhibir las mayores abundancias, con un máximo de 277,9 ind/10 m<sup>2</sup> y aportes porcentuales al total que superaron el 75% en gran parte de las estaciones. Con concentraciones un orden de magnitud inferior, las larvas de anélidos ocuparon el segundo lugar, superando escasamente los 5,0 ind/10 m<sup>2</sup> coincidentes con las mayores abundancias de copépodos, al igual que el conjunto de los otros componentes (Tabla 6).

En relación a los tamaños, se registraron individuos en el rango entre 0,25 y 10,75 mm. La mayoría de los grupos estuvo representado en todas las categorías de tamaño, pero los copépodos y las larvas de anélidos pertenecientes a la categoría entre 0,25 y 0,75 mm, exhibieron las mayores abundancias. En el rango 1,25-1,75 el máximo fue de 26,2 ind/10 m<sup>2</sup>, también a cargo de Copépoda, y fueron también abundantes (>10,0 ind/10 m<sup>2</sup>) misidáceos y sifonóforos. En las otras categorías de tamaño no hubo más de 10,0 ind/10 m<sup>2</sup> (Tabla 7).

Lo anterior implicó que la fracción 0,25-0,75 mm exhibiera las mayores densidades, las que fluctuaron entre 1,5 y 301,5 ind/10 m<sup>2</sup>, siendo equivalentes, en promedio, al 93,2% de la abundancia total, y el grupo Copepoda contribuyó con aportes que variaron entre el 76,0 y el 98,2% (Tabla 8).

La distribución de la abundancia total mostró la franja costera (1-5 mn) influenciada por valores inferiores a 50 ind/10 m<sup>2</sup> y la presencia de tres focos de alta concentración (>50 ind/10 m<sup>2</sup>). El primero, de 73,6 ind/10 m<sup>2</sup> se observó en Arica (18°25'S) a 40 mn de la costa. El segundo se localizó frente a Chucumata (20°30'S) a 10 mn de la costa, donde se registró la máxima densidad zooplanctónica (307 ind/10 m<sup>2</sup>), y el tercero se extendió entre Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S) con valores de 124,1 y 96,3 ind/10 m<sup>2</sup> a 40 y 20 mn respectivamente (Figura 16A).

La distribución de Copepoda exhibió el mismo patrón, registrándose su abundancia máxima (277,9 ind/10 m<sup>2</sup>) en Chucumata (20°30'S) a 10 mn de la costa, y focos secundarios de 62,4, 93,2 y 76,6 ind/10 m<sup>2</sup> en Arica (18°25'S), Tocopilla (22°10'S) y Mejillones (23°00'S) a 40 y 20 mn respectivamente (Figura 16B).

De igual manera, el rango de tamaño dominante (0,25-0,75 mm) y la abundancia de los copépodos pertenecientes a éste, mostraron la misma distribución, con un foco principal de 301,5 y 277,9 ind/10 m<sup>2</sup> respectivamente en Chucumata (20°30'S) a 10 mn de la costa (Figuras 17A y 17B).

Tabla 5. Abundancia total del zooplancton (ind/10 m<sup>2</sup>) entre los días 21 y 25 de enero de 2019. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	Abundancia Total
	20()	(ind/10 m²)
	1	1,8
Arica	5	28,0
(18°25'S)	10	23,9
(10 20 0)	20	67,6
	40	73,6
	1	10,8
www.to. Madula	5	18,1
punta iviadrid	10	12,5
(19 00 3)	20	80,3
	40	48,4
	1	6,3
	5	71,7
punta Junin	10	67,9
(19 40 3)	20	56,0
	40	32,0
	1	2,2
Character	5	7,4
	10	307,0
(20 30 3)	20	36,0
	40	13,0
	1	1,9
Chinana	5	13,4
	10	69,0
(21 20 3)	20	50,4
	40	55,0
	1	15,2
Teeenille	5	50,9
10COPIIIa (22°10'S)	10	54,4
(22 10 3)	20	79,0
	40	124,1
	1	15,5
Mejillones	5	9,5
(23°00'S)	10	10,1
	20	96,3

Tabla 6. Abundancia (ind/10 m<sup>2</sup>) de Copepoda (COP), larvas de Annelida (LAnn) y de otros grupos zooplanctónicos (OG) y aporte porcentual de Copepoda (AP-COP) (%), entre los días 21 y 25 de enero de 2019. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	СОР	LAnn	OG	AP-COP (%)
	1	1,6	0,1	0,1	89,2
<b>A</b>	5	23,6	1,9	2,5	84,3
Arica	10	20,7	1,5	1,7	86,8
(10 25 3)	20	59,6	2,9	5,1	88,2
	40	62,4	2,4	8,8	84,8
	1	10,2	0,2	0,4	94,5
	5	15,7	1,3	1,2	86,5
punta Madrid	10	9,8	0,8	1,9	78,8
(19 00 3)	20	61,9	4,8	13,7	77,0
	40	36,1	4,0	8,2	74,6
	1	5,6	0,2	0,4	90,3
	5	55,7	6,1	9,9	77,7
punta Junin	10	50,0	5,7	12,3	73,6
(19 40 3)	20	40,7	7,0	8,3	72,6
	40	21,8	3,3	6,9	68,3
	1	2,1	0,1	0,1	93,0
	5	6,4	0,6	0,4	86,5
Chucumata	10	277,9	22,5	6,6	90,5
(20 50 5)	20	31,3	1,9	2,8	86,9
	40	10,8	1,2	1,1	82,8
	1	1,5	0,1	0,3	79,6
	5	12,5	0,4	0,5	92,8
Chipana (21°20'S)	10	57,5	4,6	6,9	83,3
(21 20 3)	20	38,7	5,3	6,3	76,9
	40	44,4	2,5	8,0	80,9
	1	12,9	1,5	0,9	84,5
To or	5	41,9	2,3	6,7	82,3
	10	41,5	4,1	8,7	76,4
(22 10 3)	20	67,3	4,5	7,1	85,2
	40	93,2	9,5	21,4	75,1
	1	12,2	2,2	1,1	78,6
Mejillones	5	8,3	0,7	0,5	87,3
(23°00'S)	10	9,3	0,4	0,3	92,4
	20	76,6	5,5	14,2	79,5

CRUDOS		RANGOS DE 1	「AMAÑO (mn	n)
GRUPUS	0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-10,25
Anfipodos	1,3	2,3	1,3	0,4
Annelida		0,4	0,3	
Appendicularia	29,3	1,9		
Chaetognata	1,4	3,1	3,5	6,5
Cnidaria	0,6	1,9	0,3	0,2
Copepoda	1288,1	26,2	3,1	0,7
Ctenoforos	0,7	4,0	1,7	1,0
Eufausiacea		0,2	1,1	7,1
Larva_annelida	106,7	5,1		
Megalopas		0,5	0,7	
Mysidacea	7,2	16,4	0,6	
Salpas	25,8	6,8		
Sifonoforos	2,2	14,6	7,6	4,8
Stomatopoda	0,1	2,3	2,1	0,4
Zoeas	3,1	7,1	1,7	0,8

Tabla 7. Abundancia relativa de los grupos zooplanctónicos por rango de tamaño (mm) entre los días 21 y 25 de enero de 2019.

Tabla 8. Abundancia zooplanctónica (ind/10 m<sup>2</sup>) por rango de tamaño (mm) y aporte porcentual de Copepoda (AP-COP) (%) a la categoría 0,25-0,75 mm, entre los días 21 y 25 de enero de 2019. DC: distancia de la costa (mn).

	DC	R/	AP-COP (%)			
LOCALIDAD	(mn)	0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-10,75	0,25-0,75
	1	1,7	0,03			91,5
<b>A</b> rian	5	27,3	0,5	0,04	0,03	86,3
Arica (18°25'S)	10	23,2	0,5	0,1		89,1
(10 25 5)	20	62,5	2,5	0,9	1,2	95,4
	40	67,9	4,6	0,6	0,6	92,0
	1	10,7	0,1		0,01	95,3
punta	5	17,4	0,6	0,0	0,1	89,9
Madrid	10	11,4	0,6	0,2	0,4	86,7
(19°00'S)	20	68,5	7,5	2,1	1,7	90,4
	40	40,9	5,5	1,0	0,6	88,2
	1	6,0	0,2	0,0	0,01	94,5
	5	61,5	7,4	1,7	0,8	90,5
punta Junin	10	59,8	5,9	1,3	0,7	83,6
(19 40 5)	20	49,3	5,3	1,0	0,2	82,7
	40	28,8	2,7	0,3	0,3	76,0
	1	2,2	0,04	0,01	0,01	95,9
	5	7,3	0,04	0,01	0,3	87,5
Chucumata	10	301,5	3,2	1,4	0,5	92,2
(20 30 3)	20	34,3	1,5	0,2	0,04	91,4
	40	12,1	0,7	0,1	0,02	89,0
	1	1,5	0,3	0,04		98,1
a :	5	13,3	0,1	0,01		93,8
Chipana (21°20'S)	10	63,9	4,0	0,6	0,3	90,0
(21 20 3)	20	44,3	3,6	1,4	0,7	87,3
	40	50,3	3,6	0,7	0,5	88,4
	1	14,8	0,2	0,1	0,3	87,0
	5	42,6	4,9	1,5	1,7	98,2
	10	44,5	4,4	2,5	2,7	93,3
(22 10 3)	20	71,7	5,4	1,0	0,6	94,0
	40	107,7	12,1	2,8	0,9	86,5
	1	15,0	0,4	0,1	0,03	81,1
Mejillones	5	9,2	0,2	0,03	0,03	89,5
(23°00'S)	10	9,9	0,04	0,04	0,1	94,0
	20	83,5	4,1	2,2	6,6	91,8



Figura 16. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m<sup>2</sup>) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda, entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 17. Distribución horizontal de la abundancia (ind/10 m<sup>2</sup>) de A: zooplancton total y B: grupo Copepoda pertenecientes al rango de tamaño 0,25-0,75 mm, entre los días 21 y 25 de enero de 2019.

#### Ictioplancton

El análisis del componente ictioplanctónico permitió registrar un total de 49.644 huevos/10 m<sup>2</sup> y 7.952 larvas/10 m<sup>2</sup>. Los estadios tempranos de *Engraulis ringens* aportaron a estos totales con un 97,8% y un 19,9% respectivamente. Las larvas se encontraron en los estados yolk-sac y pre-flexión, con abundancias máximas que superaron las 1.000 larvas/10 m<sup>2</sup> (Tabla 9).

Con excepción de punta Madrid (19°00'S), en todas las localidades se registraron estadios tempranos de *Engraulis ringens* entre 1 y 40 mn de la costa (Figura 18). Los huevos fueron los que exhibieron la mayor distribución dentro del área, con densidades superiores a 10.000 huevos/10 m<sup>2</sup> a 10 mn frente a Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S). La densidad máxima fue de 17.194 huevos/10 m<sup>2</sup> y se localizó en Arica (18°25'S). En las otras localidades donde se detectó la presencia de estos estadios, las abundancias no superaron los 1.500 huevos/10 m<sup>2</sup> (Figura 19).

Las larvas de *Engraulis ringens* en estado yolk-sac sólo fueron registradas en Arica (18°25'S), Chipana (21°20'S) y Tocopilla (22°10'S), y presentaron una densidad máxima de 463 larvas/10 m<sup>2</sup> frente a Chipana (21°20'S) a 10 mn (Figura 20-panel derecho). El estado pre-flexión se restringió a punta Junín (19°40'S) y Chucumata (20°30'S) y exhibió un máximo de 763 larvas/10 m<sup>2</sup> frente Chucumata (20°30'S) a 10 mn de la costa (Figura 20-panel izquierdo).

Los huevos de otras especies se concentraron entre Chipana (21°20'S) y Tocopilla (22°10'S), con un máximo de 617 huevos/10 m<sup>2</sup> en Chipana (21°20'S) a 10 mn de la costa (Figura 21-panel izquierdo), y las larvas, con una mayor distribución en el área, presentaron una densidad máxima de 2.004 larvas/10 m<sup>2</sup> a 20 mn frente a punta Madrid (19°00'S) (Figura 21-panel derecho).

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 25 de enero de 2019. Larvas Y-S: larvas en estado yolk-sac, Larvas Pre-Flex: larvas en estado de pre-flexión. DC: distancia de la costa (mn).

		Eng	raulis ring	ens	Otras Especies		Totales		
Localidad	(mn)	Huevos	Larvas Y-S	Larvas Pre-Flex	Huevos	Larvas	Huevos	Larvas	
	1					67		67	
<b>A</b> wine	5	415	138				415	138	
	10	17.194					17.194		
(18 25 3)	20								
	40					85		85	
	1								
punta	5								
Madrid	10								
(19°00'S)	20					2.044		2.044	
	40					730		730	
	1	1.126					1.126		
punta	5	701		140		631	701	771	
Junín	10					757		757	
(19°40'S)	20								
	40					428		428	
	1								
Ch	5	331					331		
	10	15.429		763	85		15.514	763	
(20 30 3)	20								
	40								
	1								
	5	390				97	390	97	
Chipana (24°20IC)	10	12.419	463		617		13.036	463	
(21 20 5)	20				157	548	157	548	
	40				81	407	81	407	
	1	454	76				454	76	
<b>T</b>	5				93		93		
	10								
(22-10-5)	20				79	79	79	79	
	40					372		372	
	1								
Mejillones	5					126		126	
(23°00'S)	10	73	1			1	73		
	20		1			1			
	TOTAL	48.531	677	903	1.113	6.373	49.644	7.952	
	AP (%)	97,8	8,5	11,4	2,2	80,1			



Figura 18. Estaciones positivas (círculos rojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulis ringens* entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 19. Distribución de la abundancia de huevos (N°/10 m<sup>2</sup>) de *Engraulis ringens* entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 20. Distribución de la abundancia de larvas (N°/10 m<sup>2</sup>) de *Engraulis ringens* en estado yolksac (panel izquierdo) y pre-flexión (panel derecho) entre los días 21 y 25 de enero de 2019.



Figura 21. Distribución horizontal 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 25 de enero de 2019.

#### Análisis Estadístico

El análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta y las variables físicas, químicas y biológicas, no reveló ninguna asociación significativa, mientras que la abundancia de las larvas se encontró correlacionada con la abundancia del zooplancton (r=0,46, p<0,01) (Figura 22).

Los resultados del análisis comparativo global entre las variables físicas y químicas registradas durante el verano de 2019 y las de 2015 a 2018, mostraron diferencias estadísticamente significativas entre la temperatura, la salinidad, la PCM y la profundidad del LS\_ZMO, mientras que dentro del componente biológico, exhibieron diferencias la abundancia de diatomeas y microflagelados, la biomasa fitoplanctónica, y la abundancia de zooplancton y de larvas de anchoveta (Tabla 10).

Las diferencias en la temperatura se debieron a que el año 2017 ha sido el más cálido, excepto en comparación a 2016. Las altas salinidades de 2015 y 2016 generaron diferencias con 2017 y 2018, y éste último con el verano de 2019 debido a un aumento en los valores de salinidad. La capa de mezcla y el LS\_ZMO se localizaron a mayor profundidad durante 2016, sin embargo, el análisis arrojó diferencias entre 2015 y 2018 (Tabla 11, Figura 23).

Dentro del componente biológico, las abundancias de diatomeas y flagelados del verano de 2018 generaron diferencias respecto de 2015 y 2016, y la mayor biomasa fitoplanctónica de 2016 en comparación a 2015 y 2019 (Tabla 12, Figura 24). La abundancia del zooplancton de 2015 ha sido la mayor de la serie, y la de 2018 respecto de 2019 (Tabla 12, Figura 25). Para las larvas de anchoveta, la prueba de comparación múltiple de rangos no identificó diferencias entre los periodos, sin embargo, el gráfico de cajas y bigotes mostró que en 2019 se han registrado las menores densidades de todos los veranos analizados (Figura 25).



Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (rlarva) (N°/10 m<sup>2</sup>) y las variables abundancia de diatomeas (rdia) (cél/m<sup>3</sup>), abundancia de microflagelados (rflag) (cél/m<sup>3</sup>) y abundancia de zooplancton (rzoop) (ind/10 m<sup>2</sup>), registradas entre el 21 y 25 de enero de 2019.

Variable	K-W	Valor <i>p</i>
	20.4.00	
TEMPERATURA (°C)	38,160	0,000
SALINIDAD (ups)	31,893	0,000
PCM (m)	22,937	0,000
PROFUNDIDAD LS_ZMO (m)	17,855	0,001
ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)	23,182	0,000
ABUNDANCIA FLAGELADOS (cél/mL)	20,130	0,000
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	14,962	0,005
ZOOPLANCTON (N°/10 m²)	30,416	0,000
LARVAS (larvas/10 m <sup>2</sup> )	10,832	0,029

Tabla 10. Resultados del análisis comparativo global entre las variables físicas, químicas y biológicas registradas durante los veranos de 2015 a 2019. K-W: estadístico de Kruskal-Wallis.

Tabla 11. Resultados de la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para las variables físicas y químicas registradas durante los veranos de 2015 a 2019. dif.obs.: diferencias observadas, dif.crit.: diferencias críticas.

Variable	Periodo	dif.obs.	dif.crit.
	2016-2018	32,54	22,69
	2017-2015	26,09	24,32
TEMPERATORA (C)	2017-2018	44,48	22,69
	2017-2019	35,75	23,92
	2016-2017	35,63	32,39
	2016-2018	50,88	31,73
SALINIDAD (ups)	2015-2018	30,31	19,79
	2018-2019	22,94	19,43
PCM (m)	2015-2018	29,21	18,62
PROFUNDIDAD LS_ZMO (m)	2015-2018	25,15	18,07

Tabla 12. Resultados de la prueba de comparación múltiple de rangos después de Kruskal-Wallis para las variables biológicas registradas durante los veranos de 2015 a 2019. dif.obs.: diferencias observadas, dif.crit.: diferencias críticas.

Variable	Periodo	dif.obs.	dif.crit.
ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)	2015-2018	25,31	22,97
	2016-2018	38,25	22,97
ABUNDANCIA FLAGELADOS (cél/mL)	2015-2018	32,15	22,97
	2016-2018	27,15	22,97
BIOMASA FITOPLANCTONICA (µg/L)	2016-2015	25,31	24,21
	2016-2019	29,94	24,21
ZOOPLANCTON (N°/10 m²)	2015-2016	30,00	24,21
	2015-2017	25,47	24,21
	2015-2018	23,28	22,97
	2015-2019	46,84	24,21
	2018-2019	23,56	22,97



Figura 23. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de temperatura (°C), salinidad (ups), profundidad de la capa de mezcla (m) y profundidad del límite superior de la zona de mínima concentración de oxígeno (m), registrada durante los veranos de 2015 a 2019.



Figura 24. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de abundancia de diatomeas (cél/mL), abundancia de microflagelados (cél/mL) y biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L), registrada durante los veranos de 2015 a 2019.



Figura 25. Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo global entre la información de abundancia de zooplancton (ind/10 m<sup>2</sup>) y abundancia de larvas de anchoveta (larvas/10 m<sup>2</sup>), registrada durante los veranos de 2015 a 2019.

#### **DISCUSION Y CONCLUSIONES**

En comparación al verano de 2018, la región mostró, en general, una condición cálida, asociada a la presencia del ASS, la que si bien se restringió a los primeros 5 m de profundidad, exhibió un mayor acercamiento a la costa (10 mn), especialmente en el sector entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S). Aunque en la franja entre 1 y 5 mn se detectó el ascenso de agua subsuperficial producto de los procesos de afloramiento, hubo un predominio de valores de TSM superiores a los 17°C. Sólo Chipana (21°20'S) y Tocopilla (22°10'S) a 1 mn se registraron temperaturas cercanas a 16°C, y en Mejillones (23°00'S) se mantuvo la presencia habitual del foco de agua fría (<16°C) generado por la surgencia permanente en el sector de punta Angamos. Por otra parte, bajo los 10 m de profundidad, se observó el predominio de salinidades asociadas al ASAA, la cual exhibió una mayor influencia en el sector de Mejillones (23°00'S). En relación a lo anterior, el TEk promedio de enero en Arica y Mejillones, mostró un descenso en relación diciembre, pero los valores se mantuvieron cercanos a los 1.000 m<sup>3</sup>/s/km en las tres localidades (Figura 26), indicando procesos de surgencia intensos (Silva & Valdenegro, 2003), lo cual es coincidente con lo descrito para la región (Fuenzalida, 1992).



Figura 26. Transporte Ekman promedio mensual (m<sup>3</sup>/s/km) en Arica, Iquique y Antofagasta, entre agosto de 2014 y febrero de 2019.

Dentro del componente fitoplanctónico, ambos grupos respondieron a esta condición ambiental con proliferaciones casi mono específicas de especies habituales de la región, las que mostraron una alternancia latitudinal asociada a las condiciones generadas, tanto por la surgencia, como por la influencia del ASS. No obstante, tanto diatomeas como flagelados disminuyeron sus abundancias generándose diferencias significativas con 2018, verano durante el cual el fitoplancton ha exhibido las mayores concentraciones de la serie. Este descenso también se evidenció en los valores de biomasa, pero las diferencias no se debieron a los valores de 2018, sino que a los de registrados en 2016, cuando los microflagelados dieron cuenta de las máximas de clorofila-a informados. Respecto del zooplancton, la abundancia es la menor registrada de todos los veranos analizados,

manteniéndose el 2015 con los niveles más altos. Por otra parte, la distribución de las máximas densidades fue coincidente con la presencia del foco de fitoplancton registrado en Chucumata (20°30'S), donde diatomeas y flagelados mostraron altas abundancias (>300 cél/mL). El grupo Copepoda mantuvo su dominancia, al igual que la fracción de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm.

En relación a los estadios tempranos de anchoveta, el análisis comparativo no mostró diferencias significativas en la densidad de huevos, sin embargo, ésta fue menor a la de los dos veranos previos, manteniéndose dentro de los rangos registrados en 2015 y 2016, cuando el sistema se encontró influenciado por el evento El Niño. No obstante, las mayores abundancias continúan registrándose en los sitios caracterizados como zonas de desove y retención (Arica (18°25'S), Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S)). Las larvas exhibieron las menores densidades de la serie, generándose diferencias significativas con los veranos previos. Su distribución coincidió con la de los huevos, destacándose la presencia de las mayores abundancias de larvas en pre-flexión en Chucumata (20°30'S), coincidente con las mayores abundancias de plancton. Esta asociación que puede atribuirse a la presencia de alimento adecuado, se corroboró en el análisis de correlación que resultó significativo para la abundancia de zooplancton.

En general, el sistema mostró un escenario similar al de la primavera de 2018, manteniéndose bajo una condición cálida que, si bien favoreció el desarrollo de proliferaciones de fitoplancton, sostuvo una baja producción planctónica que exhibió valores de abundancia similares a los registrados durante 2016 y 2017, lo cual se evidenció también en los estados tempranos de anchoveta. No obstante, la estructura de la columna de agua bajo los 10 m de profundidad mostró la ocurrencia de eventos de surgencia principalmente desde Chucumata (20°30'S) al sur, los cuales, con excepción de Mejillones (23°00'S), restringieron su influencia a la milla.

De acuerdo a CIIFEN, durante enero y la primera quincena de febrero de 2019, junto a la costa de Sudamérica la TSM se mantuvo sobre lo normal en alrededor de +1,0°C en promedio. Además, en las capas subsuperficiales de 25 y 45 m se apreció la reducción de la lengua de agua fría y, en su lugar se presentaron aguas cálidas (>22 °C) que alcanzaron hasta el extremo norte de Chile. La evolución del contenido de calor en la capa superficial (0-300 m) a lo largo del Pacífico ecuatorial, mostró la progresión hacia el este de un pulso cálido originado a inicios de enero, y que se esperó arribara al borde oriental en la primera quincena de marzo 2019 (boletín Febrero 2019).

## LITERATURA CITADA

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

CIIFEN. Boletín Análisis del Pacífico Oriental. Febrero 2019. <u>www.ciifen.org</u>.

Fuenzalida R 1992. Procesos de surgencia en la región norte de Chile, latitudes 20°30'S – 21°45'S. Invest. Cient. y Tec., Serie: Ciencias del Mar 2:79-104.

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.

Silva N & A Valdenegro. 2003. Evolución de un evento de surgencia frente a punta Curaumilla, Valparaíso. Invest. Mar., Valparaíso, 31(2): 73-89.

Schlitzer, R. 2018. 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.