



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

FEBRERO2015

<u>REQUIRENTE</u> CENTRO DE INVESTIGACIONES APLICADAS AL 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 GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO
INTRODUCCIÓN
OBJETIVOS GENERALES
OBJETIVOS ESPECÍFICOS
METODOLOGÍA
RESULTADOS
Condiciones Físicas y Químicas8
Estructura de la Comunidad Planctónica16
Fitoplancton16
Zooplancton
Ictioplancton
Análisis Estadístico
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES 45
LITERATURA CITADA

RESUMEN EJECUTIVO

Se llevó a cabo el crucero de verano 2015, con el objetivo de evaluar las condiciones oceanográficas imperantes y de explorar la influencia de las variables físicas, químicas y biológicas sobre los primeros estadios de vida del recursoanchoveta (*Engraulisringens*).

El registro de información oceanográfica y toma de muestras planctónicas se realizó entre los días 19 y 24 de enero de 2015, en la zona comprendida entre Arica (18°25'S) y Punta Hornos (23°00'S) y entre las 5 mn y 40 mn de la costa. En cada estación se obtuvieron perfiles verticales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto utilizando un CTDO SeaBird19. Con el uso de botellas Niskin se tomaron muestras discretas desde la superficie hasta 50 m de profundidad para determinar la abundancia, espectro de tamaño y biomasa del fitoplancton. Para caracterizar la composición y abundanciadel zooplancton e ictioplancton, se colectaron muestras mediante arrastres verticales desde 60 m a superficie, utilizando una red WP-2 de 300 µm de abertura de malla equipada con un flujómetro TSK. La información fue analizada gráficamente, y la influencia de los parámetros físicos, químicos y biológicos sobre los componentes ictioplanctónicos se examinó mediante un modelo aditivo generalizado (GAM).

La zona estuvo influenciada por altas temperaturas y salinidades (>22°C, >35 ups) asociadas al ASS que penetró hasta las 10 mn de la costa frente a Arica (18°25'S) y se extendió, por el sector más oceánico (20-40 mn), hasta el sur de Copaca (22°20'S). En una estrecha franja costera (5 mn) desde Chucumata (20°30'S) al sur, se evidenció en superficie la presencia del AESS con un bajo aporte del ASAA, sugiriendo procesos de surgencia. Pronunciados gradientes de densidad dieron lugar a una condición de alta estabilidad en toda el área, excepto en aquellas localidades en las cuales se registró ascenso del agua subsuperficial. La profundidad del límite superior de la OMZ también evidenció surgencia moderada, con una leve inclinación de las oxilíneas hacia la superficie en la zona costera (5 mn) entre Chucumata (20°30'S) y Punta Hornos (23°00'S). El componente fitoplanctónico estuvo dominado por formas flageladas, con abundancias superiores a 200 cél/mL entre 5 mn y 10 mn de la costa en toda el área, mientras que las diatomeas con un máximo >800 cél/mL, se restringieron sólo al sector de Chucumata. Los máximos valores de biomasa fitoplanctónica(>20 µg Cl-a/L) estuvieron asociados con las mayores concentraciones celulares que exhibieron tanto diatomeas como flagelados. El zooplancton mostró abundancias superiores a 100 ind/m³ en toda la zona y entre la costa y las 40 mn, y estuvo estuvo dominado por el componente Copepoda, en sus fracciones de tamaño entre 0,25 y 1,75 mm, el cual realizó un aporte promedio a la abundancia total del 75%. Dentro del ictioplancton, los huevos y larvas de Engraulisringens representaron tan sólo el 51,0% y 29,8% de la abundancia total de estadios tempranos respectivamente. La presencia de huevos estuvo restringida entre Arica (18°25'S) y Chipana (21°20'S), exhibiendo un máximo de 9.921 huevos/10 m² en Chucumata (20°30'S). El componente larval estuvo mejor representado desde Chucumata al sur, y el estadio yolk-sac fue el que mostró las mayores abundancias, las cuales alcanzaron máximas superiores a 900 larvas/10 m² en Chucumata y Punta Hornos (23°00'S). Las abundancias de huevos y larvas de *Engraulisringens* no mostraron correlaciones significativas con las variables oceanográficas físicas y químicas, pero sí lo hicieron con la abundancia de diatomeas y flagelados, y en menor medida con la biomasa fitoplanctónica y la abundancia del zooplancton.

El periodo estuvo dominado por una condición cálida y estable, generada por la fuerte intrusión del ASS. Desde Chucumata (20°30'S) al sur, se habrían desarrollado moderados eventos de surgencia, dada la presencia del AESS en superficie y la profundidad a la que fue registrada la profundidad del límite superior de la ZMO. Por otra parte, la dominancia de las formas flageladas, dentro del componente fitoplanctónico, se debería a su adaptación a aguas cálidas con bajos niveles de turbulencia y nutrientes. De igual manera, la biomasa fitoplanctónica, que evidenció una fuerte disminución respecto a primavera, fue producto de la presencia tanto de flagelados como de diatomeas. El zooplancton evidenció un incremento en su abundancia total respecto de primavera, debido al aumento en la concentración del grupo Copepoda y a una mayor presencia de formas gelatinosas, lo cual se puede asociar a la época y a las condiciones imperantes. En relación al ictioplancton, la abundancia de los estadios tempranos de Engraulisringens exhibió una fuerte disminución respecto del periodo de primavera, con una presencia mayoritaria en aquellas localidades señaladas entre las principales áreas de retención en la zona norte (20°S-21°S). En estas localidades, se detectaron las mayores concentraciones de plancton, y considerando las correlaciones entre la abundancia de huevos y larvas con la componente planctónica, ésta, como potencial fuente de alimento, habría resultado preponderante en cuanto a su distribución. No obstante que se ha descrito la época de verano como el periodo de un desove secundario de anchoveta, las densidades de estadios tempranos registradas no sugieren la ocurrencia de dicho proceso, más aun tomando en cuenta que los valores resultaron más bajos que los de primavera. Al respecto es importante considerar que el patrón de conducta reproductiva de la anchoveta se caracteriza por la habilidad de seleccionar áreas donde la sobrevivencia larval es aumentada por la presencia de altos niveles de alimento, o de niveles de turbulencia que promueven un aumento de la tasa de encuentro entre el alimento y las larvas, condiciones que no caracterizaron la zona durante el periodo analizado.

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 tercer crucero bio-oceanográfico estacional, correspondiente al crucero de verano, requerido por el Centro de Investigaciones Aplicadas Marinas (CIAM) y ejecutado por la Facultad de Recursos Naturales Renovables (FRNR) 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).

METODOLOGÍA

Área de estudio

El área de estudio comprendió la zona entre Arica (18°25'S) y Punta Hornos (23°00'S), donde se establecieron tres grillas de trabajo distribuidas al norte, centro y sur del área. Cada grilla estuvo conformadapor dostransectas perpendiculares a la costa con estaciones localizadas a 5, 10, 20 y 40 millas náuticas (mn) (Figura 1).



Figura 1. Área de estudio y posición de las estaciones bio-oceanográficas. Crucero de Enero de 2015.

Muestreo y registro de información

El crucero de verano se llevó a cabo entre los días 19 y 23 de enero de 2015. Entre los días 19 y 20 se visitó la Grilla Norte a bordo de la embarcación PAM "Reñaca" proporcionada por la empresa pesquera CORPESCA S.A., y entre el 21 y 23 de enero se muestreó la Grilla Centro y la Grilla Sur en la embarcación PAM "Loa 5" proporcionada por la empresa pesquera Camanchaca S.A.

En cada una de las estaciones, y entre la superficie y los 200 m de profundidad, se realizaron perfiles verticales de temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto, utilizando un CTDO SeaBird-19. Con el uso de botellas oceanográficas Niskin se obtuvieron muestras de agua desde 0, 5, 10, 25 y 50 m de profundidad, las que fueron destinadas a la medición de la abundancia y biomasa fitoplanctónicas. Las muestras de zooplancton e ictioplanctonfueron colectadas mediante arrastres verticales,entre los 60 m y la superficie, utilizando una red WP-2 de 300 µm de abertura de mallaequipada con un flujómetro TSK.

La información de las variables físicas y químicas fue analizada mediante gráficos de distribución horizontal y vertical.

La abundancia de fitoplancton se determinósegún la metodología propuesta en UNESCO (1978) y Villafañe y Reid (1995), y la biomasa, expresada como la concentración de clorofila-a, de acuerdo a Parsons *et al.* (1984). Todas las formas microfitoplanctónicas, solitarias y en cadena, fueron medidas según Hillebrand*et al.* (1999). Esta información fue analizada gráficamente en la componente horizontal y vertical. Para efectos de presentación en tablas, los datos de abundancia fueron integrados entre la superficie y los 10 m de profundidad, según lo propuesto por Hasle (1969), y los tamaños promediados.

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 m² de superficie oceánica (Smith y Richardson, 1979). Toda la información se presenta en tablas y gráficos de distribución horizontal.

Como una forma de determinar la estabilidad de la columna de agua, se calculó el índice de la anomalía de la energía potencial (PEA) (ϕ):

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

donde ϕ es el índice de la anomalía de la energía potencial (PEA) (J/m³), *H* es la altura de la columna de agua (m), *p*es la densidad en cualquier profundidad *z*, *pm*es la densidad promedio de la columna de agua, y *g* es la aceleración gravitacional (9,8 m/s²). Este índice estima el déficiten energía potencial debido al gradiente de densidad (Bowden, 1983), es decir, expresa la cantidadde

energía mecánica necesaria para homogeneizar una columna de agua con un determinado gradiente de densidad.

Para explorar la influencia de los parámetros físicos, químicos y biológicos sobre los componentes ictioplanctónicos se aplicó 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.

RESULTADOS

Condiciones Físicas y Químicas

Temperatura

La temperatura superficial del mar (TSM) presentó valores extremos de 18,32° y 23,70°C. En toda la franja costera, entre 5 mn y 10 mn, se registraron temperaturas inferiores a 21°C observándose un foco de valores mínimos (~18°C) frente a Chucumata(20°30'S). En la zona más oceánica (20-40 mn) y desde Arica (18°25'S) a Copaca (22°20'S) se observó el ingreso de una masa de agua cálida que evidenció un gradiente latitudinal de disminución desde el máximo registrado (23,7°C) hasta alcanzar 22°C. Entre Copaca y Punta Hornos (23°00'S), y entre la costa y las 40 mn, predominó la presencia de aguascon temperaturasinferiores a 22°C(Figura 2A).

La distribución vertical mostró la influencia del agua cálida (>20°C) hasta los 25 m de profundidad aproximadamente, replegándose hacia el sector entre 20 mn y 40 mn desde Chipana (21°20'S) al sur. La isoterma de 15°C, como un proxy del límite vertical de la capa de mezcla, se localizó alrededor de los 50 m de profundidad en todas las localidades, observándose un ascenso en la zona costera desde Chucumata (20°30'S) al sur, el que fue más evidente frente a Chucumata y Punta Hornos (23°00'S). La elevación de las isotermasentre estas localidades y la dominancia de temperaturas inferiores a 14°C en la columna de agua, sugieren un ascenso de agua sub-superficial(Figura 3-panel superior).

Salinidad

La salinidad en superficie fluctuó entre 34,61 y 35,35ups.Concordante con la temperatura, la franja entre 5 mn y 10 mn exhibió las salinidades más bajas, particularmente frente a Chucumata (20°30'S). La zona oceánica (20-40 mn) entre Arica (18°25'S) y Copaca (22°20'S) influenciada por la masa de agua cálida, exhibió salinidades superiores a 35,0, las que descendierondesde Copaca al sur, coincidentes con la intrusión de agua de menor temperatura (Figura 2B). En la componente vertical, aguas de salinidades superiores a 34,9 ups dominaron el estrato entre la superficie y los 50 m de profundidad entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S). Hacia el sur estas aguas más salinas se replegaron hacia las 20 mn y 40 mn, y toda la columna de agua se encontró influenciada por salinidades iguales o inferiores a 34,8. Esta situación se hizo más evidente en Chucumata(20°30'S) y Punta Hornos (23°00'S), donde valores inferiores a 34,7 se registraron hasta las 20 mn de la costa. En Copaca (22°20'S) se registró la intrusión,alrededor de los 100 m de profundidad de un agua de baja salinidad (<34,7 ups), la cual alcanzóla superficie en Punta Hornos (23°00'S) (Figura 3-panel inferior).

Al analizar las masas de agua presentes en la zona durante el periodo de estudio, el diagrama T-S permitió registrar la presencia del Agua Superficial Subtropical (ASS) que dominó el sector más oceánico acercándose hacia la costa entre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) que fue registrada en toda la columna de agua, alcanzando la superficie desde Chucumata (20°30'S) al sur, y del Agua Superficial Subantártica (ASSA), la cual con menor influencia, se hizo más evidente entre Copaca (22°20'S) y Punta Hornos (Figura 4).

Densidad

La densidad (σ -t) a nivel superficial fluctuó entre 23,96 y 24,95. Los mayores valores (>24,75) se registraron en la zona costera influenciada por aguas de menor temperatura y salinidad, con una densidad máxima frente a Chucumata (20°30'S). Entre Arica (18°25'S) y Copaca (22°20'S) el campo de densidad exhibió bajos valores asociados al agua cálida, los que se acercaron a la costa (10 mn) en el extremo norte del área. Hacia el sur la densidad aumentó junto al gradiente de disminución de temperatura y salinidad, detectándose altas densidades en Copacay Punta Hornos (23°00'S) a lo largo de toda la transecta (Figura 2C).

En la componente vertical, en Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S), el estrato entre la superficie y 50 m de profundidad presentó densidades inferiores a 25,0, asociadas al ingreso del ASS. Hacia el sur, y entre 5 mn y 10 mn de la costa, aguas de alta densidad (>25,5) se acercaron a la superficie, debido al ascenso del AESS y del ASAA, lo que fue más evidente en Copaca (22°00'S) y Punta Hornos (23°00'S), localidades donde predominaron densidades mayores a 26,0 en toda la columna de agua (Figura 5-panel superior).

Estabilidad

En toda la zona se registraron altos valores del índice de la anomalía de la energía potencial (PEA)(>50 J/m³), lo que revela una condición de estabilidad que se incrementó notoriamente desde la costa hacia las estaciones localizadas a 40 mn. Sólo frente a Arica (18°25'S) y Chucumata (20°30'S), a 5 mn, las magnitudes fueron inferior a 100J/m³, pero aún dentro de los rangos que indican una alta estratificación (Tabla 1).

Oxígeno Disuelto (OD)

El oxígeno disuelto presentó en superficie valores extremos de 4,58 y 7,01mL/L. Concentraciones iguales o inferiores a 5,5 O_2/L se registraron en la franja entre 5 mn y 10 mn, en

aquellos sectores donde las temperaturas fueron más bajas, evidenciando el ascenso de AESS. Si bien los valores de oxígeno disuelto del AESS suelen ser más bajos (<4,0 mLO₂/L), la mezcla con el ASAA pudo dar como resultado las concentraciones registradas. El núcleo superior a 6,0 mL O₂/L localizado frente a Chucumata (20°30'S) puede asociarse a la alta concentración fitoplanctónica encontrada en esa localidad, y los bajos valores en el sector más oceánico, que se observaron desde Arica (18°25'S) al sur, podrían evidenciar una baja actividad fotosintética en las aguas de origen subtropical (Figura 2D).

En la componente vertical, Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) mostraron una capabien oxigenada entre la superficie y los 30 m de profundidad, con valores iguales o superiores a 4,0 mL O₂/L. Hacia el sur esta capa se replegó hacia las 20 mn y 40 mn, y en la franja más costera (5-10 mn) se observó una elevación de oxilíneas de menor valor, dando lugar a una columna de agua dominada por concentraciones inferiores a 3,5 mL O₂/L. Coincidente con esto, el límite superior de la ZMO (oxilínea de 1 mL O₂/L), que se ubicó bajo los 50 m de profundidad en el extremo norte (Arica-Punta Madrid), se hizo más somero llegando cerca de los 25 m de profundidad en Chucumata (20°30'S). La notoria profundización registrada en Copaca (22°20'S) pudo deberse a la intrusión de ASAA, la cual se caracteriza por ser una masa de agua bien oxigenada (>5,0 mL O₂/L) (Figura 5-panel inferior).



Figura 2. Distribución superficial de A: Temperatura (°C), B: Salinidad (ups), C: Densidad (σ -t) y D: Oxígeno disuelto (ml/L) entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 3. Distribución vertical de Temperatura (°C) (panel superior) y Salinidad (ups) (panel inferior) entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 4. Diagramas Temperatura-Salinidad para la zona entre Arica (18°25'S) y Punta Hornos (23°00'S) entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 5. Distribución vertical de Densidad (σ -t) (panel superior) y Oxígeno disuelto (mL/L) (panel inferior) entre los días 19 y 23 de enero de 2015.

Tabla 1. Valores del Índice de la Anomalía de la Energía Potencial (PEA) (J/m³)entre los días 19 y 24 de enero de 2015. DC: Distancia de la costa (mn), PROFEST: profundidad de la estación (m).

	DC		DROFFET
LOCALIDAD		PEA	PROFEST
	(mn)	(J/m ⁻)	(m)
	5	84,6	62
Arica	10	168,6	89
(18°25'S)	20	339,0	193
	40	374,2	200
	5	293,0	189
Dunto Modrid	10	327,3	161
	20	457,2	191
(19 00 3)	40	410,5	197
	5	80,1	81
Chusumata	10	249,9	185
	20	370,9	199
(20 50 5)	40	440,5	200
	5	113,1	79
Chipana	10	184,8	96
(21°20'S)	20	444,4	190
	40	458,0	200
	5	317,0	183
Сораса	10	382,6	175
(22°20'S)	20	502,7	197
	40	498,5	200
	5	270,9	199
Punta Hornos	10	283,7	197
(23°00'S)	20	314,0	199
	40	471,6	200

Estructura de la Comunidad Planctónica

Fitoplancton

En términos de la composición específica, durante enero el componente microfitoplanctónicoestuvo representado por un total de 177 especies, de las cuales 59 correspondieron a diatomeas y 58 a flagelados. Dentro de las diatomeas 5 especies exhibieron las mayores concentraciones, dando cuenta de más del 60% de la abundancia total del grupo por transecta, evidenciando un gradiente latitudinal en términos de su concentración. Entre éstas abundancias celulares destacaron por presentar superiores а 200 cél/mL, Bacteriastrumdelicatulum, Chaetocerosaffinis, Chaetoceroscompressus y Leptocylindrusdanicus, quienes dieron cuenta de las máximas densidades registradas frente aChucumata (20°30'S). En el grupo de los flagelados, las especies Ceratiumfurcavar. berghii, Ceratiumfususvar. seta y Prorocentrumgracile exhibieron abundancias mayores a 20 cél/mL. Estas especies, que también mostraron un gradiente latitudinal en su concentración, fueron responsables de los valores registrados frente a Chucumata y Chipana (21°20'S) (Tabla 2).

La abundancia total del componente microfitoplanctónico fluctuó entre 0,1 y 1.307cél/mL. El grupo más importante fue el de las diatomeas, las que mostraron un máximo integrado de 872,4cél/mL, con un aporte porcentual promedio cercano al 80%. Sólo en Arica (18°25'S) yCopaca (22°20'S) las abundancias integradas de este grupo no superaron las 100 cél/mL, mientras que en el resto del área éstas se concentraron entre 5 y 10 mn de la costa. Los flagelados, con un aporte al total cercano al 20%, exhibieron un máximo integrado de 48,3 cél/mL, concentrando su presencia en Chucumata y Chipana (21°20'S). La fracción nanofitoplanctónicapresentó concentraciones celulares que fluctuaron entre 8,2 y 644,4cél/mL, manteniendo en toda la zona densidades superiores a 100 cél/mL entre las 5 y 10 mn de la costa (Tabla 3).

En cuanto al espectro de tamaño, se registró la dominancia de formas grandes de diatomeas, con un promedio cercano a 250 µm de longitud. Los flagelados, aunque en menor grado, también mostraron una dominancia de formas con un tamaño promedio cercano a las 100µm de longitud (Tabla 3).

Tabla 2. Abundancia máxima (ABMAX) (cél/mL) y aporte porcentual (AP) (%) de los géneros y especies del microfitoplancton que presentaron las mayores concentraciones celulares entre los días 19 y 24 de enero de 2015.

LOCALIDAD	GRUPOS	ABMAX	AD (9/)
	DIATOMEAS	(cél/mL)	AP (%)
Ariaa	Cylindrothecaclosterium	10,0	19,9
Arica (18°25'S)	Pseudo-nitzschiasp.	17,0	46,2
(18 25 5)	FLAGELADOS		
	Prorocentrumgracile	37,8	66,8
Punta Madrid	DIATOMEAS		
(19°00'S)	Leptocylindrusdanicus	86,4	45,9
	DIATOMEAS		
	Bacteriastrumdelicatulum	703,2	42,0
Chucumata (20°30'S)	Chaetocerosaffinis	258,9	12,1
	Chaetoceroscompressus	300,0	21,8
	FLAGELADOS		
	Ceratiumfususvar. seta	23,6	20,9
	Prorocentrumgracile	50,4	26,2
	DIATOMEAS		
Chinana	Chaetoceroscompressus	142,8	54,1
	Leptocylindrusdanicus	74,4	18,3
(21 20 3)	FLAGELADOS		
	Ceratiumfususvar. seta	78,0	72,7
Copaca	DIATOMEAS		
(22°20'S)	Leptocylindrusdanicus	35,6	74,6
	DIATOMEAS		
Dunto Hornes	Bacteriastrumdelicatulum	61,4	13,6
	Leptocylindrusdanicus	112,4	61,1
(23 00 3)	FLAGELADOS		
	Ceratiumfususvar. seta	5,0	58,5

Tabla 3. Abundancia fitoplanctónica(cél/mL) integrada entre los 0 y 10 m de profundidad, aporte porcentual (AP) (%) de diatomeas (DIATO), flagelados (FLAGE) y nanoflagelados (NFLAGE), y tamaño promedio (T) (μ m) de diatomeas y flagelados entre los días 19 y 24 de enero de 2015. DC: distancia de la costa (mn).

LOCALIDAD	DC (mn)	DIATO (cél/mL)	FLAGE (cél/mL)	NFLAGE (cél/mL)	APDIATO (%)	APFLAGE(%)	APNFLAGE (%)	TDIATO (μm)	TFLAGE (μm)
	5	27,2	14,3	426,5	65,6	34,4	91,2	94	62
Arica (18°25'S)	10	1,0	0,3	123,7	79,7	20,3	99,0	233	70
	20	0,8	0,5	41,7	60,5	39,5	97,1	492	56
	40	0,9	0,2	31,1	81,3	18,7	96,4	349	110
	5	108,0	6,3	413,0	94,5	5,5	78,3	215	75
Punta Madrid	10	9,7	0,4	185,0	96,0	4,0	94,8	213	66
(19°00'S)	20	2,0	0,2	33,2	91,2	8,8	93,9	431	111
(19 00 3)	40	3,0	0,2	50,6	92,6	7,4	94,1	270	92
	5	872,4	48,3	355,6	94,8	5,2	27,9	276	89
Chucumata (20°30'S)	10	700,2	22,9	461,0	96,8	3,2	38,9	227	88
	20	48,2	0,7	187,6	98,6	1,4	79,3	205	93
	40	0,7	0,2	46,3	78,7	21,3	98,0	264	129
	5	234,9	30,7	294,8	88,4	11,6	52,6	263	89
Chipana	10	2,8	0,5	502,0	84,8	15,2	99,3	141	81
(21°20'S)	20	0,2	0,4	95,6	40,0	60,0	99,4	91	160
	40	0,3	0,2	44,2	58,1	41,9	99,0	181	154
	5	1,3	0,2	407,6	86,7	13,3	99,6	75	53
Copaca	10	17,8	0,6	147,7	96,5	3,5	88,9	213	79
(22°20'S)	20	0,4	0,1	43,6	81,8	18,2	99,0	123	193
	40	0,1	0,4	25,5	22,6	77,4	97,8	201	173
Durata	5	81,2	1,5	199,9	98,2	1,8	70,7	182	134
Punta	10	138,7	3,5	266,5	97,6	2,4	65,2	252	117
(23°00'S)	20	29,9	0,5	53,8	98,4	1,6	63,9	225	165
(23 00 3)	40	0,0	0,3	34,1	4,4	95,6	99,0	233	79

Al analizar la distribución horizontal delas abundancias de las diatomeas, las mayores concentraciones (>500 cél/mL) se localizaron entre la superficie y los 10 m de profundidad y entre 5 mn y 10 mn de la costa. Este grupo exhibió la máxima abundancia (1.244 cél/mL) en superficie, la cual se localizó frente a Chucumata (20°30'S) a 5 mn. Hacia el norte y sur de esta localidad se evidenció un gradiente de disminución que se hizo más fuerte hacia la región más oceánica, donde predominaron concentraciones inferiores a 50 cél/mL. Este patrón se repitió en los estratos de 5 m y 10 m de profundidad, y las abundancias máximas alcanzaron786 cél/mL y 674,8 cél/mL respectivamente (Figura 6). A 25 m y 50 m el foco de altos valores se mantuvo frente a Chucumata, pero las abundancias no superaron las 200 cél/mL (Figura 7).La distribución vertical de este grupo evidenció escases de fitoplancton en toda la columna de agua, desde las 10 mn hacia el sector oceánico, con las máximas concentraciones celulares muy restringidas al estrato superficial y a las 5 mn de la costa(Figura 8).

La distribución horizontal de los flagelados también mostró las máximas abundancias entre los 0 y 10 m de profundidad. En superficie y a 5 m, la abundancia máxima, cercana a las 60 cél/mL, se localizó frente a Chucumata (20°30'S) a 5 mn de la costa. Desde esta localidad, se generó un fuerte gradiente latitudinal y longitudinal, el cual se hizo más evidente desde Chipana (21°20'S) al sur, donde predominaron valores inferiores a 1,0 cél/mL. En el estrato de los 10 m, los flagelados mostraron la máxima concentración (96 cél/mL), la cual se localizó frente a Chipana (21°20'S) a 5 mn de la costa. En Arica (18°25'S) también se detectó un pequeño foco, pero éste no superó las 50 cél/mL (Figura 9). A 25 m y 50 m de profundidad este grupo exhibió abundancias cercanas a 1 cél/mL (Figura 10). La distribución vertical también muestra que en toda la zona, l columna de agua estuvo dominada por bajas abundancias (<1 cél/mL) (Figura 11).

En términos de biomasa, la concentración de clorofila-a fluctuó entre un mínimo de 0,1 y un máximo de 32,5µg Cl-a/L, el cual se detectó frente a Arica (18°25'S) a 10 m de profundidad y 5 mn de la costa. En superficie, la distribución de la biomasa pigmentaria, mostró dos zonas de altos valores, la primera frentea Arica (18°25'S), donde se registró el máximo superficial (9,9 µg Cl-a/L), y una segunda en Chucumata (20°30'S) con 4,0 µg Cl-a/L (Figura 12). Pero al analizar la distribución vertical se observaron tres máximos subsuperficiales, el primero, ya señalado, de 32,5 µg Cl-a/L frente a Arica (18°25'S), otro de 19,3 µg Cl-a/L localizado en Chucumata a 5 m de profundidad, y el tercero de 23,4 µg Cl-a/L frente a Punta Hornos (23°00'S) a 10 m(Figura 13). Estos máximos fueron concordantes con la presencia de, en Arica, el flagelado Prorocentrumgracile productor habitual de discoloraciones, en las otras dos localidades con las diatomeas y Bacteriastrumdelicatulum, Chaetoceroscompressusy Leptocylindrus danicus, que exhibieron las mayores abundancias.



Figura 6. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 7. Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 8. Distribución vertical de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre los días 19 y 24 de enero de 2015.



Figura 9. Distribución horizontal de la abundancia de flagelados (cél/mL) en superficie, 5 m y 10 m de profundidad, entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 10. Distribución horizontal de la abundancia de flagelados (cél/mL) a 25 m y 50 m de profundidad, entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 11. Distribución vertical de la abundancia de flagelados (cél/mL) entre los días 19 y 24 de enero de 2015.



Figura 12. Distribución superficial de la biomasa fitoplanctónica (μ g Cl-a/L) entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 13. Distribución vertical de la biomasa fitoplanctónica (μ g Cl-a/L) entre los días 19 y 24 de enero de 2015.

Zooplancton

La abundancia total de zooplancton presentó valores extremos de 15,0y 605,8ind/m³. Este grupo mostró valores similares en toda la zona, los cuales se mantuvieron por sobre 100 ind/m³entre la zona costera y las 40 mn(Tabla 4).

Tabla 4. Abundancia total del zooplancton (ind/m³) entre los días 19 y 24 de enero de 2015. DC: distancia de la costa (mn).

Localidad	DC (mn)	Abundancia Total (ind/m ³)
	5	32,0
Arica	10	198,2
(18°25'S)	20	317,3
	40	156,7
Dunto	5	563,9
Punta	10	260,6
	20	311,6
(19 00 3)	40	324,2
	5	605,8
Chucumata	10	406,1
(20°30'S)	20	286,6
	40	157,6
	5	312,8
Chipana	10	458,4
21°20'S	20	377,7
	40	142,5
	5	211,7
Copaca	10	146,9
(22°20'S)	20	18,9
	40	15,0
Durata	5	112,4
Punta	10	229,7
Hornos	20	128,0
(23 00 3)	40	116,0

Las abundancias registradas se debieron al aporte porcentual que realizó el grupo Copepoda, el cual alcanzó en promedio el 75%. Este grupo exhibió las mayores concentraciones en toda el área, con un máximos superiores a 1.000 ind/m³ entre Punta Madrid (19°00'S) y Chipana (21°20'S). En las otras localidades, si bien inferiores, las abundancias no bajaron de 200 ind/m³. Los gelatinosos mostraron un incremento respecto de periodos anteriores, especialmente las salpas, pero sus aportes no superaron el 10% (Tabla 5). Tabla 5. Abundancia total (ABTOT) (ind/m³) y aporte porcentual (AP) (%) por transecta de cada grupo zooplanctónico identificado entre los días 19 y 24 de enero de 2015.

GRUPOS	Arica (18°25'S)		Punta Madrid (19°00'S)		Chucumata (20°30'S)		Chipana (21°20'S)		Copaca (22°20'S)		Punta Hornos (23°00'S)	
ZOOPLANCTON	ABTOT	AP	ABTOT	AP	ABTOT	AP	ABTOT	AP	ABTOT	AP	ABTOT	AP
	(ind/m ³)	(%)	(ind/m ³)	(%)	(ind/m ³)	(%)	(ind/m ³)	(%)	(ind/m³)	(%)	(ind/m³)	(%)
Amphipoda	3,1	0,4	5,0	0,3	1,3	0,1	2,1	0,2	1,5	0,4	2,2	0,4
Annelida					0,2	0,0	0,4	0,0			0,4	0,1
Appendicularia	28,6	4,1	46,0	3,1	39,8	2,7	30,4	2,4	11,3	2,9	30,7	5,2
Copepoda	518,9	73,7	1.075,9	73,7	1.238,9	85,1	1.086,1	84,1	318,8	81,2	417,4	71,2
Cnidaria	7,6	1,1	24,2	1,7	7,5	0,5	4,1	0,3	1,3	0,3	11,6	2,0
Ctenophora	2,3	0,3	8,8	0,6	1,7	0,1	0,9	0,1	0,8	0,2	4,0	0,7
Chaetognata	4,7	0,7	7,1	0,5	4,6	0,3	12,0	0,9	6,2	1,6	9,6	1,6
Euphausiacea	2,6	0,4	1,5	0,1	2,0	0,1	2,1	0,2	0,8	0,2	4,3	0,7
Larvas Annelida	43,2	6,1	74,7	5,1	50,1	3,4	48,5	3,8	22,6	5,8	40,2	6,9
Larvas Megalopa	0,4	0,1	2,0	0,1	0,9	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0
Mysidacea	26,2	3,7	64,2	4,4	40,7	2,8	53,9	4,2	12,9	3,3	23,4	4,0
Salpida	38,8	5,5	105,6	7,2	51,4	3,5	31,2	2,4	8,8	2,3	17,2	2,9
Siphonophora	17,6	2,5	31,4	2,1	7,9	0,5	7,8	0,6	4,7	1,2	19,0	3,2
Stomatopoda	1,9	0,3	1,2	0,1	0,8	0,1	2,5	0,2	0,0	0,0	2,2	0,4
Larvas Zoea	8,5	1,2	12,9	0,9	8,1	0,6	9,4	0,7	2,8	0,7	3,9	0,7

En relación al espectro de tamaño del zooplancton, se registraron organismos entre 0,25 y 11,25 mm de longitud. Los organismos pertenecientes al rango de talla entre 0,25-0,75 mm fueron los más abundantes, con concentraciones cercanas a 200ind/m³ en toda el área, especialmente entre Punta Madrid (19°00'S) y Chipana (21°20'S), realizando aportes al total por transecta superiores al 85%. Los organismos con tamaños entre 1,25-1,75 mm presentaron abundancias que escasamente superaron los 30 ind/m³, y el resto estuvo por debajo de los 10 ind/m³ (Tabla 6). El grupo Copepoda dominó las fracciones de tamaño entre 0,25 y 1,75 mm, con el mayor aporte en el rango entre 0,25 y 0,75 mm (Tabla 7).

Tabla 6. Abundancia (ind/m³) de los rangos de tamaño (mm) registrados en el zooplancton durante los días 20 y 25 de octubre de 2014.

	DC	RANGOS DE TAMAÑO (mm)							
LOCALIDAD	(mn)	0,25-0,75	1,25-1,75	2,25-2,75	3,25-3,75	4,25-11,25			
	5	31,2	0,4	0,1	0,1	0,0			
Arica	10	179,6	16,0	1,6	0,3	0,0			
(18°25'S)	20	273,2	32,9	6,7	0,3	2,1			
	40	137,2	15,7	2,6	0,5	0,2			
	5	516,9	36,4	4,8	3,6	1,0			
Pta. Madrid	10	227,2	28,4	3,1	1,1	0,0			
(19°00'S)	20	254,3	48,6	4,7	1,2	0,2			
	40	279,1	34,0	6,5	3,2	0,7			
	5	584,0	14,8	3,7	0,5	0,5			
Chucumata	10	398,5	5,6	1,7	0,0	0,0			
(20°30'S)	20	248,1	33,4	4,0	0,9	0,0			
	40	141,0	11,2	2,8	1,8	0,4			
	5	301,3	8,1	1,7	0,4	0,2			
Chipana	10	318,9	131,2	5,0	1,7	0,6			
(21°20'S)	20	329,6	40,7	3,9	1,4	1,4			
	40	126,5	13,5	1,2	0,7	0,2			
	5	170,5	37,9	1,8	0,7	0,2			
Сораса	10	134,4	10,5	1,0	0,4	0,1			
(22°20'S)	20	17,2	1,4	0,1	0,1	0,0			
	40	13,1	1,2	0,5	0,1	0,1			
	5	84,7	20,0	4,4	1,4	1,5			
Punta Hornos	10	178,4	38,9	6,7	1,8	2,5			
(23°00'S)	20	93,2	29,1	2,4	0,5	2,4			
	40	98,0	13,5	3,0	0,8	0,4			

Tabla 7. Abundancia total (ABTOT)del zooplancton (ind/m³), abundancia de Copépodos (ABCOPEP) (ind/m³) y aporte porcentual de Copépodos (APCOPEP) (%) en el rango de tamaño 0,25-1,75 mm, entre los días 19 y 24 de enero de 2015.

LOCALIDAD	DC (mn)	RANGO TAMAÑO (mm)	ABTOTAL (ind/m ³)	ABCOPEP (ind/m ³)	APCOPEP (%)
	5	0,25-1,75	31,6	26,5	83,9
Arica	10	0,25-1,75	195,5	156,6	80,1
(18°25'S)	20	0,25-1,75	306,1	225,6	73,7
	40	0,25-1,75	153,0	105,9	69,2
	5	0,25-1,75	553,3	463,7	83,8
Pta. Madrid	10	0,25-1,75	255,6	196,5	76,9
(19°00'S)	20	0,25-1,75	303,0	190,9	63,0
	40	0,25-1,75	313,1	217,6	69,5
	5	0,25-0,75	598,8	525,3	87,7
Chucumata	10	0,25-1,75	404,2	366,0	90,6
(20°30'S)	20	0,25-1,75	281,5	225,5	80,1
	40	0,25-1,75	152,3	117,8	77,4
	5	0,25-1,75	309,4	283,2	91,5
Chipana	10	0,25-1,75	450,1	389,2	86,5
(21°20'S)	20	0,25-1,75	370,3	304,1	82,1
	40	0,25-1,75	140,1	105,5	75,3

Al analizar la distribución horizontal de la abundancia total del zooplancton se observa un gran foco de altos valores (>400 ind/m3) que se extendió entre Punta Madrid (19°00'S) y Chipana (21°20'S), y entre 5 y 10 mn de la costa. La máxima concentración (605,8ind/m³) se localizó frente a Chucumata(20°30'S) a 5mn. Hacia Arica y hacia el sur de Chipana las abundancias disminuyeron a valores cercanos a 200 ind/m³, manteniéndose esta magnitud hasta la región más oceánica (40 mn), excepto frente a Copaca (22°20'S) donde se registraron concentraciones inferiores a 50 ind/m³ (Figura 14, panel izquierdo). Debido a que el grupo Copepoda resultó el componente más importante, la distribución de su concentración en la zona mostró el mismo patrón que la abundancia total, con una máxima frente a Chucumata (20°30'S) de 527,6ind/m³ (Figura 14, panel derecho).

La misma situación se observó en la distribución horizontal de la abundancia de los organismos pertenecientes al rango de tamaño entre 0,25 y 1,75 mm, los cuales alcanzaron un valor máximo de 598,8ind/m³en Chucumata (20°30'S) (Figura 15, panel izquierdo) y, dado que esta fracción estuvo dominada por el grupo Copepoda, la abundancia de los individuos pertenecientes a esa fracción de tamaño exhibió la misma distribución, con un máximo de525,3ind/m³en Chucumata (20°30'S) (Figura 15, panel derecho).



Figura 14. Distribución horizontal de la abundancia total (ind/m³) del zooplancton (panel izquierdo) y del grupo de los Copépodos (panel derecho), durante los días 19 y 24 de enero de 2015.



Figura 15. Distribución horizontal de la abundancia (ind/m³) del zooplancton (panel izquierdo) y de los Copépodos (panel derecho) pertenecientes al rango de tamaño 0,25-1,75 mm, entrelos días 19 y 24 de enero de 2015.

Ictioplancton

Se registró la presencia de huevos y larvas de anchoveta (*Engraulisringens*) y de otras especies que no constituyen recursos clave (Tabla 1).

La abundancia total de estadios tempranos estimada en el área de estudio fue de 57.800huevos/10 m²y 15.828 larvas/10 m², de los cuales un 51,0% y un 29,8% respectivamente, pertenecen a *E. ringens*.Dentro del componente larval de anchoveta, se identificaron los estados de desarrollo yolk-sac, pre-flexión, flexión y post-flexión. El estadio yolk-sac fue el más abundante, realizando un aporte de 66% al total de larvas de esta especie(Tabla 8).

Tabla 8. Abundancia de huevos y larvas (N°/10 m²) de anchoveta (*Engraulisringens*) y de otras especies, entre los días19 y 23 de enero de 2015. DC: distancia de la costa.

			Engraulisring	Otras Es	species	Totales		
Localidad	DC (mn)	Huevos	Larvas Yolk-sac	Larvas Pre-Flexión, Flexión y Post-flexión	Huevos	Larvas	Huevos	Larvas
	5	709			149	75	859	75
Arica	10	723				1.393	723	1.393
(18°25'S)	20	60			240	479	299	479
	40				509	2.976	509	2.976
	5	3.209	63		126	126	3.335	189
Punta Madrid	10	57			546	230	603	230
(19°00'S)	20				2.525	874	2.525	874
	40				18.114	2.558	18.114	2.558
	5	9.921	968	207		173	9.921	1.348
Chucumata	10	6.059	917	229		33	6.059	1.179
(20°30'S)	20				655	182	655	182
	40				608	217	608	217
	5	8.757	263	526			8.757	789
Chipana	10			404	29	144	29	548
(21°20'S)	20			45	90	723	90	768
	40				119	318	119	318
	5				72	36	72	36
Сораса	10				286	41	286	41
(22°20'S)	20				81		81	
	40				88		88	
	5			106		211		317
Punta Hornos	10		903	90	948	226	948	1.219
(23°00'S)	20				427	53	427	53
	40				2.762	38	2.762	38

Del total de 24 estaciones, sólo 12 resultaron positivas para la presencia de huevos y larvas de *Engraulisringens*, estadios que se localizaron especialmente entre 5 mn y 10 mn de la costa (Figura 16). La distribución horizontal de huevos mostró las mayores abundancias (>3.000 huevos/10 m²) frente a Punta Madrid(19°00'S), Chucumata(20°30'S) y Chipana (21°20'S), observándose el máximo (9.921huevos/10 m²) frente a Chucumata (20°30'S)a 5 mn de la costa (Figura 17).

Las larvas de *E. ringens*se concentraron entre Chucumata (20°30'S) y Punta Hornos (23°00'S). Aquellas en estado yolk-sactambién exhibieron las mayores densidades frente aChucumata (968 larvas/10 m²) con un máximo secundario en Punta Hornos (23°00'S) (Figura 18-panel derecho), mientras que las larvas en estado de pre-flexión, flexión y post-flexión, presentaron su mayor densidad (526 larvas/10 m²) en Chipana(21°20'S) (Figura 18-panel izquierdo).

Los huevos y larvas de otras especies evidenciaron una amplia cobertura dentro del área de estudio, exhibiendo sus mayores abundanciasentre Arica (18°25'S) y Punta Madrid (19°00'S) (Figura 19).

Al comparar el aporte porcentual y la distribución de huevos y larvas de anchoveta con los estadios tempranos de otras especies, la dominancia de anchoveta estuvo restringida aChucumata (20°30'S) y Chipana(18°25'S), extendiéndose en el caso de las larvas a Punta Hornos (23°00'S) (Figura 20), limitada a la franja entre 5 y 10 mn de la costa (Figura 21).



Figura 16. Registro de estaciones positivas (círculosrojos) para la presencia de huevos y larvas de *Engraulisringens*entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 17. Distribución horizontal de la abundancia de huevos (N°/10 m²)de *Engraulisringens* entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 18. Distribución horizontal de la abundancia de larvas (N°/10 m²)de *Engraulisringens* en estado yolk-sac (panel derecho) y en estado de pre-flexión, flexión y post-flexión (panel izquierdo) entre los días 19 y 23 de enerode 2015.



Figura 19. Distribución horizontal de la abundancia de huevos (N°/10 m²) (panel derecho) y larvas (N°/10 m²) (panel izquierdo) de otras especies entre los días 19 y 23 de enero de 2015.



Figura 20. Porcentajes (%) de aporte de estadios tempranos de anchoveta (*Engraulisringens*) y de otras especies a la abundancia ictioplanctónica total por localidad, entre los días 19 y 24 de enero de 2015. Panel superior: Huevos, panel inferior: Larvas.



Figura 21. Porcentajes (%) de aporte de estadios tempranos de anchoveta (*Engraulisringens*) y de otras especies a la abundancia ictioplanctónicatotal por distancia de la costa (mn), entre los días 19 y 24 de enero de 2015. Panel superior: Huevos, panel inferior: Larvas.

Análisis Estadístico

Al explorar la influencia de las variables ambientales sobre los huevos de anchoveta, los resultados evidenciaron una correlación baja, pero significativa, entre la abundancia de huevos y elcontenido de oxígeno disuelto (r=0,45, p<0,01) (Figura 22). Con el componente planctónico se detectaron correlaciones altas con la abundancia de las diatomeas (r=0,73, p<0,01) yde los flagelados (r=0,87, p<0,01), y en menor medida, aun cuando estadísticamente significativas, con labiomasa fitoplanctónica (Clo_a) (r=0,42, p<0,05) y la abundancia del zooplancton (r=0,41, p<0,05) (Figura 23).

Respecto a las larvas de anchoveta, éstas no mostraron correlaciones significativas con la estructura física y química predominante (Figura 24), mientras que con las variables biológicas, se detectaron correlaciones significativas con laabundancia de las diatomeas (r=0,81, p<0,01), de los flagelados (r=0,79, p<0,01), y en menor medida, pero aun significativa, con la biomasa fitoplantónica (Clo_a) (r=0,44, p<0,05) (Figura 25).



Figura 22. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (egg_anc) (N°/10 m²) y las variables físico-químicas:temperatura (tem) (°C), salinidad (sal) (ups),oxígeno disuelto (od) (mL/L) ydensidad (den) (σ -t), entre los días 19 y 24 de enero de 2015.



Figura 23. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de huevos de anchoveta (egg_anc) (N°/10 m²) y las variables biológicas: abundancia de diatomeas (abdiato) (cél/mL), abundancia de flagelados (abflage) (cél/mL), abundancia de zooplancton (abzoo) (ind/m³ y biomasa fitoplanctónica (Clo_a) (μ g/m²), entre los días 19 y 24 de enero de 2015.



Figura 24. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (lar_anc) (N°/10 m²) y las variables físico-químicas:temperatura (tem) (°C), salinidad (sal) (ups),oxígeno disuelto (od) (mL/L) ydensidad (den) (σ -t), entre los días 19 y 24 de enero de 2015.



Figura 25. Resultados del análisis de correlación entre la abundancia de larvas de anchoveta (lar_anc) (N°/10 m²) y las variables biológicas: abundancia de diatomeas (abdiato) (cél/mL), abundancia de flagelados (abflage) (cél/mL), abundancia de zooplancton (abzoo) (ind/m³) y biomasa fitoplanctónica (Clo_a) (μ g/m²), entre los días 19 y 24 de enero de 2015.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las condiciones oceanográficas físicas y químicas imperantes durante el periodo de estudio, revelaron el predominio de una condición cálida y estable, que habría sido generada por la fuerte intrusión del ASS que se extendió, por el sector más oceánico, hasta Chipana (21°20'S), y penetró hasta 10 mn de la costa frente a Arica (18°25'S). Desde Chucumata (20°30'S) al sur, en la franja de las 5 mn la presencia del AESS en superficie sugiere la ocurrencia de procesos de surgencia, con una leve influencia del ASAA, que se hizo más evidente hacia el sector de Punta Hornos (23°00'S).

La profundidad en la cual fue registrada la oxilínea de 1 mL/L, indicador del límite superior de la ZMO, también demuestra que los eventos de afloramiento fueron moderados, particularmente en el sector Arica (18°25'S)-Punta Madrid (19°00'S), donde se mantuvo por debajo de los 50 m de profundidad a lo largo de toda la transecta, con ascensos hacia el estrato superficial sólo en Chucumata y Chipana.

EL componente fitoplanctónico evidenció una dominancia de formas flageladas, principalmente de la fracción nanofitoplanctónica. Las diatomeas, representadas por los mismos géneros y especies que durante la primavera de 2014, aunque alcanzaron abundancias similares a las de ese periodo, estuvieron restringidas sólo a los sectores en los cuales se evidenció ocurrencia de surgencia, de tal manera que, en términos globales, los flagelados resultaron ser el grupo predominante. El ambiente favorecería la presencia de los flagelados, dada su adaptación a aguas cálidas con bajos niveles de turbulencia y nutrientes (Brink*et al.*, 1995).

No obstante, aunque los flagelados fueron los que registraron el mayor aporte porcentual a la concentración fitoplanctónica, las abundancias totales se mantuvieron dentro del mismo rango de las informadas para primavera (Figura 26). Por otra parte, respondiendo al escenario ambiental favorable, durante verano el centro de máxima concentración se desplazó hacia Chucumata (20°30'S) donde las diatomeas realizaron el mayor aporte, mientras que los flagelados se distribuyeron en forma más homogénea en la zona costera (Figura 27). Este cambio en la estructura del fitoplancton se reflejó en la biomasa, la que mostró una notoria disminución respecto de primavera, con valores totales cercanos a los registrados en invierno (Figura 28). Sin embargo, es interesante destacar que las magnitudes observadas en un gradiente latitudinal (Figura 29) son producto de la presencia del dinoflagelado *Prorocentrumgracile*, ya que en Arica (18°25'S) se expresó en una proliferación de carácter casi mono-específica, y en Chucumata (20°30'S) exhibió una importante concentración celular. Sólo en Punta Hornos (23°00'S) la biomasa pigmentaria detectada es debida a las diatomeas, ya que en esta localidad los flagelados no evidenciaron concentraciones superiores a 5 cél/mL.



Figura 26. Abundancia fitoplanctónica por grupo y total (cél/mL) durante los cruceros de invierno (AGO-14), primavera (OCT-14) y verano (ENE-15). Los porcentajes corresponden al aporte de cada grupo a la



abundancia



Figura 28. Biomasa fitoplanctónica (µg Cl-a/L) total durante los cruceros de invierno (AGO-14), primavera (OCT-14) y verano (ENE-15).

Figura 29. Biomasa fitoplanctónica (μ g Cl-a/L) por localidad y distancia de la costa durante los cruceros de invierno (AGO-14), primavera (OCT-14) y verano (ENE-15).



evidenció un incremento en su abundancia total respecto de primavera, lo cual se debió al aumento en la concentración del grupo Copepoda, principalmente en sus fracciones de tamaño entre 0,25 y 0,75 mm, y a una mayor presencia de formas gelatinosas lo cual se puede asociar a la época y a las condiciones imperantes (Figura 30). Estas mayores concentraciones, a diferencia de primavera, se localizaron principalmente entre Punta Madrid (19°00'S) y Chipana (21°20'S), coincidente con la abundancia de diatomeas y flagelados (Figura 31).

Figura 30. Abundancia zooplanctónica total y por grupos (ind/m³) durante los cruceros de invierno (AGO-14), primavera (OCT-14) y verano (ENE-15). Los porcentajes corresponden al aporte de Copepoda a la abundancia total.



distancia de la costa durante los cruceros de invierno (AGO-14), primavera (OCT-14) y verano (ENE-15).

En relación al ictioplancton, la abundancia de los estadios tempranos de *Engraulisringens* exhibió una fuerte disminución respecto del periodo de primavera, situación que fue particularmente evidente en las larvas, las cuales contribuyeron con tan sólo el 13% a la abundancia total, predominando larvas pertenecientes a otras especies (Figura 32). En ambos estadios se registró una distribución restringida a la zona entre Chucumata (20°30'S) y Chipana (21°20'S), aunque los huevos mostraron una mayor distribución hacia el sector norte del área, mientras que las larvas, la mayoría en estado yolk-sac se concentraron desde Chucumata al sur (Figura 33).



Figura 32. Abundancia de huevos de *Engraulisringens* y totales (N°/10 m²) durante los cruceros de invierno (AGO-14) y primavera (OCT-14). Los porcentajes corresponden al aporte de los huevos de anchoveta al total.



Figura 33. Abundancia (N°/10 m²) de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de *Engraulisringens* por localidad y distancia de la costa durante los cruceros de invierno (AGO-14), primavera (OCT-14) y verano (ENE-15).

Si bien durante este periodo, la abundancia de los estadios tempranos de anchoveta no presentaron una correlación significativa con las variables físicas y químicas, hay que tener en cuenta la dependencia que éstos tienen de las condiciones ambientales (i.e temperatura, oxígeno disuelto) dado el efecto sobre su estado fisiológico y desarrollo (Tarifeño *et al.*, 2008; Llanos y Castro, 2006). Por otra parte, la presencia tanto de huevos como de larvas, fue mayoritaria en aquellas localidades señaladas entre las principales áreas de retención en la zona norte (20°S-

21°S). En estas localidades, que evidenciaron la ocurrencia de surgencia, se detectaron las mayores concentraciones de plancton, y considerando las correlaciones significativas entre la abundancia de huevos y larvas de anchoveta con la abundancia de diatomeas, flagelados y zooplancton, la componente planctónica, como potencial fuente de alimento, habría resultado preponderante en cuanto a su distribución. Tomando en cuenta que el tiempo de eclosión de los huevos y de absorción del saco vitelino es de 2 a 3 a tres días (Llanos-Rivera y Castro, 2006; Lo, 1983; Tarifeño *et al.*, 2008), la primera alimentación estaba pronta a ocurrir. En este sentido, y como en periodos anteriores, la oferta alimenticia disponible en la franja entre 5 y 10 mn de la costa sería la adecuada (Muck*et al.*, 1989; Rojas de Mendiola y Gómez, 1980; Walsh *et al.*, 1979).

Por otra parte, respecto a la disminución de la abundancia de los estadios tempranos, el stock parental de anchoveta ha sido descrito como desovador múltiple con dos desoves mayores a lo largo del año, uno principal de invierno y otro secundario en verano. Sin embargo, las concentraciones registradas no sugieren la ocurrencia de un proceso de desovesecundario, tomando en cuenta que los valores informados resultaron más bajos aún que los de primavera. Al respecto es importante considerar quela anchoveta, selecciona áreas de desove y crianza donde la sobrevivencia larval es aumentada por la presencia de altos niveles de alimento, o de niveles de turbulencia que promueven un aumento de la tasa de encuentro entre el alimento y las larvas (Castro *et al.*, 2000), condiciones que no resultaron una generalidad durante el periodo analizado.

LITERATURA CITADA

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

Brink K, F Abrante, P Bernal, M Estrada, L Hutchings, R Jahnke, P Müller & R Smith 1995. Group Report: How Do Coastal Upwelling Systems operate as integrated Physical, Chemical, and Biological Systems and Influence the Geological Record? The Role of Physical Processes in Defining the Spatial Structures of Biological and Chemical Variables. In: C. Summerhayes, K. Emeis, M. Angel, R. Smith & B. Zeitzschel (eds.). Upwelling in the Oceans: Modern Processes and Ancient Records. John Wiley & Sons. 103-125.

Castro LR, GR Salinas & EH Hernández 2000. Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulisringens* off central Chile. Mar. Ecol. Prog. Ser., 197: 247-258.

Grosjean P, M Picheral, C Warembourg and 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. Hvalradetsskrifter, 52: 1-168.

Hillebrand H, C-D Dürselen, D Kirschtel, U Pollingherand T Zohary. 1999. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae. J. Phycol. 35, 403-424.

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

Llanos-Rivera A & LR Castro. 2006. Inter-population differences in temperature effectson *Engraulisringens* yolk-sac larvae. Mar. Ecol. Prog. Ser., 312: 245–253.

Lo NCH. 1983. Re-estimation of three parameters associated with anchovy egg and larval abundance:temperature dependent incubation time, yolk-sac growth rate and egg and larval retention in mesh nets. NOAA-TM-NMFS-SWFC-3 1. 34 pp.

Muck P, B Rojas de Mendiola & E Antonietti 1989. Comparative Studies on Feeding in Larval Anchoveta (*Engraulisringens*) and Sardine (*Sardinopssagax*). In: D. Pauly, P. Muck, J. Mendo& I. Tsukayama (eds.). The Peruvian upwelling ecosystem: dynamics and interactions, pp. 86-96. ICLARM, Manila.

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

Rojas de Mendiola B y O Gómez. 1980. Primera alimentación, sobrevivencia y tiempo de actividad de las larvas de anchoveta (*Engraulisringens* J.). In: K. Sherman & G. Hempel (Eds.). Symposium on Early Life History of Fish, Conseil International pour l'Exploration de la Mer, Rapports et Proces-Verbaux des Reunions. 178: 72-79.

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

Tarifeño E, M Carmona, A Llanos-Rivera &LR Castro. 2008. Temperature effects on the anchoveta*Engraulisringens*egg development: do latitudinal differences occur? Environ. Biol. Fish, 81:387-395.

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

Villafañe VE y 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.

Walsh JJ, TE Whitledge, WE Esaias, RL Smith, SA Huntsman, H Santander and BR De Mendiola. 1979. The spawning habitat of the Peruvian anchovy, *Engraulisringens*. Deep-Sea Research 27A, 1-27.