



**INFORME FINAL**

Convenio Desempeño 2016

Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas y  
evaluación del stock desovante de anchoveta entre la  
XV y II Regiones, año 2016.

**SUBSECRETARÍA ECONOMÍA Y EMT / Noviembre-2017**



## **INFORME FINAL**

Convenio Desempeño 2016

Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas  
y evaluación del stock desovante de anchoveta  
entre la XV y II Regiones, año 2016

**SUBSECRETARÍA ECONOMÍA Y EMT / Noviembre-2017**

### **REQUIRENTE**

**SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y  
EMPRESAS DE MENOR TAMAÑO**

**Natalia Piergentili Domenech**

### **EJECUTOR**

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO, IFOP**

Director Ejecutivo

**Leonardo Núñez Montaner**

Jefe División Investigación Pesquera

**Mauricio Gálvez Larach**

Jefe de Proyecto

**Jorge Angulo Aros**

### **AUTORES**

#### ***Oceanografía física***

Milena Pizarro Revello

Catherine Grendi Celedon

Úrsula Cifuentes Ojeda

Adrián Bustamante Maino

Hernán Reyes Rivas

Angélica Varas Sandoval

***Nutrientes y Fitoplancton***

Liliana Herrera Campos

#### ***Ictioplancton y Zooplancton***

Jorge Angulo Aros

Francisca Osorio Zúñiga

Vivian Valenzuela Cuevas

Guillermo Galindo Pérez

***Monitoreo reproductivo***

Eduardo Díaz Ramos

M. Gabriela Böhm Stoffel

#### ***Evaluación de la biomasa del stock desovante de anchoveta***

Gabriel Claramunt Quiñones

Gustavo Herrera Urzúa

Paola Moreno González

Cristian Azócar Santander

#### ***Análisis integrado de la información***

J. Carlos Saavedra Nieva

Carolina Lang Abarzua

Victor Catasti Barraza



## I. RESUMEN EJECUTIVO

---

El crucero de primavera 2016 se efectuó durante condiciones ecuatoriales de neutras a frías, pero bajo condiciones locales cálidas y salinas, asociada a la presencia anómala de agua de origen subtropical, lo que generó una mayor abundancia de organismos gelatinosos. Las mayores temperaturas en el sector oceánico se relacionaron con la presencia anómala de la masa de agua subtropical en la zona, debido a “El Niño” 2015/16, que persistió a lo largo de la costa sudamericana una vez concluido el evento en la zona ecuatorial.

En el sector oceánico frente a punta Junín (19°40'S) se generó un mayor número de formas flageladas de fitoplancton, destacándose un evento de marea roja por *Prorocentrum sp.* La surgencia costera, inducida por vientos de mayor intensidad respecto de la media, mantuvo a las aguas de tipo Subtropical alejadas de la costa, permitiendo que los nutrientes y el fitoplancton (composición y abundancia) presentaran registros considerados normales. Se observó participación de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) en el agua surgente al norte de Pisagua, punta Arenas-Tocopilla y desde punta Amarilla a punta Colorada. El análisis de las masas de agua, también registró una mayor presencia de agua Subantártica respecto de la primavera de 2015, aunque menor a un año normal, asociado al debilitamiento del Evento.

Durante el desarrollo del crucero, el área ocupada por la anchoveta y su ictioplancton se restringió a zonas de la franja costera en respuesta de la presencia de un forzante oceánico. El foco principal de abundancia de huevos se encontró en las inmediaciones de Arica, al igual que la mayor densidad de anchoveta adulta, especialmente dentro de las 5 primeras millas náuticas. Paralelamente, en septiembre de 2016 se registró la mayor abundancia de huevos encontrados en la serie histórica de monitoreo mensual de la zona costera (1997-2017).

La densidad de anchoveta, fue la más alta de la serie de datos históricos del proyecto (1997-2016), (565,7 t/mn<sup>2</sup>), mientras que su cobertura espacial fue la segunda más reducida. En los últimos cinco años (2012-2016) los huevos de anchoveta se ubicaron preferentemente en aguas costeras al norte del paralelo 21°S.

Durante la primavera de 2016 los huevos de anchoveta se encontraron asociados espacialmente a larvas de eufausidos y mayores concentraciones de fosfato. Un análisis espacial complementario, mostró una relación inversa entre los huevos de anchoveta con la temperatura y la salinidad que son características de la masa de agua subtropical, al igual que lo observado en la primavera de 2015.

Los parámetros reproductivos de los adultos de anchoveta indicaron que el periodo de máximo desove tuvo lugar durante el desarrollo del crucero, cuando la producción diaria de huevos se mantuvo en valores similares a los del año 2015, con la segunda área de desove más baja (3105 mn<sup>2</sup>) de la serie de datos disponibles (1992-2017). En los últimos tres años (2013-2015) se observó una disminución en la talla de madurez sexual, determinando la participación de ejemplares menores a los 12 cm de



longitud en el proceso reproductivo. La distribución de tallas de las hembras en el año 2016 presentó una moda cercana a los 12 cm, concordante con el bajo peso promedio estimado (11.49 gr).

La biomasa estimada para el stock desovante de anchoveta por el modelo de Lo resultó en 461.876 toneladas, con una varianza de  $5.97603E+11$ , siendo un 6% mayor al valor estimado del año 2015. La estimación del Modelo Multinomial entregó una biomasa de 342.906 toneladas con una varianza de  $3.42020E+11$ , siendo un 35% menor a la registrada el año anterior.



## II. ÍNDICE GENERAL

	Página
I. RESUMEN EJECUTIVO .....	i
II. ÍNDICE GENERAL .....	iii
III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS .....	iv
IV. ANTECEDENTES .....	1
V. OBJETIVOS .....	3
1. Objetivo general .....	3
2. Objetivos específicos .....	3
VI. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	4
1. Área y periodo de estudio .....	4
2. Metodología por objetivo específico .....	6
2.1 Objetivo específico 2.1 .....	6
2.1 Objetivo específico 2.2 .....	14
2.2 Objetivo específico 2.3 .....	28
2.2 Objetivo específico 2.4 .....	30
2.3 Objetivo específico 2.5 .....	32
2.4 Objetivo específico 2.6 .....	32
2.1 Objetivo específico 2.7 .....	52
VII. RESULTADOS .....	56
Contexto histórico .....	56
2.1 Objetivo específico 2.1 .....	61
2.1 Objetivo específico 2.2 .....	149
2.2 Objetivo específico 2.3 .....	174
2.2 Objetivo específico 2.4 .....	181
2.3 Objetivo específico 2.5 .....	196
2.4 Objetivo específico 2.6 .....	198
2.1 Objetivo específico 2.7 .....	223
VIII. DISCUSIÓN .....	235
IX. CONCLUSIONES .....	248
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	250
XI. ANEXOS .....	266
Anexo 1. Descriptores y Base de datos .....	266

i



### III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

#### FIGURAS

- Figura 1** a) Posición geográfica de las estaciones de muestreo de huevos de anchoveta, b) de estaciones oceanográficas profundas y superficiales y c) mapa combinado de estaciones de huevos, profundas, superficiales y posición de estaciones de monitoreo mensual.
- Figura 2** Proporción del número de individuos y proporción de estaciones monitoreadas por zona y distancia a la costa. Valores al interior de las barras y entre paréntesis en el eje de las ordenadas corresponden al número de individuos en miles y los tamaños de muestra de estaciones.
- Figura 3** Proporción del número de individuos y proporción de estaciones monitoreadas por zona y distancia a la costa. Valores al interior de las barras y entre paréntesis en el eje de las ordenadas corresponden al número de individuos en miles y los tamaños de muestra de estaciones.
- Figura 4** Composición estructura zoopláctonica por zona y distancia a la costa para los taxas, copépodos, apendicularias, doliolidos, larvas de eufausidos, nauplis, poliquetos, quetognatos, salpas y sifonoforos.
- Figura 5** Mosaico climático: Esquema de la superposición cualitativa de cambios climáticos en distintas escalas temporales. El color azul indica fases frías y el rojo fase cálida. Las barras segmentadas azules indican los periodos aproximados de cambios de régimen climático y la barra segmentada roja
- Figura 6** El panel a) muestra las observaciones del: Índice de Corrientes de Humboldt, LA clorofila satelital y la biomasa del stock desovante de anchoveta con la ubicación del punto de cambio estimado usando la prueba estadística *t*-student. El panel b) muestra el estadístico  $D_{k,n}$  y el nivel de rechazo de la hipótesis nula  $h_{k,n}$  (línea horizontal) de las variable consideradas.
- Figura 7** Series temporales usadas en este estudio, a) índice de la corriente de Humboldt (ICH), b) clorofila satelital (CHL), c) biomasa desovante (mil ton).
- Figura 8** Información del viento predominante medido cada media hora sobre el track de navegación, respecto a su dirección e intensidad: a) menor a 5 m/s, b) entre 5 y 10 m/s, c) mayor a 10 m/s. Índices de: d) Surgencia promedio ( $m^3/s$ ) por grado de latitud, y e) Turbulencia promedio ( $m^3/s^3$ ) por grado de latitud. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



- Figura 9** Distribución superficial de: a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) anomalía de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), c) salinidad, y d) anomalía de salinidad. Los puntos sobre los mapas indican la posición de estaciones. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 10** Distribución superficial de: a) profundidad de la isoterma de  $15^{\circ}\text{C}$  (m), b) anomalía promedio de la profundidad de la isoterma de  $15^{\circ}\text{C}$  (m), c) máximo gradiente de la termoclina ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ), y d) profundidad del máximo gradiente de la termoclina (m). Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 11** Distribución superficial de: a) densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), b) espesor de la capa de mezcla (m), c) oxígeno disuelto ( $\text{mL}/\text{L}$ ) y b) profundidad del límite superior de la capa de mínimo oxígeno ( $1 \text{ mL}/\text{L}$ , m). Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 12** Distribución superficial de: a) clorofila-a ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ), b) clorofila integrada ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ). Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 13** Distribución superficial de las masas de agua, según su porcentaje de participación: a) agua Subtropical (AST), b) agua Subantártica (ASAA), y c) agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 14** Distribución vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 15** Distribución vertical de Salinidad hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 16** Distribución vertical de densidad sigma-t ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 17** Distribución vertical de oxígeno disuelto ( $\text{mL}/\text{L}$ ) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 18** Distribución vertical de clorofila-a ( $\text{mL}/\text{L}$ ) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



- Figura 19** Distribución vertical del porcentaje de participación de la masa de Agua Subtropical (AST) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 20** Distribución vertical del porcentaje de participación de la masa de Agua Subantártica (ASAA) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 21** Distribución vertical del porcentaje de participación de la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 22** Distribución vertical de temperatura (°C) paralela a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100, 500 y 700 m de profundidad respectivamente. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 23** Distribución vertical de Salinidad paralela a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100, 500 y 700 m de profundidad respectivamente. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 24** Distribución vertical de densidad (kg/m<sup>3</sup>) paralela a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100, 500 y 700 m de profundidad respectivamente. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 25** Distribución vertical de oxígeno disuelto (mL/L) paralelo a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100, 500 y 700 m de profundidad respectivamente. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 26.** Distribución vertical del porcentaje de participación de la masa de Agua Subtropical (AST), Subantártica (ASSA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) paralela a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 700 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 27** Distribución vertical de clorofila-a (µg/L) paralelo a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100 m de profundidad. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 28** Distribución horizontal de la concentración de nitrito (µM) entre la superficie y los 75 m de profundidad, durante septiembre de 2016.



- Figura 29** Distribución horizontal de la concentración de nitrito ( $\mu\text{M}$ ) entre los 100 m y 500 m de profundidad, durante septiembre de 2016
- Figura 30** Distribución vertical de la concentración de nitrito ( $\mu\text{M}$ ) en A: Arica ( $18^{\circ}25'S$ ), B: punta Madrid ( $19^{\circ}00'S$ ), C: punta Junín ( $19^{\circ}40'S$ ), D: punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ), E: punta Lobos ( $21^{\circ}00'S$ ) y F: punta Arenas ( $21^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.
- Figura 31** Distribución vertical de la concentración de nitrito ( $\mu\text{M}$ ) en G: punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ), H: Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), I: Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), J: punta Tres Picos ( $24^{\circ}00'S$ ), K: caleta Paposos y L: punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.
- Figura 32** Distribución horizontal de la concentración de nitrato ( $\mu\text{M}$ ) entre la superficie y los 75 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 33** Distribución horizontal de la concentración de nitrato ( $\mu\text{M}$ ) entre los 100 m y 500 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 34** Distribución vertical de la concentración de nitrato ( $\mu\text{M}$ ) en A: Arica ( $18^{\circ}25'S$ ), B: punta Madrid ( $19^{\circ}00'S$ ), C: punta Junín ( $19^{\circ}40'S$ ), D: punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ), E: punta Lobos ( $21^{\circ}00'S$ ) y F: punta Arenas ( $21^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.
- Figura 35** Distribución vertical de la concentración de nitrato ( $\mu\text{M}$ ) en G: punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ), H: Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), I: Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), J: punta Tres Picos ( $24^{\circ}00'S$ ), K: caleta Paposos y L: punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.
- Figura 36** Distribución horizontal de la concentración de fosfato ( $\mu\text{M}$ ) entre la superficie y los 75 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 37** Distribución horizontal de la concentración de fosfato ( $\mu\text{M}$ ) entre los 100 m y 500 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 38** Distribución vertical de la concentración de fosfato ( $\mu\text{M}$ ) en A: Arica ( $18^{\circ}25'S$ ), B: punta Madrid ( $19^{\circ}00'S$ ), C: punta Junín ( $19^{\circ}40'S$ ), D: punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ), E: punta Lobos ( $21^{\circ}00'S$ ) y F: punta Arenas ( $21^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.
- Figura 39** Distribución vertical de la concentración de fosfato ( $\mu\text{M}$ ) en G: punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ), H: Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), I: Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), J: punta Tres Picos ( $24^{\circ}00'S$ ), K: caleta Paposos y L: punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.



- Figura 40** Distribución horizontal de la concentración de silicato ( $\mu\text{M}$ ) entre la superficie y los 75 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 41** Distribución horizontal de la concentración de silicato ( $\mu\text{M}$ ) entre los 100 m y 500 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 42** Distribución vertical de la concentración de silicato ( $\mu\text{M}$ ) en A: Arica ( $18^{\circ}25'S$ ), B: punta Madrid ( $19^{\circ}00'S$ ), C: punta Junín ( $19^{\circ}40'S$ ), D: punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ), E: punta Lobos ( $21^{\circ}00'S$ ) y F: punta Arenas ( $21^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.
- Figura 43** Distribución vertical de la concentración de silicato ( $\mu\text{M}$ ) en G: punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ), H: Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), I: Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), J: punta Tres Picos ( $24^{\circ}00'S$ ), K: caleta Paposos y L: punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.
- Figura 44** A: Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis comparativo global de las concentraciones de nitrito, B: Histograma de frecuencia de la concentración de nitrito para los cruceros entre 2008 y 2016.
- Figura 45** Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por estrato de las concentraciones nitrito. A: superficie; B: 50 m; C: 100 m; D: 200 m.
- Figura 46** A: Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis comparativo global de las concentraciones de nitrato, B: Histograma de frecuencia de la concentración de nitrato para los cruceros entre 2008 y 2016.
- Figura 47** Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por estrato de las concentraciones nitrato. A: superficie; B: 10 m; C: 50 m; D: 100 m; E: 200 m.
- Figura 48** A: Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis comparativo global de las concentraciones de fosfato, B: Histograma de frecuencia de la concentración de fosfato para los cruceros entre 2008 y 2016.
- Figura 49** Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por estrato de las concentraciones fosfato. A: superficie; B: 10 m; C: 50 m.
- Figura 50** A: Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis comparativo global de las concentraciones de silicato, B: Histograma de frecuencia de la concentración de silicato para los cruceros entre 2008 y 2016.



- Figura 51** Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por estrato de las concentraciones silicato. A: superficie; B: 10 m; C: 50 m; D: 100 m; E: 200 m.
- Figura 52** Efecto derivado del GAM de los nutrientes sobre la abundancia fitoplanctónica total (cél/mL). (a) Nitrito ( $\mu\text{M}$ ); (b) Nitrato ( $\mu\text{M}$ ); (c) Fosfato ( $\mu\text{M}$ ); (d) Silicato ( $\mu\text{M}$ ).
- Figura 53** Efecto derivado del GAM de los nutrientes sobre la abundancia de diatomeas (cél/mL). (a) Nitrito ( $\mu\text{M}$ ); (b) Nitrato ( $\mu\text{M}$ ); (c) Fosfato ( $\mu\text{M}$ ); (d) Silicato ( $\mu\text{M}$ ).
- Figura 54** Efecto derivado del GAM de los nutrientes sobre la abundancia de flagelados (cél/mL). (a) Nitrito ( $\mu\text{M}$ ); (b) Nitrato ( $\mu\text{M}$ ); (c) Fosfato ( $\mu\text{M}$ ); (d) Silicato ( $\mu\text{M}$ ).
- Figura 55** Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre la superficie y 10 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 56** Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) a 20 m y 50 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 57** Distribución vertical de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre los  $18^{\circ}25'$  y los  $25^{\circ}40'$  de latitud sur, durante septiembre de 2016.
- Figura 58** Distribución horizontal de la abundancia de flagelados (cél/mL) entre la superficie y 10 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 59** Distribución horizontal de la abundancia de flagelados (cél/mL) a 20 m y 50 m de profundidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 60** Distribución vertical de la abundancia de flagelados (cél/mL) entre los  $18^{\circ}25'$  y  $25^{\circ}40'$  de latitud sur, durante septiembre de 2016.
- Figura 61** Distribución de los índices comunitarios de diatomeas. R: riqueza, H': diversidad y J: uniformidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 62** Distribución de los índices comunitarios de flagelados. R: riqueza, H': diversidad y J: uniformidad, durante septiembre de 2016.
- Figura 63** Resultados del análisis de ordenación de la abundancia total por distancia de la costa (DDC). Los triángulos azules identifican la zona costera (C) y los círculos rojos la zona oceánica (O). Las letras representan los sectores ARICA (AR): Arica ( $18^{\circ}25'S$ )-punta Junín ( $19^{\circ}40'S$ ), IQUIQUE (IQ): punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ )-punta Arenas ( $21^{\circ}40'S$ ), ANTOFAGASTA (ANT): punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ )-Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), PAPOSO (PAP): punta Tres Picos ( $24^{\circ}20'S$ )-punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ 1 $^{\circ}40'S$ )



- Figura 64.** Distribución superficial de anomalía de temperatura satelital ( $^{\circ}\text{C}$ ) promedio mensual de: a) Septiembre 2016, y b) Octubre 2016. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 65.** Distribución superficial promedio mensual de clorofila-a satelital (mL/L) y velocidad geostrófica (m/s) de: a) Septiembre 2016, y b) Octubre 2016. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.
- Figura 66** Panel superior: Diagrama de trazos del viento y estrés del viento ( $\text{N/m}^2$ ) diario, durante el año 2016. Panel inferior: Serie temporal del Índice de Surgencia ( $\text{m}^3/\text{s} \times 1000 \text{ m}$  de costa) filtrada con un peso medio de 7 días, junto con su promedio histórico semanal (2000 – 2016) obtenido de los datos de viento tri-horario. El área sombreada representa la mediana, Q1 y Q3 de la serie histórica, entre enero y diciembre de 2016, de los aeropuertos: a) Diego de Aracena en Iquique, y b) Cerro Moreno en Antofagasta. Fuente de datos: Dirección Meteorológica de Chile.
- Figura 67** Serie temporal del Índice de Surgencia ( $\text{m}^3/\text{s} \times 1000 \text{ m}$  de costa), filtrada con un peso de 15 días y su promedio histórico semanal de los datos de viento tri-horario (enero 2000 - diciembre 2016) El área sombreada representa la mediana, Q1 y Q3 de la serie histórica, entre enero y diciembre de 2016, de los aeropuertos: a) Diego de Aracena en Iquique, y b) Cerro Moreno en Antofagasta. Fuente de datos: Dirección Meteorológica de Chile.
- Figura 68** Series de tiempo para el período mayo 2002- abril 2017 de: a) MEI y ATSM en la Región Niño1+2 y Región Niño3.4, con rangos MEI clasificando la intensidad de los ciclos ENOS. Series de tiempo del promedio de ATSM ( $^{\circ}\text{C}$ ) norte entre  $18^{\circ}$ - $26^{\circ}\text{S}$  (rojo) y sur  $34^{\circ}$ - $40^{\circ}\text{S}$  (azul) en los sectores: b) costero, y c) oceánico. Diagramas Hovmöller de ATSM en los sectores: d) costero, y e) oceánico, para el área total ( $18^{\circ}$ - $40^{\circ}\text{S}$ ).



- Figura 69** Series de tiempo para el período mayo 2002- abril 2017 de: a) MEI y ATSM en la Región Niño1+2 y Región Niño3.4, con rangos MEI clasificando la intensidad de los ciclos ENOS. Series de tiempo del promedio de clorofila-a satelital norte entre 18°-26°S (rojo) y sur 34°-40°S (azul) en los sectores: b) costero, y c) oceánico. Diagramas Hovmöller de clorofila-a satelital en los sectores: d) costero, y e) oceánico, para el área total (18°-40°S).
- Figura 70** a) Biomasa promedio interanual del zooplancton total (ml zoo/1000 m<sup>3</sup>), obtenida a partir de los proyectos MOBIO norte 1991-2016 (línea verde) y RECLAN 2010-2013 (línea punteada anaranjada). Se indica en una línea punteada gris el valor de biomasa promedio histórica 1991-2016. b) biomasa promedio del Zooplancton para las 5 transectas históricas del proyecto MOBIO norte, durante el periodo 1991-2016 (línea punteada gris); y del proyecto MOBIO 2016 (línea verde).
- Figura 71** Gráficos de: a) La distribución interanual general de la mediana estimada por zonas del zooplancton, b) mediana estimada por transecta (histórica y año 2016) para el área total, c) mediana estimada por transecta (histórica y año 2016) franja costera (1-20mn) y d) mediana estimada por transecta (histórica y año 2016) franja oceánica (40-100mn).
- Figura 72** Porcentaje de participación de los grupos principales del zooplancton, durante primavera de 2009 y 2014-2016, para la zona norte.
- Figura 73** Distribución espacial de la abundancia total de zooplancton (n° de ind/1000 m<sup>3</sup>) (a), abundancia de copépodos (b) y la biomasa total (ml zoo/1000 m<sup>3</sup>) (c), durante septiembre-octubre de 2016.
- Figura 74** Proporción del número de individuos y proporción de estaciones monitoreadas por zona y distancia a la costa. Valores al interior de las barras y entre paréntesis en el eje de las ordenadas corresponden al número de individuos en miles y los tamaños de muestra de estaciones.
- Figura 75** Composición estructura zooplactonica por zona y distancia a la costa para los taxas, copépodos, apendicularias, doliolidos, larvas de eufausidos, nauplis, poliquetos, quetognatos, salpas y sifonoforos.
- Figura 76** Proporción interanual de huevos (a) y larvas (b) total de anchoveta, jurel, sardina española y otras especies, durante el periodo comprendido entre 1980-2016, en la zona norte de Chile.



- Figura 77** Proporción interanual de huevos en la costa (a) y en el océano (b) de anchoveta, jurel, sardina española y otras especies. Proporción interanual de larvas en la costa (c) y en el océano (d) de anchoveta, jurel, sardina española y otras especies, durante el periodo comprendido entre 1980-2016, en la zona norte de Chile.
- Figura 78** Abundancia interanual promedio y mediana de los huevos (a) y larvas (b) totales de anchoveta, en el periodo comprendido entre 1980-2016.
- Figura 79** Abundancia interanual promedio y mediana de los huevos de anchoveta en la costa (a) y el océano (b); y de las larvas en la costa (c) y el océano (d), en el periodo comprendido entre 1980-2016.
- Figura 80** a) Medianas de las abundancias de huevos y larvas de anchoveta durante el periodo 1980-2016, a lo largo de las cinco transectas históricas de la zona norte. Abundancia media (en azul) y mediana (en naranja) de huevos (b) y larvas (c) de anchoveta en las cinco transectas históricas, correspondiente al periodo 1980-2016.
- Figura 81** Distribución de la abundancia mediana de huevos y larvas de anchoveta ( $n^\circ$  de h o l/10m<sup>2</sup>), en la costa (a) y en el océano (c). Abundancia mediana de huevos y larvas de otras especies, en la costa (b) y en el océano (d), en la zona norte de Chile.
- Figura 82** Distribución espacial de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta ( $n^\circ$  h o l/10 m<sup>2</sup>) durante septiembre-octubre de 2016, en la zona norte de Chile.
- Figura 83** Distribución espacial de huevos ( $n^\circ$  huevos/10 m<sup>2</sup>) en los distintos estratos de profundidad: a) 0-10 m; b) 10-25 m y c) 25-50 m. Distribución espacial de larvas en los estratos de profundidad: d) 0-10 m; e) 10-25 m y f) 25-50 m.
- Figura 84** Coeficiente de codispersión para asociación espacial entre la distribución de huevos y las variables oceanográficas consideradas cerca de la superficie y entre los 50 y 75 metros de profundidad, año 2016.
- Figura 85** Distribución espacial de la densidad acústica de a) de anchoveta y b) vinciguerría durante el crucero MOBIO 1609
- Figura 86** Índices de Densidad (ID) de: a) anchoveta y b) vinciguerría. Período 2005-2016.
- Figura 87** Índices de Cobertura (IC) de: a) anchoveta y b) vinciguerría. Período 2005-2016.
- Figura 88** Distribución espacial de anchoveta y de las variables bio-oceanográficas.



- Figura 89** Series de tiempo de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), b) salinidad, c) concentración de oxígeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ) y d) clorofila ( $\mu\text{g/L}$ ), en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones, entre septiembre 2014 y abril 2017.
- Figura 90** Series de tiempo de a) densidad ( $\text{kg/m}^3$ ), b) n° de huevos y c) n° de larvas de anchoveta, en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones, entre septiembre 2014 y abril 2017.
- Figura 91** Series de tiempo de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y b) salinidad, c) densidad ( $\text{kg/m}^3$ ), d) N° de huevos y e) N° de larvas de anchoveta, en las estaciones fijas de Coliumo a 5, 12 y 18 mn, entre octubre 2014 y abril 2017.
- Figura 92** Series de tiempo de anomalía de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones, entre a) mayo de 1997 y septiembre de 2010, y b) septiembre 2014 y abril 2016.
- Figura 93** Series de tiempo de anomalía de salinidad en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones, entre a) mayo de 1997 y septiembre de 2010, y b) septiembre 2014 y abril 2016.
- Figura 94** Señal anual de: a) biomasa zooplanctónica promedio histórica de Arica-Iquique-Mejillones 1997-2016 y observada 2016-2017; b) biomasa promedio histórica de las tres estaciones y abundancias observadas en cada estación de monitoreo; c) abundancia promedio de zooplancton total y abundancia media de huevos observada en las tres estaciones; d) abundancia zooplanctónica promedio histórica 1997-2016 y abundancia observada en cada estación de monitoreo, durante abril de 2016-marzo 2017.
- Figura 95** Serie mensual de referencia para la abundancia de huevos de anchoveta y el IGS de los adultos, correspondiente a la zona de Arica a Mejillones.
- Figura 96** Proporción mensual de referencia de los huevos de anchoveta entre las tres estaciones de monitoreo, para la zona norte de Chile. La línea punteada indica la proporción del 50%.
- Figura 97** Series de tiempo de los periodos: 1997-2000 paneles izquierdos, 2014-2017 paneles derechos. a) y b) Índice MEI, c) y d) ATSM satelital de la costa y océano, e) y f) ATSM in situ y temperatura integrada.
- Figura 98** Serie mensual de la abundancia promedio de huevos en las tres estaciones de monitoreo (barras azules) y la abundancia promedio histórica (1997-2017, líneas punteadas rojas), durante los periodos: abril de 1997-marzo 2000 (a) y abril de 2014-



marzo 2017 (b). Se destaca en un recuadro rojo los tramos correspondientes a eventos ENOS de categoría fuerte.

- Figura 99** Serie mensual de la abundancia promedio de huevos en las tres estaciones de monitoreo (barras azules), IGS promedio observado durante cada mes (líneas naranjas) e IGS promedio histórico (1997-2017), línea punteada gris), durante: abril de 1997-marzo 2000 (a) y abril de 2014-marzo 2017 (b). Se destaca en un recuadro rojo los tramos correspondientes a eventos ENOS de categoría fuerte.
- Figura 100** Series mensuales de la proporción de huevos de anchoveta entre las tres estaciones de vigilancia, de referencia (a), durante ENOS 1997-98 (b) y ENOS 2015-16 (c). Se destaca en un recuadro rojo los periodos El Niño de categoría fuerte.
- Figura 101** a) Índice gonadosomático medio mensual (IGS) (línea azul), promedio histórico del IGS (línea gris) y promedio aritmético de huevos (huevos/10 m<sup>2</sup>) de anchoveta (barra verde) en Coliumo (5, 12 y 18 mn). b) Serie mensual para la abundancia promedio del zooplancton y los huevos de anchoveta, en el periodo comprendido entre septiembre del 2015, hasta mayo de 2017, correspondiente a Coliumo (5, 12 y 18 mn).
- Figura 102** Distribución espacial de: a) estaciones con registro de huevos de anchoveta y b) abundancia de huevos de anchoveta. Septiembre-octubre de 2016.
- Figura 103** Variación mensual del índice gonadosomático de anchoveta en la Zona Arica-Antofagasta. Serie 2000 - 2014 y año 2016. La línea segmentada representa el valor referencial de actividad reproductiva de IGS = 5%.
- Figura 104** Variación semanal del índice gonadosomático de anchoveta en la Zona Arica – Antofagasta. Serie 2000 – 2014 y año 2016. La línea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva.
- Figura 105** Incidencia semanal de las fases histológicas de madurez ovárica.
- Figura 106** Variación semanal del índice de actividad de desove de anchoveta en la Zona Arica – Antofagasta. Año 2016 y serie 1999-2014. La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.
- Figura 107** Variación mensual del índice de actividad de desove de anchoveta en la Zona Arica – Antofagasta. Año 2016 y serie 2000-2014. La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.



- Figura 108** Variación semanal del índice de atresia ovárica (IAO) de anchoveta en la Zona Arica-Antofagasta. Año 2016 y serie 1999 – 2014
- Figura 109** Variación mensual del índice de atresia ovárica de anchoveta en la Zona Arica – Antofagasta. Año 2016 y serie 2000 - 2014.
- Figura 110** Frecuencia (Nº) de huevos de anchoveta por estadio de desarrollo para cada año de cruceo ictioplanctónico. Barras: Frecuencia (%) del año. Línea: Frecuencia (%) considerando todos los cruceos.
- Figura 111** Proporción de huevos en estadio 1 colectados en el plancton (Línea continua). Base de datos de las aplicaciones del MPH desde 1992 al 2015. Línea punteada es el ajuste de una distribución normal con parámetros entregados en cada panel: Media, desviación estándar (DS), número de huevos (n) e Intervalo de Confianza (95%), indicando que el 95% de los huevos son desovados en ese intervalo de horas. Flecha indica las 0 horas.
- Figura 112** Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubación
- Figura 113** Estimaciones de Producción diaria de huevos (Nº/0,05 m<sup>2</sup>/día), ponderado por la proporción del área de desove respecto del área de cruceo, para anchoveta de la zona norte en base a las dos metodologías aplicadas.
- Figura 114** Proporción de estadios de FPO en función de la hora de captura utilizando la base histórica de las aplicaciones del MPDH en la zona norte (25842 hembras). Primer panel (1+2) corresponde a los FPO 1 y 2, luego en cada panel se va agregando un estadio de FPO. Línea segmentada vertical indica un ciclo diario. Círculos llenos en negro indican los datos para el ajuste de línea. Círculos en gris se repite información para construir segundo ciclo diario. Número sobre flecha vertical indica la hora a proporción = 0 según ajuste. Todas las regresiones significativas (P<0.05).
- Figura 115** Proporción de los estadios de madurez ovárica de Núcleo Migratorio e Hidratadas de acuerdo a la hora de captura, para la base de datos histórica del MPDH. Línea segmentada es la proporción de hembras con FPO estadio 1, indicando las horas de inicio del desove. Areas en gris es ajuste de una distribución normal con media 8 h y desviación estándar de 5 h para núcleo migrante; y de 18h y 4h respectivamente para hidratadas. En rectángulos blancos se entrega el período que duraría el estadio (95%).
- Figura 116** Fecundidad parcial en función del peso corporal para los años de aplicación del MPDH. Línea roja es el ajuste para el año. Línea negra segmentada es el ajuste común a todos los años.



- Figura 117** Boxplot de la longitud total de las hembras muestreadas en cada año de aplicación del MPDH en la zona norte.
- Figura 118** Biomosas desovantes estimadas en cada año de aplicación del Método de producción Diaria de Huevos.
- Figura 119** Áreas de cruceo y de desove para cada año de aplicación del Método de producción Diaria de Huevos.
- Figura 120** a) Distribución de huevos, Centros de gravedad (CG) e Inercia (I); b) Variabilidad de la componente meridional del CG y c) Variabilidad de la componente longitudinal del CG.
- Figura 121** Matriz índice de proximidad de la distribución de huevos de los periodos evaluados.
- Figura 122** Índices de cobertura y densidad de huevos. Periodos 1992, 1995-1997, 1999-2008, 2011-2016.
- Figura 123** Modelamiento GAM de las variables temperatura y salinidad asociadas a la presencia ausencia de huevos de anchoveta. Periodo 1992, 1995-2016
- Figura 124** Histograma prueba jackknife de las variables en el modelo MaxEnt y contribución de las variables en los modelos exploratorios (nutrientes, oceanograficas y plancton) y modelo de selección
- Figura 125** Mapa predicción probabilidad de presencia de huevos E. ringens. Cuadriculas en blanco representan la presencia de huevos utilizada en entrenamiento del modelo y morado utilizada en ubicaciones de prueba.
- Figura 126** Curvas de respuesta modelo probabilístico selección de huevos E. ringens
- Figura 127** Curva ROC de ajuste modelo MaxEnt huevos E. ringens



## TABLAS

- Tabla 1** Número estaciones, taxas y ejemplares para las zonas definidas y a la distancia a la costa en que se realizó el muestreo.
- Tabla 2** Porcentaje de ejemplares por grupo zooplactónico, según distancia a la costa, zona y total.
- Tabla 3** Hipótesis, estadístico de Wald y valor p para el análisis por zona y distancia a la costa.
- Tabla 4** Escala de rangos del MEI empleada en la clasificación de eventos ENOS definida por la NOAA.
- Tabla 5** Posición geográfica de los lances efectuados durante el crucero MPH módulo adultos, en la XV, I y II regiones, septiembre - octubre, 2016.
- Tabla 6** Caracterización microscópica para determinar la fase de madurez gonadal en hembras de anchoveta (Sepúlveda *et al.*, 1999).
- Tabla 7** Clasificación histológica de los folículos post-ovulatorios de anchoveta según grado de degeneración (Claramunt *et al.*, 2007).
- Tabla 8** Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario. (Santander *et al.*, 1984).
- Tabla 9** Porcentaje de magnitud de los vientos obtenidos del submuestreo durante el crucero MOBIO-MPH, septiembre-octubre 2016.
- Tabla 10** Índice de Surgencia promedio (IS, m<sup>3</sup>/s) e Índice de Turbulencia promedio (IT, m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup>) en la costa (0-20 mn) y océano (40-60 mn), por rango de latitud (Sur).
- Tabla 11** Resultados de análisis comparativo (ANOVA) global y por estrato de las concentraciones de nutrientes registradas durante los cruceros de 2008, 2009, 2014, 2015 y 2016.
- Tabla 12.** Resultados del análisis de pruebas múltiples de Tukey para la variable nitrito.
- Tabla 13** Resultados del análisis de pruebas múltiples de Tukey para la variable nitrato.
- Tabla 14** Resultados del análisis de pruebas múltiples de Tukey para la variable fosfato.
- Tabla 15** Resultados del análisis de pruebas múltiples de Tukey para la variable silicato.



- Tabla 16** Resultados del análisis GAM para la relación entre el fitoplancton y los nutrientes.  $P_{TS}$ : probabilidad del término de suavizamiento, DE: devianza explicada (%), GCV: validación cruzada generalizada; n: número de datos, NS: nivel de significancia.
- Tabla 17** Géneros y especies de diatomeas identificadas durante el crucero MOBIO de septiembre de 2016 y su abundancia máxima (AB-MAX) (cél/mL). S: diatomeas solitarias.
- Tabla 18** Géneros y especies de flagelados identificados durante el crucero MOBIO de septiembre 2016 y su abundancia máxima (AB-MAX) (cél/mL). A: flagelados atecados.
- Tabla 19** Especies de diatomeas y flagelados que resultaron exclusivas de la región oceánica (40-100 mn) durante el crucero de septiembre de 2016. S: diatomeas solitarias, A: flagelados atecados.
- Tabla 20** Abundancia celular integrada (cél/mL) y aporte porcentual (%) de diatomeas (DIATO) y flagelados (FLAGE), durante el crucero de septiembre de 2016. DDC: distancia de la costa (mn).
- Tabla 21** Géneros y especies de diatomeas con los mayores aportes porcentuales durante el crucero MOBIO de septiembre de 2016. AM: abundancia máxima (cél/mL), AP: aporte porcentual (%), AT: aporte total (%). Cpelag: *Cerataulina pelagica*, Ccompres: *Chaetoceros compressus*, Cebilis: *Chaetoceros debilis*, Dpumila: *Detonula pumila*, Gstriata: *Guinardia striata*, Ldanicus: *Leptocylindrus danicus*, Pseudo sp.: *Pseudo-nitzschia* sp
- Tabla 22** Géneros y especies de flagelados con los mayores aportes porcentuales durante el crucero MOBIO de septiembre de 2016. AM: abundancia máxima (cél/mL), AP: aporte porcentual (%), AT: aporte total (%). Cfurca: *Ceratium furca*, Gymno sp.: *Gymnodinium* sp., Gyro sp.: *Gyrodinium* sp., Proro sp.: *Prorocentrum* sp.
- Tabla 23** Tabla resumen la abundancia relativa, valores mínimos, máximos, promedios, desviaciones estándar, constancia numérica (CN) y frecuencia de ocurrencia (FO), para cada grupo del zooplancton identificado en el área y periodo de estudio.
- Tabla 24** Hipótesis, estadístico de Wald y valor p para el análisis por zona y distancia a la costa.



- Tabla 25** Número estaciones monitoreadas, el coeficiente de correlación de Pearson corregido por autocorrelación espacial, la prueba t modificada (valor p entre paréntesis) y el coeficiente no paramétrico de Tjøstheim, para las diferentes profundidades evaluadas entre los huevos de anchoveta y las variables oceanográficas, año 2016
- Tabla 26** Coeficientes  $V(Cramer)$  de Cramer de las distribuciones de anchoveta, respecto de las variables ambientales. En paréntesis se indican los rangos preferentes de las variables.
- Tabla 27** Índices de Densidad (ID) (t/mn<sup>2</sup>) y cobertura (IC) (%) de anchoveta y vinciguerría estimados para el cruce MOBIO 1609.
- Tabla 28** Resultados de los cruces de huevo para las distintas aplicaciones del MPH.
- Tabla 29** Valor semanal de los indicadores reproductivos (IGS, IAD e IAO) de anchoveta en la zona Arica-Antofagasta, enero-octubre, 2016.
- Tabla 30** Número de lances y total de hembras muestreadas en los distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.
- Tabla 31** Parámetros de la ecuación combinada para estadio y temperatura ajustada a los datos de anchoveta de la zona norte (Soto, 2001) (E.S.= Error estándar; MSE= Error estándar residual).
- Tabla 32** Resultados del ajuste del modelo probabilístico para la edad de los estadios de huevos en anchoveta zona norte.
- Tabla 33** Resultados del ajuste de producción diaria de huevos en función de la edad de los huevos para las dos metodologías (Rutinas eggs y eggsplore en plataforma R).  $\ln(Po)$  corresponde al estimado del logaritmo de  $Po$  (Nº huevos/m<sup>2</sup>/día).  $Z$  corresponde a la estimación de mortalidad diaria de huevos ( $Z$ , en horas). Std. Error en el caso de  $Po$  corresponde al coeficiente de variación de  $Po$  y para  $Z$  es el error estándar.  $n$  es el número de observaciones.  $Pr(>|z|)$  es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). AIC es el criterio de información de Akaike.
- Tabla 34** Número de lances y total de hembras muestreadas en los distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.
- Tabla 35** Estimaciones de fracción desovante diaria según la clasificación en 7 estadios de FPO. Fracción desovante FPO 0 corresponde a la utilización de los estadios de núcleo migrante e hidratadas. Fracción desovante FPO 1 corresponde a la utilización de FPO de estadios I al IV.



- Tabla 36** Parámetros de adultos obtenidos en las distintas aplicaciones del MPH en la zona norte.
- Tabla 37** Resumen de los datos de los lances. Hora del lance en hora y fracción de hora, número de hembras (n), Estadios de Madurez Microscópico (EMM), Folículos post-ovulatorios (FPO), peso total (PT; Corregido), fecundidad parcial estimada (FECUNDIDAD) y Proporción de hembras en peso (Prop Hembras).
- Tabla 38** Estimaciones de la producción diaria de huevos (huevos/0,05 m<sup>2</sup>/día), su varianza y coeficiente de variación (CV, %), área de desove, área de estudio y biomasa de anchoveta en cada año de aplicación del método. (\*: Se utilizó función global de fecundidad parcial).
- Tabla 39** Análisis de varianza de las covariables ajustadas al modelo de presencia -ausencia de huevos de anchoveta.



## **IV. ANTECEDENTES**

---

El comportamiento y distribución de los recursos pelágicos en la zona norte está fuertemente ligado a las condiciones bio-oceanográficas. La circulación oceánica en esta zona y las masas de agua presentes en esta región se caracterizan por la presencia de aguas neríticas relativamente frías y de baja salinidad que afloran en la costa debido a continuos procesos de surgencia. Este proceso físico es controlado por el vientos sur-suroeste (García, 1993). Las aguas que afloran generalmente son ricas en nutrientes y promueven la producción fitoplanctónica y por ende el incremento de la biomasa de peces pelágicos del océano (Pizarro *et al.*, 1994).

El estudio y monitoreo de las condiciones oceanográficas y ambientales en la zona norte entrega una herramienta para la comprensión de las fluctuaciones de las poblaciones de peces pelágicos que, a través de los años, se han visto afectadas por una combinación de cambios en las condiciones ambientales y por la explotación pesquera (Yáñez, 1989).

Producto del impacto que ejerce el medio ambiente sobre los recursos (Cañón, 1986; Castillo & Guzmán, 1985; Castillo *et al.*, 1995), se hace necesario mantener un monitoreo periódico en la zona comprendida entre Arica y Antofagasta. Esta zona se caracteriza por una columna de agua estratificada a lo largo de todo el año y un reducido stress superficial del viento, asociado a valores mínimos de turbulencia, débil transporte de Ekman y a una plataforma continental estrecha (Parrish *et al.*, 1983; Bakun & Parrish, 1982; Bernal *et al.*, 1983).

En la zona norte de Chile, la pesquería más importante en términos de biomasa es la anchoveta, especie que se caracteriza por presentar un ciclo de vida de cinco años de longevidad (Cubillos *et al.* 2001), rápido crecimiento (Cubillos & Arancibia 1993), una alta tasa de mortalidad natural y por estar influenciada por factores ambientales en todas las etapas de su ciclo vital (Yáñez *et al.*, 1995; Silva *et al.*, 2016). Por otra parte, actualmente existen evidencias que el crecimiento de anchoveta sería más rápido de lo reportado hasta el momento (Cerna & Plaza, 2016).

Desde el punto de vista reproductivo, la anchoveta es un desovador parcial, con una marcada estacionalidad reproductiva que abarca de invierno a primavera, con un decrecimiento en verano y un reposo sexual relativo en otoño. Presenta una mayor actividad reproductiva entre julio y septiembre, mostrando variabilidad en cuanto a su inicio y duración (Claramunt *et al.*, 2014).

Es preciso diferenciar entre el periodo de máxima actividad reproductiva de la anchoveta y el periodo de máxima intensidad de desove. El primero ha sido establecido de julio a diciembre, según Hernández-Santoro *et al.* (2013), mientras que el segundo periodo corresponde al lapso en que se observan los más altos registros del índice de actividad de desove (IAD), comprendiendo desde mediados de julio hasta mediados de octubre (Hernández-Santoro *et al.* 2013). El éxito reproductivo se define como el balance entre el producto reproductivo y la sobrevivencia de este (Lowerre-Barbieri, 2009), el cual está asociado a patrones temporales y espaciales del proceso reproductivo (Lowerre-Barbieri *et al.*, 2011). En los patrones temporales, es necesario estudiar las variaciones en los



productos reproductivos, que en la anchoveta involucra a la producción anual de huevos de una hembra acompañada de alguna medida de calidad de este producto (tamaño, contenido de lípidos, etc.). La cantidad de huevos producidos es el producto de la fecundidad parcial y el número de desoves considerando que tanto la fecundidad como el número de desoves sufren variaciones intra e interanuales, además de ser dependientes de la talla de la hembra (Claramunt *et al.*, 1994, 2007). Se considera importante estudiar las fluctuaciones en el patrón de distribución espacial del desove y posibles factores asociados, para comprender la dinámica subyacente al éxito reproductivo.

En el estudio de los patrones espaciales y temporales, el Método de Producción Diaria de Huevos (MPDH) es una técnica de evaluación directa que recoge estos elementos a través de un intensivo muestreo de ictioplancton y adultos. La aplicación del MPDH en pequeños pelágicos es considerada una herramienta fundamental para la administración de la pesquería de anchoveta en la zona norte.

El Método de Producción Diaria de Huevos presenta las siguientes ventajas: a) proporciona una estimación de la biomasa desovante, b) sus fuentes de error están identificadas, siendo factible estimar la precisión de cada uno de ellos, c) proporciona información biológica anexa (fecundidad, tasa de mortalidad de huevos, proporción de peces maduros, distribución espacial del desove, etc.) de utilidad para evaluar la condición del stock y el reclutamiento potencial, y d) constituye una fuente de información auxiliar para calibrar las evaluaciones indirectas (Bernal *et al.* 2012).

Por otra parte, la descripción detallada de las condiciones ambientales en las que se desarrolla el proceso reproductivo constituye una oportunidad, para entender la forma en que la variabilidad de estas condiciones y los parámetros poblacionales modulan la dinámica reproductiva de la anchoveta, lo cual a su vez permite el desarrollo de modelos conceptuales del ciclo de vida y dinámica del recurso, aspecto del todo necesario para la implementación del enfoque ecosistémico a través de modelos biofísicos.



## **V. OBJETIVOS**

---

### **1. Objetivo general**

Monitorear las condiciones bio-oceanográficas y cuantificar mediante la aplicación del método de producción de huevos (MPH) la biomasa desovante de anchoveta de la zona norte de Chile entre el límite norte hasta los 26° 03' S.

### **2. Objetivos específicos**

- 2.1 Determinar la distribución espacial de las anomalías y valores de temperatura, salinidad y densidad, como también la distribución espacial del oxígeno disuelto, clorofila y nutrientes entre la superficie y 500 m de profundidad.
- 2.2 Determinar la distribución espacial de la abundancia, la composición del mesozooplancton y del ictioplancton.
- 2.3 Caracterizar los recursos pelágicos presentes en la zona de estudio, mediante índices de abundancia relativa y de cobertura geográfica en relación a las condiciones bio-oceanográficas.
- 2.4 Determinar las variaciones mensuales de la temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y clorofila, así como también la biomasa y abundancia del zooplancton y composición del ictioplancton en 3 estaciones costeras de la zona norte (Arica, Iquique y Mejillones) y una estación en la zona centro-sur (Bahía Coliumo).
- 2.5 Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta para la evaluación del stock desovante.
- 2.6 Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.
- 2.7 Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando los resultados del presente proyecto.



## **VI. DESARROLLO METODOLÓGICO**

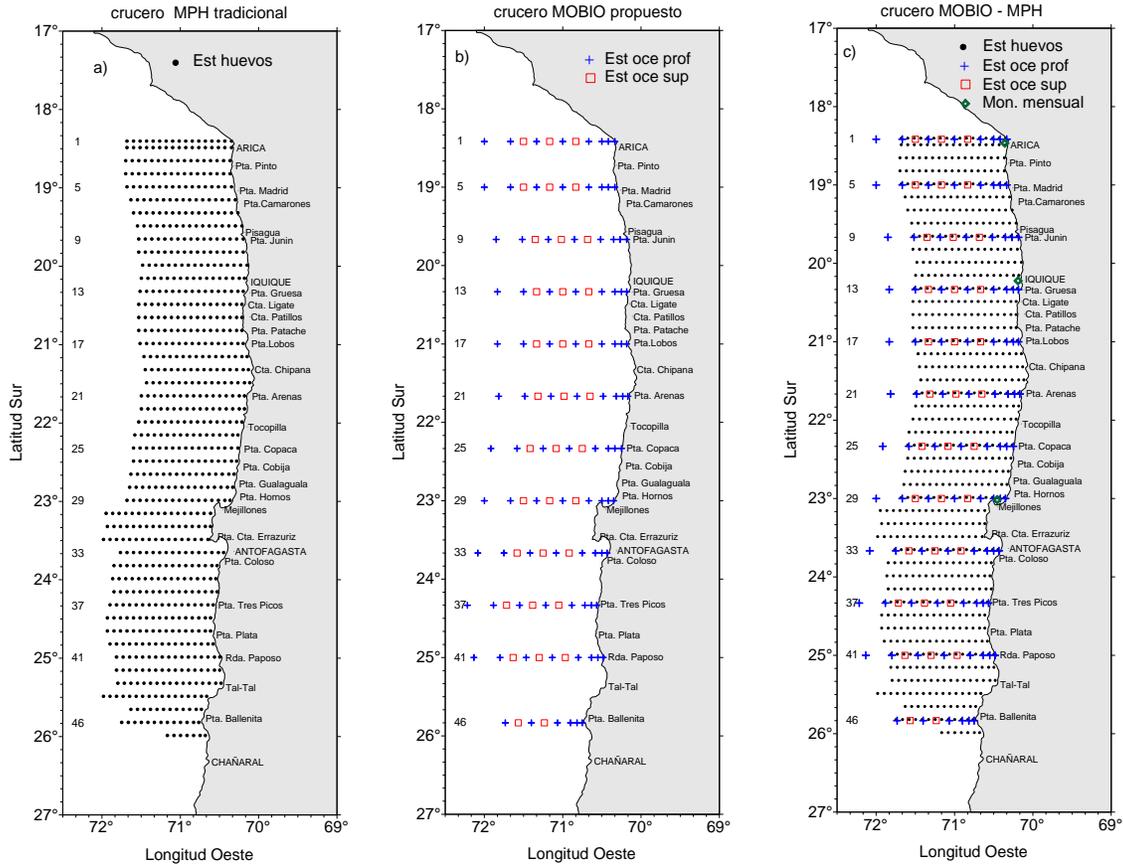
---

En este informe se entregan los resultados asociados a los objetivos específicos. De conformidad con la metodología presentada en la propuesta técnica se realizó el crucero MOBIO-MPH XV-II Regiones, año 2016, para monitorear las condiciones bio-oceanográficas y cuantificar la biomasa desovante de anchoveta de la zona norte de Chile, mediante la aplicación del método de producción de huevos (MPH).

### **1. Área y periodo de estudio**

El crucero se realizó a bordo del B/I Abate Molina, zarpando y recalando en Valparaíso los días 16 de septiembre y 28 de octubre, respectivamente. La prospección se realizó durante la época de primavera, en el periodo de máxima actividad reproductiva de la anchoveta en el área de estudio y en concordancia con el crucero internacional de los países miembros de la CPPS, en el contexto del Estudio Regional del fenómeno “El Niño” (ERFEN)

La zona de estudio correspondió al área marítima entre la XV y II regiones, que comprende desde Arica (18°25'S) hasta el sur de punta Ballenita (26°03'S), desde la primera milla náutica hasta las 100 mn desde la costa, exceptuando Arica donde el muestreo se extendió hasta 80 mn (**Figura 1a-c**).



**Figura 1.** a) Posición geográfica de las estaciones de muestreo de huevos de anchoveta, b) de estaciones oceanográficas profundas y superficiales y c) mapa combinado de estaciones de huevos, profundas, superficiales y posición de estaciones de monitoreo mensual.



## 2 Metodología por objetivo específico

### 2.1 Objetivo específico 4.2.1: Determinar la distribución espacial de las anomalías y valores de temperatura, salinidad y densidad, como también distribución espacial del oxígeno disuelto, clorofila y nutrientes entre la superficie y 500 m de profundidad.

#### 2.1.1 Contexto histórico

Con el propósito de dar un contexto histórico a la información obtenida en el marco del proyecto, se hizo una revisión bibliográfica de los antecedentes referidos a la viabilidad climática de grandes ecosistemas marinos y en distintas escalas temporales. Los términos empleados en la definición de escalas temporales se describen en Lluch-Belda *et al* (2003).

A partir de la información obtenida se construyó una línea de tiempo (1910-2016) sobre la cual fueron superpuestos los cambios cualitativos (fase cálida o fría) observados en eventos de distinta frecuencia temporal tales como: la variación de Baja Frecuencia (VBF, >50 años), la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) de frecuencia intermedia (10-25 años) y Eventos de Alta Frecuencia (EAF, 2-7 años) como El Niño y La Niña de categoría fuerte. Estos últimos, definidos en base a la escala de rangos del índice MEI establecida por la NOAA. Adicionalmente y con el propósito de evaluar los posibles efectos del cambio climático, también se incluyó la Anomalía de Temperatura Superficial del mar Global (Lluch-Belda *et al.*, 2001). El esquema resultante en adelante será llamado “El mosaico climático”.

#### 2.1.2 Muestreo oceanográfico general

Se realizaron 12 transectas con estaciones oceanográficas profundas ubicadas a 1, 5, 10, 20, 40, 60, 80 y 100 mn de la costa (exceptuando aquella frente a la costa de Arica, a 80 mn) (**Figura 1c**). Las transectas se posicionaron frente a: Arica (18°25'S), punta Madrid (19°0'S), punta Junín (19°40'S), punta Gruesa (20°20'S), punta Lobos (21°00'S), punta Arenas (21°40'S), punta Copaca (22°20'S), punta Hornos (23°0'S), Bahía Moreno (Antofagasta, 23°40'S), punta Tres Picos (24°20'S), rada Paposo (25°00'S) y punta Ballenita (25°50'S) (**Figura 1b**). En las estaciones ubicadas a 30, 50, 70 y 90 mn de estas transectas, se realizó solo muestreo superficial, y se les denominará en adelante estaciones oceanográficas superficiales (**Figura 1c**).

Se realizaron un total de 93 estaciones oceanográficas profundas de las 95 programadas. Las estaciones superficiales, fueron 45 de las 47 programadas.



Se utilizaron tres equipos CTD/OF, marca Sea Bird, uno modelo 911 operado en tiempo real durante las estaciones oceanográficas profundas y dos modelos 19plus V2 operados en modo de autocontenido, en las estaciones de recolección de huevos de anchoveta.

En las estaciones de huevos se realizaron mediciones con CTD/O dentro de los primeros 100 m. Cabe señalar que por malas condiciones de la mar, se disminuyó el número de estaciones de muestreo en las tres últimas transectas (45, 46 y 47), quedando cada una con 12, 13 y 7 estaciones, respectivamente. Es decir, se realizaron 2 estaciones oceanográficas menos que las propuestas y 18 menos en recolección de huevos.

En las estaciones de 100 mn de la costa de cada transecta, se realizaron registros de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y fluorescencia con CTD hasta 700 m de profundidad. Lo anterior con la finalidad de obtener información del núcleo de la masa de agua ecuatorial subsuperficial (AESS).

Por problemas en la corrección de los datos del sensor de fluorescencia, en las estaciones 497 y 501 se optó por trabajar con los datos discretos. Por falta de los datos discretos de clorofila en las estaciones: 73, 419, 421 y 707 no se consideraron los datos del sensor en el análisis.

### **2.1.3 Muestreo físico químico**

El muestreo de los parámetros físico-químicos se realizó en las estaciones oceanográficas profundas con un CTD/OF montado en un sistema de roseta con botellas Niskin de 5 L, para tomar muestras discretas de agua de mar a profundidades estándar de 1, 5, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300 y 500 m.

En las estaciones ubicadas a 100 mn de la costa de cada transecta se realizaron registros de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto a niveles profundos, efectuándose sus mediciones con CTD/O hasta 700 m de profundidad.

#### **2.1.3.1 Oxígeno disuelto (OD)**

Con las muestras discretas de agua recolectadas a bordo, se realizaron análisis para la obtención de la concentración de oxígeno disuelto, mediante el método Winkler modificado por Carpenter (1965). Se emplearon buretas electrónicas digitales Dosimat (precisión 0,001ml) y dispensadores automáticos.

#### **2.1.3.2 Clorofila-a**

En las estaciones oceanográficas profundas, se recolectaron muestras de agua para los análisis discretos de clorofila-a, a profundidades estándares en los 100 primeros metros. Las muestras de agua recolectadas, fueron filtradas *in situ* con un volumen estandarizado de 50 mL utilizando un



sistema de filtrado múltiple, con filtros de fibra de vidrio (MFS, GF/75) de 25 mm de diámetro y tamaño de poro de 0,7  $\mu\text{m}$  (Jeffrey *et al.*, 1997). Los filtros fueron almacenados en nitrógeno líquido hasta su posterior análisis en el laboratorio de IFOP, mediante la metodología descrita por Parsons *et al.* (1984) utilizando un fluorómetro digital marca Turner Designs, modelo 10AU, calibrado con un estándar puro de clorofila-a marca Sigma Chemicals.

### 2.1.3.3 Nutrientes

En cada estación, mediante el uso de botellas Niskin, se obtuvieron muestras desde las profundidades 0, 10, 20, 50, 75, 100, 150, 200, 300 y 500 m. Directamente de la botella se tomaron 200 mL de agua los que fueron filtrados a través de un tamiz de 20  $\mu\text{m}$  de apertura de malla y almacenados a  $-20^{\circ}\text{C}$  para el posterior análisis de nitrato, nitrito, fosfato y silicato.

El nitrito se determinó con la metodología de Bendschneider y Robinson (1952), la cual consistió en hacer reaccionar al nitrito presente en la muestra con sulfanilamida en una solución ácida, para formar un compuesto diazo que se hizo reaccionar con N-(1-naftil)-etilendiamina obteniéndose una solución azoica altamente coloreada que se midió espectrofotométricamente. Para el análisis de nitrato se trabajó con el método de Morris y Riley (1963) con modificaciones de Grasshoff (1964), Wood (1967) y (Parsons *et al.*, 1984). El procedimiento consistió en reducir el nitrato a nitrito pasando la muestra a través de una columna reductora que contiene limaduras de cadmio recubiertas con cobre metálico. El nitrito producido fue determinado por diazotación con sulfanilamida y N-(1-naftil)-etilendiamina, formando una solución azoica altamente coloreada que se midió espectrofotométricamente (Parsons *et al.*, 1984).

La concentración de fosfato se obtuvo aplicando la metodología de Murphy y Riley (1962), que consistió en hacer reaccionar la muestra con un reactivo compuesto de ácido molibídico, ácido ascórbico y antimonio, obteniéndose una solución de color azul que se midió espectrofotométricamente. Para la determinación de silicato se empleó el método de Mullin y Riley (1955), a través del cual se sometió la muestra a reacción con molibdato para obtener un complejo silicomolibdato, el que luego fue reducido con una solución de metol y ácido oxálico obteniendo una solución de color azul que se midió espectrofotométricamente (Parsons *et al.*, 1984).

### 2.1.4 Fitoplancton

En cada estación, y desde las profundidades de 0, 5, 10, 20 y 50 m, se tomaron muestras de agua utilizando botellas oceanográficas Niskin. Una submuestra de 250 mL fue depositada en un frasco de 250 mL y fijada con 1 mL de solución de lugol-acético 1%.



Sólo en punta Ballenita (25°50'S) se tomaron muestras hasta las 60 mn de la costa. El resto de las transectas se muestreó de acuerdo al plan inicial. Se obtuvo un total de 463 muestras, las cuales fueron analizadas en su totalidad.

Se identificaron los grupos y especies fitoplanctónicas pertenecientes a la fracción de tamaño del microplancton (20-200 µm). El recuento de las células solitarias, en cadenas o colonias se llevó a cabo utilizando la metodología para microscopio invertido descrita en Sournia (1978) y Villafañe y Reid (1995).

La información de abundancia celular fue tabulada. Los valores se integraron entre la superficie y los 50 m de profundidad según lo propuesto por Hasle (1969).

Para describir y analizar la distribución horizontal y vertical de la concentración celular, se confeccionaron cartas por superficie de muestreo y secciones por transecta respectivamente.

Se llevó a cabo un análisis de la estructura de la comunidad fitoplanctónica examinando la riqueza de especies, la diversidad y la uniformidad.

Se estimó la riqueza (R) utilizando el índice de Margalef (1958):

$$R = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$$

donde S es el número total de especies en la muestra y N es número total de individuos de todas las especies presentes en la muestra.

La diversidad fue determinada mediante el índice de Shannon-Wiener, el cual contempla el número de especies, y la abundancia de cada una de ellas:

$$H' = \sum_{i=1}^n \ln(ip_i)$$

donde H' es el índice de diversidad, pi es la proporción de i-especies y n es el número de especies en una muestra dada.

La uniformidad fue calculada usando el índice de Pielou (J) que considera la diversidad (H') y el número de especies (n):

$$J = \frac{H'}{\ln(n)}$$



Se evaluaron las diferencias latitudinales y longitudinales en la distribución de la abundancia total aplicando un análisis de ordenamiento mediante el programa PRIMER 6, correspondiente a un escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS), y una vez obtenidos los grupos se aplicó un análisis de similitud (ANOSIM) para establecer la distancia entre ellos. Para determinar la influencia de las diatomeas y flagelados sobre la formación de los grupos, se trabajó con las especies de diatomeas y flagelados que realizaron aportes al total, en forma individual o en conjunto, iguales o superiores al 50%. Se consideraron especies costeras aquellas que se distribuyeron entre 1 y 20 mn de la costa, y oceánicas las que se detectaron entre 40 y 100 mn (Avaria *et al.*, 1982).

Dado que el objetivo es evaluar las diferencias latitudinales y longitudinales en la distribución de la abundancia de cada componente fitoplanctónico, la información se agrupó en cuatro factores:

1. **Distancia de la costa:** Abundancia costera (entre 1 y 20 m) y abundancia oceánica (entre 40 y 100 mn).

2. **Sectores:** Abundancia de las zonas entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S), entre punta Gruesa (20°20'S) y punta Arenas (21°40'S), entre punta Copaca (22°20'S) y Antofagasta (23°40'S) y entre punta Tres Picos (24°20'S) y punta Ballenita (25°40'S). Estos sectores se definieron en función de la distribución latitudinal de la abundancia de cada grupo.

3. **Abundancia de diatomeas**

4. **Abundancia de flagelados**

La ordenación se realizó en función de la distancia de la costa, por ello en el primer análisis se consideraron los factores 1 y 2, logrando la diferenciación longitudinal en función de la latitud. Luego, para establecer qué especies caracterizaron cada grupo, se asociaron los factores 1 y 3, y 1 y 4.

Por esta razón el nivel de estrés no cambió, ya que se trata de la misma matriz de entrada con la misma distancia entre los puntos.

Se analizó la distribución horizontal y vertical de cada nutriente, mediante la confección de cartas de distribución por superficie de muestreo y secciones verticales por transecta respectivamente.

Para examinar la variabilidad temporal se comparó la información de cada nutriente obtenida en el presente crucero, con aquella registrada en la primavera de 2008, 2009, 2014 y 2015. Se trabajó con los datos provenientes de las transectas localizadas frente a Arica, punta Junín, punta Lobos, punta Copaca y Antofagasta, y de las profundidades de 0, 10, 50, 100 y 200 m. Utilizando la plataforma R, previa transformación log+1 del dato, se aplicó un análisis de varianza de una vía considerando la información de manera global y por profundidad. Cuando se encontraron diferencias estadísticamente significativas, se llevó a cabo un análisis de pruebas múltiples de Tukey para determinar qué periodo las generó. Los resultados se presentan en tablas y gráficos de cajas y bigotes.

Para establecer la relación entre los nutrientes y el fitoplancton se eligió un análisis GAM (Modelos Aditivos Generalizados), debido a la no linealidad entre las variables. Se trabajó con la información,



obtenida entre la superficie y 50 m de profundidad, de concentración de nutrientes, abundancia fitoplanctónica total, abundancia de diatomeas y abundancia de flagelados. El análisis se realizó en R empleando el paquete mgcv (Wood, 2006). Se debe señalar que este análisis sólo buscó establecer algún grado de relación entre las variables, y no tuvo fines predictivos.

### 2.1.5 Información meteorológica

Durante todo el crucero se registró información de carácter básico con una estación meteorológica “VAISALA MARITIME OBSERVATION SYSTEM”, modelo MAWS 410: temperatura del aire, presión atmosférica (Hpa), humedad relativa, intensidad y dirección del viento: Se registró también tipo y cantidad de nubes, altura y dirección de las olas. En el registro se utilizaron las normas, tablas y códigos del National Oceanographic Data Center (NODC, 1991).

### 2.1.6 Procesamiento de la información bio-oceanográfica

Los datos de CTD/OF tomados se procesaron de acuerdo al procedimiento estándar recomendado por el fabricante (<http://www.seabird.com/model-number-list>). Posteriormente, estos datos fueron utilizados para construir campos superficiales de temperatura y salinidad. Los valores de salinidad en el informe, se presentan en forma adimensional de acuerdo a las recomendaciones de UNESCO (1981a) que por conveniencia se escribieron omitiendo el factor  $10^{-3}$  y la unidad PSU.

Las anomalías superficiales de temperatura, salinidad y profundidad de la isoterma de  $15^{\circ}\text{C}$ , para los meses de septiembre – octubre fueron calculadas por diferencia con los promedios mensuales para la zona (Reynolds, 1982; Blanco, 1996; Rojas y Silva, 1996).

Para confeccionar las cartas de distribución superficial de las variables de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto, los datos de CTD/OF se interpolaron espacialmente por medio del método Data Interpolating Variational Analysis-DIVA (Troupin *et al.*, 2012; <http://modb.oce.ulg.ac.be/mediawiki/index.php/DIVA>). Estas poseen la interface de libre acceso, versión beta: Geo Hydrodynamics and Environment Research (<http://ec.oceanbrowser.net/emodnet/diva.html>). Con los datos en profundidad se obtuvo información de la capa de mezcla (espesor), termoclina y la profundidad del límite superior de la capa de mínimo OD.

El cálculo de la densidad se realizó utilizando la ecuación internacional de estado del agua de mar y se presenta como sigma-t (Densidad-1000  $\text{kg/m}^3$ ). Esta fue calculada con el programa Matlab, mediante el toolbox Sea-water (v.3.05), el que tiene incorporada la ecuación de estado del agua de mar de TEOS 10 (McDougall *et al.*, 2013; IOC, 2010; Roquet *et al.*, 2015).

La determinación de la “condición de normalidad” estacional de la zona de estudio, hace uso, entre otros, de valores de anomalía de temperatura y salinidad para el nivel de superficie y de la profundidad de la isoterma de  $15^{\circ}\text{C}$  para la vertical. Las anomalías de estas variables son entonces la diferencia



de los datos obtenidos de crucero con los promedios de datos históricos para el mes respectivo. Así, los valores de anomalía registrados en el sector oceánico de la zona de estudio y que comprenden el rango en temperatura, salinidad y profundidad de la isoterma de 15°C de  $\pm 1^\circ\text{C}$ ,  $\pm 0,1$  y  $\pm 10$  m, respectivamente, no son significativos, ya que están en el rango de 1 desviación estándar, por lo tanto, se encuentran dentro de lo que se considera como variación normal del sistema. En el caso del sector costero (<20 mn), este rango aumenta al doble, es decir  $\pm 2^\circ\text{C}$  y  $\pm 0,2$  y hasta  $\pm 10$  m, aproximadamente. Se indica que los términos “anomalía no significativa” y “anomalía significativa” no están aplicados en un sentido estricto a una prueba estadística, bastando para ello el definir un criterio que en este caso corresponde al indicado. Junto con los valores de anomalía señalados, se discuten los procesos locales o de forzamiento remoto que se presentan en la zona al momento del crucero y que justifican las anomalías encontradas.

Para el análisis de las masas de agua se confeccionaron cartas superficiales del porcentaje de participación de las masas de agua (PPMA), obtenidos mediante el método del triángulo de mezcla (Mamayev, 1975).

De los datos de viento tomados en el track de navegación por la estación meteorológica (cada 3 segundos), se realizó un submuestreo cada 30 minutos que correspondió al promedio de los últimos 10 minutos, con ellos se elaboró una carta de intensidad y dirección. Con la información de viento se calculó el índice de surgencia (IS) instantáneo (Bakun, 1987) y el índice de turbulencia (IT) (Bakun & Parrish, 1982). A partir de éstos se obtuvo el IS e IT promedio de las observaciones realizadas cada 1° de latitud como promedio costero (<30 mn) u oceánico (>30 mn).

Los datos discretos de OD y clorofila-a en cada estación se emplearon para el ajuste de los sensores de oxígeno y fluorescencia del equipo CTD/OF, respectivamente. Para la adecuada representación de la estructura biológica de toda la columna, se calculó la clorofila-a estimada (desde ahora en adelante clorofila-a) integrada, utilizando la información cada un metro o el muestreo discreto en el caso que el ajuste con el sensor no fuera adecuado, para este cálculo se aplicó la metodología de Lohrenz *et al.* (1988).

### 2.1.7 Información satelital del período del crucero

Se analizaron imágenes satelitales de anomalía de temperatura superficial del mar (ATSM), clorofila-a (cloa) y corrientes geostroficas, en promedios mensuales de septiembre y octubre de 2016, provenientes de:

**TSM y Cloa:** sensor MODIS-Aqua con resolución de 4 km (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

**Datos de la velocidad geostrofica:** Centro de datos de Oceanografía Satelital, Interpretación, Validación y Almacenamiento (AVISO) (<http://www.jason.oceanobs.com>), con una resolución espacial cada 0,25°.



Las anomalías de temperatura satelital (ATSM) se calcularon a partir de la elaboración de una señal anual promediando los datos mensuales de cada mes en la serie julio 2002- diciembre 2016, y luego restando el promedio mensual a los datos de septiembre y octubre de 2016.

### **2.1.8 Caracterización de la condición ambiental regional**

Para el análisis regional se utilizó la serie de tiempo mensual, entre enero de 1997 y abril de 2017 del Índice Multivariado El Niño (MEI) proporcionado por la NOAA, que permiten estimar los periodos fríos o cálidos de las condiciones del Pacífico Ecuatorial combinando diversas variables, como la presión del nivel del mar, las componentes zonal y meridional del viento, la temperatura superficial del mar (TSM) y superficial del aire, además de la fracción total de nubosidad en la zona (Wolter & Timlin, 2011). En las figuras presentadas se incorporaron las anomalías de temperatura superficial del mar, proveniente del producto ERRST.V4, para la Región Niño<sub>1+2</sub> (0°-10°S; 90°-80°W) (contorno punteado de color verde), que es la región ecuatorial más cercana a la costa sudamericana, y la región occidental adyacente, Región Niño<sub>3,4</sub> (5°N-5°S; 170°-120°W) (contorno punteado de color negro). En la gráfica del MEI se agregó la categorización de los procesos ENOS según la información obtenida a través de los boletines mensuales de la NOAA: eventos declarados El Niño (línea de color rojo: fuerte-NoF, moderado-NoM o débil-NoD), La Niña (línea de color azul: fuerte-NaF, moderado-NaM o débil-NaD) y neutros (línea de color negro). Estos datos se encuentran disponibles en el laboratorio de investigación del sistema Tierra (Earth System Research Laboratory, <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html>; <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/rank.html>; <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>)

### **2.1.9 Condiciones oceanográficas locales, en base a imágenes satelitales (2002-2017):**

Para el análisis de las condiciones oceanográficas durante el año 2016 en la zona, y en particular durante el crucero, se confeccionaron diagramas de anomalía de temperatura de superficie en formato 2D (latitud v/s tiempo) llamado Hovmöller para el área entre 18°-40°S y el periodo julio 2002 – abril 2017. Estos diagramas se realizaron para el sector costero (primeras 20 mn) y el oceánico (40-60 mn). La información utilizada para estos diagramas son registros mensuales de temperatura y clorofila-a que fueron obtenidos del programa “Ocean Color Web” que distribuye datos del satélite MODIS-Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>).

Las anomalías de temperatura satelital (ATSM) se calcularon a partir de la elaboración de una señal anual promediando los datos mensuales de cada mes en la serie julio 2002- abril 2017, y luego restando este promedio a los datos mensuales de la serie. Para el mismo periodo se confeccionó una serie de tiempo del promedio de las anomalías de temperatura y del promedio de concentración de clorofila para los sectores costero y oceánico, separadas a su vez en dos sectores: norte (18°-26°S) y sur (34°-40°S).

### **2.1.10 Series de tiempo de viento en la costa de Iquique y Antofagasta**



Para complementar la información de vientos medidos durante cada crucero histórico MOBIO/MPH, se analizaron las series de viento tri-horario registrados en los aeropuertos de Diego Aracena en Iquique (20°32'S; 70°11'W, a 52 m sobre el nivel del mar) y en Cerro Moreno en Antofagasta (23°26'S; 70°26'W, a 113 m sobre el nivel del mar), entre el 1 de enero de 2000 al 31 diciembre de 2016 (hora UTC). Estas series representaron el viento en las cercanías de las ciudades de Iquique y Antofagasta, respectivamente, y fueron referidas a un nivel estándar de 10 m de altura. Con esta información se calculó el Índice de Surgencia instantáneo (IS) (Bakun, 1987) y se realizó un promedio diario del IS para toda la serie 2000-2016, eliminando previamente las fluctuaciones de más alta frecuencia (filtro pasa-bajo coseno lanczos, de peso medio de 25 horas). Luego, para representar la serie histórica del IS con el ciclo anual de IS, se realizó un filtro pasa-bajo coseno-lanczos de peso medio de 15 días a la serie diaria, y de esta forma eliminar las frecuencias más altas que este periodo de tiempo. Por otro lado, para comparar particularmente el año 2016 con el ciclo anual del IS, es que se realizó un segundo filtro pasa-bajo coseno-lanczos de peso medio de 7 días también con el objeto de eliminar las frecuencias más altas que este periodo de tiempo y analizar la variabilidad con mayor resolución temporal. Para el año 2016, también se incluyen las series anuales del viento diario y su esfuerzo, calculado según:

$$\tau_v = \rho_{\text{aire}} * C_d * v * |V|$$

Donde,

- $\rho_{\text{aire}}$  = densidad del aire (1,25 kg/m<sup>3</sup>)
- $C_d$  = coeficiente de arrastre (0,0013)
- $v$  = componente norte-sur del viento (m/s)
- $|V|$  = magnitud del viento (m/s)
- $\tau_v$  = esfuerzo del viento en dirección norte-sur (N/m<sup>2</sup>)

## **2.2 Objetivo específico 4.2.2: Determinar la distribución espacial de la abundancia, la composición del mesozooplanton y del ictioplanton.**

### **2.2.1. Calibración de medidores de flujo -TSK**

La calibración fue realizada previo al inicio del crucero, de acuerdo a la metodología propuesta por Smith y Richardson (1979) y metodología estándar del Instituto Nacional de Hidráulica de Chile.

### **2.2.2. Macrozooplancton**

#### **2.2.2.1. Muestreo vertical continuo con red WP-2**



En cada una de las estaciones contempladas en la grilla de muestreo de las transectas oceanográficas, se efectuaron pescas planctónicas a través de lances verticales con una red modelo WP-2 hasta 100 m de profundidad como máximo.

### **2.2.2.2 Procesamiento y análisis de las muestras zooplanctónicas**

Las muestras recolectadas en cada estación bio-oceanográfica fueron fijadas inmediatamente después de ser extraídas de los copos recolectores, con una solución de agua de mar con formalina al 5 %, neutralizada con tetraborato de sodio.

Cada grupo zooplanctónico fue separado y contabilizado en número de individuos. Para la cuantificación de aquellos zooplancteres cuyas abundancias fueran muy grandes, se utilizó el submuestreador Folsom (Smith y Richardson, 1979; Boltovskoy, 1981) para su subdivisión, mientras que el conteo de los organismos poco abundantes se realizó sobre la muestra total.

La fracción de la muestra subdividida sobre la cual se realizó el recuento y clasificación de los organismos, fue extrapolada posteriormente al total de la muestra.

La abundancia relativa del zooplancton cuantificado fue estandarizada y expresada como número de individuos presentes en 1.000 m<sup>3</sup> de agua de mar filtrada y su representación gráfica se realizó según la escala métrica log<sup>2</sup> (Frontier, 1980), que permite determinar clases de abundancia con valores equidistantes, a su vez, la densidad y área geográfica de distribución de los grupos zooplanctónicos numéricamente más importantes.

### **2.2.2.3 Estandarización de la información**

En el análisis se consideraron principalmente los organismos zooplanctónicos más abundantes en términos de su dominancia numérica y frecuencia de ocurrencia, dando especial énfasis a aquellos grupos que a través del tiempo han sido componentes importantes del plancton en la zona de estudio.

Los grupos zooplanctónicos se clasificaron en base al ordenamiento sistemático formulado por Bougis (1974) y Ruppert y Barnes (1995), utilizándose como ayuda descriptiva para la determinación de ellos, algunos trabajos tales como los de Newell *et al.*, (1966), Vidal (1968), Arcos (1975), Boltovskoy (1981), Palma y Kaiser (1993), Suthers y Rissik (2009).

Dentro de los parámetros que se emplearon para el análisis de los grupos zooplanctónicos, se utilizó:

**2.2.2.3.1 Constancia numérica o frecuencia de ocurrencia**, que corresponde al porcentaje entre el número de estaciones con presencia de cada especie y el número total de estaciones



**2.2.2.3.2 Dominancia numérica** de los grupos, que corresponde al porcentaje entre el número total de individuos de cada grupo y el número total de organismos zooplanctónicos capturados en la zona de estudio.

**2.2.2.3.3 Abundancia relativa**, es el número total de individuos de un mismo grupo encontrados en la totalidad de las estaciones.

**2.2.2.3.4 Densidad media**, corresponde a la suma de todos los individuos de cada grupo dividido por el número de estaciones.

**2.2.2.3.4 Densidad**, número de individuos bajo una unidad de volumen (/1.000 m<sup>3</sup>).

**2.2.2.3.5 Min** (mínimo), es el número más bajo de los individuos de un grupo encontrado en una estación.

**2.2.2.3.6 Max** (máximo), es el número más alto de individuos de un grupo encontrado en una estación.

**2.2.2.3.7 La constancia** se calcula en base a la relación porcentual existente entre el número de muestras en que se encuentra cada grupo y el total de muestras; clasificándose los grupos de acuerdo a la escala propuesta por Bodenheimer (1955)

**2.2.2.3.8 La dominancia numérica** se calculó como la relación porcentual entre el número de ejemplares de cada grupo, respecto del total de individuos recolectados; valorándose según el esquema de Bodenheimer (1955).

#### **2.2.2.4. Comparación de estructuras zooplanctónicas por zonas**

Se realizó una comparación de las distribuciones de frecuencias zooplanctónicas asociadas a zonas definidas a priori y a períodos del día, para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas. Bajo esta premisa la distribución multinomial ha sido usada frecuentemente como un modelo en estudios ecológicos y/o biológico-pesqueros y en este sentido, se utilizó para describir las distribuciones zooplanctónicas en la población de estudio.

Existen distintos procedimientos estadísticos que han sido diseñados para abordar la comparación de distribuciones multinomiales (Saavedra *et al.*, 2003), el modelamiento de la distribución bajo un esquema modelo basado es uno de ellos. Bajo este enfoque se utiliza la teoría asociada al uso de modelos lineales generalizados (GLM), realizando una generalización de la regresión logística para respuestas dicotómicas, denominada regresión logística nominal (Dobson, 2002). Este tipo de modelo se utiliza cuando no existe un orden natural en las categorías de la variable respuesta, como ocurre



para las estructuras zooplanctónicas. Una categoría se elige arbitrariamente como la categoría de referencia y las funciones de enlace están definidas por,

$$\log\left(\frac{\pi_j}{\pi_1}\right) = X_j^T \beta_j, \quad \text{para } j = 2, \dots, J$$

Donde:  $\pi_j$  representa la proporción de la j-ésima especie,  $\beta_j$  es el vector de parámetros asociado a la j-ésima especie y  $X_j$  es el vector de covariables. Las ecuaciones logitos (j-1) se utilizan simultáneamente para estimar los parámetros  $\beta_j$ .

Con esta generalización es posible hacer uso de todas las herramientas de la inferencia existente para estos tipos de modelos, particularmente para el contraste de hipótesis se utilizó la distribución muestral aproximada del estimador máximo verosímil.

#### 2.2.2.5. Distribución y estimación de la biomasa zooplanctónica

La determinación del volumen del zooplancton se realizó con posterioridad a la extracción de los estadios tempranos de peces, a objeto de evitar posibles daños a los huevos y larvas, lo que pudiera dificultar su identificación y/o clasificación. Para la medición de los bio-volúmenes se utilizó el método volumétrico de desplazamiento de volúmenes húmedos (Postel *et al.*, 2000). El volumen se determinó dos veces para cada muestra y el resultado correspondió al promedio de ambas mediciones. Se excluyeron de la medición solamente los organismos cuyo volumen individual excedió los 5 ml.

La abundancia relativa de la biomasa zooplanctónica se calculó mediante la ecuación:

$$Y = 1.000\left(\frac{X}{W}\right) \quad \text{donde:}$$

$Y$  : ml de zooplancton en 1.000 m<sup>3</sup>

$X$  : ml de zooplancton

$W$  : volumen de agua filtrada por la red (m<sup>3</sup>)



El resultado se expresó en mililitros de plancton húmedo en 1000 m<sup>3</sup> de agua de mar filtrada (ml/1000 m<sup>3</sup>).

### **2.2.3. Ictioplancton**

#### **2.2.3.1 Muestreo vertical estratificado con red WP-2 con sistema de cierre**

Con el objeto de estudiar y relacionar la distribución y abundancia de los estadios tempranos de peces con las condiciones oceanográficas en el nivel superior, se realizaron lances verticales estratificados en la franja de estaciones comprendida entre 1 y 40 mn, en todas las transectas oceanográficas.

Este tipo de muestreo permitió definir y analizar las condiciones en las cuales se distribuyen las primeras etapas de desarrollo de los peces. Al respecto, Morales *et al.* (1996) encontraron que las mayores abundancias para larvas de anchoveta se detectan en los estratos comprendidos entre 0-25 y 0-50 m, asociadas a la capa de mínimo de oxígeno.

En el muestreo se contempló cubrir los siguientes estratos de profundidad: 0-10; 10-25 y 25-50 metros.

Las muestras obtenidas fueron fijadas inmediatamente después de extraídas del copo recolector de la red, en una solución de formalina al 5% en agua de mar neutralizada con disodio tetraborato (bórax). El proceso se realizó tan pronto como estas muestras fueron extraídas del recolector, para evitar de esta manera un posible deterioro de los ejemplares capturados.

En cada lance de pesca se registraron en planillas especialmente diseñadas los siguientes datos de carácter básico: código de crucero, número de estación, duración del lance, posición geográfica, tipo de red y de pesca, número de revoluciones del flujómetro, lecturas del clinómetro y cable arriado e información climática de carácter complementario.



### 2.2.3.2 Procesamiento de las muestras ictioplanctónicas y análisis de la información

El procesamiento de las muestras planctónicas involucró los siguientes procedimientos:

- Extracción de la totalidad del ictioplancton de las muestras zooplanctónicas.
- Identificación a nivel específico de las fases de desarrollo de anchoveta, sardina, jurel y caballa.
- Cuantificación del número de huevos y larvas de anchoveta, sardina, jurel y caballa.
- Enumeración y agrupación del resto del ictioplancton, bajo la denominación de "otras especies".

Con el propósito de obtener un buen nivel de comparación en el análisis del ictioplancton, el número de huevos y larvas se estandarizó en una unidad de área estándar de 10 m<sup>2</sup>.

A objeto de contar con antecedentes comparativos, entre las fases de desarrollo de las especies ictioplanctónicas objetivo del presente proyecto, y basado en los valores cuantitativos de los análisis, se determinaron algunos parámetros como el poblacional, densidad promedio respecto de las estaciones totales y positivas y los comunitarios, constancia y dominancia numérica.

La constancia se calculó estableciendo la relación porcentual existente entre el número de muestras en que se encuentren huevos o larvas de cada una de las especies y el total de muestras colectadas.

La dominancia numérica se determinó de la relación porcentual entre el número de huevos y/o larvas de las especies, respecto al total de especímenes recolectados.

Para la confección de mapas de distribución, abundancia y asignación de categorías de densidad para huevos y larvas de anchoveta, sardina española, jurel y caballa, se utilizó la escala geométrica de Frontier (1966) modificada.

El error del estimado de la abundancia del ictioplancton de las especies objetivo del proyecto, fue calculado de acuerdo a las siguientes relaciones.

Estimación de la densidad de huevos y/o larvas por estaciones positivas

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$n$  : número de estaciones positivas

$y_i$  : número de huevos y/o larvas en la estación positiva  $i$ ;



Estimación de la varianza del estimador  $\bar{y}$

$$\hat{V}[\bar{y}] = \left[ \frac{1}{n} \right] \frac{1}{n-1} \left\{ \sum y_i^2 - n\bar{y}^2 \right\}$$

$$\hat{\sigma}_{\bar{y}} = \sqrt{\hat{V}[\bar{y}]}$$

Una medida de la eficiencia de la estimación fue dada en términos del coeficiente de variación, entregado por:

$$CV[\bar{y}] = \frac{\hat{\sigma}_{\bar{y}}}{\bar{y}}$$

### 2.2.3.3 Estimación del índice de abundancia larval

Para el cálculo del índice de abundancia larval de anchoveta, que entrega información respecto de la intensidad y extensión del desove, se utilizó la metodología propuesta por Smith y Richardson (1979).

La varianza de la muestra se calculó a través de toda la muestra, incluyendo las estaciones positivas y las negativas mediante (Cochran, 1977). La razón de hacerlo a través de toda la muestra, es porque no se conoce con exactitud el número total de áreas de 10 m<sup>2</sup> presentes en el área de estudio con registros positivos. El estimador de varianza corresponde a la varianza de un estimador del total para una subpoblación de acuerdo a Cochran (1977).

Los resultados fueron comparados con resultados históricos de proyectos realizados entre 1993-2009 y 2014.

### 2.2.3.4 Asociación espacial entre el macro, meso e ictioplancton con las variables oceanográficas

Los coeficientes de asociación espacial son cada vez más utilizados en distintas áreas de aplicación, tales como la hidrología, ciencias del suelo y en biología (Goovaerts, 1997; Pringue and Lark, 2006; Blanco *et al.*, 2006).

Para evaluar la relación espacial entre la distribución del ictioplancton y las variables bio-oceanográficas temperatura, salinidad, oxígeno y clorofila, observadas en la zona de estudio, se aplicaron tres indicadores de asociación espacial, útiles para cuantificar el grado de asociación entre dos procesos que han sido observados en los mismos lugares.



La primera metodología es una modificación de la prueba t, la cual fue introducida por Clifford *et al.* (1989). Los otros dos indicadores son coeficientes de asociación espacial, introducidos por Tjøstheim (1978) y Matheron (1965). Estas tres técnicas abordan la relación espacial entre las dos secuencias definidas en los mismos lugares en el plano y forman parte de los procedimientos habituales utilizados para analizar la relación entre dos variables espaciales (Vallejos *et. al.*, 2013).

El coeficiente de Tjøstheim es un coeficiente no paramétrico construido a partir de una transformación adecuada a rangos de las coordenadas que definen los dos procesos. El coeficiente de Matheron, también conocido como el coeficiente de codispersión, es una medida de asociación que depende de una distancia de retardo h. Este coeficiente es una normalización del variograma cruzado y comparte varias propiedades ampliamente utilizadas con el coeficiente de correlación, sin embargo, la diferencia entre los dos coeficientes se basa en el hecho de que el coeficiente de correlación es una medida cruda de asociación espacial, ya que no depende de una dirección h (Vallejos, 2008). La prueba de hipótesis propuesta por Clifford *et al.* (1989), se basa en una versión modificada del coeficiente de correlación, que se puede aplicar a grillas regulares o irregulares.

## 2.2.4 Comparación de estructuras zooplanctónicas por zonas

### 2.2.4.1 Análisis exploratorio de datos

Se realizó una clasificación considerando la latitud, separada en tres zonas (norte= [18°25' - 21° S], centro= [21° - 22°20' S] y sur= [22°20' - 23°49'S]), y la longitud en base a la distancia a la costa dividida en dos áreas (1-30, 40-100 mn).

Un estudio de interés a desarrollar durante la ejecución del proyecto, tuvo como objetivo comparar las distribuciones de frecuencia zooplanctónicas asociadas a zonas definidas a priori, para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre éstas composiciones. Bajo esta premisa la distribución multinomial ha sido usada frecuentemente como un modelo en estudios ecológicos y/o biológico-pesqueros y en este sentido se utilizó para describir las distribuciones zooplactónicas en la población de estudio.

Existen distintos procedimientos estadísticos que han sido diseñados para abordar la comparación de distribuciones multinomiales (Saavedra *et al.*, 2003), el modelamiento de la distribución bajo un esquema modelo basado es uno de ellos. Bajo este enfoque se utilizó la teoría asociada al uso de modelos lineales generalizados (GLM), realizando una generalización de la regresión logística para respuestas dicotómicas, denominada regresión logística nominal (Dobson, 2002). Este tipo de modelo se utiliza cuando no existe un orden natural en las categorías de la variable respuesta, como ocurre para las estructuras zooplactónicas. Una categoría se elige arbitrariamente como la categoría de referencia y las funciones de enlace están definidas por,



$$\log(\pi_j) = \log\left(\frac{\pi_j}{\pi_1}\right) = X_j^T \beta_j, \quad \text{para } j = 2, \dots, J$$

donde  $\pi_j$  representa la proporción del j-ésimo taxa,  $\beta_j$  es el vector de parámetros asociado al j-ésimo taxa y  $X_j$  es el vector de covariables. Las ecuaciones logitos (j-1) se utilizan simultáneamente para estimar los parámetros  $\beta_j$ .

Con esta generalización es posible hacer uso de todas las herramientas de la inferencia existente para estos tipos de modelos, particularmente para el contraste de hipótesis se utilizó la distribución muestral aproximada del estimador máximo verosímil.

### **2.3 Objetivo específico 4.2.3: Caracterizar los recursos pelágicos presentes en la zona de estudio, mediante índices de abundancia relativa y de cobertura geográfica en relación a las condiciones bio-oceanográficas.**

Las relaciones ambiente-recurso se analizaron mediante la aplicación de Sistemas Geográficos de Información (SIG) para relacionar los distintos planos de información.

Se efectuó un análisis espacial de la distribución y abundancia del recurso con las variables bio-oceanográficas temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, densidad, clorofila, zooplancton, ictioplancton y fitoplancton. Luego, cada una de las variables fueron interpoladas mediante los módulos del programa Surfer 8.0, a través del método Kriging, que se utiliza para datos correlacionados entre sí, de esta manera se crearon grillas continuas de datos cuya correlación disminuye al aumentar la distancia entre ellos. La distribución espacial es presentada como una carta de contorno, en donde se representan curvas que unen puntos de igual valor.

La densidad acústica  $s_A$  ( $m^2/mn^2$ ) integrada en la columna de agua fue interpolada con el método de la distancia inversa al cuadrado entre las UBM y transectas cercanas, trazando líneas de isodensidad, permitiendo de esta manera destacar las áreas de mayor concentración del recurso (Simmonds y MacLennan, 2005). Una vez generadas las grillas de distribución con una resolución espacial app. de 1 mn x 1 mn., éstas fueron importadas por el programa IDRISI Kilimanjaro (Eastman, 2003).

El mapeo de cada variable implicó la superposición de un vector de costa obtenido de las Cartas Náuticas Electrónicas (CNE) del SHOA. Cada plano de información fue reclasificado para favorecer el estudio visual. A fin de estandarizar entre distintos años, la zona de estudio fue ajustada a una



determinada escala espacial, de este modo las cartografías poseen una misma resoluci3n y cobertura geogr3fica.

### 2.3.1 Relaciones entre la distribuci3n espacial de la especie y las variables oceanogr3ficas.

Para determinar la asociaci3n entre la distribuci3n del recurso y las variables ambientales, se aplic3 una tabulaci3n cruzada o tabla de contingencia entre las variables analizadas, asimismo, la existencia de asociaci3n se realiz3 por medio de la prueba  $\chi^2$  (Chi-cuadrado). Las hip3tesis a probar:

$H_0$  : No hay asociaci3n entre densidad (especie) y variable oceanogr3fica.

$H_1$  : SÍ hay asociaci3n entre densidad (especie) y variable oceanogr3fica.

La estadística de prueba est3 dada por:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^r \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \rightarrow \chi^2_{(c-1)(r-1)}$$

Donde:

$O_{ij}$  : NÚMERO DE PÍXELES OBSERVADOS DE LA CATEGORÍA  $(i, j)$ .

$E_{ij}$  : NÚMERO DE PÍXELES ESPERADOS DE LA CATEGORÍA  $(i, j)$ .

El nÚmero de píxeles esperado corresponde al valor que debería darse segÚn lo establecido en la hip3tesis nula, asumiendo que esta es verdadera. La estadística de prueba se distribuye como un Chi-cuadrado con  $(c-1)(r-1)$  grados de libertad. El criterio de “aceptaci3n o de rechazo” de la hip3tesis Nula est3 dado por: Rechace la hip3tesis nula si  $\chi^2_{\text{calculado}} > \chi^2_{\text{tabla } (c-1, r-1)}$ , al nivel de significaci3n “ $\alpha$ ” (igual a 0,05).

Determinada la existencia de asociaci3n entre las variables, se cuantifica el grado de asociaci3n por medio del índice  $V$  (*Cramer*) (Aguilera, 2001), cuyo rango de variaci3n se encuentra entre 0 y “+1”.

Valores destacados del índice corresponden a:

- “0” indica que no existe asociaci3n entre las variables;
- “1” indica que las variables presentan una asociaci3n perfecta.

La proximidad al valor “0” es un antecedente de no asociaci3n entre las variables o constituye un antecedente de concentraci3n del recurso. Al contrario, una proximidad a “+1” es presunci3n de alta asociaci3n y que el recurso posee una alta cobertura espacial.



#### **2.4 Objetivo específico 4.2.4: Determinar las variaciones mensuales de la temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y clorofila, así como también la biomasa y abundancia del zooplancton y composición del ictoplancton en 3 estaciones costeras de la zona norte (Arica, Iquique y Mejillones) y una estación en la zona centro-sur (Bahía Coliumo).**

En el marco del proyecto 2016 se entrega información recolectada entre septiembre 2016 y abril de 2017 en el muestreo de las estaciones de monitoreo mensual localizadas en la banda costera a 2 mn de Arica (18°23'S; 70°24,8'W), Iquique (20°11'S; 70°10,3'W) y Mejillones (23°01'S; 70°23,1'W), con profundidades máximas de muestreo iguales a 25 ó 50 m, dependiendo de la batimetría de cada estación, todos ellos a bordo de embarcaciones menores. Cabe señalar que el análisis de la información obtenida de estos muestreos ha sido informada en los boletines mensuales respectivos que son subidos a la página web de IFOP ([www.ifop.cl](http://www.ifop.cl))

En las estaciones se recolectaron muestras de plancton, clorofila-a y datos físico químicos de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Muestreo con CTD/OF en modo autocontenido y muestreo manual con botellas tipo Niskin de 1,7 L a profundidades de 0, 5, 10, 20, 30 y 50 m (dependiendo de la batimetría de cada estación) para los análisis discretos de oxígeno disuelto y clorofila-a.
- En la clorofila-a se utilizó un sistema de filtrado manual con jeringa y portafiltro (Swinnex) de 25 mm de diámetro. El volumen de filtrado fue 50 mL. Las muestras fueron congeladas a -20°C o en nitrógeno líquido hasta el análisis de laboratorio. Para este informe, toda la información recopilada se entrega en gráficas verticales de las series históricas del monitoreo en las estaciones fijas.

En este monitoreo mensual se recolectaron muestras de plancton, clorofila-a y se realizaron mediciones de temperatura, salinidad y oxígeno, de acuerdo al procedimiento descrito para el desarrollo del objetivo específico 2.1.

Para realizar una comparación de las condiciones oceanográficas y biológicas (plancton) de las series obtenidas en las estaciones fijas en la zona norte (influenciadas fuertemente por las variaciones Ecuatoriales), se realizó la observación mensual de las estaciones ubicadas en la zona centro sur de Chile, a 5, 12 y 18 mn frente a la bahía de Coliumo (36°30'S). En la estación de la bahía Coliumo, la serie de datos disponibles para su comparación, abarcó entre septiembre de 2014 y abril de 2017.

Adicionalmente con la misma metodología del punto 2.1.5 se calculó la anomalía de temperatura y salinidad en toda la serie disponible (1997-2017), para realizar la comparación de los dos periodos "Niño" detectados en ella.

##### **2.4.1 Metodología para el ictoplancton en estaciones fijas**



Se empleó una base de datos del monitoreo bio-oceanográfico mensual que desarrolla el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) desde junio de 1997 a la fecha, en las estaciones de Arica (18°23'S), Iquique (20°11'S) y Mejillones (23°01'S) a 2 mn de distancia a la costa. El monitoreo fue suspendido entre junio de 2010 y agosto de 2014, por lo que no se contó con información en este periodo. La ubicación de las estaciones de monitoreo coincide con las zonas de desove recurrentes de la anchoveta en la zona de estudio (Espíndola, en revisión).

Las variables biológicas empleadas fueron: abundancia promedio de huevos (huevos/10m<sup>2</sup>) de las tres estaciones de vigilancia, proporción de huevos observados en Arica, Iquique y Mejillones (%) y el promedio mensual del índice gonadosomático (IGS) entre Arica y Antofagasta.

Las variables remotas consideradas fueron: Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM;°C) costera (0 a 20mn) y oceánica (40 a 60mn), las que se generaron a partir de datos diarios de temperatura superficial del mar (TSM), del producto satelital GHRSSST y con resolución espacial de 22km(<https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/CMC0.2deg-CMC-L4-GLOB-v2.0?ids=TemporalResolution&values=Daily>). Luego se confeccionaron series promedio de las ATSM en el sector costero y oceánico. Los registros de temperatura en las estaciones de vigilancia se obtuvieron con un perfilador continuo CTD, en modo auto contenido. Con esta información se conformaron series de tiempo de temperatura (TSM), así como de la temperatura integrada en la columna de agua, desde la superficie hasta 40 m de profundidad.

Se utilizó el índice multivariado ecuatorial (MEI) para caracterizar las intensidades del fenómeno ENOS. Con el propósito de detectar registros anómalos en las variables biológicas, se elaboraron Series de Referencia Mensuales (SRM). Para lo anterior, la serie original de datos de huevos e IGS fue previamente filtrada, excluyendo las mediciones realizadas en periodos en los que tuvo lugar el desarrollo de eventos El Niño y La Niña de intensidad moderada y fuerte, de acuerdo a la escala de rangos definida por la NOAA para el Índice Ecuatorial Multivariado (MEI) (**Tabla 4**). Los valores de referencia mensual en los datos de abundancia fueron las medianas, mientras que en las proporciones por estación y el IGS se empleó la media.

**Tabla 4.** Escala de rangos del MEI empleada en la clasificación de eventos ENOS definida por la NOAA.

TABLA RANGOS MEI			
CASOS\RANGOS	FUERTE	MODERADO	DEBIL
EL NIÑO	61-67	55-60	47-54
LA NIÑA	1-7	8-14	15-21
NEUTRO	22-46		



## **2.5 Objetivo específico 4.2.5: Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta para la evaluación del stock desovante.**

### **Muestreo de huevos**

Las muestras obtenidas en cada una de las estaciones se preservaron inmediatamente después de extraídas del copo colector de la red, con una solución de formalina en agua de mar al 5% tamponada con tetraborato de sodio, para evitar de esta manera un posible deterioro de los ejemplares capturados. En cada estación se obtuvo registros continuos de temperatura (°C) mediante el uso de un CTD.

El procesamiento inicial de las muestras en laboratorio en tierra, contempló dos etapas:

- Extracción de cada una de las muestras, la totalidad de los estadios tempranos de peces (huevos y larvas).
- Identificación taxonómica de huevos de anchoveta, para luego contar y clasificar según estadios de desarrollo.

Con los resultados de los análisis propuestos, se generó un mapa de distribución espacial y se estimó el área de desove del recurso para esta campaña.



## **2.6 Objetivo específico 4.2.6: Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.**

En paralelo al muestreo de huevos se desarrolló el muestreo de adultos “Modulo Adultos” con el propósito de evaluar la condición y el potencial reproductivo de las hembras desovantes durante el desarrollo del crucero, aspecto considerado en la ecuación principal del modelo de estimación de la biomasa del stock desovante, junto a la producción diaria de huevos evaluada en el “Modulo Huevos”.

El modulo adultos se realizó en embarcaciones cerqueras artesanales, en tres cuadrantes del área de estudio, para cubrir la zona marítima de las XV, I y II Regiones. En particular, la prospección y muestreo se efectuó con las naves: Valencia, Buenaventura y Génesis, respectivamente.

La prospección en los cuadrantes respectivos abarcó: (1) entre el puerto de Arica y 19°34’S, (2) entre el puerto de Iquique y 21°25’S y (3) entre el puerto de Antofagasta y 21°30’S. En la **tabla 5** se describen en detalle los lances efectuados durante el crucero MPH para el módulo adultos



**Tabla 5.** Posición geográfica de los lances efectuados durante el crucero MPH módulo adultos, en la XV, I y II regiones, septiembre - octubre, 2016.

BARCO	LANCE N°	FECHA	HORA COLECCIÓN	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA ESTIMADA (t)	LANCES ANCHOVETA
GENESIS	1	11-09-2016	19:59	2302	7021	S/P	
GENESIS	2	11-09-2016	22:00	2256	7019	0,03	X
GENESIS	3	12-09-2016	13:11	2130	7005	S/P	
GENESIS	4	12-09-2016	16:36	2140	7013	S/P	
GENESIS	5	13-09-2016	3:44	2231	7018	0,03	X
GENESIS	6	13-09-2016	10:17	2259	7020	S/P	
BUENAVENTURA	1	12-09-2016	9:08	2125	7006	1	X
BUENAVENTURA	2	12-09-2016	17:00	2120	7007	S/P	
BUENAVENTURA	3	12-09-2016	20:00	2058	7011	S/P	
BUENAVENTURA	4	13-09-2016	4:00	2026	7011	S/P	
BUENAVENTURA	5	13-09-2016	7:20	2017	7010	S/P	
BUENAVENTURA	6	13-09-2016	10:13	2010	7012	S/P	
VALENCIA	1	11-09-2016	22:14	1851	7012	S/P	
VALENCIA	2	12-09-2016	9:30	1927	7015	S/P	
VALENCIA	3	12-09-2016	14:00	1910	7016	2	X
VALENCIA	4	12-09-2016	19:22	1906	7017	50	X
VALENCIA	5	13-09-2016	10:46	1840	7021	10	X
VALENCIA	6	13-09-2016	14:21	1827	7021	2	X
BUENAVENTURA	1	20-09-2016	14:10	2019	7012	2	X
BUENAVENTURA	2	20-09-2016	20:08	2042	7013	S/P	
BUENAVENTURA	3	21-09-2016	10:00	2116	7009	S/P	
BUENAVENTURA	4	21-09-2016	17:55	2020	7011	S/P	
BUENAVENTURA	5	22-09-2016	5:00	2026	7011	2	X
BUENAVENTURA	6	22-09-2016	8:16	2026	7011	70	X
VALENCIA	1	21-09-2016	14:41	1926	7011	S/P	
VALENCIA	2	21-09-2016	18:14	1911	7012	2	X
VALENCIA	3	21-09-2016	22:11	1852	7017	6	X
VALENCIA	4	22-09-2016	6:55	1824	7022	40	X
VALENCIA	5	22-09-2016	11:22	1826	7020	10	X
VALENCIA	1	24-09-2016	17:05	1910	7017	2	X
VALENCIA	2	24-09-2016	21:26	1905	7018	33	X
GENESIS	1	21-09-2016	2:01	2258	7020	S/P	
GENESIS	2	21-09-2016	14:26	2141	7011	S/P	
GENESIS	3	21-09-2016	20:40	2132	7005	0,08	X
GENESIS	4	22-09-2016	7:04	2221	7016	S/P	
GENESIS	5	22-09-2016	9:13	2229	7016	S/P	
GENESIS	6	22-09-2016	20:33	2255	7019	0,1	X

S/P: SIN PESCA



Continuación de la tabla 5.

BARCO	LANCE N°	FECHA	HORA COLECCIÓN	LATITUD	LONGITUD	CAPTURA ESTIMADA (t)	LANCES ANCHOVETA
CORPESCA 2	1	24-09-2016	2:00	1830	7025	25	X
CORPESCA 2	1	25-09-2016	157	1830	7026	20	X
CORPESCA 2	2	25-09-2016	4:30	1835	7023	60	X
CORPESCA 2	1	26-09-2016	2:35	1826	7025	10	X
CORPESCA 2	2	26-09-2016	7:40	1855	7021	S/P	
CORPESCA 2	1	27-09-2016	2:30	1836	7023	15	X
CORPESCA 2	2	27-09-2016	4:35	1837	7022	30	X
VALENCIA	1	26-09-2016	8:49	1909	7018	0,01	X
VALENCIA	2	27-09-2016	5:50	1827	7022	10	X
VALENCIA	3	27-09-2016	7:21	1824	7023	15	X
VALENCIA	1	28-09-2016	12:17	1851	7025	0,1	X
VALENCIA	2	28-09-2016	15:11	1859	7019	S/P	
VALENCIA	3	28-09-2016	19:23	1911	7017	0,08	X
VALENCIA	4	29-09-2016	9:30	1844	7022	S/P	
VALENCIA	5	29-09-2016	11:21	1837	7022	0,2	X
VALENCIA	1	29-09-2016	18:06	1825	7021	S/P	
VALENCIA	2	30-09-2016	7:35	1845	7022	0,015	X
VALENCIA	3	30-09-2016	14:45	1908	7016	1	X
VALENCIA	4	30-09-2016	17:09	1912	7017	0,3	X
VALENCIA	5	01-10-2016	8:56	1937	7015	S/P	
VALENCIA	1	04-10-2016	8:58	2123	7005	S/P	
VALENCIA	2	04-10-2016	11:50	2118	7006	0,6	X
VALENCIA	3	04-10-2016	16:31	2102	7011	S/P	
VALENCIA	1	05-10-2016	17:32	2011	7020	S/P	
VALENCIA	2	06-10-2016	8:29	1939	7012	S/P	
VALENCIA	3	06-10-2016	11:51	1950	7009	S/P	
VALENCIA	4	06-10-2016	14:26	1951	7021	S/P	
VALENCIA	5	07-10-2016	9:23	2002	7009	2	X
VALENCIA	6	07-10-2016	13:51	2019	7013	S/P	
ABATE MOLINA	1	25-09-2016	23:57	1952	7011	0,05	X
ABATE MOLINA	2	27-09-2016	6:56	2016	7009	0,001	X
ABATE MOLINA	3	30-09-2016	3:41	2051	7012	S/P	
ABATE MOLINA	4	02-10-2016	23:29	2141	7010	S/P	
ABATE MOLINA	5	04-10-2016	14:46	2158	7012	S/P	
ABATE MOLINA	6	08-10-2016		2338	7028	0,05	X
ABATE MOLINA	7	12-10-2016		2259	7025	0,04	X
ABATE MOLINA	8	15-10-2016		2350	7032	0,07	X

S/P: SIN PESCA



## 2.6.1 Monitoreo de indicadores reproductivos de anchoveta en la zona norte

### 2.6.1.1 Análisis macroscópico y microscópico

Se monitoreó el período de máxima intensidad de desove (MID) mediante el análisis de las tendencias, en base semanal y mensual de la anchoveta en las diferentes fases de madurez del ovario; de la evolución de los indicadores histológicos IAD e IAO (**Tablas 6 y 7**) y las variaciones del índice gonadosomático (IGS). Este período se asocia a prácticamente la totalidad de la anchoveta adulta en fases de madurez avanzadas; con el incremento de hembras hidratadas y de ovarios con folículos post-ovulatorios; y de menor evidencia de regresión o atresia, caracterizándose el periodo de máxima intensidad de desove por la ocurrencia y permanencia de altos valores de IGS e IAD y de bajos o nulos valores de IAO, adoptándose como criterio histórico un IAD  $\geq 25\%$ , que se asocia a IGS  $\geq 6\%$  (Díaz *et al.*, 2013).

**Tabla 6.** Caracterización microscópica para determinar la fase de madurez gonadal en hembras de anchoveta (Sepúlveda *et al.*, 1999).

ESTADIO OVARICO	CITOLOGIA E HISTOMORFOLOGIA OVARICA
Estadio I: Virginal	Ovario con numerosos nidos ovogoniales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo intersticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos.
Estadio II: Inmaduro (reincidente)	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas células foliculares. Vesícula germinativa grande y central, con prominentes nucléolos esféricos y periféricos. Citoplasma escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos previtelogénicos tardíos debuta la presencia de pequeñas vesículas periféricas.
Estadio III: Parcialmente vitelado	Predominio de ovocitos en estado temprano de depositación de vitelo, el cual no abarca más de las 3/4 partes del citoplasma. Destaca la presencia de vesículas periféricas. Vesícula germinativa grande y central, con múltiples nucléolos periféricos y rodeada por pequeñas gotas de lípidos que inician su fusión. La zona radiata es delgada, subyacente a células foliculares de poca altura.
Estadio IV: Vitelado	Predominio de ovocitos cargados de glóbulos de vitelo distribuido desde la periferia hasta la región perinuclear. La vesícula germinativa mantiene su posición central, permaneciendo los nucléolos en la periferia. Zona radiata bien desarrollada. Células foliculares cúbicas bajas con núcleo esférico, central y el citoplasma finamente granular, ligeramente basófilo.
Estadio V: En maduración	Citoplasma con grandes glóbulos de vitelo (término de la depositación de vitelo) y vesículas lipídicas que coalescen (2 a 3), ubicándose al lado opuesto de la dirección de migración de la vesícula germinativa, la que es excéntrica, migrante hacia el polo animal. Alto número de pequeños nucléolos periféricos. Células foliculares cúbicas con núcleo desplazado a la base. Citoplasma claro, de aspecto espumoso, areolar, ligeramente basófilo.
Estadio VI: Hidratado (hialino)	Con o sin vesícula germinativa en el polo animal, según se haya iniciado la maduración. Por incorporación de fluidos el ovocito incrementa considerablemente su tamaño. El vitelo se presenta en forma de placas por ingreso de líquido al citoplasma, dándole un aspecto hialino. La granulosa y zona radiata pierden espesor.
Estadio VII: En desove	Co-existencia de ovocitos hidratados y folículos postovulatorios nuevos, entre ovocitos en depositación temprana de vitelo.
Estadio VIII: Postdesovante de tanda	Ovario con presencia de folículos postovulatorios y ovocitos vitelogénicos y eventualmente ovocitos próximos a la hidratación.
Estadio IX: Desovado	Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia abundante atresia folicular, tanto alfa como beta. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente folículos postovulatorios viejos.



**Tabla 7** Clasificaci3n histol3gica de los f3liculos post-ovulatorios de anchoveta seg3n grado de degeneraci3n (Claramunt *et al.*, 2007).

Estadio FPO	I	II	III	IV	V	VI	VII
<b>Tama1o</b>	Grande	Grande	Mediano	Mediano	Peque1o	Muy peque1o	Remanente
<b>Forma FPO y relaci3n con lumen</b>	Forma estrellada con grandes pliegues, lumen con gránulos eosin3filos	Forma estrellada Pliegues m3s pr3ximos entre si, lumen con gránulos	Tendencia a perder los pliegues, forma alargada, lumen en reducci3n sin gránulos	Escaso lumen, pared folicular en estrecho contacto	Sin lumen, laminas foliculares en estrecho contacto	Sin lumen, aspecto poligonal laminas deterioradas	Aspecto poligonal deteriorado
<b>C3lulas</b>	C3lulas cilíndricas, poco hipertrofiadas forma una banda celular de limites claros	Idem	Idem	P3rdida de ordenamiento, limites visibles aislados	Desorden celular, pocas c3lulas reconocibles	Escasas c3lulas reconocibles	No se reconocen c3lulas individuales
<b>Folicular N3cleo</b>	Redondeado a el3ptico	Pocos n3cleos alargados picn3ticos	Predominio de n3cleos picn3ticos	Idem	Idem	Escasos y picn3ticos	Idem
<b>Vacuolas</b>	No se reconocen	Escasas y muy peque1as	De menor o igual tama1o al n3cleo, pocas numerosas	De igual o mayor tama1o al n3cleo, numerosas	Grandes y dominan en las laminas celulares	Idem	No se reconocen
<b>Teca</b>	Fuertemente adherida y con c3lulas alargadas	Adheridas a la folicular, con alguna picnosis	Incidenca de c3lulas sangu3neas y capilares entre la teca y la folicular	Separada de la folicular por invasi3n de estroma ov3rico a tramos	Completamente separada por invasi3n del estroma ov3rico	Poco reconocible	No se reconoce

A continuaci3n, se presentan los aspectos metodol3gicos considerados para cada una de las etapas requeridas para la obtenci3n de este objetivo espec3fico.

### 2.6.2 Estimar la producci3n diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instant3nea de los huevos.

La clasificaci3n de los estadios de desarrollo de los huevos de anchoveta se efectu3 de acuerdo a una escala de 11 estadios propuesta por Santander *et al.*, (1984), que se basa en los cambios morfol3gicos que se producen en el transcurso de la embriog3nesis (**Tabla 8**). Los huevos que no pueden ser asignados a ninguno de dichos estadios debido a opacidad o da1o en su estructura interna, se clasifican como deteriorados (Det). La suma de la totalidad de huevos separados por estadio debe ser coincidente con aquella obtenida en el conteo de huevos totales, en caso contrario se repite el conteo por estadio para esa muestra. Esta metodolog3a permite corregir eventuales errores de an3lisis (Stauffer & Picquelle, 1980), al contrario de aquella que analiza un n3mero constante de huevos por muestra.

**Tabla 8** Clasificación de los estadios de desarrollo embrionario. (Santander *et al.*, 1984).

Estadio	Características
Estadio I	Huevos recientemente desovados, no segmentados, con acumulación conspicua de citoplasma en el polo animal conformado el blastodisco.
Estadio II:	Desarrollo de la capa blastodérmica con inicio de la división celular, hasta la agregación de células que toman la apariencia de mórula.
Estadio III:	Desde la formación de la cavidad hasta el establecimiento definitivo de la cubierta embrionaria. El blastodermo comienza a desplazarse sobre el vitelo, extendiéndose hasta un tercio de la longitud del vitelo.
Estadio IV:	El blastodermo se desplaza hasta los dos tercios de la masa vitelina estructurándose la zona de desarrollo del embrión, sin destacar alguna estructura embrionaria distintiva.
Estadio V:	El blastodermo ha cubierto la totalidad de la masa vitelina, culminando con el cierre del blastoporo. Se inicia la formación de los miómeros a lo largo del cuerpo. El desarrollo de los ojos ocurre al final de este estadio.
Estadio VI:	Se define desde el cierre del blastoporo hasta el inicio de la separación de la cola desde el vitelo. Excepto en la región caudal, los miómeros se presentan en la totalidad del cuerpo.
Estadio VII:	La cola empieza a separarse del vitelo, desde el crecimiento inicial de ésta, hasta que la porción libre sea equivalente a la mitad de la longitud de la cabeza.
Estadio VIII:	La cola en desarrollo comienza a doblarse, separándose del eje del cuerpo con crecimiento hacia la cabeza. Al final del estadio, la porción libre de la cola equivale a un quinto de la longitud del vitelo y a la longitud total de la cabeza del embrión.
Estadio IX:	La separación de la cola fluctúa entre un cuarto y un medio de la longitud del vitelo. La torción de la cola se produce fuera del plano del embrión.
Estadio X:	El extremo de la cola se aproxima a la cabeza por encima del tronco, siendo dos veces la longitud de la cabeza y de medio hasta tres cuartos de la longitud del saco vitelino.
Estadio XI:	La longitud de la cabeza es aproximadamente igual a un cuarto de la longitud del vitelo.

En la asignación de edad y de acuerdo a los resultados del proyecto FIP 2006-38 "Mejoramiento del Método de Producción Diaria de Huevos aplicado en pelágicos pequeños" (Claramunt *et al.*, 2007), al igual que en el año 2007 se aplicaron dos metodologías: 1) El método tradicional de Lo (1985) y 2) Modelo Multinomial (Ibaibarriaga *et al.*, 2007, Bernal *et al.*, 2007b).



### 2.6.2.1 M3todo Tradicional

Se basa en la metodolog3a descrita por Lo (1985), es decir, a trav3s de la estimaci3n de la edad para cada estadio en funci3n de la temperatura ambiental al momento de la captura. La temperatura a los 10 metros es obtenida desde los perfiles verticales de temperatura, como se sugiere en Santander *et al.* (1984).

El tiempo cero, o bien la hora del d3a del m3ximo de desove fue considerada como las 23:00 h, de acuerdo a los resultados de Claramunt *et al.* (2007), el cual fue estimado con la informaci3n de la frecuencia horaria de estadios de desarrollo temprano (Estadio I). La edad de los huevos (en fracci3n de d3a) se calcul3 haciendo uso del modelo edad-temperatura (Lo, 1985) y ajustando la edad por la porci3n del d3a desde las 23:00 h previas hasta el momento de la recolecci3n para el d3a m3s cercano, seg3n el procedimiento "automatizado" descrito por Lo (1985), que emplea la siguiente funci3n:

$$y_{i,t,k} = y_{i,t} + k - \hat{T}$$

D3nde:  $y_{i,t}$  = edad del huevo del estadio  $i$  a la temperatura  $t$ , que se obtiene del modelo temperatura dependiente.

$K$  = hora del lance  
 $T$  = remanente de edad dado por  $(y_{i,t} + 23) - 24$

Las decisiones de correcci3n seg3n la hora de recolecci3n son:

$$y_{i,t,k} = \begin{cases} y_{i,t} - G & \text{si } k < \hat{T} - G \\ y_{i,t} + k - \hat{T} & \text{si } \hat{T} - G < k < \hat{T} + G \\ y_{i,t} + G & \text{si } \hat{T} + G < k \end{cases}$$

donde  $G$  es el doble de la desviaci3n est3ndar de la edad dentro de cada estadio.

Los huevos de categor3a DES (desintegrados) se asignar3n a un estadio de desarrollo seg3n los siguientes criterios:

1. Huevos que pueden ser identificados dentro de un rango de estadios, ser3n asignados en forma ponderada, de acuerdo a la proporci3n por estadio ya determinada para la muestra.



2. Las estaciones en que sólo se encuentren huevos DES, se asignarán aleatoriamente siguiendo una distribución uniforme dentro del rango de estadios posibles.

### 2.6.2.2 Modelo Multinomial:

El método tradicional agrupa la abundancia de huevos en cohortes considerando su edad, y posteriormente una curva de mortalidad es ajustada a los datos de abundancia de cohortes diarias dada la edad media ponderada (e.g. Piquelle & Stauffer, 1985). Sin embargo, sólo los estadios de desarrollo son variables verdaderamente observadas, y no la edad, y en la literatura se puede encontrar varios procedimientos para estadios de huevos (e.g. Lo 1985, Bernal *et al.*, 2001). Bernal *et al.* (2001), desarrollaron un procedimiento innovativo y estadísticamente fundamentado de asignación de edad, y que fue integrado dentro de las rutinas GAM del MPDH. El procedimiento utiliza la misma información que el método tradicional, i.e.

- Información del crucero: abundancia de huevos por estadios de desarrollo, hora de colecta, y condiciones ambientales que afectan la tasa de desarrollo durante la embriogénesis (usualmente la temperatura).
- Información de experimentos de incubación: el desarrollo de los estadios morfológicos de los huevos durante la embriogénesis en función del tiempo y la temperatura.
- Información sobre la dinámica reproductiva de la especie: distribución de la actividad del desove en un ciclo diario.

La embriogénesis discretizada en estadios de desarrollo de los huevos es función de la temperatura (e.g. Pepin, 1991), y en menor grado de otros parámetros ambientales. Usualmente, la información sobre la tasa de desarrollo de los huevos en función del estadio de desarrollo y de la temperatura se obtiene a partir de experimentos de incubación. El nuevo procedimiento metodológico de asignación de edad considera un proceso multinomial, en el cual la probabilidad de pertenecer a uno de los once estadios de desarrollo depende de la edad de los huevos (conocida y dada la hora del desove) y la temperatura. De esta manera, a partir de un experimento de incubación de huevos se puede plantear el siguiente modelo probabilístico multinomial:

$$p(s | a, T)$$



El modelo probabilístico multinomial representa la probabilidad de permanecer en el estadio  $s$  dada la edad  $a$  y temperatura  $T$ . Cuando una especie muestra sincronía diaria en el desove, la información sobre la distribución de la actividad de desove durante el ciclo diario afectará el proceso de asignación de edad. Si el desove ocurre solamente en cierto momento del día, los huevos podrían tener una cierta edad considerando el tiempo transcurrido entre la hora del desove y la observación (hora de colecta). En un caso extremo, si el desove es perfectamente sincrónico (los huevos son desovados a una hora dada del día, e.g. medianoche) y el desarrollo dura hasta la eclosión en un día, los huevos observados pueden tener solamente una edad exacta dada por el tiempo transcurrido entre el desove (medianoche) y la hora de colecta. Si la duración del desarrollo del huevo dura más de un día, entonces una edad promedio aproximada y observada en el experimento de incubación puede ser utilizada para decidir en qué noche los huevos fueron desovados, y entonces utilizar el tiempo transcurrido entre el evento de desove y la época del crucero para atribuir una edad exacta. La sincronía del desove puede ser formalizada como una función densidad de probabilidad (pdf) de edad dada la fecha del crucero, i.e.  $f_i(a|\tau)$ . Un descubrimiento reciente es que la mortalidad debería ser utilizada para asignar una edad adecuada a los huevos, ya que los huevos más viejos son menos probables de ser encontrados y así, cuando diferentes cohortes diarias pueden ser asignadas a un huevo, es más probable que éste sea más joven que viejo.

Al considerar lo argumentado, y considerando el Teorema de Bayes, se obtiene la distribución de edades dada la información obtenida durante el crucero (estadios de huevos, temperatura, hora de colecta) que se expresa por:

$$\hat{p}(a|s, T, \tau) \propto f_i(a|\tau)p(s|a, T)$$

De esta manera se asigna una edad a cada estadio de desarrollo muestreando desde la distribución posterior  $\hat{p}(a|s, T, \tau)$ , o clasificar los huevos en cohortes diarias directamente utilizando la distribución posterior. El nuevo procedimiento de asignación de edad presenta varias ventajas respecto del método tradicional, tanto en relación a cómo se modela la información que proviene de los experimentos de incubación y en relación a cómo se asigna la edad en el método tradicional.

El nuevo modelo es claramente descrito y justificado estadísticamente, lo cual marca una diferencia con el procedimiento automático desarrollado por Lo (1985). Sin embargo, para la zona norte no ha tenido un buen desempeño, ya que en varias oportunidades genera estimaciones del modelo de decaimiento exponencial con valores de tasa de mortalidad de huevos ( $Z$ ) no significativamente distintas de cero



### 2.6.3. Estimaci3n de la producci3n diaria de huevos $P(t)$ y tasa de mortalidad

El c3lculo de la producci3n diaria de huevos, su varianza y tasa de mortalidad son estimados por un ajuste usando GLM (General Linear Models), tanto para la dataci3n hecha por el m3todo tradicional de Lo (1985) como al proveniente de Modelo Multinomial. Estos fueron implementados en el programa eggs y eggsplore, en plataforma R, por Miguel Bernal.

El c3lculo de la producci3n diaria de huevos se basa en un modelo de tipo exponencial (Picquelle & Stauffer, 1985) dado por:

$$P_{ijk} = P_i e^{(-Z_i t_{ijk})} + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

$P_{ijk}$	=	N3mero de huevos de la edad $k$ , en la estaci3n $j$ del estrato $i$
$P_i$	=	Producci3n diaria en n3mero de huevos por unidad de 3rea en el estrato $i$
$Z_i$	=	Tasa de mortalidad diaria de huevos en el estrato $i$
$t_{ijk}$	=	Edad en fracci3n de d3as
	=	Error aleatorio aditivo

El ajuste est3 basado en un ajuste de un modelo lineal generalizado (GLM) que permite la utilizaci3n de la distribuci3n binomial negativa con un par3metro de dispersi3n desconocido, la cual permite la alta dispersi3n de los datos a edades tempranas de huevos, situaci3n muy com3n en este tipo de informaci3n. Adem3s, utiliza ponderaciones proporcionales al 3rea representada por cada estaci3n. Se incluyen las estaciones negativas dentro del 3rea de desove, se excluyen huevos menores a 4 horas y el corte de edades superiores correspondi3 al 95% de la edad de eclosi3n de acuerdo a la temperatura de la estaci3n.

El modelo multinomial incorpora por defecto un corte en las dos colas: a) en la cola de abajo el corte se controla por la amplitud de la asunci3n de sincronicidad (desviaci3n est3ndar de la hora pico de desove; 4 horas ( $2 \cdot sd$ )); b) en la cola de arriba el corte se controla autom3ticamente usando la edad m3xima a la que eclosiona cierto porcentaje de huevos, la que se estima a partir del experimento de incubaci3n y la temperatura de la estaci3n. Para poder utilizar el modelo multinomial es necesario un proceso iterativo de estimaci3n de mortalidad y utilizar dicha mortalidad en el proceso de dataci3n.



$$\log\left(\frac{N_{age}}{area}\right) = \log(D_0) - z age \rightarrow \log(N_{age}) = \log(area) + \log(D_0) - z age$$

Una vez estimados los parámetros y sus varianzas asociadas, se estima el coeficiente de variación, que en el caso de la producción de huevos queda expresado como:

$$CV\left[P(t)\right] = \frac{\sqrt{V\left[\hat{P}(t)\right]}}{\hat{P}(t)}$$

#### 2.6.4 Estimación de la producción diaria de huevos para región o área de estudio

Se utilizará el estimador de post-estratificación propuesto por Picquelle & Stauffer (1985) para el tratamiento del estrato positivo (área de desove, A1) y el estrato negativo (correspondiente al área sin presencia de huevos, A0). El cálculo de la producción diaria total (P) será estimada desde el (los) valor(es) de Pi y el área ponderada por estratos, de esta manera:

$$P = \left( P_1 \frac{A_1}{A} + P_0 \frac{A_0}{A} \right) K$$

donde P1 y P0 corresponden a la producción diaria de huevos por unidad de muestreo para los estratos 1 y 0 respectivamente, donde P0 es cero por definición. A1 y A0 corresponden a las áreas geográficas (mn2) de los estratos 1 y 0, y A es el área total de desove (A1 + A0), descontada el área del estrato 0, aquel definido por las estaciones negativas (sin huevos). K es un factor de conversión desde la unidad muestral a mn2.

La varianza ajustada de P para post-muestreo estratificado puede estimarse como:

$$S^2_{(Pi)} = \left( I + \frac{I}{n} \right) \left( \frac{A_1}{A} S^2_{(P1)} + \frac{A_0}{A} S^2_{(P0)} \right)$$

donde la varianza de P0 es cero por definición.



### **2.6.5 Modelo GAM espacial**

Como ya se ha informado en años anteriores, esta metodología ha sido descartada debido a que los modelos GAM aplicados para evaluar la densidad y producción diaria de huevos han presentado un mal desempeño, debido a que las variables utilizadas (Latitud, Longitud y Temperatura) no explican la localización de las áreas de desove, las cuales son muy variables interanualmente, tanto en términos latitudinales como longitudinales y por tanto, no logran reproducir con fidelidad la distribución observada de huevos.

### **2.6.6 Estimar la proporción de estadios de madurez sexual microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta, con su varianza asociada.**

#### **2.6.6.1 Análisis microscópico de los ovarios**

Las variaciones de la condición reproductiva se determinaron a través del análisis de la distribución mensual de los estadios de madurez de los ovarios, en base al diagnóstico histológico del parénquima gonadal, aplicando una escala microscópica específica. Para cálculos de fracción desovante solo se consideran las hembras maduras (Estadios 2 al 8), descartando las virginales (Estadio 1).

#### **2.6.6.2 Estimación de la fracción diaria de hembras desovantes (F)**

El cálculo de la frecuencia de desove se basa en el criterio utilizado por Hunter & Goldberg (1980). Durante la ovulación, los ovocitos completamente hidratados son liberados desde sus folículos. El folículo vacío o folículo post-ovulatorio es una evidencia de desove reciente, no se fragmenta y se mantiene íntegro en el ovario, éste se deteriora rápidamente y es reabsorbido.

#### **2.6.6.3 Establecimiento de Criterios de definición de estadios de Folículos pos-ovulatorios (FPO)**

Para conseguir una mayor definición del proceso de degeneración de los Folículos Post-ovulatorios (FPO) se construyó una clasificación de estadios de degeneración de éstos, de acuerdo a lo planteado por Alday *et al.* (2008). El que consiste en subdividir el proceso de reabsorción de los FPO en varios estadios de degeneración. En Tabla 2 se muestra un ejemplo de la escala utilizada por Alday *et al.* (2008). Claramunt *et al.* (2007) construyeron una nueva escala ajustada a los requerimientos específicos para anchoveta y sardina común, tomando en cuenta aspectos como la forma celular y nuclear (ubicación y grado de picnosis), aspecto del citoplasma, relación límites de células vecinas, presencia de vacuolas citoplasmáticas, láminas celulares y pliegues, aspecto del conjunto y características del lumen.



Dependiendo de las características morfohistológicas de los FPO es factible determinar su incidencia en ciclos diarios de 24 horas, es decir, si la hembra tuvo un desove reciente, la noche anterior o dos noches antes de la captura (Cubillos *et al.*, 2005), lo que permite estimar con mayor precisión la frecuencia de desove. Además, la incidencia de algunos estadios ováricos también fue considerada para la estimación de la fracción desovante diaria, según los criterios de Macewicz & Hunter (1993), éstos corresponden a las gónadas que presentaron ovocitos con núcleo en migración e hidratados, que permiten definir si la hembra desovará en la noche del día de su captura. Para validar estos criterios y dilucidar la distribución horaria de los siete estadios FPO con el fin de detectar cuales conforman una cohorte diaria, se estimó la proporción de los estadios en función de la hora de captura, utilizando toda la información de los años 2004 al 2015 (Años en que se tiene información de los FPO según escala de 7 estadios). Misma metodología (proporción por hora) se aplicó a los estados de madurez sexual Núcleo Migrante e Hidratado, para validar si estas pertenecen a un ciclo diario. Suponiendo que el muestreo de hembras hidratadas o de hembras de edad de día 1 (0 a 24 h) ó de día 2 (24 a 48 h) no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes en el lance  $i$  fue estimada por:

$$\bar{F}_i = \frac{m_{hi}}{m_i} \circ \frac{m_{1i}}{m_i} \circ \frac{m_{2i}}{m_i}$$

donde:  $m_i = m_{hi} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}$

y cada uno de los términos son:

- $\bar{F}_i$  = Fracción desovante en el lance  $i$ .
- $m_i$  = Número de hembras maduras en el lance  $i$ .
- $m_{hi}$  = Número de hembras hidratadas en el lance  $i$ .
- $m_{1i}$  = Número de hembras de día 1 en el lance  $i$ .
- $m_{2i}$  = Número de hembras de día 2 en el lance  $i$ .
- $m_{ai}$  = Número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 horas (incluidas las hembras con folículos post-ovulatorios con una edad menor de 9 horas).

Para corregir el sub-muestreo o sobre muestreo de hembras hidratadas y bajo la premisa de que la verdadera fracción de las hembras hidratadas es la misma que la fracción de las hembras del día 1 ó día 2,  $m_{hi}$  se reemplazó por:

$$m_{hi} = \frac{m_{1i} + m_{2i}}{2}$$

De esta forma, la fracción desovante del lance  $i$  es:



$$\bar{F}_i = \frac{\sum m_{1i} + m_{2i}}{2 \sum [ \frac{m_{1i} + m_{2i}}{2} + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai} ]} = \frac{\sum m_{1i} + m_{2i}}{2 \sum m_{yi}}$$

A partir de esta expresi3n, se obtiene la fracci3n promedio de hembras desovantes total, de la forma:

$$\bar{\bar{F}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{F}}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

cuya varianza es:

$$V(\bar{\bar{F}}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum \left( \frac{m_{yi}}{m} \right)^2 (F_{yi} - \bar{\bar{F}})^2$$

D3nde:

- $\bar{\bar{F}}$  = Fracci3n promedio de hembras desovantes por d3a en todos los lances.  
 $m_{yi}$  =  $((m_{1i} + m_{2i}) / 2) + m_{1i} + m_{2i} + m_{ai}$  = N3mero corregido de hembras maduras en el i-3simo lance.  
 $\bar{m}$  = N3mero promedio de hembras maduras  
 $n$  = Tama3o de muestra

### 2.6.7 Estimar la fecundidad parcial en funci3n del peso corporal, el modelo de regresi3n correspondiente a esta relaci3n y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas

La fecundidad se estim3 de acuerdo al m3todo gravim3trico descrito por Hunter & Goldberg (1980), Hunter *et al.*, (1985), Santander *et al.*, (1984), Oliva *et al.*, (1989) y Rojas & Oliva (1993).

Este m3todo se basa en que todos los ovocitos hidratados en el interior del ovario son liberados en corto tiempo y el n3mero de 3stos reflejar3 la fecundidad parcial. Cabe mencionar dos ventajas comparativas respecto a otros m3todos 1) ahorro de tiempo en su conteo (rapidez en la determinaci3n) y 2) no hay dudas sobre la disgregaci3n de las modas en los diagramas de frecuencia - tama3o de los ovocitos, debido a que los ovocitos hidratados se caracterizan por su enorme tama3o, transparencia y consistencia blanda.



Las hembras hidratadas fueron recolectadas de cada lance, preferentemente al atardecer, debido a que la hidratación ocurre generalmente entre las 16 y 23 horas (Rojas & Oliva, 1993).

Todos los ovarios que se recolectaron como hidratados fueron sometidos a un examen histológico, descartándose aquellos que tenían indicios de desove reciente (presencia de folículos post-ovulatorios) y seleccionando sólo aquellos que con seguridad estaban hidratados, los cuales se pesaron con una precisión de 0,01 g.

El procedimiento técnico de conteo se inició con la absorción de líquido superficial del ovario con papel filtro, submuestreando la mitad más grande del ovario. Se tomaron tres segmentos del tejido, uno del centro y dos de la parte media entre el centro y los extremos del eje mayor del ovario. Estas tres submuestras fueron de aproximadamente 0,2 g cada una, asegurando una cantidad no inferior a 100 ovocitos hidratados por submuestra.

Las submuestras se pesaron en una balanza analítica, con una precisión de 0,0001 g. Posteriormente, se colocaron en una cápsula petri cubriéndolas con gotas de glicerina (33%) y se contabilizaron bajo microscopio estereoscópico.

El número promedio de los ovocitos hidratados de las tres submuestras (metodología descrita por Hunter *et al.*, 1985) fue utilizado para la estimación del número total de ovocitos hidratados del ovario (fecundidad parcial), de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\bar{E}_i = \bar{n}_o W_i$$

donde:

- $\bar{E}_i$  = Fecundidad parcial i (número total de ovocitos hidratados en el ovario).  
 $W_i$  = Peso húmedo del ovario i (g).  
 $\bar{n}_o$  = Número promedio de ovocitos hidratados por gramo de submuestra.

El Método de Producción de Huevos requiere la estimación de la fecundidad media poblacional o modal, es decir, del número de ovocitos liberados por una hembra promedio representativa del total de la población de hembras maduras. Para ello es necesario ajustar un modelo que explique los datos de la fecundidad parcial en función de un parámetro corporal. De acuerdo a lo reportado por otros autores (Santander *et al.*, 1984; Rojas & Oliva, 1993; Claramunt *et al.*, 1996; Claramunt *et al.*, 1997) el mejor modelo es el que se relaciona con el peso corporal (peso total menos peso gónada). Se asumió que esta relación es la que explicó las variaciones de la fecundidad parcial. Esto se probó mediante análisis de regresión y pruebas estadísticas, las que definieron que el mejor modelo que explicó las variaciones de la fecundidad parcial en el período de estudio es el lineal.



$$Y'_{ji} = a + bX_{ji}$$

donde:

- $Y'_{ji}$  : Fecundidad parcial estimada de la hembra j en el lance i.  
a y b: Parámetros del modelo (intercepto y pendiente).  
 $X_{ji}$  : Peso corporal (peso total menos peso ovario) de la hembra j en el lance i.

A las hembras maduras de cada lance se les estimó su fecundidad por medio del modelo de regresión de mejor ajuste.

La fecundidad media poblacional y su varianza se estimó siguiendo la metodología aplicada en el Método de Producción de Huevos descrita por Hunter *et al.* (1985):

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{E}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

donde:

- $\bar{E}$  = Fecundidad media poblacional.  
 $m_i$  = Número de peces muestreados en el lance i.  
 $\bar{E}_i$  = Promedio de la fecundidad parcial en el lance i.

Dado que para el promedio se utiliza la fecundidad parcial estimada a través del modelo de regresión, es decir, cada estimado tiene su propia varianza asociada, entonces la estimación de la varianza de la fecundidad media poblacional se debe ajustar para incluir esta variación adicional.

$$Var(\bar{E}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 \left[ \frac{(\bar{E}_i - \bar{E})^2}{n-1} + \frac{S_h^2}{n_h} + (\bar{W}_i^* - \bar{W}_h^*) Var(\hat{\beta}) \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{n} \right]^2 n}$$

donde:

- $\bar{E}$  : Estimado de la fecundidad media poblacional.  
 $\bar{E}_i$  : Promedio de la fecundidad para el lance i.



S <sup>2</sup> <sub>h</sub>	:	Varianza de la regresión.
nh	:	Número de hembras hidratadas utilizadas para ajustar la regresión.
W <sub>i</sub> <sup>*</sup>	:	Peso corporal promedio de hembras en el lance i.
W <sub>h</sub> <sup>*</sup>	:	Peso corporal promedio de hembras utilizadas en la regresión.
Var(β)	:	Varianza de la pendiente de la regresión.
n	:	Número de lances.

### 2.6.8 Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas

La proporción sexual en peso de hembras y el peso medio fueron estimados para cada lance a partir de una muestra compuesta por 100 ejemplares.

Los estimadores para cada uno de estos parámetros se presentan a continuación:

#### 2.6.8.1 Estimador del peso medio de las hembras

$$\hat{W} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \bar{w}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}}{m_i}$$

donde:

$\hat{W}$	:	Estimador del peso medio de las hembras
$\bar{w}_i$	:	Estimador del peso medio de las hembras en el lance i
$y_{ij}$	=	Peso de la hembra j-ésima en el lance i
n	=	Número de lances muestreados
m <sub>i</sub>	=	Número de hembras examinadas en el lance i

#### 2.6.8.2 Estimador de la varianza del $\hat{W}$



$$\hat{V}(\hat{W}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{w}_i - \hat{W})^2}{(\sum_{i=1}^n m_i / n)^2 n / (n-1)}$$

El peso total del cuerpo de hembras fue ajustado en aquellas hembras que histológicamente presentaron ovocitos hidratados u ovocitos con el núcleo emigrando hacia el polo, a través de la relación matemática que resultó entre el peso total del cuerpo y el peso del cuerpo sin gónada.

### 2.6.8.3 Estimador de la proporción sexual de hembras en peso

$$\hat{R} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \hat{R}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad \hat{R}_i = \frac{\sum_{l=1}^{l_i} y_{il}}{\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}}$$

donde

- $\hat{R}$  : Estimador de la proporción de hembras en peso
- $\hat{R}_i$  : Estimador de la proporción de hembras en el lance i
- y<sub>il</sub> : Peso de la hembra l en el lance i
- x<sub>ij</sub> : Peso del ejemplar j en el lance i
- n : Número de lances muestreados
- m<sub>i</sub> : Número de ejemplares examinados en el lance i
- l<sub>i</sub> : Número de hembras examinadas en el lance i



#### 2.6.8.4 Estimador de la varianza de $\hat{R}$

$$\hat{v}(\hat{R}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\hat{R}_i - \hat{R})^2}{(\sum_{i=1}^n m_i / n)^2 n / (n-1)}$$

#### 2.6.9 Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.

El método empleado para estimar la biomasa del stock desovante se basa en el modelo desarrollado por Parker (1980) y modificado por Stauffer & Piquelle (1980):

$$B = K \frac{P_o * W}{R * F * E}$$

donde:

- B: Biomasa desovante en toneladas métricas.
- P<sub>o</sub> : Producción diaria de huevos en el área investigada
- W : Peso promedio de las hembras maduras (g) de la población.
- R : Proporción de sexos (fracción de hembras de la población en peso).
- F: Fracción de hembras maduras que desovan por día.
- E: Fecundidad parcial (número promedio de huevos desovados por hembra por desove).
- K: Factor de conversión de gramos a toneladas métricas.

La varianza de la estimación de la biomasa se calcula por el método delta (Stauffer & Piquelle, 1980), como una función de la varianza y covarianza de la estimación de los parámetros:

$$\begin{aligned} Var(B) = & B^2 \{ Var(P_o) / P_o^2 + Var(W) / W^2 + Var(R) / R^2 + Var(E) / E^2 \\ & + Var(F) / F^2 + 2[Cov(P_o W) / P_o W - Cov(P_o R) / P_o R - Cov(P_o E) / P_o E \\ & - Cov(RF) / P_o F - Cov(WR) / WR - Cov(WE) / WE - Cov(WF) / WF \\ & + Cov(RE) / RE + Cov(RF) / RF + Cov(FE) / FE] \} \end{aligned}$$



## 2.7. Objetivo específico 4.2.7: Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores y los resultados del presente proyecto.

### 2.7.1 Índices espaciales

La utilización de índices espaciales tiene el fin de capturar patrones espaciales en la distribución de huevos de anchoveta, estos ofrecen la ventaja de detectar cambios en el tiempo, sobremodo cuando se aplican a datos de monitoreo, los que también han sido utilizados en poblaciones de peces (Bez, 1997; Woillez *et al.*, 2007). Los índices se describen a continuación:

#### a) Centro de gravedad (CG) e Inercia (I).

La distribución espacial de huevos de anchoveta se describió a partir de las estaciones ictoplánctónicas realizadas en el área de estudio entre los años 1992, 1995-2016, manteniendo los límites comunes de muestreo. Se estimó el Centro de gravedad (CG) e Inercia (I) de huevos, índices que representan la ubicación media de los estadios y su correspondiente varianza, según Woillez *et al.* (2007), el que pondera las posiciones (lat, long) de acuerdo al nivel de abundancia o densidad registrada en la estación de muestreo.

$$CG = \frac{\sum_{i=1}^N x_i s_i z_i}{\sum_{i=1}^N s_i z_i}$$

$$I = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - CG)^2 Z_i}{\sum_{i=1}^N Z_i}$$

Donde:

$X_i$  = Un punto en el espacio de dos dimensiones ( $x_i, y_i$ )

$z_i$  = La abundancia de jurel en el punto  $X_i$

$s_i$  = Área de influencia. El área de influencia de una ubicación de la muestra se define como el área formada por los puntos en el espacio que están más cerca a esta muestra.

#### b) Índice de proximidad.

Se analizó el índice de proximidad mediante la diferencia entre la distancia de los CGs y dispersión media, midiendo el grado en que dos poblaciones, stock o distribuciones se sobrepone



geogr3ficamente (Bez y Rivoirard, 2000). El valor de este 3ndice var3a entre 0, en el caso que no exista sobreposici3n y 1 cuando sus CG coincidan. Su formulaci3n fue:

$$GIC = 1 - \frac{\Delta CG^2}{\Delta CG^2 + I_1 + I_2}, \quad 0 \leq GIC \leq 1$$

**c) 3ndice de Cobertura y Densidad.**

El 3ndice de Cobertura (IC) (Castillo y Robotham, 2004) ha sido empleado como un indicador del uso del espacio de especies pel3gicas (C3rdova *et al.*, 2004), el cual representa la cantidad de estaciones positivas de huevos de anchoveta en relaci3n al total, expresado en porcentaje (%):

$$IC = \frac{\sum_{n=1}^{Ni} EST_{huevos}^+}{\sum_{n=1}^{Ni} EST_{Total}}$$

Donde:

$EST_{huevos}^+$  = n3mero de estaciones planct3nicas positivas con huevos de anchoveta.

$EST_{Total}$  = n3mero de estaciones planct3nicas totales en el 3rea de estudio

El 3ndice de densidad (ID) utilizado como 3ndice de abundancia relativa indica el grado de concentraci3n de los huevos en las estaciones planct3nicas. Su formulaci3n es la siguiente:

$$ID(huevos/0.05m^2) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^m Dh$$

Donde:

$k$ = n3mero de estaciones con presencia de huevos de anchoveta

$Dh$ = corresponde a la densidad de huevos en la  $i$ -3sima estaci3n de muestreo.



### 2.7.2 Modelos Distribuci3n de especies.

Los peque1os pel3gicos son especies predominantes en regiones costeras, concentrando la mayor poblaci3n en zonas de afloramiento o surgencia. La heterogeneidad espacial de las caracteristicas fisis del ambiente en estas zonas y la alta movilidad de estas especies, conduce a que su distribuci3n se concentre en 1reas que son m1s favorables (Mass3 *et al.*, 1996; Fre3n *et al.*, 2005). Herramientas de modelamiento permiten relacionar factores ambientales a las 1reas de desove, principalmente relacionando la presencia de huevos de anchoveta con factores oceanogr1ficos, nutrientes y plancton.

### 2.7.3 Modelamiento GAM 1992, 1995-2016.

El efecto de los factores ambientales considerados en este an1lisis y la distribuci3n de huevos de anchoveta fue analizado mediante modelos aditivos generalizados (GAM), que son capaces de hacer frente a las relaciones no lineales entre la variable dependiente y m1ltiples predictores en el mismo modelo. En el presente caso la componente no lineal fue ajustada con una regresi3n del tipo *Spline*. La variable respuesta analizada, referida a la densidad de huevos de anchoveta, fue expresada como una variable dicot3mica de presencia=1 y ausencia=0.

El GAM es un m3todo estadistico, similar al de regresi3n cl1sica, pero con supuestos distribucionales m1s generales, adem1s de no suponer linealidad en las covariables. Gen3ricamente el GAM tiene la siguiente estructura (Hastie y Tibshirani, 1990).

$$E(y) = g^{-1} \left( \beta_0 + \sum_k S_k(x_k) \right)$$

La funci3n de enlace  $g(\cdot)$  logit, define la relaci3n entre la respuesta y el predictor lineal  $\beta_0 + \sum_k S_k(x_k)$ . La respuesta,  $y$ , se asume que se distribuye de acuerdo a una familia de distribuciones estadisticas, de tipo exponencial. El t3rmino  $x_k$  es el valor de la k-3sima covariable. El t3rmino  $\beta_0$  es un intercepto, y  $S_k(\cdot)$  es una funci3n de suavizamiento unidimensional para la k-3sima covariable.

La informaci3n oceanogr1fica recolectada *in situ* durante el crucero, tales fueron temperatura y salinidad superficial, fue cruzada mediante el criterio de posici3n geogr1fica m1s cercano a las estaciones de presencia/ausencia de huevos. Los predictores en el modelamiento fueron seleccionados de acuerdo al criterio estadistico basado en la prueba *ji cuadrado* a un nivel de significancia del 5%, separando las variables que aportan significativamente a la explicaci3n de la variabilidad de presencia/ausencia de huevos. Adicionalmente, se calcul3 el cociente pseudo-R<sup>2</sup>,



obtenido a través de la devianza nula y la devianza residual, el que permitió estimar el porcentaje de devianza explicada por el modelo y además distinguir la contribución de cada uno de los términos modelados (Swartzmann *et al.*, 1992):

$$Devianza_{explicada} = \frac{Devianza_{nula} - Devianza_{residual}}{Devianza_{nula}}$$

#### 2.7.4 Modelo Maxent

Para ejecutar el análisis integrado de las variables recolectadas durante el crucero 2016, se consideró información de la presencia de huevos de anchoveta, y como variables ambientales la clorofila-a, temperatura, salinidad, oxígeno, abundancia y biomasa de fitoplancton, concentración de copépodos, eufáusidos, larvas decápodos y eufáusidos, nitrato, nitrito, fosfato y silicato.

El análisis integrado de las variables registradas utilizó como plataforma de trabajo los sistemas de información geográfica (**SIG**). Se prepararon los archivos de vectores bases en formato SIG, los que contemplan la geo-referencia con sus respectivos valores acorde a cada variable involucrada en el análisis. Con el objeto de relacionar y superponer los distintos planos de información, fue necesario transformar los mapas para que se encuentren en una idéntica escala espacial, para ello se utilizó una retícula de interpolación de 10 x 10 mn, de este modo las cartografías poseen una misma resolución y cobertura geográfica. Lo anterior significa generar imágenes en rasters que tengan similar cantidad de filas y columnas.

Con el fin de abordar un enfoque que permita determinar las relaciones entre la variables respuesta y ambientales, y a su vez modelar el hábitat favorable para huevos de *E. ringens*, se utilizó un modelo de aprendizaje para modelar el hábitat potencial, que corresponde a un modelo de máxima entropía, MAXENT, siguiendo los procedimientos descritos por Phillips *et al.* (2006). Este método permite caracterizar las distribuciones de probabilidad cuando solamente se dispone de información de presencias. Se basa en el principio de que la distribución estimada de una especie debe coincidir con la distribución conocida, o deducida, a partir de las condiciones ambientales donde ha sido observada, evitando hacer suposiciones que no estén avaladas por los datos. (Phillips *et al.*, 2006; ). Se utilizó el software libre MaxEnt versión 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2008) con los parámetros por defecto del modelo (umbral convergente de 1E-5, el valor máximo de iteración de 500 y una regularización de 1). El algoritmo consiste en encontrar la distribución de probabilidad de máxima entropía, la más cercana a la distribución uniforme, condicionada por las restricciones impuestas por la información disponible sobre la distribución observada de la especie y las condiciones ambientales del área de estudio.

El software empleado proporciona los datos y test estadísticos necesarios para la validación de los resultados. El valor AUC indica la capacidad de predicción del modelo, y fue utilizado para estimar la fiabilidad de los mismos. Este valor se puede interpretar como la probabilidad de que un punto de presencia seleccionado al azar esté situado en una celda cuya probabilidad de presencia sea mayor que la de ausencia. El valor AUC puede variar entre 0,5 y 1, de manera que el valor máximo implica



la mayor capacidad predictiva del modelo. Un valor AUC de 0,5 indica que el modelo que se ha generado no es mejor que lo esperado al azar (Borrega y Lavado, 2016).



## VII. RESULTADOS

Previo a la descripción de los resultados comprometidos, se consideró pertinente realizar una descripción del contexto climático-histórico dentro del cual se desarrolló el crucero, aspecto no considerado en la propuesta técnica inicial del proyecto.

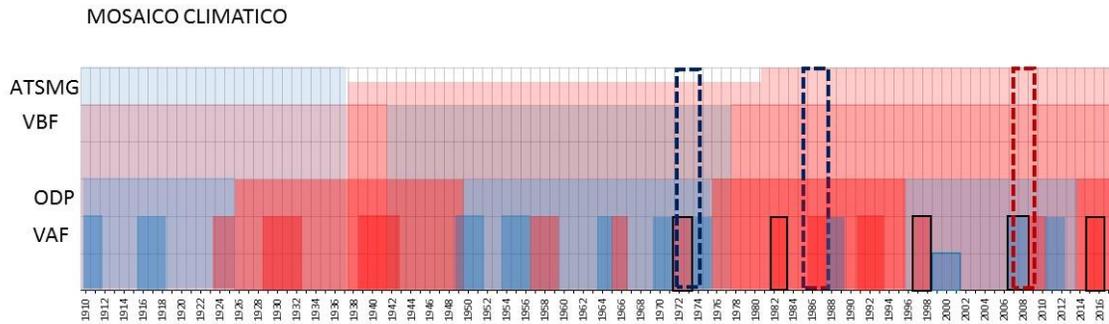
### 1 Contexto histórico

La **figura 5**, se construyó a partir de la superposición de cambios climáticos (fases frías y cálidas) en distintas escalas temporales. En relación, a las señales físicas cualitativas de variación de baja frecuencia (o multidecadal) y de frecuencia intermedia (Oscilación Decadal del Pacífico), estas son generalmente descritas como fenómenos que posiblemente responden a cambios en los patrones de circulación, asociados a estados atmosféricos de gran escala (Lluch-Belda 2001, Lluch-Belda 2003). De acuerdo a esto, los cambios descritos en estas señales para el sistema de corrientes de California fueron considerados en el análisis.

La Anomalía de Temperatura Superficial del Mar Global (ATSMG) reconstruida a partir de 1850 por la oficina meteorológica británica y referida por Lluch-Belda *et al* (2001), describe la presencia de un largo periodo frío previo a 1910 que se extiende hasta mediados de 1930, a partir de entonces se observó un incremento variable hasta la década de los 80', momento a partir del cual el incremento fue sostenido hasta finales de la serie (2000).

La señal de baja frecuencia descrita por Lluch-Belda *et al* (2001), indica al menos tres cambios en la serie 1910-2000, representados por los periodos: 1910-1940 (fase cálida), 1941-1976/77 (fase fría), 1978-2000 (fase cálida) y corresponde a una señal poco documentada. El conjunto de cambios cualitativos climáticos superpuestos, mostró la superposición de todos los parámetros considerados durante el desarrollo del crucero.

Los cambios observados en la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), en el Sistema de Corriente de Humboldt (SCH) han sido descritos como la principal señal moduladora de la dinámica de largo plazo entre las poblaciones de anchoveta y sardina (Alheit & Niquen 2004). La información disponible de esta variable durante el periodo 1910-2016 (Chávez *et al* 2003, Alheit & Niquen 2004, NOAA 2017), indica el desarrollo de al menos dos ciclos completos, descritos por los siguientes periodos: 1919-1925 (fase fría), 1925-1950 (fase cálida), 1950-1975 (fase fría), 1975-1995 (fase cálida), 1995-2014 (fase fría), 2014-2016 (fase cálida). En la **figura 5**, también se incluyeron los eventos EL Niño y La Niña de categoría fuerte definidos en base a la escala de rangos MEI descrito por la NOAA durante el periodo de análisis para la región ecuatorial. Aunque durante la primavera de 2016 las condiciones ecuatoriales fueron de transición de neutras a frías, las condiciones locales permanecieron cálidas, aspecto considerado en la **Figura 5**.



ATSMG [Anomalía de Temperatura Superficial del Mar Global] : Lluch-Belda et al (2001) ;  
Martinez-Garcia & Lluch-Belda (2000);

VBF [Variaci3n de baja frecuencia] : Lluch-Belda et al (2003);

ODP [Oscilaci3n Decadal del Pacifico] : Ch3vez et al (2003); Alheit & Niquen (2004); NOAA (2017)  
<https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>

VAF [Variaci3n de Alta frecuencia], EL Niño, La Niña : NOAA (2017)

**Figura 5.** Mosaico climático: Esquema de la superposici3n cualitativa de cambios climáticos en distintas escalas temporales. El color azul indica fases frías y el rojo fase cálida. Las barras segmentadas azules indican los periodos aproximados de cambios de r3gimen climático y la barra segmentada roja un periodo propuesto en este trabajo.

Los cambios de r3gimen en los ecosistemas se han definido en base a las variaciones observadas en un amplio rango de parámetros biológicos (fitoplancton, zooplancton, peces, aves guaneras) y físicos, de series de tiempo. La mayor parte de la informaci3n biológica disponible para el SCH proviene de Perú y es más completa a partir de 1950. Aunque existe controversia sobre el momento preciso en que han ocurrido los cambios de r3gimen, en los últimos 60 años se reconocen dos, el de 1970s (1972-1975) y el de mediados de los 80 (1986). El último cambio de r3gimen inicia un periodo favorable para la anchoveta, caracterizado por una mayor producci3n de fitoplancton y en la dominancia del zooplancton de mayor tamaño (Alheim & Niquen 2004; Ayon *et al.*, 2011).

La detecci3n de quiebres en la serie temporal del Índice de la Corriente de Humboldt (ICH) descrita por Contreras-Reyes *et al* (2016), indica un quiebre en este parámetro en 1995 y 2008, los datos derivados de nuestros estudios del ictiplancton durante el periodo comprendido por estos años en el norte de Chile, indican la virtual desaparici3n del ictiplancton de sardina (2002) y aumento en la abundancia del ictiplancton de anchoveta en septiembre del periodo 2001-2008, acorde a la biomasa del stock desovante reportada para el periodo.



Adicionalmente, un ejercicio de detección de quiebres en la serie temporal (2002-2017) del ICH, la clorofila satelital (CHL) y biomasa desovante de anchoveta (Espíndola, *et al.*, 2017) indica cambios significativos en estos parámetros a mediados del 2007 (**Figura 6**), donde la disminución significativa de la clorofila en la zona de estudio eventualmente estaría asociada a los actuales niveles de productividad para la anchoveta, los que muestran una biomasa desovante de 333 mil toneladas ( $\pm 148$ ) para el periodo 2008-2017, comparados con los 637 mil toneladas ( $\pm 312$ ) observadas en años anteriores (1992-2007) (**Figura 7**). Por su parte, el biovolumen del zooplancton registró un cambio positivo a partir de año 2006, con valores promedio por sobre la media histórica. La evaluación conjunta de estos parámetros sugiere la existencia de un cambio de régimen entorno al 2007.

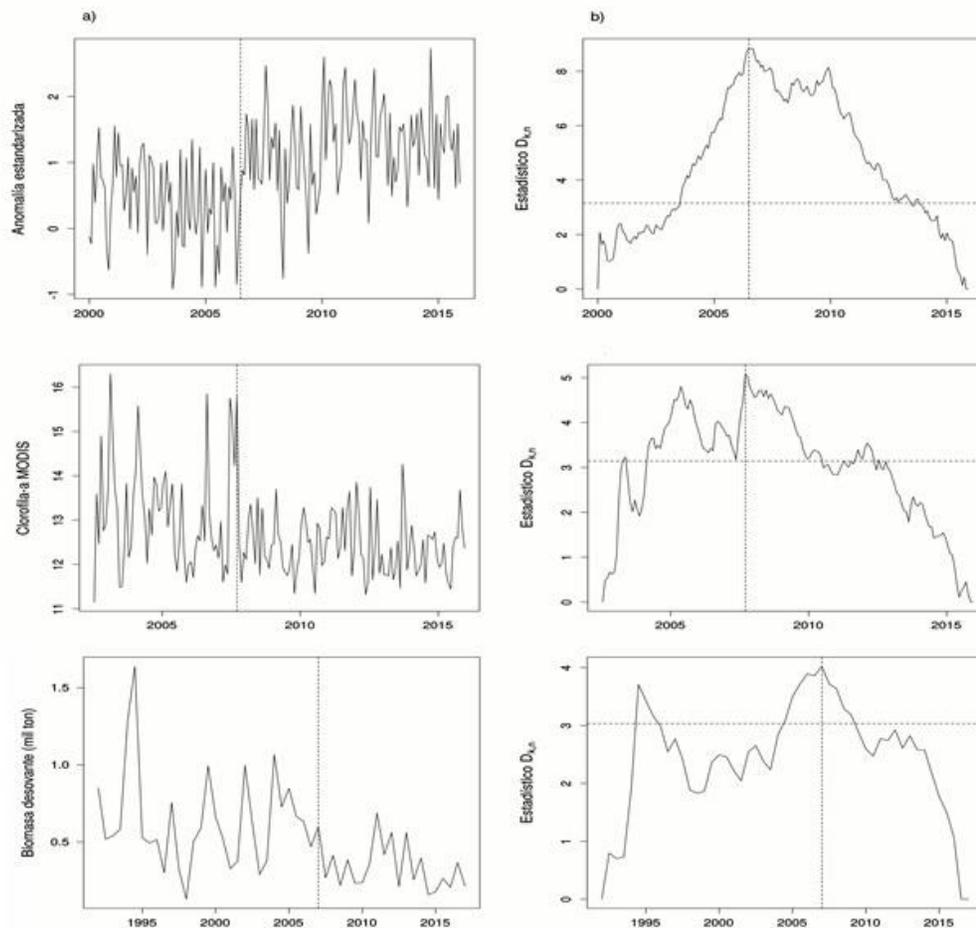


Figura 6. El panel a) muestra las observaciones del: Índice de Corrientes de Humboldt, la clorofila satelital y la biomasa del stock desovante de anchoveta con la ubicaci3n del punto de cambio estimado usando la prueba estadística  $t$ -student. El panel b) muestra el estadístico  $D_{k,n}$  y el nivel de rechazo de la hipótesis nula  $h_{k,n}$  (línea horizontal) de las variables consideradas (Espíndola, *et al.*, 2017).

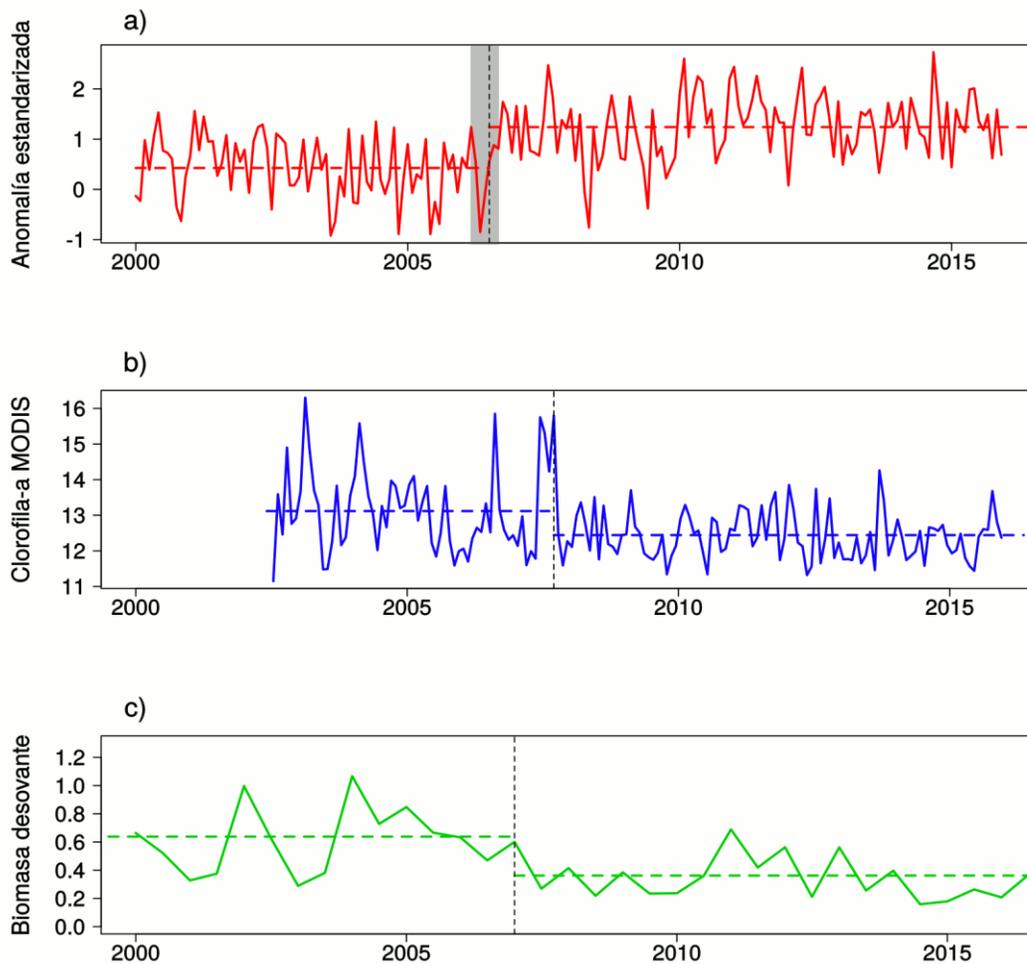


Figura 7. Series temporales usadas en este estudio, a) 3ndice de la corriente de Humboldt (ICH), b) clorofila satelital (CHL), c) biomasa desovante (mil ton) (Esp3ndola, *et al.*, 2017).



## 2 Objetivos específicos

### 2.1 Objetivo específico 4.2.1: Determinar la distribución espacial de las anomalías y valores de temperatura, salinidad y densidad, como también distribución espacial del oxígeno disuelto, clorofila y nutrientes entre la superficie y 500 m de profundidad.

En este segmento se describen los resultados asociados al objetivo específicos 2.1, en los que se contempla el monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas durante el desarrollo del crucero.

#### 2.1.1 Condiciones bio-oceanográficas durante el desarrollo del crucero.

##### 2.1.1.1 Dinámica de vientos

Los vientos medidos durante el crucero presentaron un 87,2% de componente sur, 9,8% norte y 3,1% de calmas (<1 m/s) (**Tabla 9**). Aquellos con componente sur tuvieron una amplia cobertura en la zona de estudio, y con componente norte se presentaron de forma aislada y de intensidad <10 m/s, focalizados principalmente al norte de 19°S, entre rada Paposo y Tal-Tal en el sector sur, y de forma aislada en la costa de Pisagua y punta Lobos.

El 58,1% de los vientos tuvieron intensidad baja (<5 m/s), distribuidos desde Mejillones al norte, en Antofagasta y entre rada Paposo y Tal-Tal (**Figura 8a y Tabla 9**). El 29,6% tuvo una intensidad intermedia (5-10 m/s) localizados principalmente entre punta Copaca y punta Plata, además entre Tal-Tal y punta Ballenita, y con menor área de cobertura entre sectores (costa-océano) al norte de 22°S hasta caleta Camarones. Los vientos más intensos (>10 m/s) correspondieron al 9,2%, concentrados principalmente entre Antofagasta y caleta Colorada, además entre Tal-Tal y punta Ballenita (**Figura 8c y Tabla 9**).

**Tabla 9** Porcentaje de magnitud de los vientos obtenidos del submuestreo durante el crucero MOBIO-MPH, septiembre-octubre 2016.

Viento	N° Total	Porcentaje
Total	1535	100
Mag <5 m/s	892	58,1
Mag 5-10 m/s	455	29,6
Mag >10 m/s	141	9,2
Calmas <1 m/s	47	3,1
Componente Dir N	150	9,8
Componente Dir S	1338	87,2

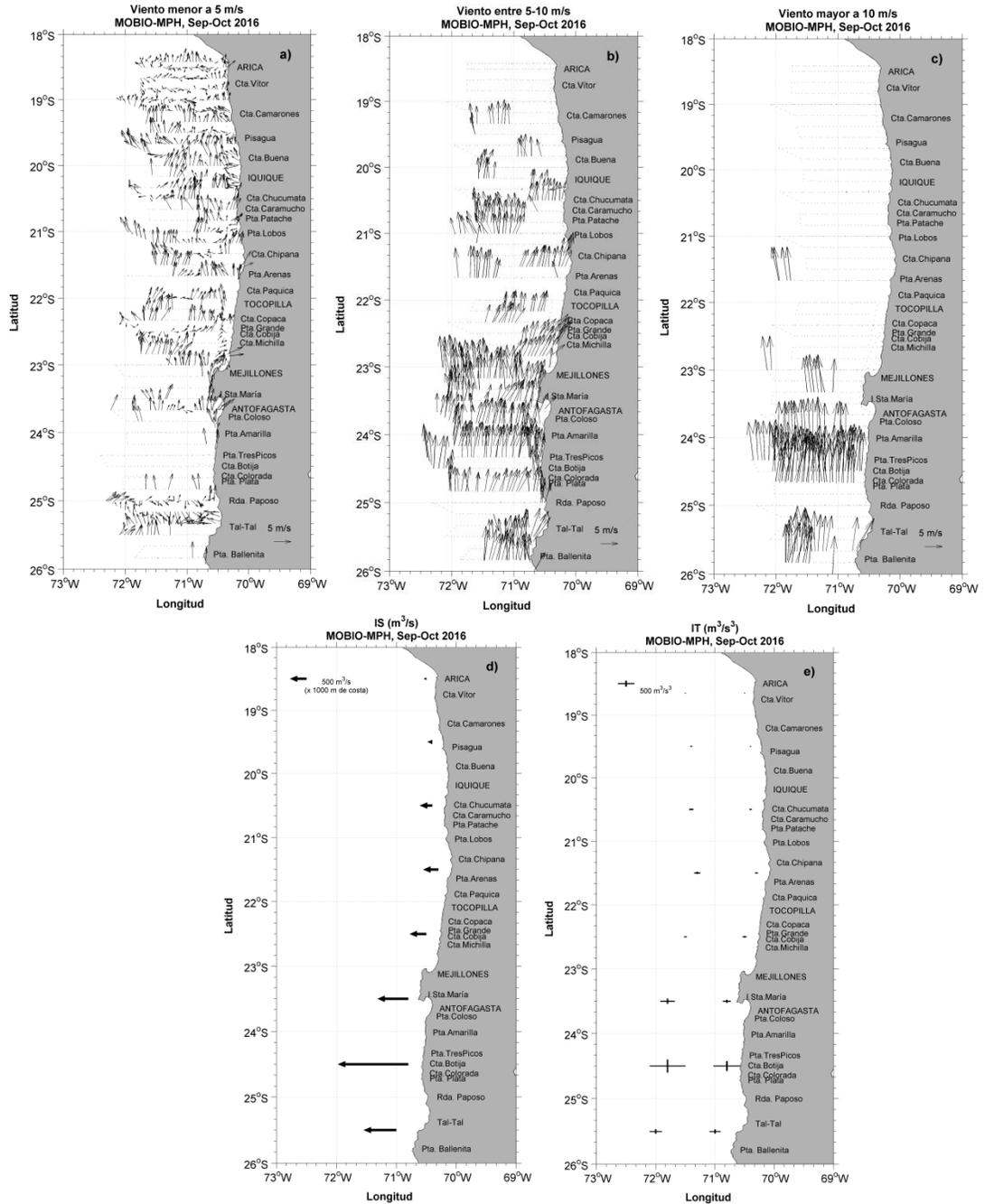


Figura 8

Informaci3n del viento predominante medido cada media hora sobre el track de navegaci3n, respecto a su direcci3n e intensidad: a) menor a 5 m/s, b) entre 5 y 10 m/s, c) mayor a 10 m/s. Índices de: d) Surgencia promedio ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) por grado de latitud, y e) turbulencia promedio ( $\text{m}^3/\text{s}^3$ ) por grado de latitud. Crucero MOBIO-MPH entre la XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



### 2.1.1.2 Índices de Surgencia y Turbulencia.

El Índice de Surgencia promedio (IS) por 1000 m de costa tuvo un mínimo de 83 m<sup>3</sup>/s, ubicado entre 18°-19°S y tres valores máximos (2130, 988 y 934 m<sup>3</sup>/s) al sur de 23°S, con el máximo absoluto entre 24°-25°S (**Figura 8d y Tabla 10**).

El Índice de Turbulencia promedio (IT) tanto en el sector costero como oceánico presentó los menores valores entre 18°-19°S, con 9 m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup> y 10 m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup>, respectivamente. Igualmente, los máximos de ambos sectores se registraron entre 24°-25°S, con valores de 825 m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup> en la costa y 1090 m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup> en el sector oceánico (**Figura 8e y Tabla 10**).

**Tabla 10** Índice de Surgencia promedio (IS, m<sup>3</sup>/s) e Índice de Turbulencia promedio (IT, m<sup>3</sup>/s<sup>3</sup>) en la costa (0-20 mn) y océano (40-60 mn), por rango de latitud (Sur).

LATITUD	IT Prom Costa	IT Prom Oce	IS Prom
18°-19°S	9	10	83
19°-20°S	20	56	149
20°-21°S	65	126	375
21°-22°S	83	183	456
22°-23°S	120	83	508
23°-24°S	240	442	934
24°-25°S	825	1090	2130
25°-26°S	338	369	988

### 2.1.1.3 Condiciones oceanográficas superficiales

#### 2.1.1.3.1 Temperatura superficial del mar (TSM) y su anomalía (ATSM)

En el período septiembre-octubre de 2016 la TSM varió entre 13,2° y 19,7°C. TSM >18°C se registraron en el sector oceánico desde los 22°40'S al norte, con máximos de 19°C entre caleta Camarones y caleta Chucumata. Hacia el sur la temperatura disminuyó a <17°C, en el sector oceánico entre los 22°S y 23°30'S, y al sur de los 24°S. En el sector costero los gradientes térmicos no fueron intensos, con focos de temperaturas <17°C desde Mejillones al norte, y mínimos (<16°C) al sur de caleta Camarones, punta Lobos, punta Arenas-Tocopilla y en la península de Mejillones. Al sur de Antofagasta una variación entre 15° y 16°C se observó dentro de las 10 mn, con un mínimo de 14°C en el área de caleta Botija (**Figura 9a**).

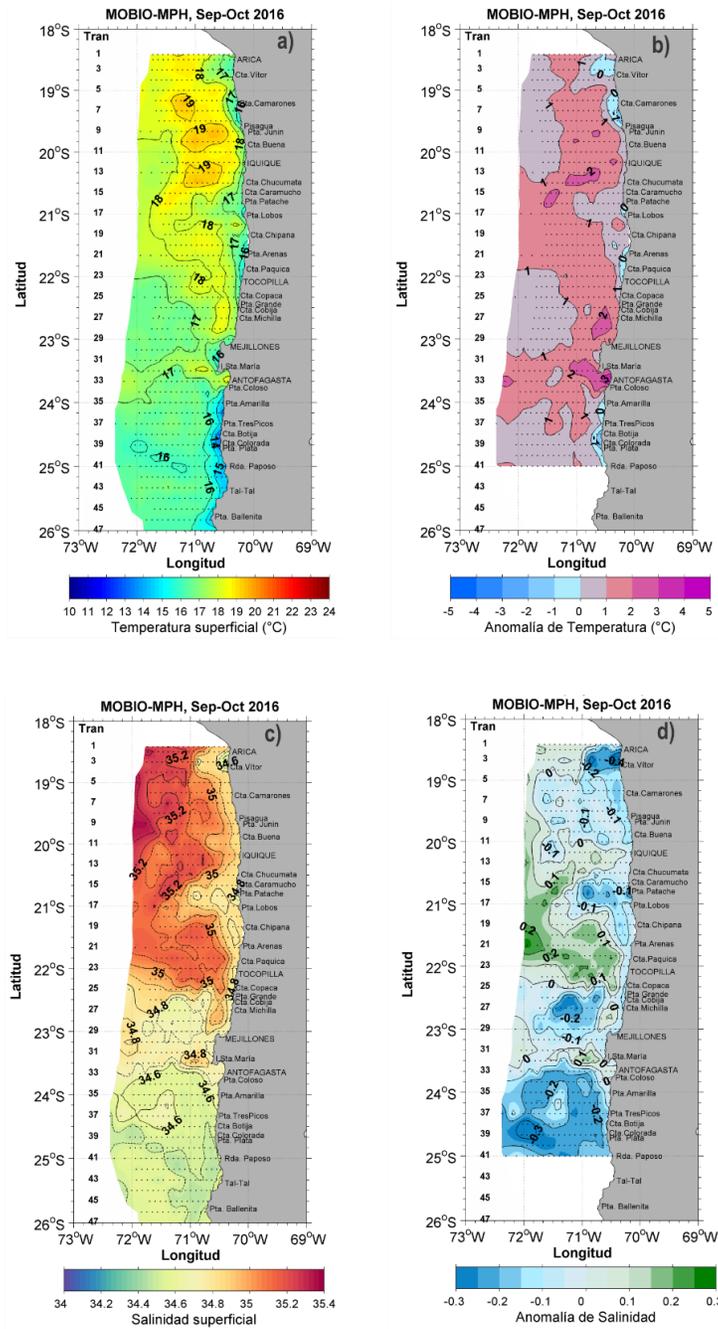
Las anomalías térmicas (ATSM) positivas dominaron en el área, con valores >+1°C en su mayor parte. Escasos focos (>+2°C) se repartieron en el área de los 20°-21°S, y en el área de la península, ubicándose en Antofagasta el foco de máximas ATSM (+4°C). ATSM negativas cercanas a 0 se ubicaron en el sector costero entre Arica y punta Junín, desde punta Arenas a Tocopilla y desde punta Amarilla a rada Paposo, con un mínimo de -1°C en caleta Colorada (**Figura 9b**).



### 2.1.1.3.2 Salinidad superficial del mar (SSM) y su anomalía (ASSM)

La salinidad superficial varió entre 34,4 y 35,4. Valores  $>35,2$  se registraron en el sector oceánico al norte de punta Patache. Desde el extremo norte hasta punta Arenas ( $21^{\circ}40'S$ ) se observó un gradiente costa océano, disminuyendo los valores hacia la costa hasta  $<35,8$ , con un mínimo de  $<34,6$  entre Arica y caleta Vitor. Entre los  $22^{\circ}S$  y Antofagasta el gradiente fue norte-sur, disminuyendo las salinidades entre 35,1 y 34,6. Hacia el sur, la salinidad presentó poca variación, disminuyendo en el sector costero hasta 34,5 desde caleta Botija al sur (**Figura 9c**).

En el sector oceánico ASSM  $>+0,1$  se registraron en el centro de la zona, desde caleta Chucumata a caleta Copaca, con máximos de  $+0,2$  en focos repartidos entre los  $21^{\circ}$  y  $22^{\circ}S$ . En el resto de la zona y principalmente en el sector costero dominaron las anomalías negativas, con focos menores a  $-0,1$  en punta Patache y desde caleta Buena al norte, con valores mínimos de hasta  $-0,4$  en el área más costera entre caleta Vitor y Arica. En el sector sur, ASSM de  $-0,2$  se registraron fuera de la costa en los  $22^{\circ}40'S$  y desde Antofagasta al sur, con un mínimo de  $-0,3$  en el extremo occidental en los  $24^{\circ}40'S$  (**Figura 9d**).



**Figura 9.** Distribuci3n superficial de: a) temperatura (°C), b) anomalía de temperatura (°C), c) salinidad, y d) anomalía de salinidad. Los puntos sobre los mapas indican la posici3n de estaciones. Crucero MOBIO-MPH entre la XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



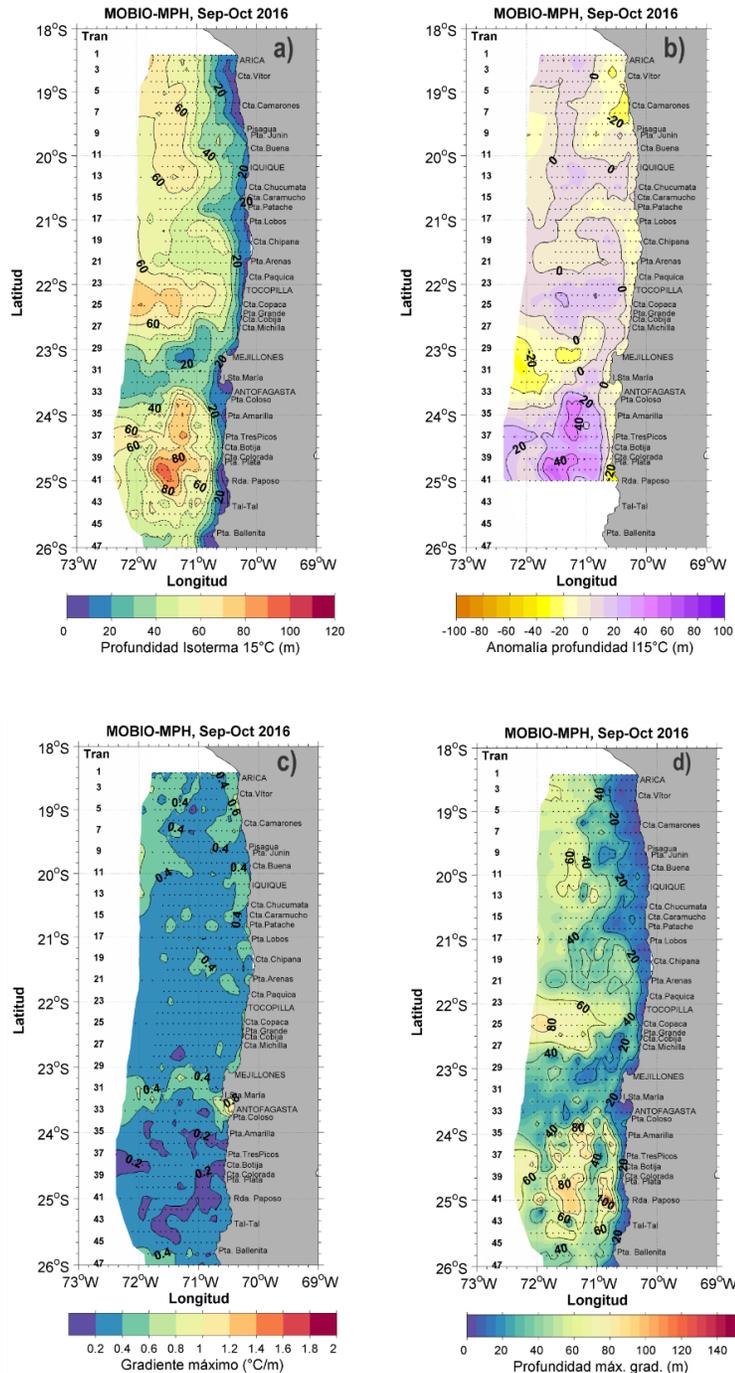
### 2.1.1.3.3 Isoterma de 15°C (I15) y su anomalía (AI15)

La I15 varió su profundidad entre 3 m y 98 m. A lo largo del sector costero, esta isoterma se ubicó a <20 m, los que se extendieron hasta 30 mn fuera de la costa en el extremo norte. Profundidades de la I15 <10 m se registraron en la costa, entre caleta Vitor y Pisagua, punta Patache-Tocopilla, en la península y desde punta Plata al sur. Fuera de la costa, la I15 se profundizó hasta >60 m en el extremo norte, formando un marcado gradiente costa-océano. Hacia el sur, profundidades >70 m se encontraron en el sector oceánico de caleta Copaca, y un foco centrado en los 71,5°W al sur de Antofagasta y hasta rada Paposó. En el sector oceánico entre Mejillones y Antofagasta, además de punta Ballenita, la I15 se mantuvo en profundidades <40 m (**Figura 10a**).

La AI15, al norte de Mejillones fluctuó en valores menores a  $\pm 20$  m, con un predominio de valores positivos. Anomalías negativas de -20 m se registraron en el sector oceánico de la península de Mejillones (mín. -34m) y en el área costera de caleta Camarones y rada Paposó. En el otro sentido, anomalías de +20 se detectaron al sur de Antofagasta, con máximos de +40 m entre los 71° y 72°W (**Figura 10b**).

### 2.1.1.3.3 Termoclina: gradiente máximo y su profundidad

El gradiente máximo de la termoclina (GMT) en la mayoría de las estaciones fluctuó entre 0,2 y 0,4°C/m. Valores extremos se registraron en la costa de Antofagasta >0,7°C/m, y en una serie de focos <0,2°C/m repartidos al sur de los 22°40'S (**Figura 10c**). En profundidad los GMT se ubicaron a menos de 20 m en el sector costero, los que alcanzaron una extensión máxima hacia el oeste de ~45 mn desde punta Patache al norte. En el sector oceánico, el GMT se profundizó bajo los 40 m al norte de los 22°S, y a >60 m en el área de punta Copaca, mientras que en el área de la península de Mejillones se observaron a <40 m, lo que coincidió con gradientes <0,4°C/m. Al sur de Antofagasta la profundidad del GMT presentó núcleos entre 60 y 100 m, este último ubicado a 30 mn a la cuadra de rada Paposó (**Figura 10d**).



**Figura 10.** Distribuci3n superficial de: a) profundidad de la isoterma de 15°C (m), b) anomalia promedio de la profundidad de la isoterma de 15°C (m), c) m3ximo gradiente de la termoclina (°C/m), y d) profundidad del m3ximo gradiente de la termoclina (m). Crucero MOBIO-MPH entre la XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



#### 2.1.1.3.4 Densidad superficial

La densidad superficial varió de un mínimo de 24,48 kg/m<sup>3</sup> en Antofagasta a un máximo de 26,1 kg/m<sup>3</sup> en caleta Botija. Densidades >25,2 kg/m<sup>3</sup> predominaron en el área. En la costa, densidades >25,4 kg/m<sup>3</sup> se registraron entre punta Camarones y caleta Copaca, y al sur de punta Coloso. Valores >25,8 entre punta Amarilla y punta Colorada. En el sector oceánico, un foco de valores <25,2 kg/m<sup>3</sup>, de mayor tamaño, se extendió entre los 19° y 20°40'S (**Figura 11a**).

#### 2.1.1.3.5 Capa de mezcla (CM)

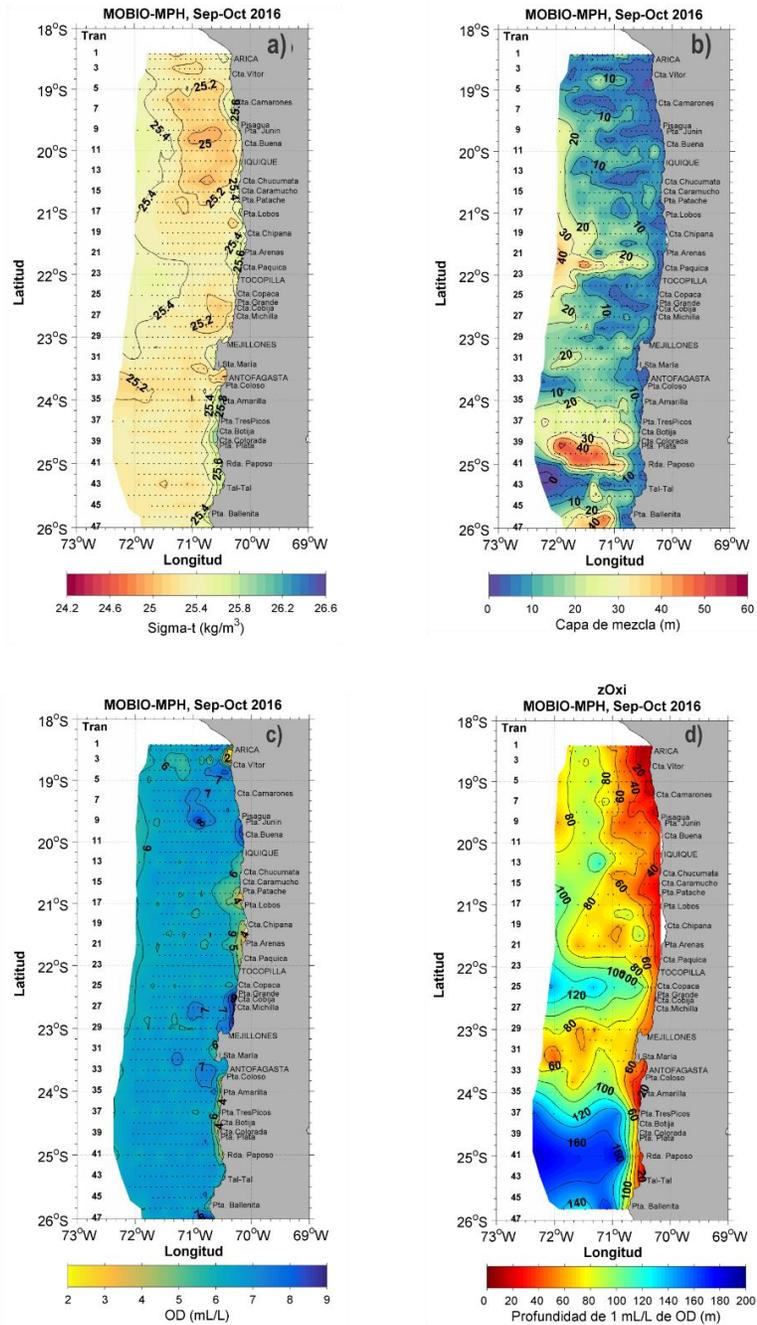
El espesor de la CM varió en el rango de 2 m en la costa al sur de caleta Vitor, a 45 m a 60 mn de punta Plata. Espesores de la CM <10 m se registraron en la costa, excepto el área de punta Colorada con espesores mayores. Espesores >30 m se registraron en el sector oceánico entre 21° y 22°S, y entre 40-80 mn de punta Plata a rada Paposó, y de punta Ballenita (**Figura 11b**).

#### 2.1.1.3.6 Oxígeno disuelto superficial (OD)

La distribución superficial de OD presentó concentraciones entre 1,5 mL/L en la costa al sur de Arica y 10 mL/L en la costa de los 26°S (**Figura 11c**). El sector oceánico presentó muy poca variación con concentraciones en torno a los 6 mL/L, destacando algunos focos >7 mL/L centrados en los 71°W en los 19,5°S, Michilla y Antofagasta. En el sector costero en cambio, focos de OD abarcaron un amplio rango de concentraciones, focos <5 mL/L se registraron entre Arica y caleta Vitor (mínimo), punta Lobos, caleta Chipana a Tocopilla y desde punta Coloso a Rada Paposó. En el otro extremo, valores > 7 mL/L se registraron al sur de caleta Vitor, caleta Buena, entre caleta Copaca y Mejillones y en el extremo sur de la zona, donde se registró el máximo del muestreo.

#### 2.1.1.3.7 Profundidad del límite superior de oxígeno disuelto de 1 mL/L (LSCMOD)

El límite superior de la capa de mínimo oxígeno (LSCMOD) presentó un rango de profundidades entre 9 m en la costa, entre Arica y los 18°40'S, y hasta 183 m a 100 mn frente a rada Paposó. Al norte de Mejillones el LSCMOD aumentó desde 20 m en la costa al norte de caleta Camarones hasta 120 m en el área de punta Copaca. En el sector oceánico del área de la península de Mejillones, las profundidades disminuyeron a 60 y 80 m. Entre Antofagasta y caleta Colorada, un marcado gradiente norte sur registra el aumento de las profundidades de 60 a 160 m, registrándose los mayores niveles en el área de rada Paposó. En la costa, desde Antofagasta al sur se mantuvo un fuerte gradiente costa océano dentro de las primeras 10 mn, aumentando desde 20 m en punta Amarilla y Tal-Tal a 120 m al sur de punta Tres Picos (**Figura 11d**).



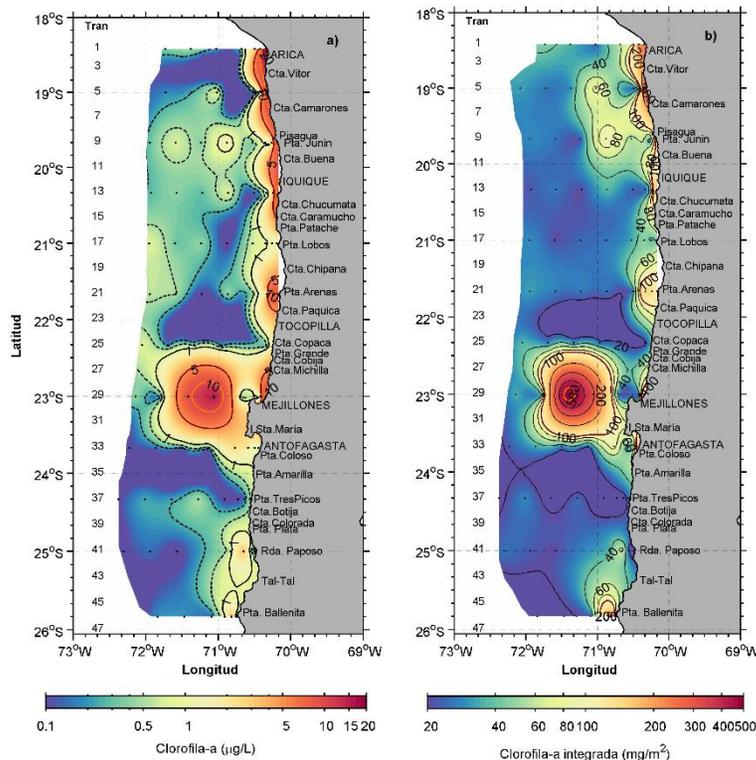
**Figura 11.** Distribuci3n superficial de: a) densidad ( $\text{kg/m}^3$ ), b) espesor de la capa de mezcla (m), c) oxigeno disuelto ( $\text{mL/L}$ ) y b) profundidad del l3mite superior de la capa de m3nimo oxigeno ( $1 \text{ mL/L}$ , m). Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



### 2.1.1.3.8 Distribuci3n superficial de clorofila-a (cloa) y clorofila integrada (cloaint)

Las concentraciones de cloa superficial variaron en el sector costero entre 0,01  $\mu\text{g/L}$  rada Paposo, 0,08  $\mu\text{g/L}$  en punta Tres Picos y punta Ballenita, hasta 23,6  $\mu\text{g/L}$  en la costa al norte de Arica. Valores  $>1 \mu\text{g/L}$  se observaron en las primeras 20 mn al norte de caleta Copaca, entre el sector Mejillones y Antofagasta esta franja se prolong3 hacia el sector oceánico, alcanzando las 80 mn. Hacia el sur focos  $>1 \mu\text{g/L}$  se ubicaron en el sector costero de rada Paposo y punta Ballenita. Dentro de la franja norte, se destacan concentraciones  $>5 \mu\text{g/L}$  entre caleta Chucumata y Arica, focos con máximos  $>10 \mu\text{g/L}$  en las dos transectas del norte, en la estaci3n costera de punta Arenas, y en Mejillones con un foco dentro de la bahía y otro en el sector oceánico (40-60 mn) (**Figura 12a**).

Las concentraciones de clorofila-a integrada (cloaint) variaron en la costa entre 6  $\text{mg/m}^2$  en rada Paposo hasta 384  $\text{mg/m}^2$  en los  $19^\circ\text{S}$ . Focos de cloaint  $>200 \text{mg/m}^2$  se ubicaron desde Arica a los  $19^\circ\text{S}$ , disminuyendo a valores  $>100 \text{mg/m}^2$  extendidos hasta el sur de Iquique ( $20^\circ 20'\text{S}$ ). Hacia el sur focos de valores  $>100 \text{mg/m}^2$ , se registraron en punta Arenas (con una extensi3n mayor a 10 mn), en Mejillones y Antofagasta, y en el área de punta Ballenita, d3nde se registr3 un segundo máximo costero,  $>300 \text{mg/m}^2$ . Fuera de la costa predominaron valores  $<40 \text{mg/m}^2$ , destacando en las 40 mn entre  $19^\circ\text{S}$  y Pisagua focos de  $>60 \text{mg/m}^2$  y un foco de valores máximos entre 300 y 500  $\text{mg/m}^2$  entre las 60 y 40 mn frente a Mejillones (**Figura 12b**).



**Figura 12.** Distribuci3n superficial de: a) clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ), b) clorofila integrada ( $\text{mg/m}^2$ ). Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.

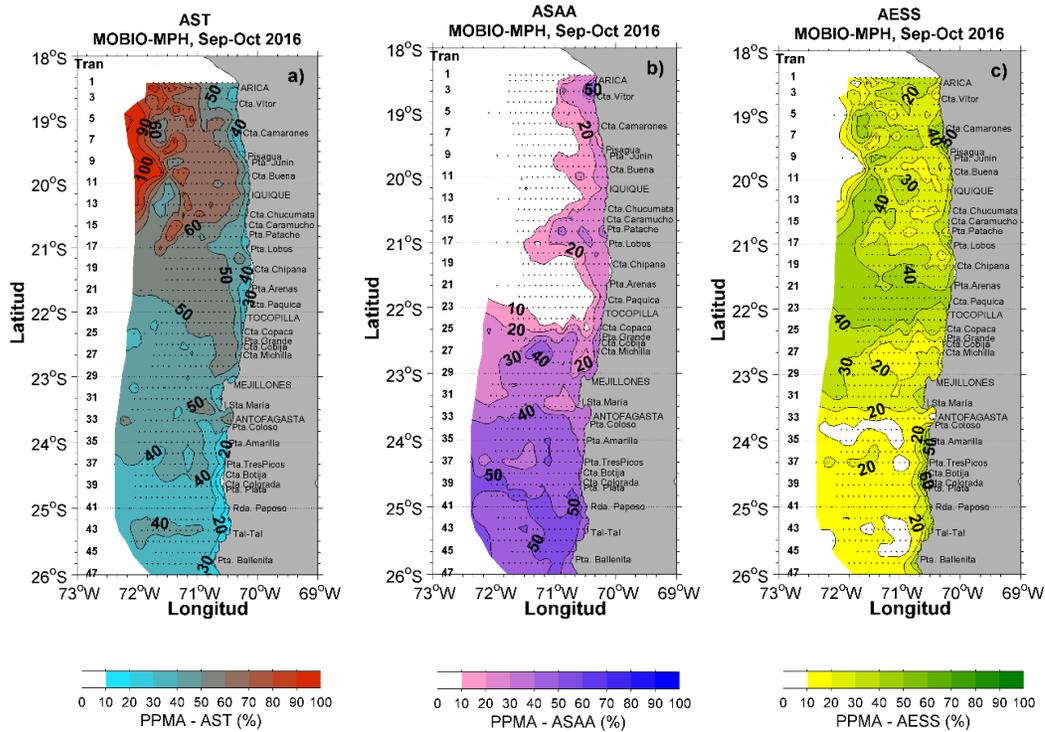


### 2.1.1.3.9 Distribución superficial de las masas de agua

La masa de Agua Subtropical (AST) estuvo presente en toda la zona (**Figura 13a**). En la costa, los menores porcentajes de participación de masa de agua (PPMA) <20% se localizaron desde punta Amarilla al sur, con un mínimo de <10% en la costa de caleta Botija-caleta Colorada. Al norte de Mejillones, el borde costero tuvo valores cercanos a 30%, aumentando a >40% en el área caleta Buena-Iquique y caleta Cobija-Mejillones, donde la masa de agua se acercó a la costa. En el sector oceánico del extremo sur el PPMA fluctuó en torno al 30%, más al norte, entre los 22° y 24°S el porcentaje aumentó a 40%, y desde los 22°S hacia el norte se observó una mayor variación en los PPMA, aumentando hasta superar el 60% entre los 21°S y Arica. Un foco de 100% se ubicó en el extremo occidental entre los 19° y 20°S.

La masa de Agua Subantártica (ASAA) tuvo en general PPMA <50% (**Figura 13b**). Al norte de los 22°S esta masa sólo estuvo presente en el sector costero con PPMA de entre 10-20%, excepto por un foco >50% en el área de caleta Vitor. Valores >30% se observaron al sur de 22°S, los que aumentaron meridionalmente hasta un 50% al sur de los 24,5°S.

La masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) estuvo presente en la mayor parte de la zona, con un PPMA entre 10 y 60% (**Figura 13c**). En el sector oceánico desde Antofagasta al sur los PPMA se mantuvieron <20%, aumentando en el sector costero a hasta >30%, con focos >50% entre caleta Cobija y punta Plata, y >60% en el área sur de punta Amarilla. Al norte de la península, los PPMA aumentaron hasta un gran foco de valores >40% extendido entre caleta Chipana y Tocopilla, foco que abarcó las 100 mn del muestreo. Hacia el norte, los máximos (>40%) se extendieron hasta los 19°S, en el sector oceánico, en tanto que, en el sector costero el foco de mayor participación se registró entre caleta Camarones y Pisagua (40-50%).



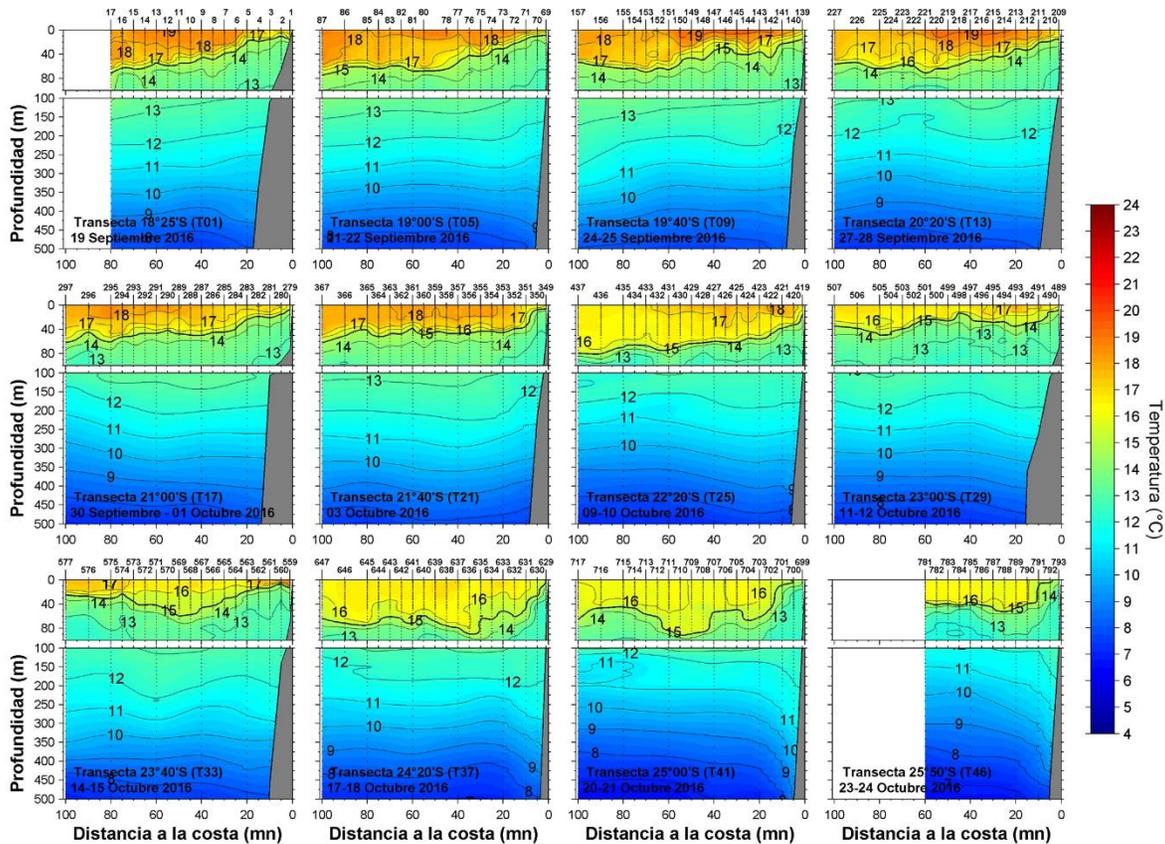
**Figura 13.** Distribuci3n superficial de las masas de agua, segun su porcentaje de participaci3n: a) agua Subtropical (AST), b) agua Subantartica (ASAA), y c) agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS). Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



## 2.1.1.4 Distribuci3n vertical

### 2.1.1.4.1 Temperatura

Todas las transectas presentaron una fuerte variaci3n dentro de los primeros 100 m de profundidad. A nivel superficial, temperaturas >18°C se registraron desde T21 al norte con, m1ximos >19°C en T9 y T13 (~40 mn). Desde T37 (24°20'S) al sur los valores >16°C abarcaron los primeros 30-40 m. Todas las transectas mostraron pendiente positiva de las isotermas hacia la costa, llegando la isoterma de 15°C a la superficie desde T37 al sur, donde se registraron las inclinaciones m1s intensas. Bajo los 100 m la temperatura disminuy3 gradualmente hasta un m1nimo de 8°C desde T37 al norte y hasta 7°C hacia el sur. En profundidad, desde T37 al sur las isotermas menores a 11-12°C en las estaciones costeras mostraron una pendiente negativa hacia la costa (**Figura 14**).



**Figura 14.** Distribuci3n vertical de temperatura (°C) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanogr1ficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



### 2.1.1.4.2 Salinidad

Valores de salinidad >35 se registraron desde el sector oceánico del extremo norte (espesor <70 m) hasta los 22°20'S (T25, núcleos <40 m), con un máximo >35,4 en T5. A nivel subsuperficial en el extremo sur entre los 40 y 150 m como máximo, se ubicó un núcleo de baja salinidad <34,4 (con un mínimo <34,3 en T41), este núcleo aumentó sus valores hacia el norte hasta 34,7 centrados en los 80 m en T1 (Arica) y T5. Bajo este núcleo, valores >34,8 se distribuyeron hasta los 250 m abarcando toda la transecta en el extremo norte, disminuyendo su presencia hacia el sur, encontrándose sólo en el sector más costero en las tres transectas del extremo sur y centrados en los 150 m. En las estaciones costeras, valores >34,8 dominaron en la capa superficial al norte de T21. En profundidad, bajo los 250 m, la salinidad disminuyó gradualmente hasta 34,6 desde T29 al norte, y hasta 34,5 hacia el sur (Figura 15).

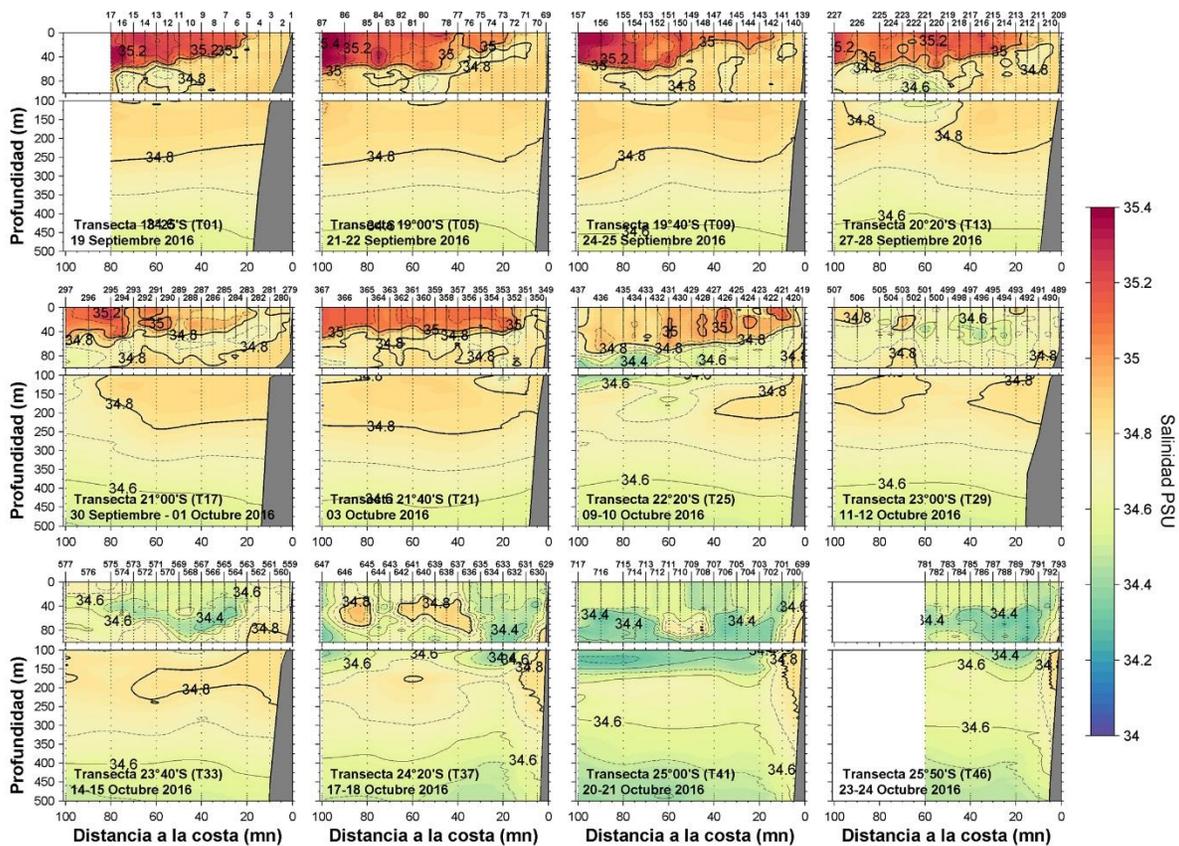
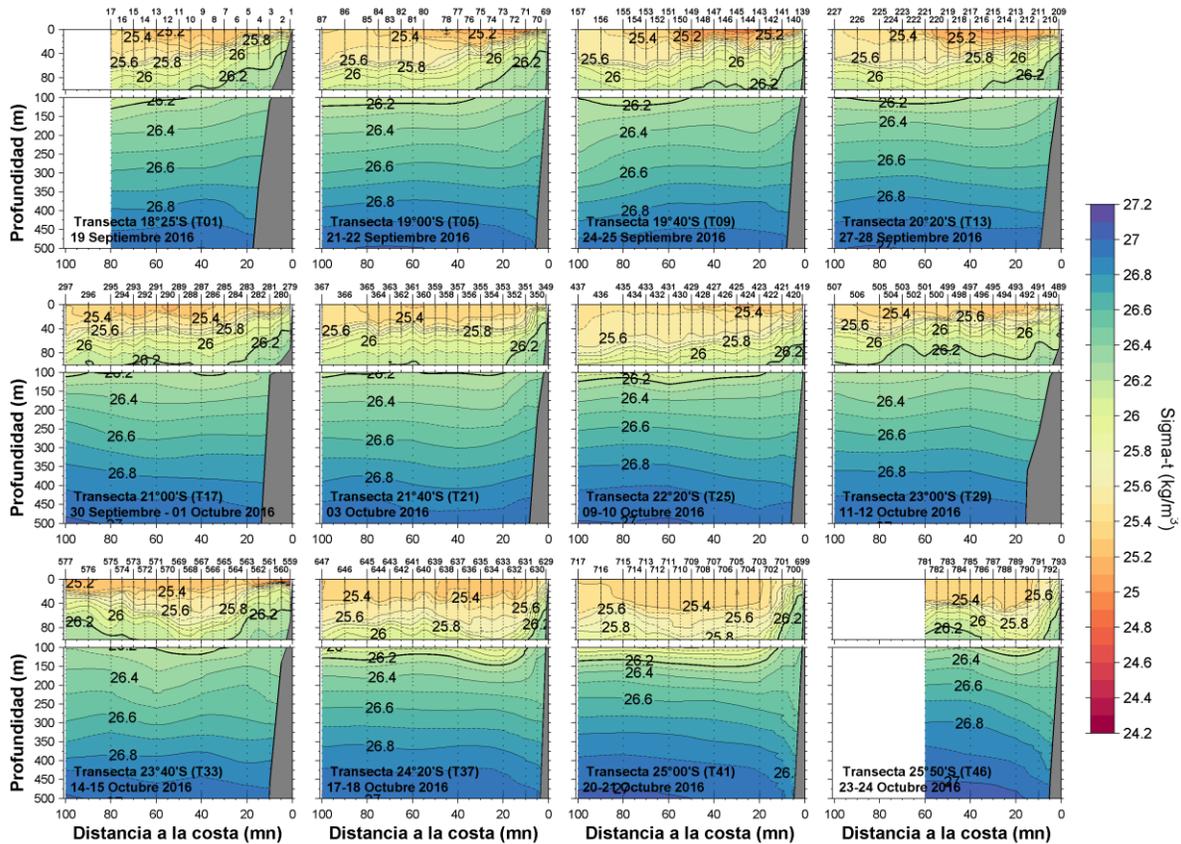


Figura 15. Distribución vertical de Salinidad hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



### 2.1.1.4.3 Densidad

En profundidad las mayores variaciones se observaron dentro de los primeros 100 m, con una piconclina m1s intensa desde T29 (23°S) al norte. Todas las transectas mostraron pendientes positivas de la piconclina hacia la costa, partiendo desde la estaci3n m1s oce1nica en el extremo norte y haci3ndose m1s costero hacia el sur. En este sentido un fuerte ascenso de las isopicnas se registr3 dentro de las primeras 20 mn (>60 m) en transectas T37, T41 y T46. A nivel superficial aguas menos densas <25,2 kg/m<sup>3</sup> se ubicaron dentro de las 60 mn entre T5 y T13 y en la costa de T33. Bajo los 200 m en las transectas del extremo sur se observaron profundizaciones de las isopicnas ≥26,5 kg/m<sup>3</sup> hacia la costa dentro de las 20-40 mn (**Figura 16**).



**Figura 16.** Distribuci3n vertical de densidad sigma-t (kg/m<sup>3</sup>) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanogr1ficas. Cruceo MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



#### 2.1.1.4.4 Ox3geno disuelto (OD)

Todas las transectas mostraron una capa superficial bien oxigenada, >5 mL/L, de espesor variable en el sector oce3nico entre 40 m (T17, T21 y T29) y ~100 m (T41) (m3ximo, >8 mL/L en T9), seguida de una oxiclina con concentraciones entre 5 y 1 mL/L desarrollada a menos de 100 m de profundidad desde T33 (23°40'S) al norte. Hacia el sur la oxiclina se profundiz3 quedando su l3mite inferior ~200 m como m3ximo en T41. La oxiclina de todas las transectas mostr3 una pendiente positiva hacia la costa, observ3ndose el inicio del ascenso en el sector m3s oce3nico en Arica (T1), y acerc3ndose a la costa hacia el sur, hasta partir desde las 20 mn en las tres transectas del extremo sur, donde la pendiente fue mayor. Concentraciones <5 mL/L interceptaron la superficie en la costa en T17, T21 y T41.

El espesor de la capa de m3nimo OD (CMOD, <1mL/L) en el sector oce3nico super3 los 420 m, sin detectarse su l3mite interior en el extremo norte, disminuyendo hasta 225 m ubicado entre los 175 – 400 m en los 25°S. En el sector costero, el l3mite superior de la CMOD (1mL/L) se mantuvo entre 20-30 m desde T21 al norte, profundiz3ndose hacia el sur hasta un m3ximo de 70 m en T46. En mayores niveles de profundidad el l3mite de la CMOD se profundiz3 bajo los 500 m, lo que fue m3s evidente desde T37 al sur dentro de las 20 mn, (Figura 17).

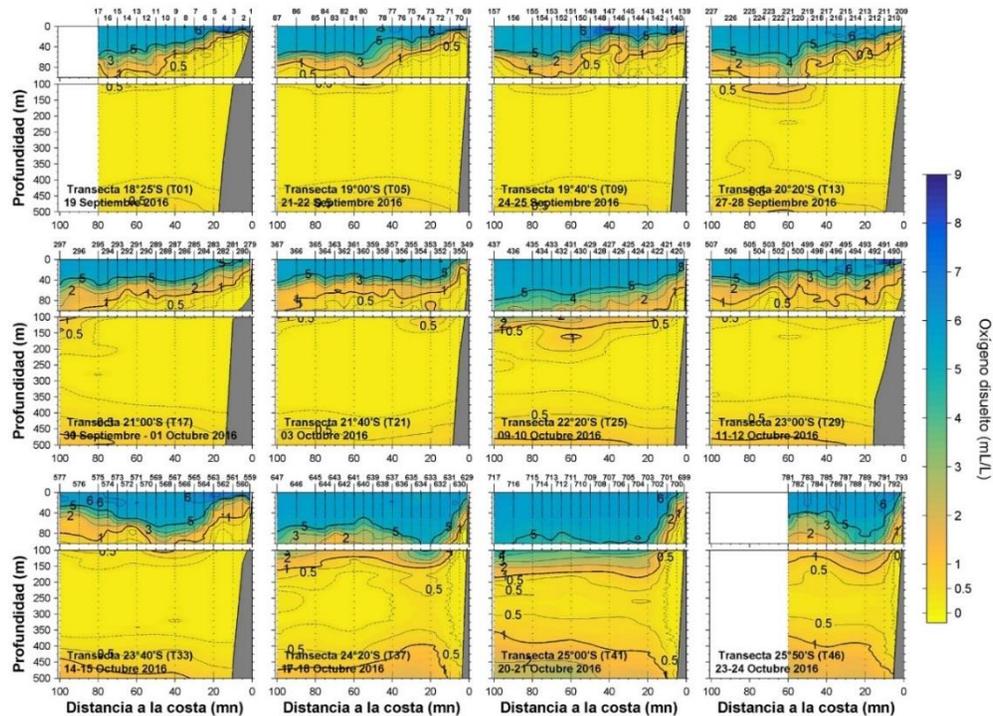
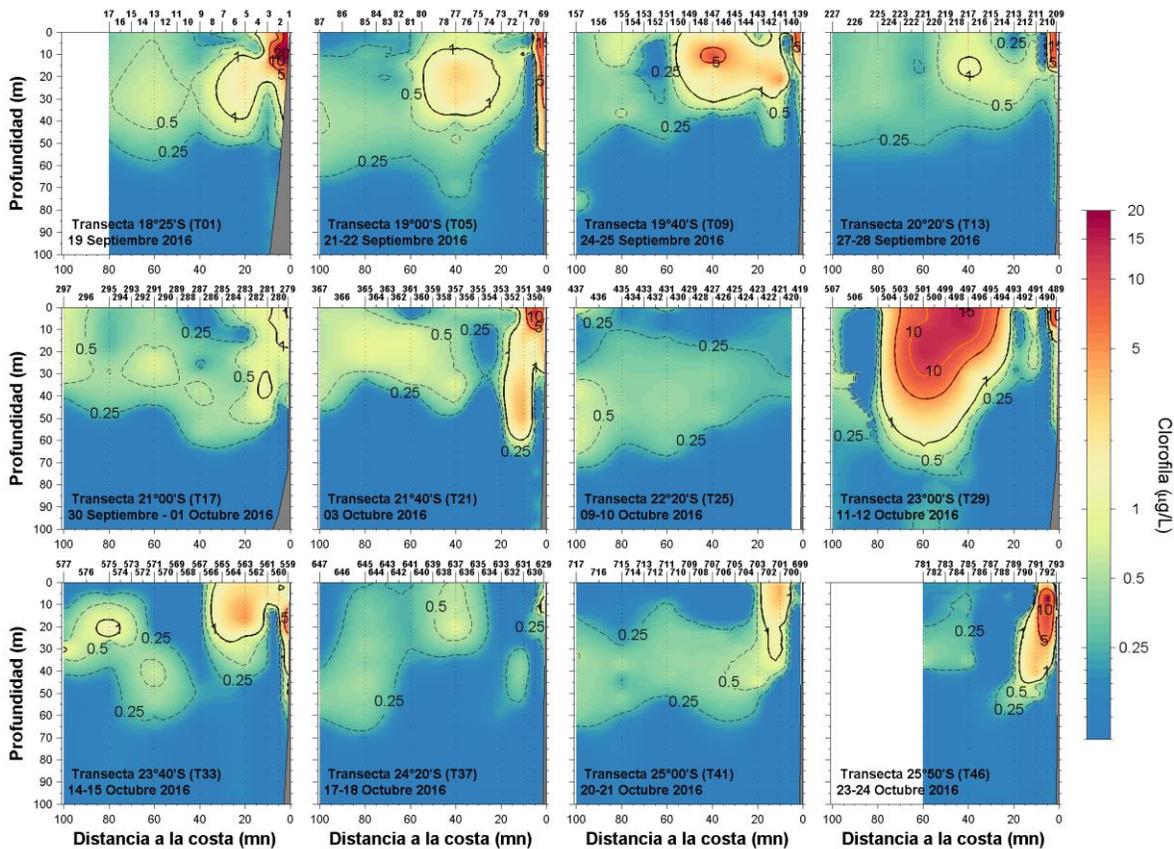


Figura 17. Distribuci3n vertical de ox3geno disuelto (mL/L) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanogr3ficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.

### 2.1.1.4.5 Clorofila-a

Núcleos de concentraciones  $>1 \mu\text{g/L}$  de clorofila-a se midieron en la mayoría de las transectas, sólo en T25 ( $22^\circ 20'S$ ) los valores más altos fueron  $>0,5 \mu\text{g/L}$  en un núcleo superficial y otro subsuperficial en la estación más oceánica (**Figura 18**). En las demás transectas el núcleo  $>1 \mu\text{g/L}$  por lo general no superó los 40 m, salvo en T29 ( $> 50 \text{ m}$ ). En la mayoría de estas transectas se observaron dos núcleos de concentraciones  $>1 \mu\text{g/L}$ , uno muy costero con concentraciones que superaron los  $10 \mu\text{g/L}$  desde T1 a T13, T21 y T29, en T33 el máximo subsuperficial tuvo valores  $>5 \mu\text{g/L}$ . El núcleo separado de la costa más importante fue el de T29, el que se extendió entre las 20 y  $\sim 60 \text{ mn}$  con concentraciones máximas  $>10 \mu\text{g/L}$ . En el sector oceánico (80 mn) de la T33 se destaca un núcleo  $>1 \mu\text{g/L}$  de 20 m de espesor, y en T21 un núcleo  $>0,5 \mu\text{g/L}$  de gran tamaño en los primeros 35 m.



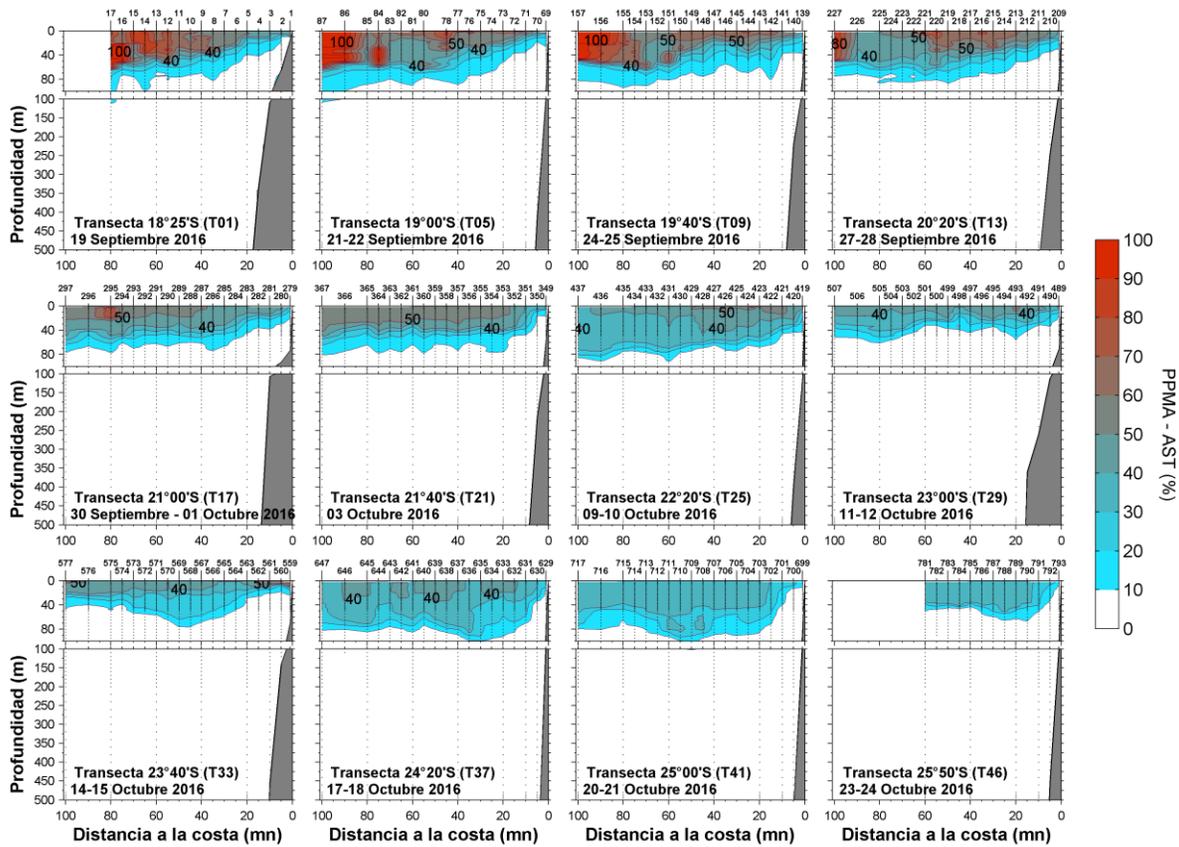
**Figura 18.** Distribución vertical de clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



### 2.1.1.5 Masas de agua

#### 2.1.1.5.1 Agua Subtropical (AST)

Esta masa de agua se ubic3 en los primeros 80 m, con PPMA >50% en los primeros 50 m desde el extremo oceánico norte hasta T21 (alcanzando las 5 mn entre T5 y T13), m3s remanentes en T25 y T33 (sector m3s costero). Porcentajes ~100% se registraron en las estaciones m3s oceánicas del extremo norte. Desde T21 al sur esta masa disminuy3 sus PPMA hasta un 30% en las dos transectas del extremo sur (**Figura 19**).



**Figura 19.** Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de Agua Subtropical (AST) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanogr3ficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



### 2.1.1.5.2 Sub Antártica (ASAA)

Esta masa de agua estuvo presente en todas las transectas desde superficie hasta una profundidad variable, siendo la máxima de 150 m en el extremo sur, con PPMA >50%. El ASAA tuvo una mayor presencia entre T46 y T33. Hacia el norte, núcleos >40% se ubicaron dentro de los primeros 100 m, disminuyendo hasta porcentajes de 20% en el extremo norte centrados en las 80 mn y acercándose a la superficie en la costa (Figura 20).

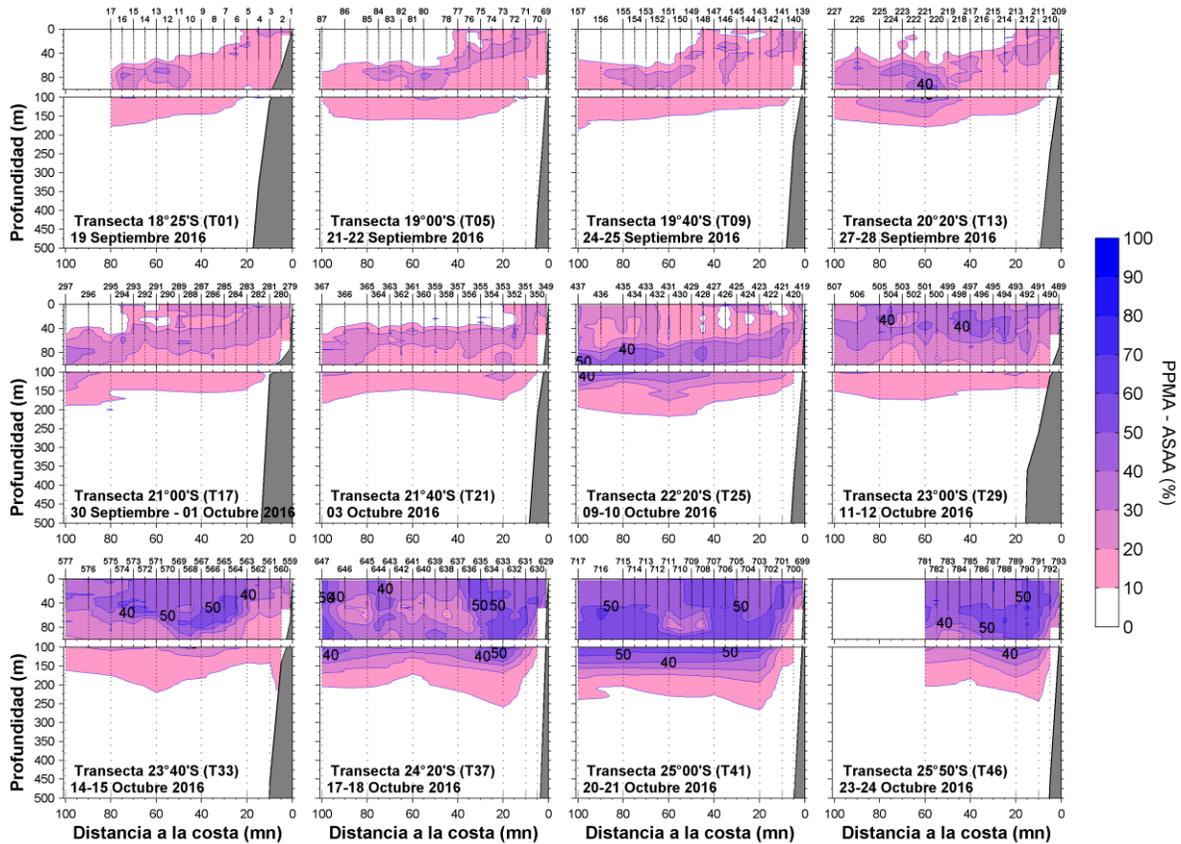


Figura 20. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de Agua Subantártica (ASAA) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



### 2.1.1.5.3 Ecuatorial Subsuperficial (AESS)

Estuvo presente en pr3cticamente en toda el 3rea muestreada. En el sector oce3nico PPMA >50% se observaron, en la mayor3a de las transectas bajo los 40 m. Desde T1 a T25 los PPMA en los primeros 40 m fluctuaron ~40%, disminuyendo a 10% desde T33 al sur. En los niveles m3s profundos, PPMA >50% se registraron a ~500 m en el extremo norte y hasta los 400 m en el extremo sur. Los n3cleos >80% estuvieron centrados en los 150 m con mayores espesores al norte desde T21 (~90-250 m). Hacia el sur este n3cleo disminuy3 su presencia registr3ndose s3lo en las estaciones costeras en el extremo sur. Hacia la costa, las isol3neas de porcentajes mostraron en todas las transectas pendientes positivas dentro de los 100 m, ubic3ndose la isol3nea de 50% en un rango entre superficie y 20 m (Figura 21).

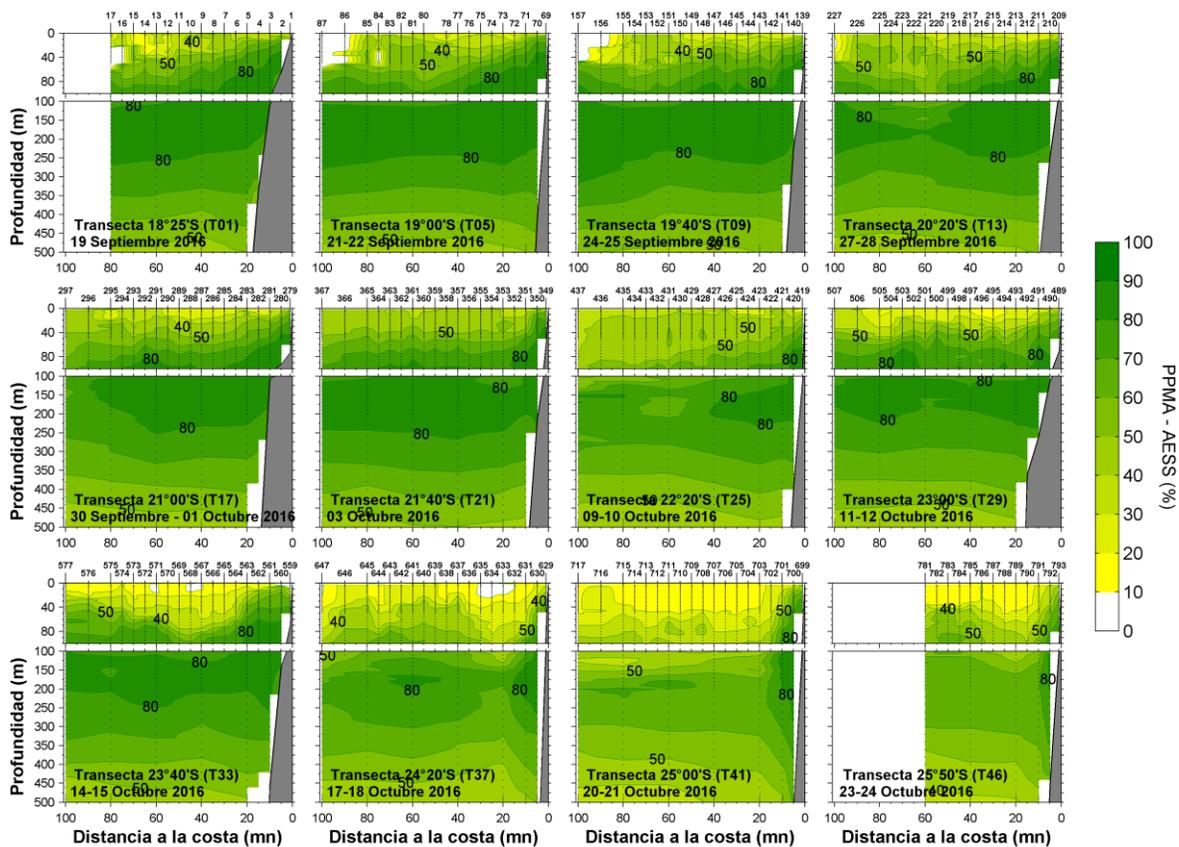


Figura 21. Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS) hasta 500 m de profundidad en las transectas oceanogr3ficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



## 2.1.1.6 Transectas paralelas a la costa

### 2.1.1.6.1 Temperatura

La isoterma de 15°C en el sector costero se ubicó en una banda continua desde Arica hasta Antofagasta, a profundidades entre los 5 m (22°S) y 30 m (al norte de 21°S). Hacia el sur, a nivel superficial primaron valores <14°C, por lo que no se registra esta isoterma.

El máximo superficial se midió en Antofagasta >18°C. La profundidad de la isoterma de 15°C varió hacia el sector oceánico entre 50 y 75 m, con la excepción de área de Mejillones-Antofagasta, donde se ubicó a ~25 m. Valores superficiales >18°C se registraron en las 80 mn desde caleta Chipana hacia el norte en forma de núcleos, los que quedaron relegados al norte de los 20°S en las 100 mn.

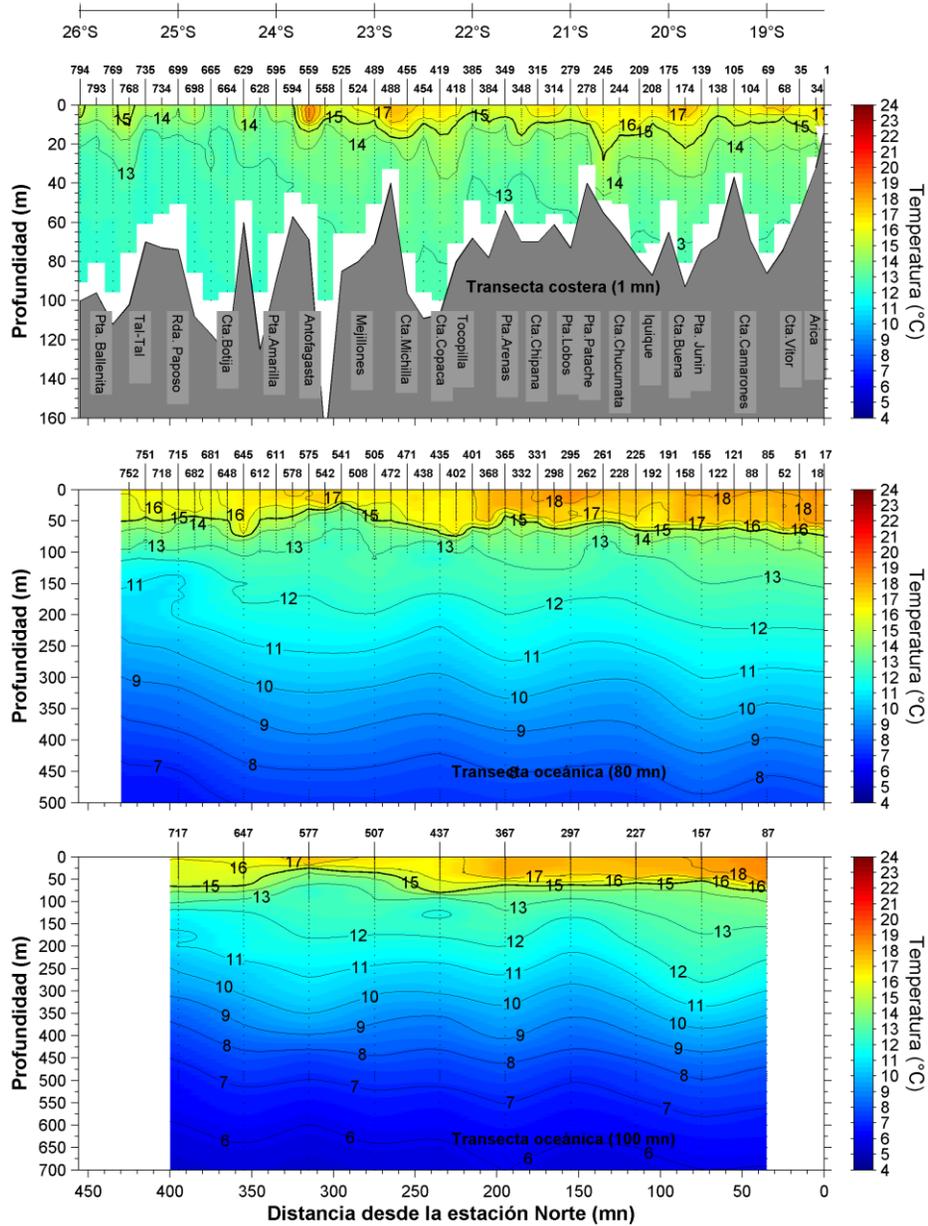
Tanto en las 80 mn como en las 100 mn se observaron hundimientos de las isotermas de valor  $\leq 12^\circ\text{C}$ , bajo los 150 m en las áreas de caleta Botija–Mejillones, al norte de los 22°S (punta Arenas) y punta Junín. En los niveles más profundos, bajo los 500 m, la temperatura se mantuvo con poca variación, disminuyendo 1°C bajo los 600 m (**Figura 22**).

### 2.1.1.6.2 Salinidad

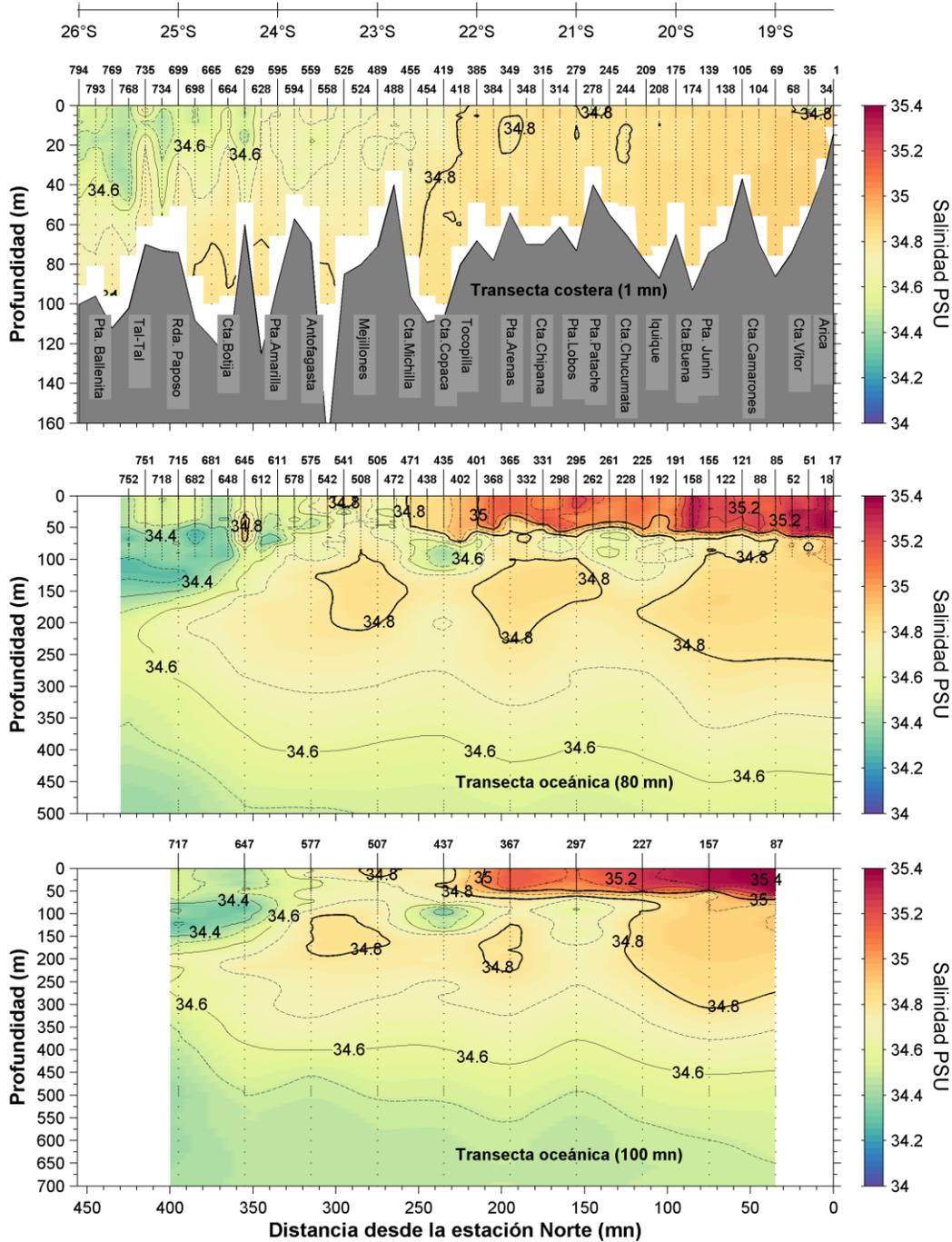
En la costa, principalmente al norte de los 23°S (caleta Michilla) las columnas se observaron con poca variación fluctuando en valores cercano a 34,8. Sólo en las áreas de punta Patache y Arica, a nivel superficial, la salinidad fue menor. Hacia el sur de los 24°S en la costa se detectaron valores <34,6 en núcleos que abarcaron como máximo 45 m al sur de Tal-Tal. En las 80 y 100 mn, se identificó un máximo salino superficial (>34,8) desde el extremo norte hasta caleta Michilla (80 mn) con un espesor ~50 m y valores >35,3 desde los 19°40'S al norte (100 mn). Desde el extremo sur, un mínimo salino subsuperficial (~50-175 m, <34,4), se extendió hasta Antofagasta. Hacia el norte, la salinidad aumentó a valores ~34,6 centrado en los 100 m en Caleta Copaca, y ~34,8 en los 19°S. Bajo esta capa, en el extremo norte se registró un máximo salino subsuperficial en el rango 34,6 a 34,8 hasta los 400 m, disminuyendo su espesor y valores hacia el sur. Bajo los 500 m la salinidad disminuyó lentamente midiéndose valores  $\pm 34,5$  desde el extremo norte hasta los 23°S y <34,5 hacia el sur (**Figura 23**).

### 2.1.1.6.3 Densidad

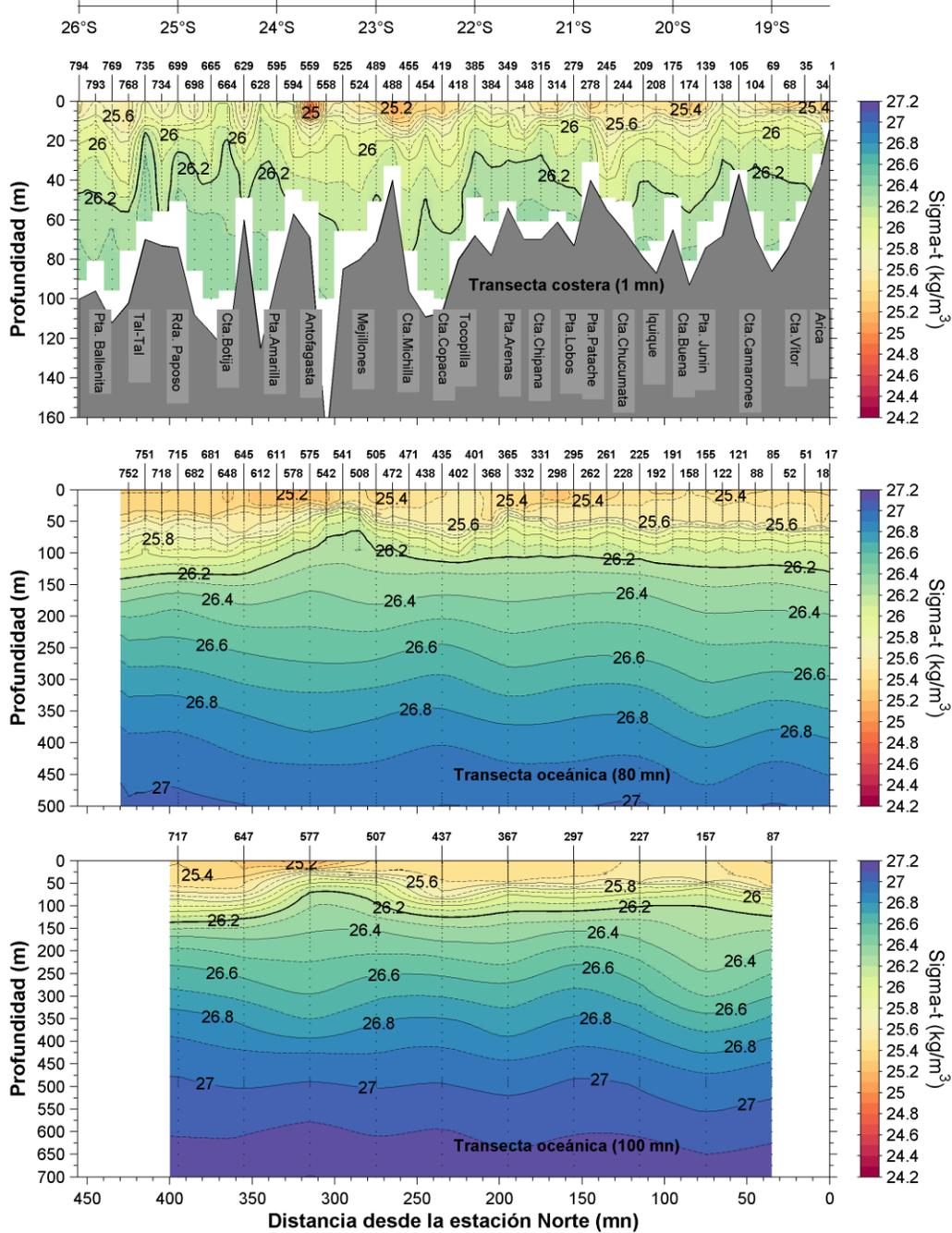
Picnoclinas bien definidas se observaron en las tres transectas, quedando limitadas por la isopicna de 26,2 kg/m<sup>3</sup> que se ubicó entre los 75 y 150 m en las 80 y 100 mn. A nivel superficial, aguas menos densas (<25,6 kg/m<sup>3</sup>) predominaron en los primeros 50 m en la transecta de 100 mn, valores que aumentaron hacia la costa, con la excepción del área de Antofagasta donde se observó un núcleo de 25 kg/m<sup>3</sup>. En este sentido, en la costa la isopicna de 26,2 kg/m<sup>3</sup> se ubicó a menos de 40 m en el área de caleta Camarones, entre 21°20'S y 22°S, más varios pulsos entre los 24° y 25°30'S. Bajo los 500 m la densidad aumentó gradualmente hasta valores >27,1 kg/m<sup>3</sup> bajo los 600 m (**Figura 24**).



**Figura 22.** Distribuci3n vertical de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) paralela a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100, 500 y 700 m de profundidad respectivamente. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



**Figura 23.** Distribuci3n vertical de Salinidad paralela a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100, 500 y 700 m de profundidad respectivamente. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.

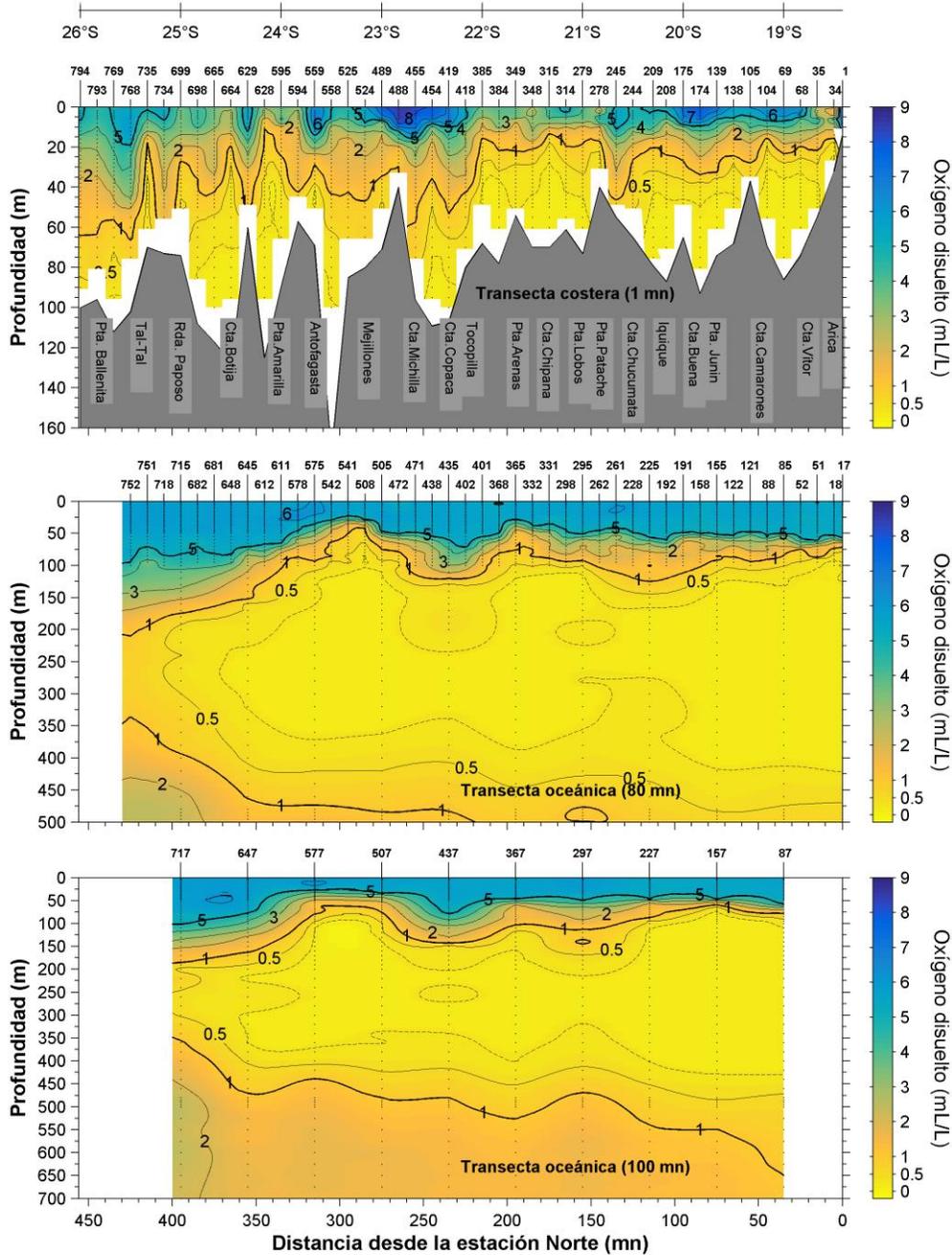


**Figura 24.** Distribuci3n vertical de densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) paralela a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100, 500 y 700 m de profundidad respectivamente. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



#### 2.1.1.6.4 Oxígeno

En el sector costero, se observaron los mayores cambios en la concentración de OD, con núcleos >5mL/L repartidos a lo largo de la transecta, siendo los más extensos entre los 19° y 20°S (máx >7 mL/L) y entre los 22° y 23°S (máx >8 mL/L, al sur de Michilla). La isolínea de 1 mL/L fluctuó entre los 10 m (24°10'S) y 65 m (Michilla y el extremo sur de la zona, 26°S). En las 80 y 100 mn, la capa superficial se observó más homogénea con concentraciones >5 mL/L. En profundidad, la oxiclina se observó bien definida y con una tendencia a profundizarse hacia el sur, ampliando su rango de profundidad (~25 m en el extremo norte, a ~100 m en los 25°S). En las 100 mn se observó completa la capa de mínimo OD, la que abarcó más de 500 m en el extremo norte, disminuyendo a 175 m en el extremo sur, centrado en los 250 m. En los niveles más profundos, las concentraciones >2 mL/L se detectaron bajo los 450 m en el extremo sur (**Figura 25**).

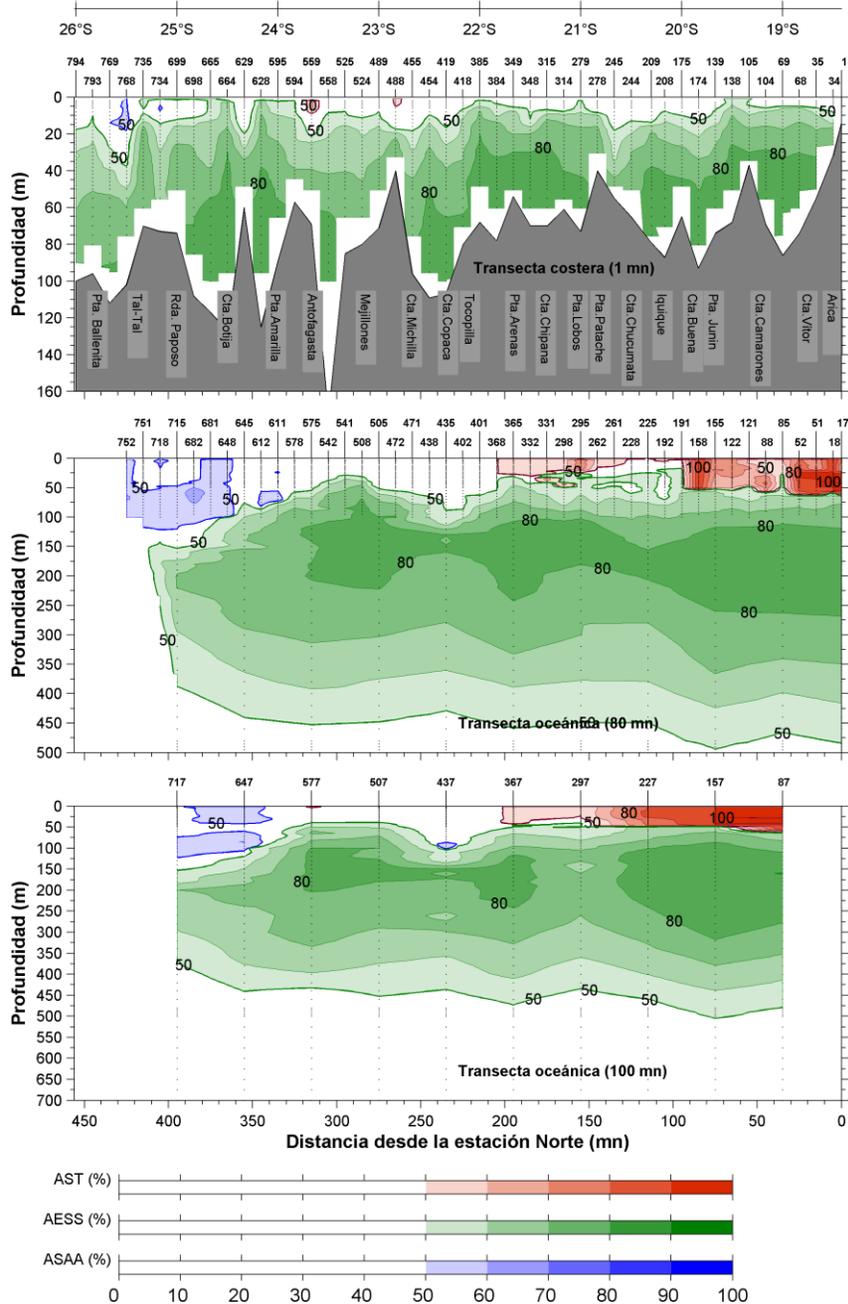


**Figura 25.** Distribuci3n vertical de oxígeno disuelto (mL/L) paralelo a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100, 500 y 700 m de profundidad respectivamente. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



#### 2.1.1.6.5 Masas de agua

En las tres transectas la masa de agua dominante fue el AESS. En las secciones de 80 y 100 mn los PPMA de AESS >50% abarcaron entre los 50 y 450 m, con un núcleo >80% centrado en los 150-200 m entre Arica y Antofagasta. Los PPMA de AESS >50%, se registraron a nivel superficial al norte de punta Junín (19°30'S) y en pulsos entre los 24° y 25°S, y en Tal-Tal. Al norte de los 22°S, los PPMA >80% se registraron entre los 20 y 50 m, y entre 24° y 25°S se ubicó entre los 40 y 65 m. En el extremo sur sólo se detectó bajo los 90 m. El AST presentó 100% de PPMA en los primeros 50 m el extremo norte, disminuyendo hasta un 50% al norte de los 22°S (punta Arenas). PPMA de ASAA >50% se registraron en los primeros 100 m, desde los 25°30'S en el extremo sur, hasta caleta Botija (24°30'S). En la costa, tanto el AST como el ASAA presentaron escasos focos de PPMA >50%, quedando restringidos a los primeros 15 m en Antofagasta y sur de Tal-Tal, respectivamente (**Figura 26**).

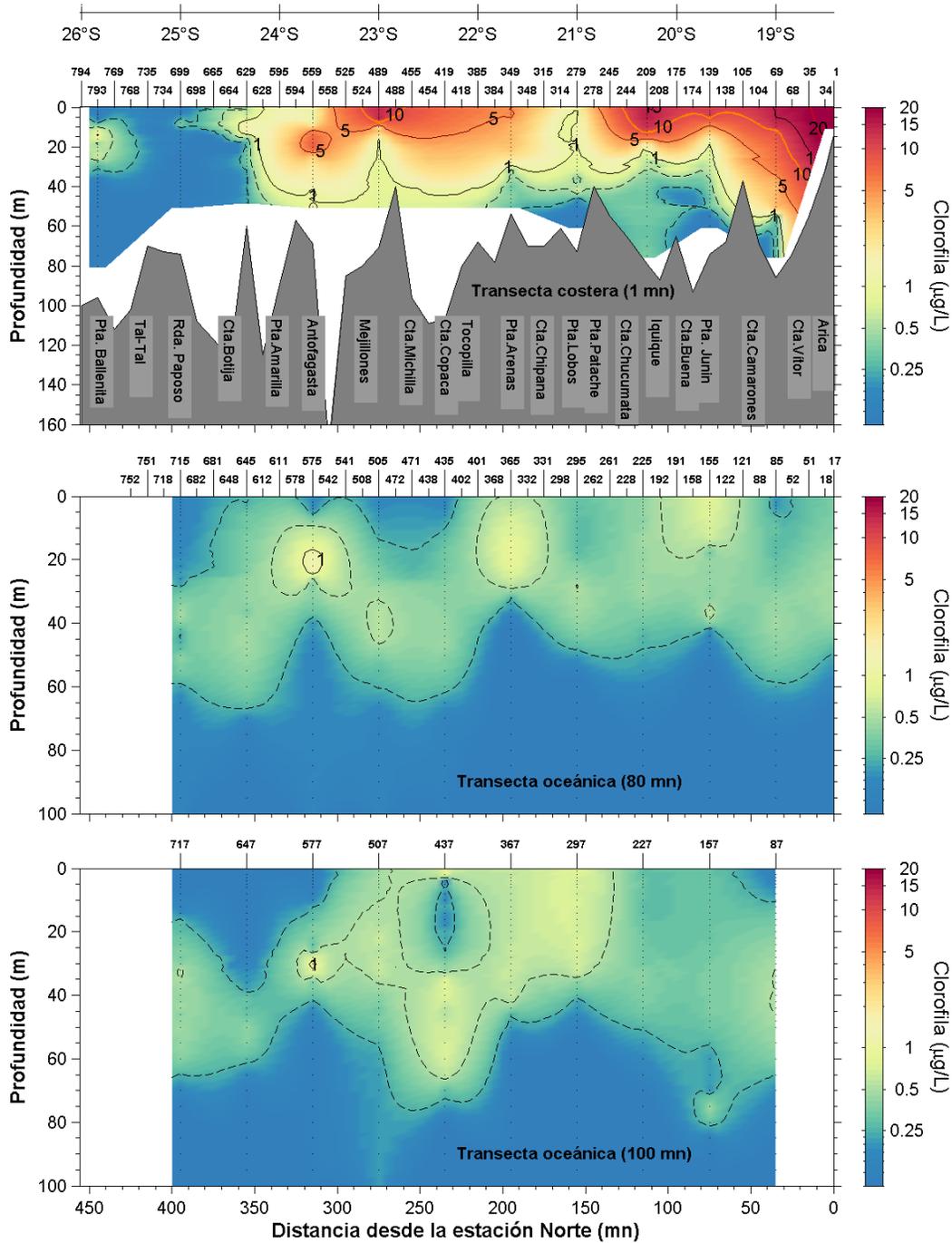


**Figura 26.** Distribuci3n vertical del porcentaje de participaci3n de la masa de Agua Subtropical (AST), Subantártica (ASSA) y Ecuatorial Subsuperficial (AESS) paralela a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 700 m de profundidad en las transectas oceanográficas. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.



#### **2.1.1.6.6 Clorofila**

En la transecta costera, concentraciones de cloa  $>1 \mu\text{g/L}$  se extendieron desde el extremo norte hasta el sur de punta Amarilla ( $42^{\circ}20'S$ ), con un espesor variable de promedio 30 m al norte de los  $22^{\circ}S$ . Concentraciones  $>10 \mu\text{g/L}$  abarcaron desde Arica, donde registró el máximo,  $>20 \mu\text{g/L}$ , hasta Iquique, mientras que una segunda franja de valores  $>5 \mu\text{g/L}$  se extendió entre los  $22^{\circ}$  y  $23^{\circ}40'S$ . En las secciones de 80 y 100 mn, las concentraciones  $>1 \mu\text{g/L}$  se registraron en un núcleo subsuperficial centrado en 20 a 25 m de profundidad (**Figura 27**).



**Figura 27.** Distribuci3n vertical de clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ) paralelo a la costa a 1, 80 y 100 mn hasta 100 m de profundidad. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.

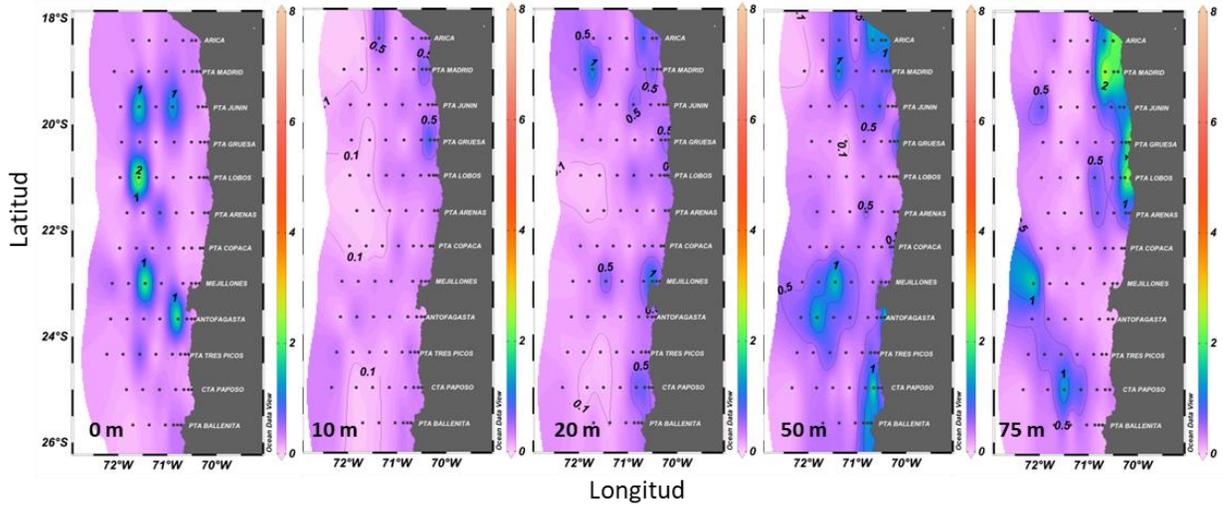


## 2.1.2. Nutrientes

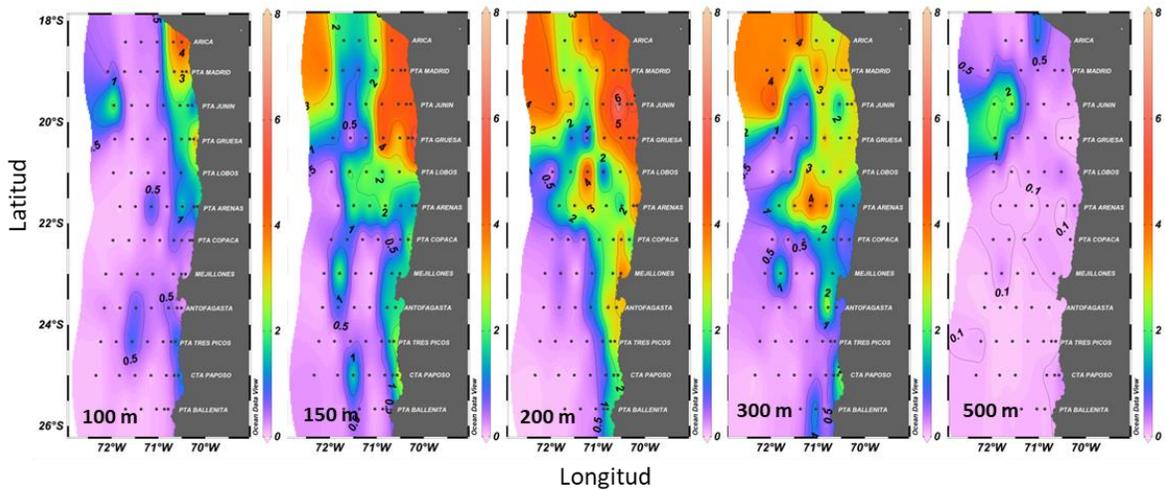
### 2.1.2.1.1 Nitrito

El nitrito presentó concentraciones mínimas de 0,0  $\mu\text{M}$  y un máximo de 8,1  $\mu\text{M}$ , las que aumentaron con la profundidad y hacia el sector oceánico desde los 150 m.

La distribución horizontal entre la superficie y los 75 m de profundidad, mostró concentraciones inferiores a 1,0  $\mu\text{M}$  en toda el área, con focos levemente superiores que se distribuyeron entre la costa y las 100 mn. A 75 m se registró un foco en el sector Arica (18°25'S)-punta Lobos (21°00'S) restringido a las primeras 20 mn, que alcanzó un máximo de 3,9  $\mu\text{M}$  a 5 mn de la costa (**Figura 28**). Entre los 100 m y 300 m de profundidad el foco se intensificó, extendiéndose hacia la región oceánica (100 mn), en el sector Arica-punta Lobos (18°25'S-21°00'S), y hacia el sur desde punta Gruesa (21°40'S) por la franja entre 5 mn y 20 mn. La máxima concentración (8,1  $\mu\text{M}$ ) se registró a 200 m de profundidad, frente a punta Junín (19°40'S) a 20 mn de la costa. Entre los 150 y 300 m de profundidad se observó la intrusión, desde el sur y desde la región oceánica, de una masa de agua de bajo contenido de nitrito que irrumpió en el sector norte donde se detectaron las mayores magnitudes. En el estrato de los 500 m de profundidad predominaron concentraciones inferiores a 0,5  $\mu\text{M}$ , excepto por un núcleo oceánico (80-100 mn) de valores cercanos a 3,0  $\mu\text{M}$  que se registró entre punta Junín (19°40'S) y punta Gruesa (20°20'S) (**Figura 29**).

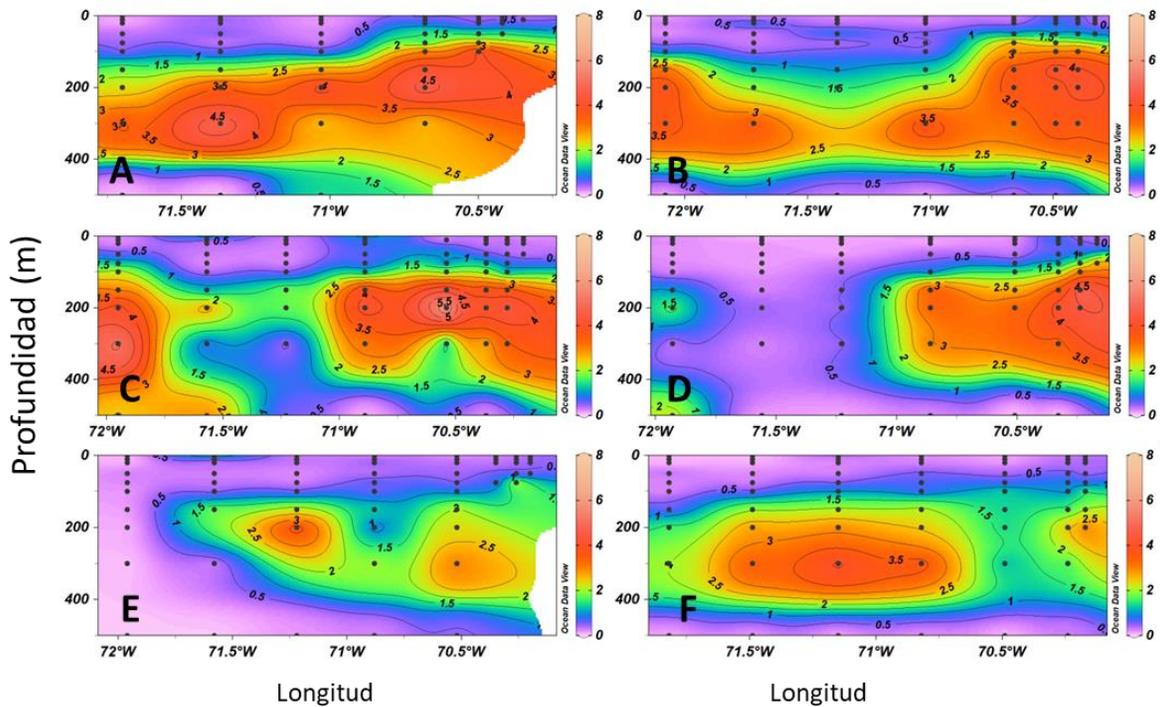


**Figura 28.** Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de nitrito ( $\mu\text{M}$ ) entre la superficie y los 75 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

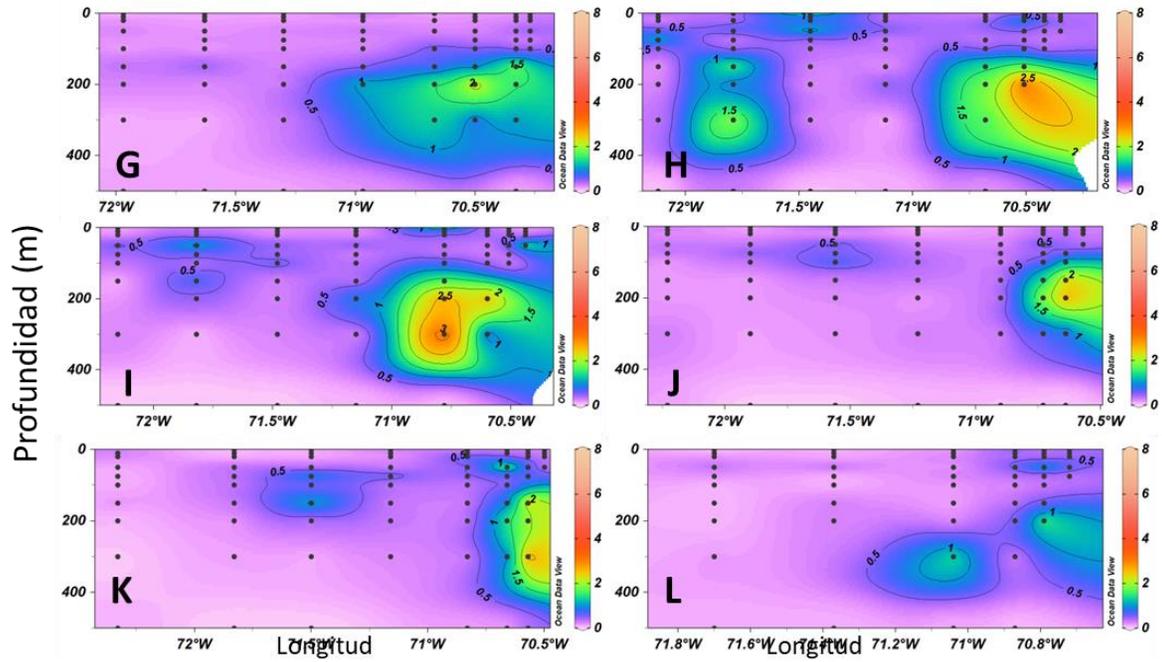


**Figura 29.** Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de nitrito ( $\mu\text{M}$ ) entre los 100 m y 500 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

Las secciones verticales mostraron las bajas concentraciones ( $<1,0 \mu\text{M}$ ) distribuidas entre la superficie y los 100 m de profundidad y entre 1 y 100 mn, con una leve tendencia al ascenso de las isolineas en la costa (1-10 mn) en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) y punta Madrid ( $19^{\circ}00'S$ ). Entre los 150 m y 400 m se observ3 una capa rica en nitrito ( $>2,0 \mu\text{M}$ ) que se extendi3 a lo largo de toda la transecta entre Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) y punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ), excepto en punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ) donde se observ3 la intrusi3n de un agua de bajo contenido de nitrito, alrededor de los 300 m de profundidad (**Figura 30**). Las secciones desde Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) a punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ) revelaron un predominio de concentraciones inferiores a  $1,0 \mu\text{M}$  en toda la columna de agua, con n3cleos cercanos a  $3,0 \mu\text{M}$  restringidos a las primeras 20 mn de la costa en el estrato entre los 150 m y 400 m de profundidad (**Figura 31**).



**Figura 30.** Distribuci3n vertical de la concentraci3n de nitrito ( $\mu\text{M}$ ) en A: Arica ( $18^{\circ}25'S$ ), B: punta Madrid ( $19^{\circ}00'S$ ), C: punta Jun3n ( $19^{\circ}40'S$ ), D: punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ), E: punta Lobos ( $21^{\circ}00'S$ ) y F: punta Arenas ( $21^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.



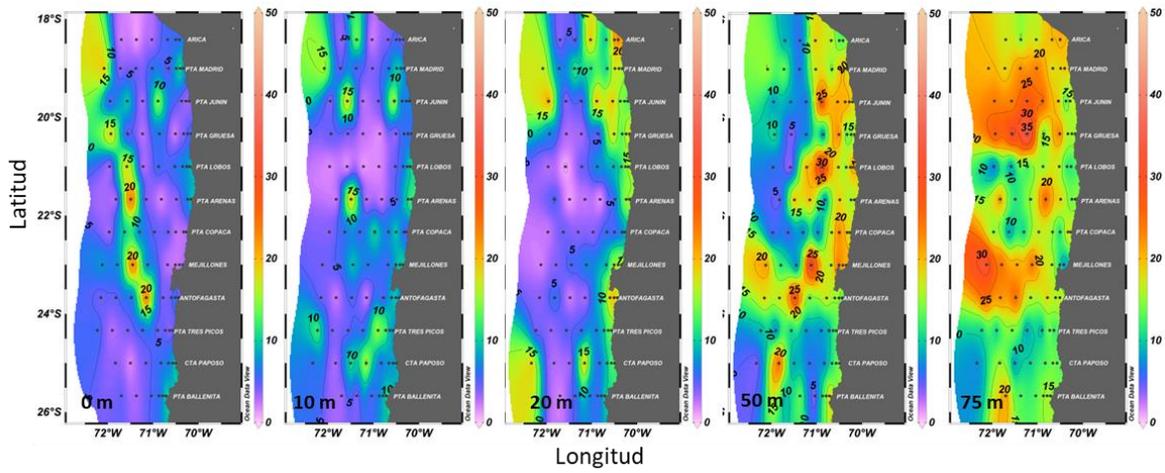
**Figura 31** Distribuci3n vertical de la concentraci3n de nitrito ( $\mu\text{M}$ ) en G: punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ), H: Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), I: Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), J: punta Tres Picos ( $24^{\circ}00'S$ ), K: caleta Paposo y L: punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.



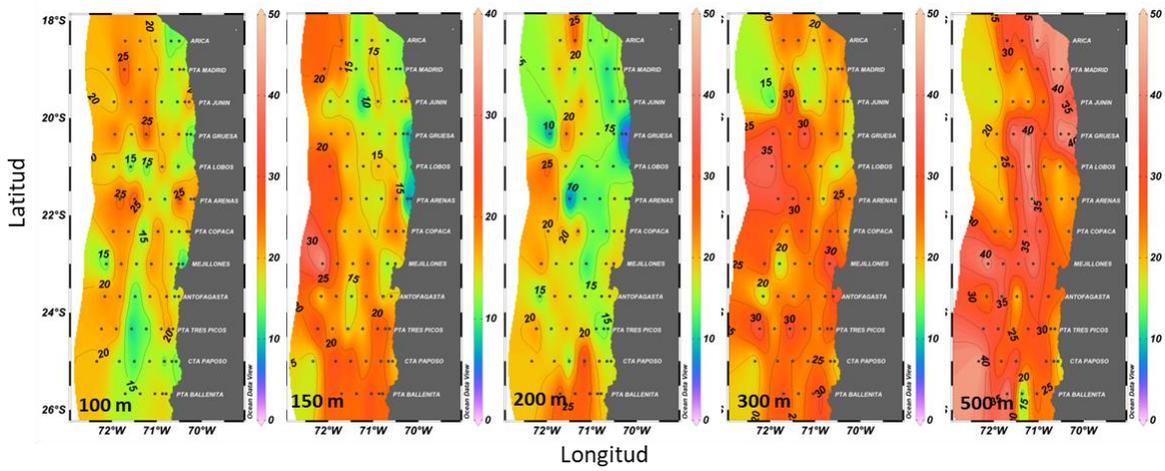
### 2.1.2.1.2 Nitrato

Las concentraciones de nitrato fluctuaron entre un mínimo de 0,1 y un máximo de 50,2  $\mu\text{M}$ , observándose un aumento de los valores con la profundidad y costa afuera.

La distribución horizontal entre la superficie y los 10 m de profundidad mostró la predominancia de concentraciones inferiores a 10,0  $\mu\text{M}$  en toda el área, con pequeños focos cercanos a 15,0  $\mu\text{M}$  distribuidos sin un patrón definido. A partir de los 20 m el nitrato se incrementó a valores superiores a 20,0  $\mu\text{M}$ , los que a 50 m se distribuyeron entre la costa y las 40 mn con máximos cercanos a 40,0  $\mu\text{M}$ , observándose una proyección hacia las 100 mn frente a Mejillones (23°00'S). A 75 m toda la zona entre Arica (18°25'S) y Antofagasta (23°40'S), y entre la costa y las 100 mn, mostró concentraciones mayores a 30  $\mu\text{M}$ , alcanzando un máximo de 41,1  $\mu\text{M}$  a 60 mn en punta Gruesa (20°20'). Desde Antofagasta (23°40'S) al sur se detectó la intrusión de un agua de bajo contenido de nitrato, que generó la predominancia valores inferiores a 10,0  $\mu\text{M}$  (**Figura 32**). En los estratos entre los 100 m y 500 m de profundidad toda el área se encontró influenciada por valores superiores a 20  $\mu\text{M}$ . A 300 m se observaron varios núcleos superiores a 30,0  $\mu\text{M}$  principalmente en la región oceánica (60-100 mn) desde punta Gruesa (20°20'S) al sur. A 500 m de profundidad se observó un dominio de concentraciones mayores a 30,0  $\mu\text{M}$ , las que se vieron interrumpidas, en el sector norte, por el ingreso de un agua de menor contenido de nitrato desde la región oceánica. En esta profundidad se registró el máximo principal que alcanzó 50,2  $\mu\text{M}$  a 40 mn de la costa frente a Arica (18°25'S), y un máximo secundario de 46,7  $\mu\text{M}$  a 20 mn en punta Gruesa (20°20'S) (**Figura 33**).

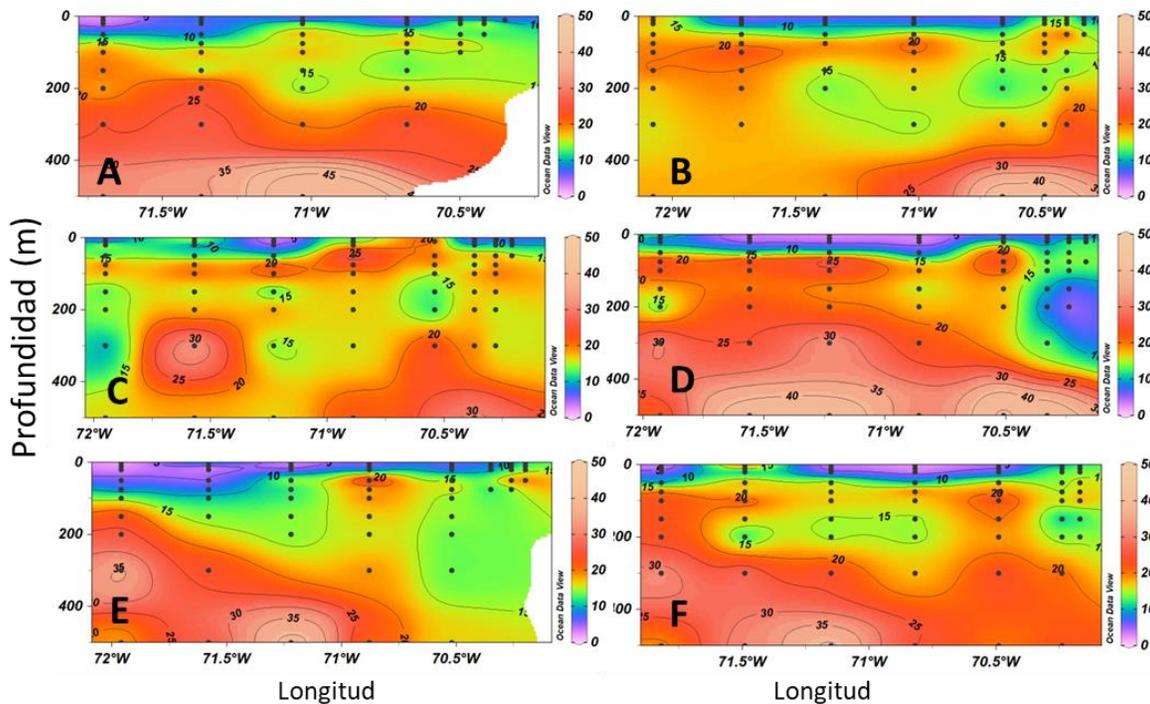


**Figura 32.** Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de nitrato ( $\mu\text{M}$ ) entre la superficie y los 75 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

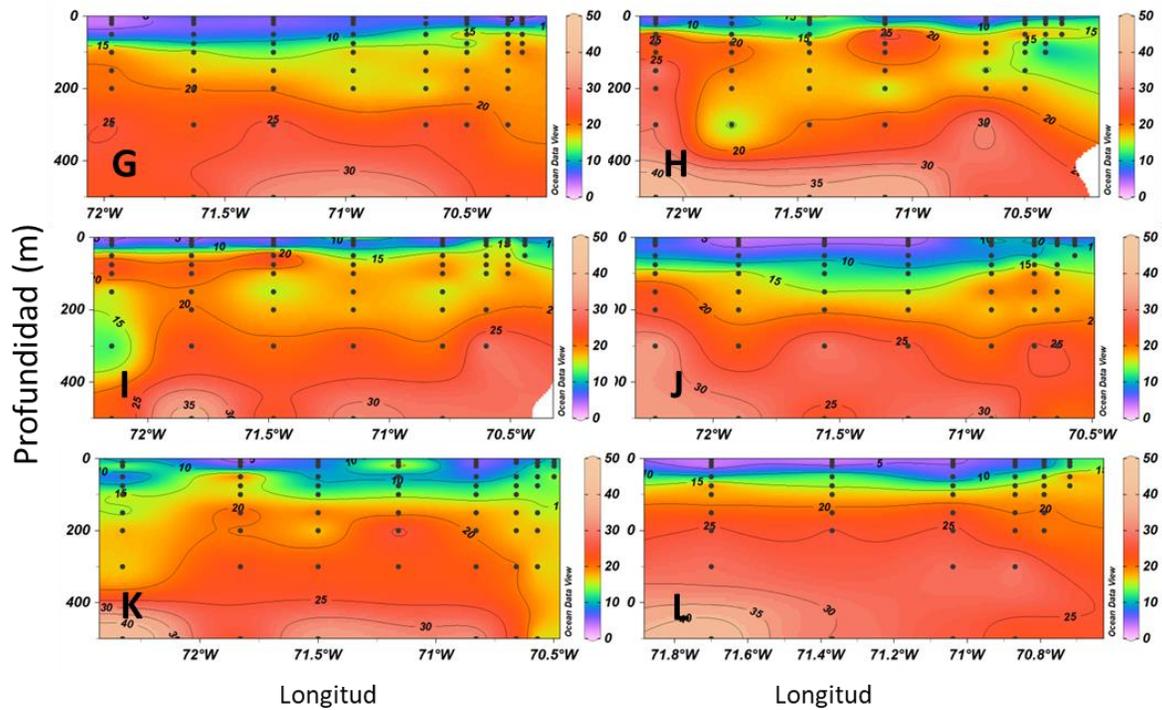


**Figura 33.** Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de nitrato ( $\mu\text{M}$ ) entre los 100 m y 500 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

En la componente vertical, todas las localidades mostraron concentraciones inferiores a  $10,0 \mu\text{M}$  entre la superficie y los 20 m. Hacia los estratos más profundos el nitrato se incrementó asociado a un fuerte gradiente que alcanzó valores máximos a 500 m, con focos superiores a  $45,0 \mu\text{M}$  en Arica ( $18^\circ 25' \text{S}$ ) y en punta Gruesa ( $20^\circ 20' \text{S}$ ) y entre las 20 y 40 mn de la costa. En las secciones de punta Madrid ( $19^\circ 00' \text{S}$ ) y punta Junín ( $19^\circ 40' \text{S}$ ), se observó la influencia de la intrusión de agua de bajo contenido de nitrato, que afectó la columna de agua bajo los 200 m de profundidad en la región oceánica ( $>40 \text{ mn}$ ) (Figura 34 y Figura 35).



**Figura 34.** Distribución vertical de la concentración de nitrato ( $\mu\text{M}$ ) en A: Arica ( $18^\circ 25' \text{S}$ ), B: punta Madrid ( $19^\circ 00' \text{S}$ ), C: punta Junín ( $19^\circ 40' \text{S}$ ), D: punta Gruesa ( $20^\circ 20' \text{S}$ ), E: punta Lobos ( $21^\circ 00' \text{S}$ ) y F: punta Arenas ( $21^\circ 40' \text{S}$ ), durante septiembre de 2016.



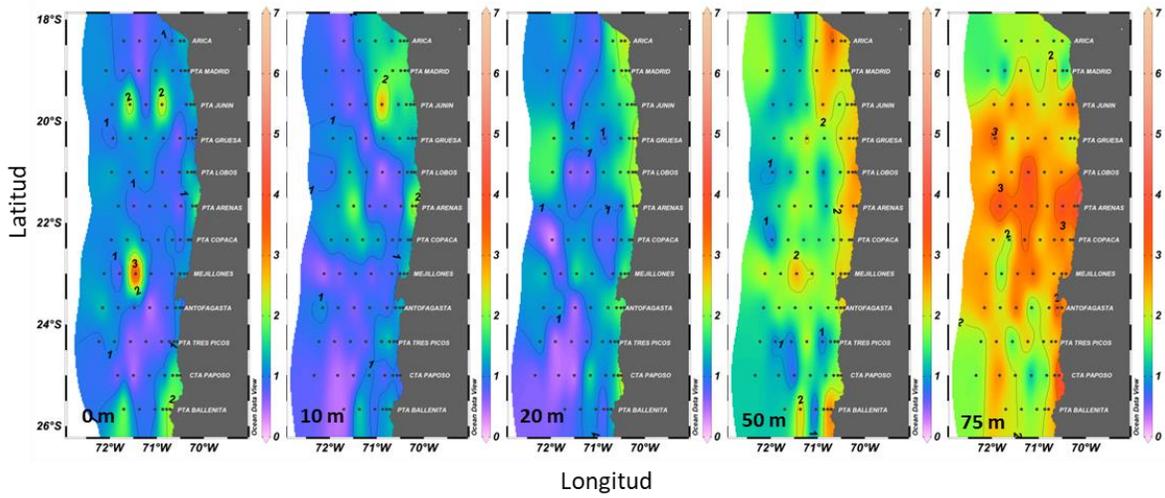
**Figura 35.** Distribuci3n vertical de la concentraci3n de nitrato ( $\mu\text{M}$ ) en G: punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ), H: Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), I: Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), J: punta Tres Picos ( $24^{\circ}00'S$ ), K: caleta Paposo y L: punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.



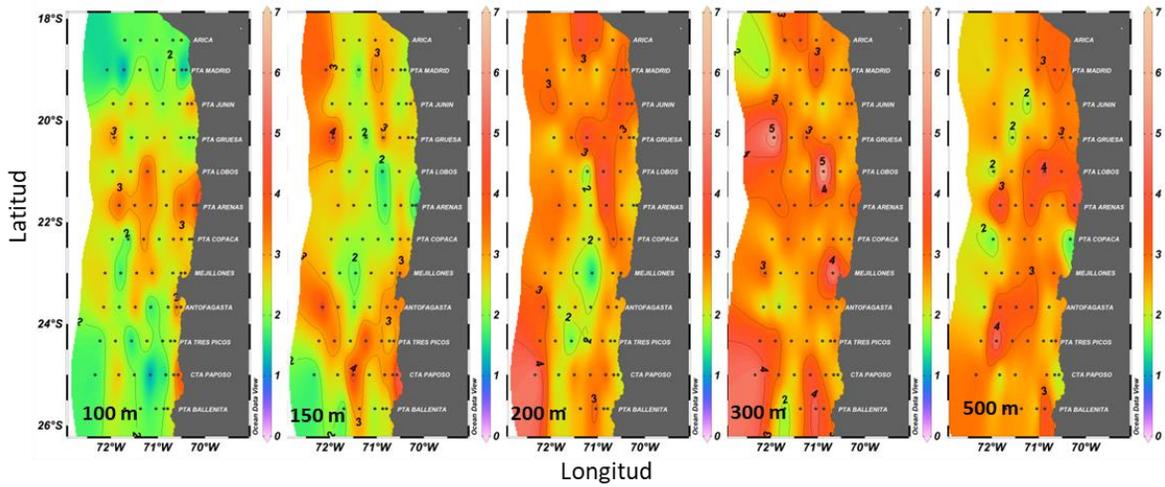
### 2.1.2.1.3 Fosfato

El fosfato presentó valores extremos de 0,0 y 7,1  $\mu\text{M}$ . Con un patrón similar al del nitrato, este nutriente se caracterizó por el aumento de las concentraciones con la profundidad y hacia la región oceánica.

La distribución entre la superficie y los 20 m, reveló la dominancia de concentraciones cercanas a 1,0  $\mu\text{M}$ , observándose varios núcleos que, en superficie, exhibieron un máximo de 4,5  $\mu\text{M}$  a 60 mn frente a Mejillones (23°00'S). A 10 m y 20 m éstos se acercaron a la costa, registrándose un valor de 3,5  $\mu\text{M}$  a 1 mn en Paposo (25°00'). A 50 m las altas concentraciones (>2,0  $\mu\text{M}$ ) se extendieron hacia la región oceánica, destacando el sector frente a Mejillones (23°00'S). A 75 m la zona entre Arica (18°25'S) y Antofagasta (23°40'S), y entre 1 mn y 100 mn, se encontró influenciada por valores de fosfato superiores a 2,0  $\mu\text{M}$ , con un máximo de 4,7  $\mu\text{M}$  a 100 mn de la costa frente a Mejillones (23°00'S). Desde Antofagasta (23°40'S) al sur, predominaron bajas concentraciones debido a la presencia de un agua de bajo contenido de fosfato (**Figura 36**). A 100 m de profundidad este patrón se modificó, observándose concentraciones mayores a 3,0  $\mu\text{M}$  entre punta Lobos (21°00'S) y punta Copaca (22°20'S). En el estrato 150-500 m, toda la zona exhibió valores superiores a 3,0  $\mu\text{M}$ , registrándose el máximo principal (7,1  $\mu\text{M}$ ) a 300 m y a 40 mn de la costa frente a punta Lobos (21°00'S) y uno secundario de 6,3  $\mu\text{M}$  a 100 mn en punta Gruesa (20°20'S) (**Figura 37**).

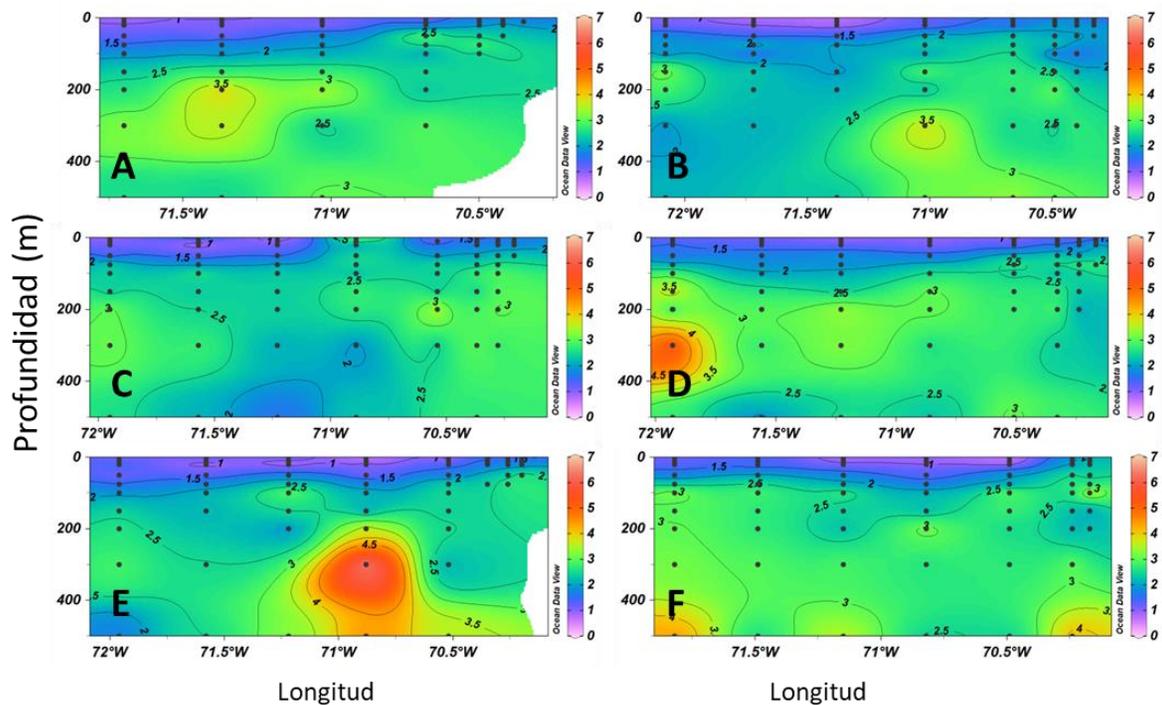


**Figura 36.** Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de fosfato ( $\mu\text{M}$ ) entre la superficie y los 75 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

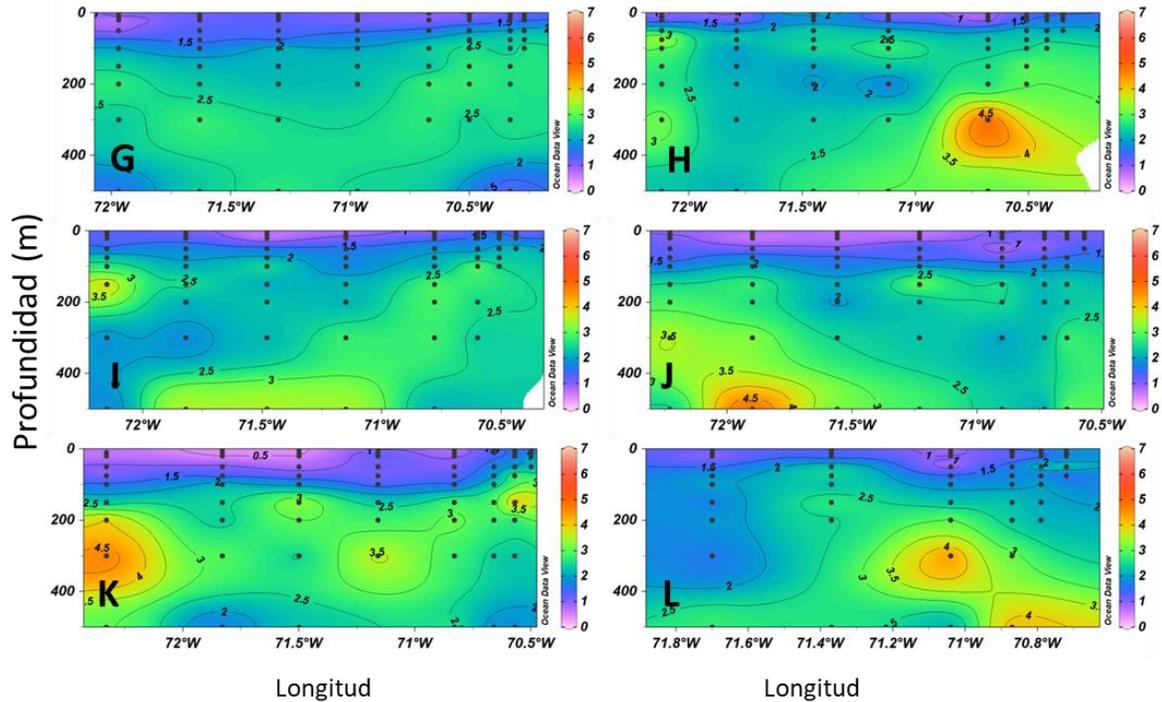


**Figura 37.** Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de fosfato ( $\mu\text{M}$ ) entre los 100 m y 500 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

La distribución vertical de fosfato mostró la capa superficial (0-10 m) dominada por concentraciones cercanas a  $1,0 \mu\text{M}$ , las que se extendieron entre la costa y las 100 mn, registrándose un leve ascenso hacia la costa de las isolíneas entre Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) y punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ). Hacia los estratos más profundos, toda la columna de agua se encontró influenciada por valores superiores a  $2,0 \mu\text{M}$ . Las concentraciones más importantes ( $>5,0 \mu\text{M}$ ) se localizaron a 300 m de profundidad, destacando el máximo secundario de  $6,3 \mu\text{M}$  registrado en punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ), el principal de  $7,1 \mu\text{M}$  de punta Lobos ( $21^{\circ}00'S$ ) y en el sur, los focos de  $5,0$  y  $5,1 \mu\text{M}$  detectados en Paposo ( $25^{\circ}00'S$ ) y punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ) (**Figura 38 y Figura 39**).



**Figura 38.** Distribución vertical de la concentración de fosfato ( $\mu\text{M}$ ) en A: Arica ( $18^{\circ}25'S$ ), B: punta Madrid ( $19^{\circ}00'S$ ), C: punta Junín ( $19^{\circ}40'S$ ), D: punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ), E: punta Lobos ( $21^{\circ}00'S$ ) y F: punta Arenas ( $21^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.

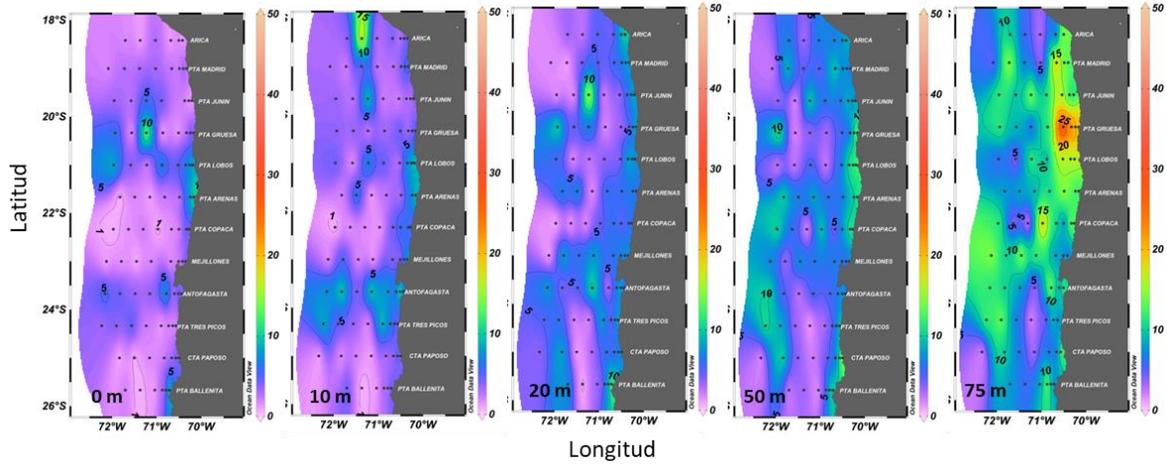


**Figura 39.** Distribuci3n vertical de la concentraci3n de fosfato ( $\mu\text{M}$ ) en G: punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ), H: Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), I: Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), J: punta Tres Picos ( $24^{\circ}00'S$ ), K: caleta Paposo y L: punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.

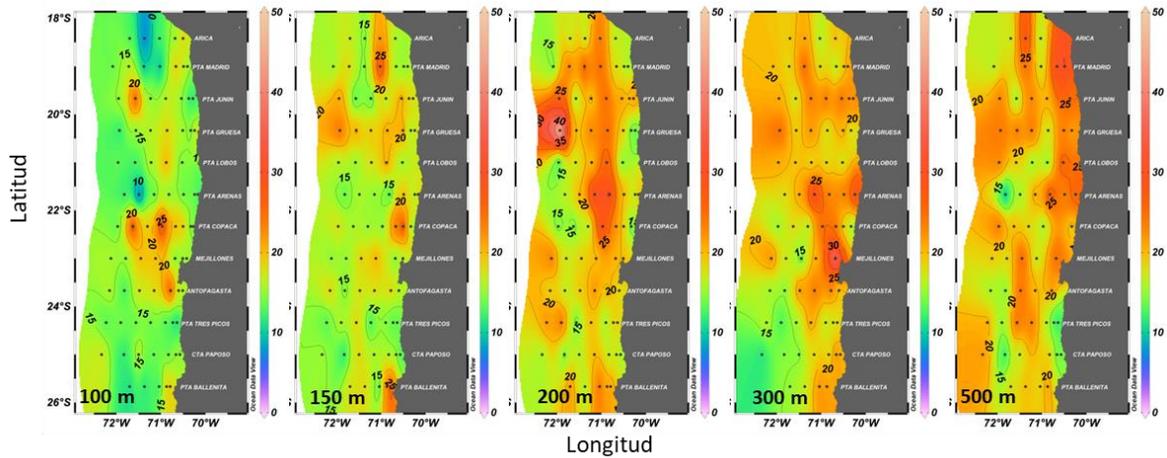
#### 2.1.2.1.4 Silicato

Las concentraciones de silicato fluctuaron en un rango entre  $0,0 \mu\text{M}$  y  $50,3 \mu\text{M}$ , y tambi3n exhibieron un incremento hacia los estratos m3s profundos y hacia la regi3n m3s alejada de la costa.

En superficie y a 10 m de profundidad, si bien la distribuci3n mostr3 un predominio de concentraciones inferiores a  $5,0 \mu\text{M}$ , se detectaron focos superiores a  $10,0 \mu\text{M}$  entre Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) y Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ) y entre la costa y las 100 mn, con un m3ximo de  $21,0 \mu\text{M}$  en Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) a 60 mn de la costa. Entre los 20 m y 75 m, toda la franja costera exhibi3 valores de silicato superiores a  $10,0 \mu\text{M}$ , los cuales se extendieron hacia la regi3n oce3nica principalmente en el sector Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ )-Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), alcanzando un m3ximo de  $35,2 \mu\text{M}$  a 20 mn de la costa a los 75 m de profundidad (**Figura 40**). Entre 100 y 500 m de profundidad toda el 3rea se encontr3 influenciada por concentraciones superiores a  $20,0 \mu\text{M}$ , con n3cleos mayores a  $30,0 \mu\text{M}$  localizados tanto a nivel costero como a 100 mn. La m3xima concentraci3n ( $50,3 \mu\text{M}$ ) se registr3 a 200 m frente a punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ) a 100 mn de la costa, y un m3ximo secundario de  $40,5 \mu\text{M}$  fue observado a 300 m en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) y a 20 mn (**Figura 41**).

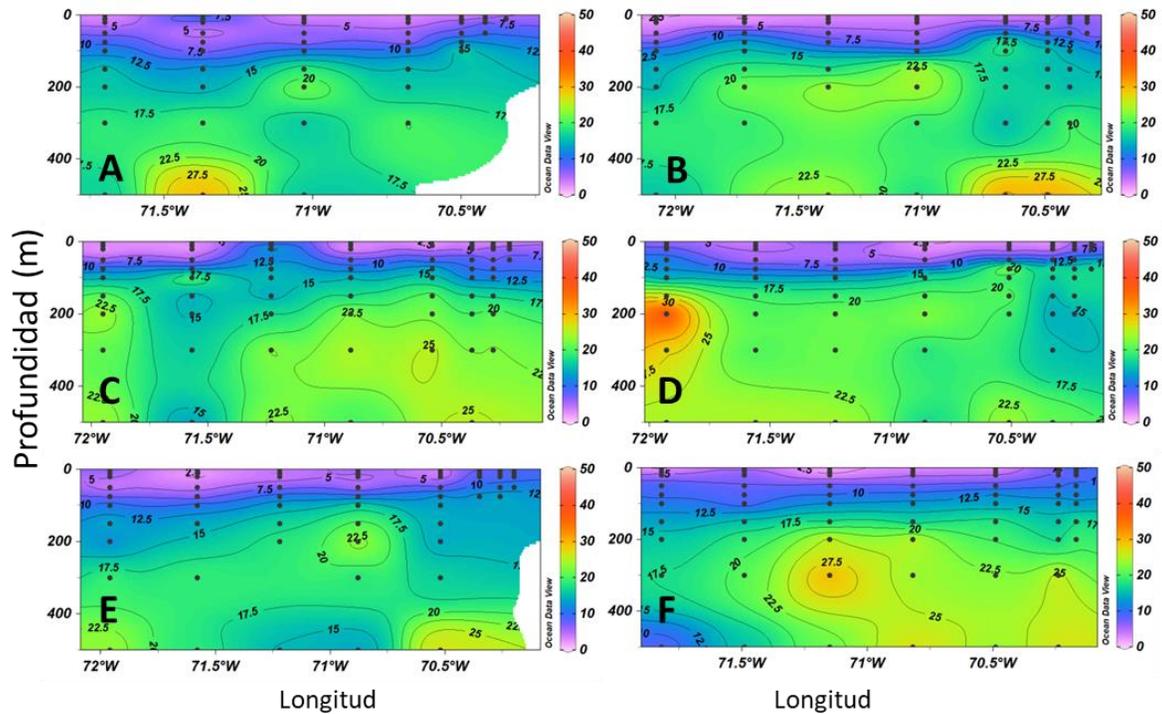


**Figura 40** Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de silicato ( $\mu\text{M}$ ) entre la superficie y los 75 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

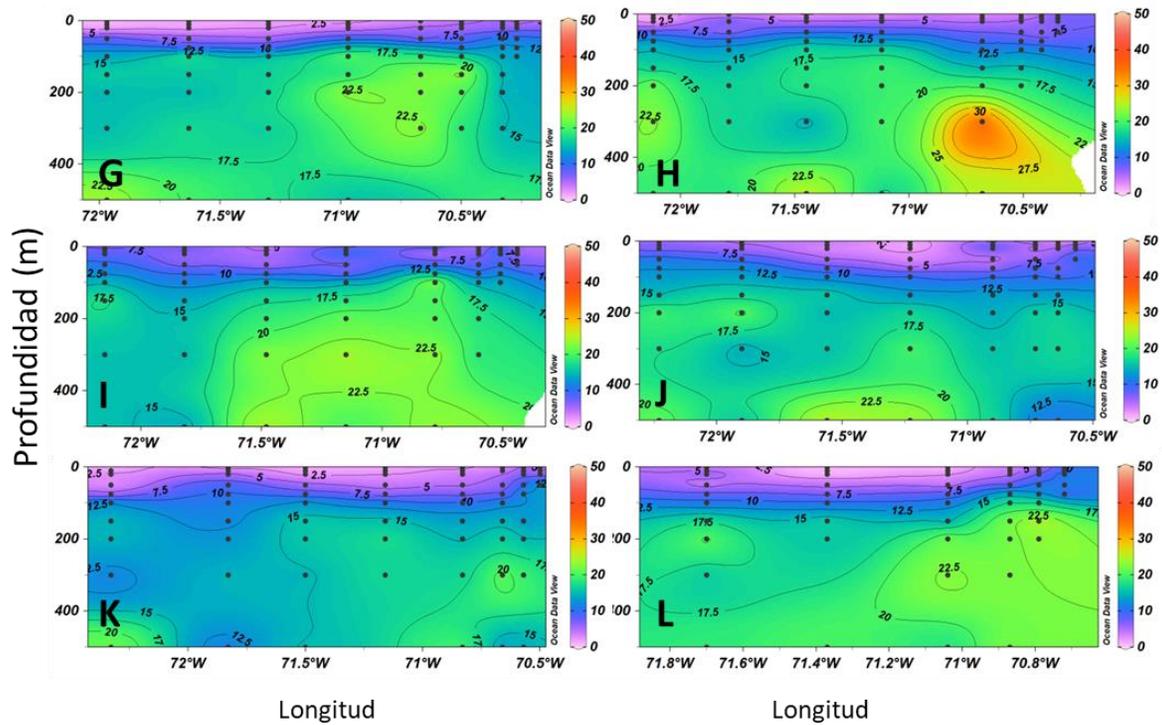


**Figura 41.** Distribuci3n horizontal de la concentraci3n de silicato ( $\mu\text{M}$ ) entre los 100 m y 500 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

Las secciones verticales mostraron, en todas las localidades, la dominancia de concentraciones menores a 10,0  $\mu\text{M}$  en el estrato 0-20 m. Bajo los 200 m la columna de agua exhibi3 valores superiores a 15,0  $\mu\text{M}$  con focos mayores a 30,0  $\mu\text{M}$  asociados principalmente a la intrusi3n de agua por el sector costero (1-20 mn). Se observ3 en punta Gruesa (20°20'S) la m3xima concentraci3n (50,3  $\mu\text{M}$ ) a 200 m entrando por el sector oce3nico (**Figura 42**), y el m3ximo secundario de 40,5  $\mu\text{M}$  en Mejillones (23°00'S) a 20 mn (**Figura 43**).



**Figura 42.** Distribuci3n vertical de la concentraci3n de silicato ( $\mu\text{M}$ ) en A: Arica (18°25'S), B: punta Madrid (19°00'S), C: punta Jun3n (19°40'S), D: punta Gruesa (20°20'S), E: punta Lobos (21°00'S) y F: punta Arenas (21°40'S), durante septiembre de 2016.



**Figura 43.** Distribuci3n vertical de la concentraci3n de silicato ( $\mu\text{M}$ ) en G: punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ), H: Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), I: Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), J: punta Tres Picos ( $24^{\circ}00'S$ ), K: caleta Paposo y L: punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ), durante septiembre de 2016.



## 2.1.2.2 Análisis Comparativo

### 2.1.2.2.1 Nitrito

Al considerar la información de manera global, las concentraciones de nitrito exhibieron diferencias estadísticamente significativas (**Tabla 11**), las cuales fueron generadas por los años 2009 y 2014 (**Tabla 12**). El año 2009 exhibió niveles más altos de nitrito que 2008, mientras que el año 2014 mostró las mayores concentraciones respecto de todos los periodos analizados (**Figura 44**). Al realizar el análisis por estrato, sólo los 10 m no presentaron diferencias significativas (**Tabla 11**). A nivel superficial se detectaron mayores concentraciones en 2015 respecto de 2008 y 2009. A los 100 m de profundidad los años 2009 y 2014 exhibieron niveles más altos de este nutriente que en 2008, 2015 y 2016, lo mismo se detectó a los 200 m de profundidad, excepto por el año 2015, durante el cual las concentraciones registradas en este estrato no resultaron significativamente diferentes respecto de ninguno de los periodos analizados (**Tabla 12, Figura 45**).

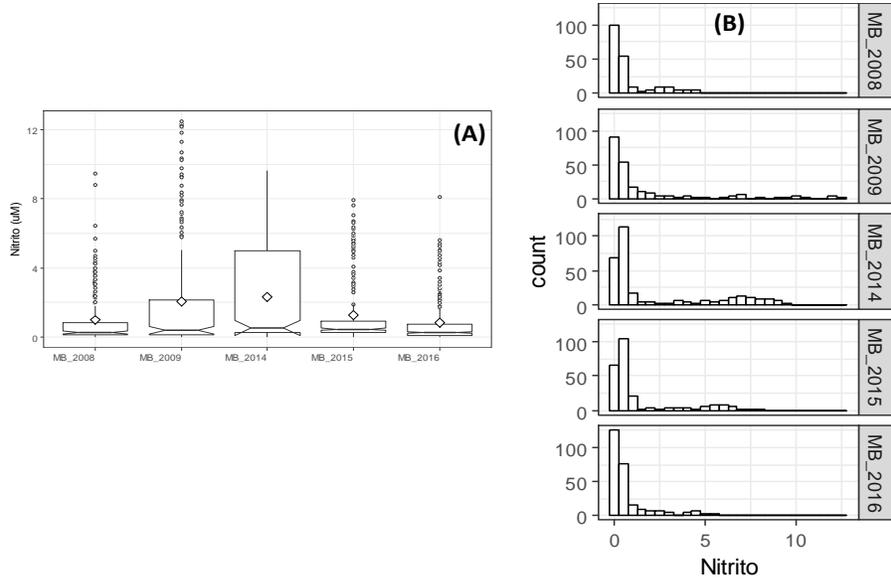
**Tabla 11.** Resultados de análisis comparativo (ANOVA) global y por estrato de las concentraciones de nutrientes registradas durante los cruceros de 2008, 2009, 2014, 2015 y 2016.

Nutriente	Profundidad	Valor F	p	Significancia
Nitrito	Global	17,05	0,000	0,001
	0 m	3,616	0,007	0,01
	50 m	5,790	0,000	0,001
	100 m	14,81	0,000	0,001
	200 m	10,46	0,000	0,001
Nitrato	Global	44,360	0,000	0,001
	0 m	11,220	0,000	0,001
	10 m	2,785	0,028	0,05
	50 m	10,680	0,000	0,001
	100 m	14,420	0,000	0,001
	200 m	5,222	0,001	0,001
Fosfato	Global	14,33	0,000	0,001
	0 m	5,578	0,000	0,001
	10 m	3,893	0,005	0,01
	50 m	4,866	0,001	0,001
Silicato	Global	26,040	0,000	0,001
	0 m	5,092	0,001	0,001
	10 m	7,102	0,000	0,001
	50 m	6,350	0,000	0,001
	100 m	11,110	0,000	0,001
	200 m	25,540	0,000	0,001

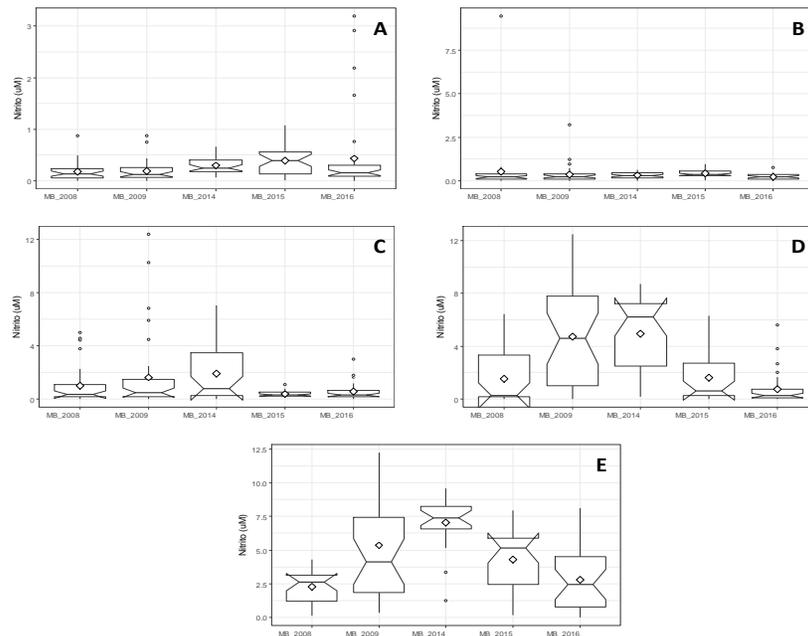


**Tabla 12.** Resultados del análisis de pruebas múltiples de Tukey para la variable nitrito.

Nitrito	Factor	Diferencia	Lím <sub>Inf</sub>	Lím <sub>Sup</sub>	<i>p</i>
<b>Global</b>	2009-2008	0,238	0,067	0,409	0,001
	2009-2014	-0,295	-0,457	-0,134	0,000
	2014-2008	0,349	0,186	0,513	0,000
	2014-2015	-0,247	-0,405	-0,089	0,000
	2014-2016	-0,407	-0,560	-0,254	0,000
<b>0 m</b>	2015-2008	0,154	0,012	0,296	0,026
	2015-2009	0,145	0,006	0,284	0,037
<b>50 m</b>	2014-2015	-0,537	-0,891	-0,182	0,000
	2014-2016	-0,460	-0,805	-0,115	0,003
<b>100 m</b>	2009-2008	0,741	0,220	1,263	0,001
	2009-2015	-0,667	-1,178	-0,156	0,004
	2009-2016	-1,019	-1,514	-0,525	0,000
	2014-2008	0,882	0,347	1,416	0,000
	2014-2015	-0,807	-1,332	-0,282	0,000
	2014-2016	-1,160	-1,668	-0,651	0,000
<b>200 m</b>	2009-2008	0,595	0,125	1,064	0,006
	2009-2016	-0,526	-0,977	-0,076	0,013
	2014-2008	0,973	0,479	1,466	0,000
	2014-2016	-0,905	-1,380	-0,429	0,000



**Figura 44** A: Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis comparativo global de las concentraciones de nitrito, B: Histograma de frecuencia de la concentración de nitrito para los crueros entre 2008 y 2016.



**Figura 45** Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por estrato de las concentraciones nitrito. A: superficie; B: 10 m; C: 50 m; D: 100 m; E: 200 m.



### 2.1.2.2.2 Nitrato

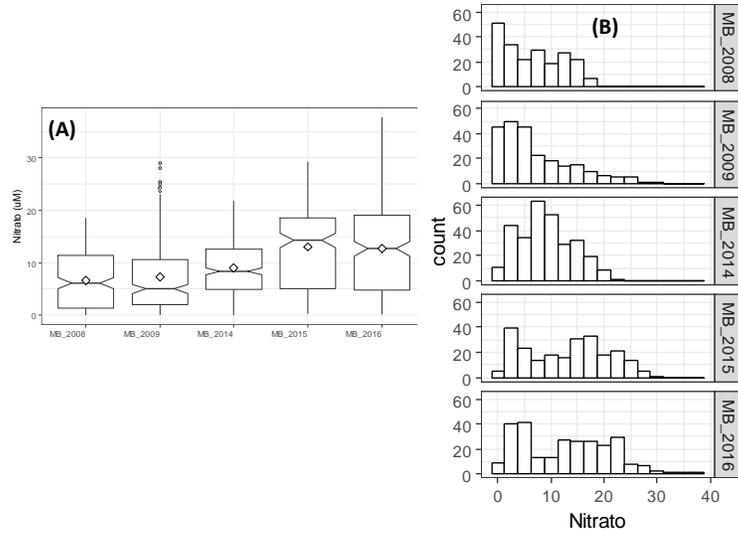
El nitrato reveló diferencias significativas en el análisis global y por profundidad, excepto para los 10 m (Tabla 11). En el análisis global, los años 2015 y 2016 mostraron mayores concentraciones que 2008, 2009 y 2014, mientras que 2014 lo hizo respecto de 2008 y 2009. Entre 2015 y 2016 no hubo diferencias significativas (Tabla 13, Figura 46). Respecto de las diferencias por profundidad, en superficie éstas fueron originadas debido a que en 2008 y 2009 los niveles de nitrato fueron menores a 2014, 2015 y 2016, años que no presentaron diferencias estadísticamente significativas en este estrato. A 50 m en 2008 y 2009 las concentraciones fueron más bajas que en 2015 y 2016. A 100 m el nitrato fue menor en 2008 respecto de 2015 y 2016, también en el año 2009 resultó diferente de 2014, 2015 y 2016 por sus concentraciones más bajas, y en el año 2014 exhibió menos nitrato que durante 2016. El estrato de los 200 m en 2016 y 2015 mostró valores mayores de nitrato sólo respecto de 2008 y 2009 respectivamente (Tabla 13, Figura 47).

**Tabla 13.** Resultados del análisis de pruebas múltiples de Tukey para la variable nitrato.

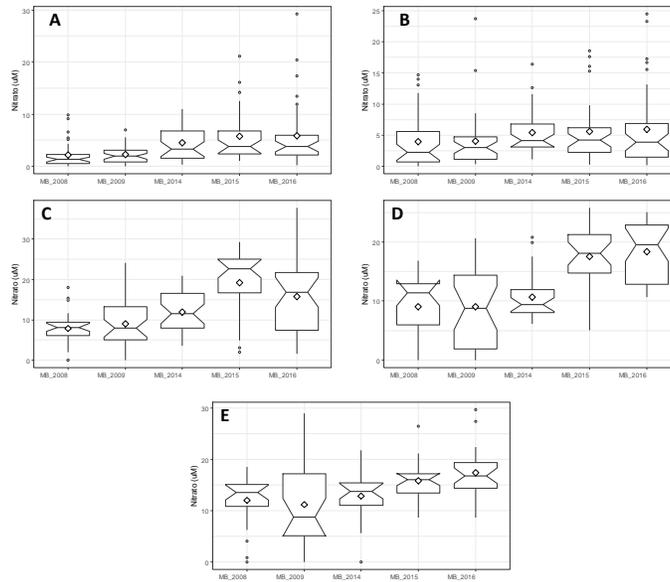
Nitrato	Factor	Diferencia	Lím <sub>Inf</sub>	Lím <sub>Sup</sub>	<i>p</i>
Global	2015-2008	0,757	0,551	0,963	0,000
	2015-2009	0,675	0,476	0,875	0,000
	2015-2014	0,287	0,097	0,477	0,000
	2016-2008	0,695	0,495	0,896	0,000
	2016-2009	0,614	0,420	0,808	0,000
	2016-2014	0,226	0,042	0,410	0,007
	2014-2008	0,470	0,273	0,666	0,000
	2014-2009	0,388	0,198	0,578	0,000
0 m	2008-2014	0,597	0,166	1,028	0,002
	2008-2015	0,788	0,349	1,226	0,000
	2008-2016	0,764	0,345	1,183	0,000
	2009-2014	0,457	0,034	0,880	0,027
	2009-2015	0,648	0,218	1,078	0,000
	2009-2016	0,625	0,214	1,035	0,000

Continuaci3n **Tabla 13.**

<b>Nitrato</b>	<b>Factor</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Lím<sub>inf</sub></b>	<b>Lím<sub>sup</sub></b>	<b><i>p</i></b>
<b>50 m</b>	2008-2015	0,857	0,399	1,315	0,000
	2008-2016	0,607	0,161	1,054	0,002
	2009-2015	0,823	0,392	1,254	0,000
	2009-2016	0,573	0,155	0,992	0,002
<b>100 m</b>	2008-2015	0,893	0,370	1,416	0,000
	2008-2016	0,945	0,438	1,452	0,000
	2009-2014	0,536	0,022	1,050	0,036
	2009-2015	1,007	0,498	1,516	0,000
	2009-2016	1,059	0,566	1,551	0,000
	2014-2016	0,523	0,021	1,025	0,037
<b>200 m</b>	2008-2016	0,478	0,009	0,947	0,044
	2009-2015	0,553	0,084	1,023	0,012



**Figura 46.** A: Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis comparativo global de las concentraciones de nitrato, B: Histograma de frecuencia de la concentración de nitrato para los crueros entre 2008 y 2016.



**Figura 47.** Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por estrato de las concentraciones nitrato. A: superficie; B: 10 m; C: 50 m; D: 100 m; E: 200 m.

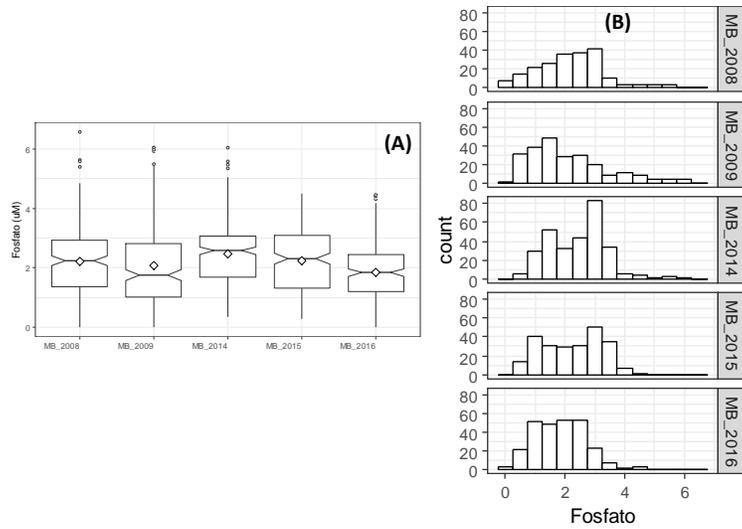


### 2.1.2.2.3 Fosfato

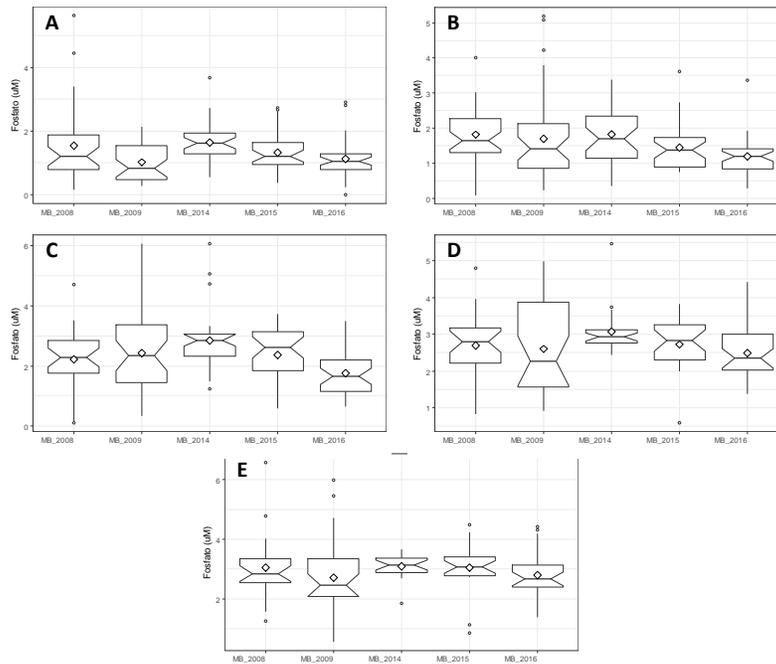
Las concentraciones de fosfato mostraron diferencias estadísticamente significativas en el análisis global y en las profundidades de 0, 10 y 50 m (**Tabla 11**). En forma global el año 2014 exhibió mayores valores que 2008, 2015 y 2016, y este último año lo hizo respecto de 2008 y 2015, mientras que 2009 no mostró diferencias con ninguno de los periodos analizados (**Tabla 14, Figura 48**). Los resultados del análisis por estrato mostraron que en superficie, las diferencias se debieron a las bajas concentraciones de 2009 en relación a las detectadas durante 2008 y 2014, y a que en 2014 éstas fueron mayores a las de 2016. En la profundidad de 10 m, durante la presente campaña (2016) se detectaron niveles de fosfato más bajos a los informados en 2008 y 2014, mientras que los periodos 2009 y 2015 no mostraron diferencias. A 50 m durante 2016 se registraron los niveles más bajos en relación a todos los periodos anteriores (**Tabla 14, Figura 49**).

**Tabla 14.** Resultados del análisis de pruebas múltiples de Tukey para la variable fosfato.

Fosfato	Factor	Diferencia	Lím <sub>inf</sub>	Lím <sub>sup</sub>	<i>p</i>
Global	2008-2014	0,103	0,017	0,189	0,010
	2008-2016	-0,102	-0,190	-0,015	0,013
	2014-2015	-0,085	-0,168	-0,001	0,044
	2014-2016	-0,205	-0,286	-0,125	0,000
	2015-2016	-0,121	-0,206	-0,036	0,001
0 m	2009-2008	-0,192	-0,374	-0,009	0,034
	2009-2014	0,285	0,100	0,470	0,000
	2014-2016	-0,228	-0,414	-0,042	0,008
10 m	2016-2008	-0,240	-0,439	-0,041	0,010
	2016-2014	-0,244	-0,446	-0,042	0,009
50 m	2016-2014	-0,339	-0,556	-0,122	0,000



**Figura 48.** A: Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis comparativo global de las concentraciones de fosfato, B: Histograma de frecuencia de la concentración de fosfato para los cruces entre 2008 y 2016.



**Figura 49.** Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por estrato de las concentraciones fosfato. A: superficie; B: 10 m; C: 50 m; D: 100 m; E: 200 m.



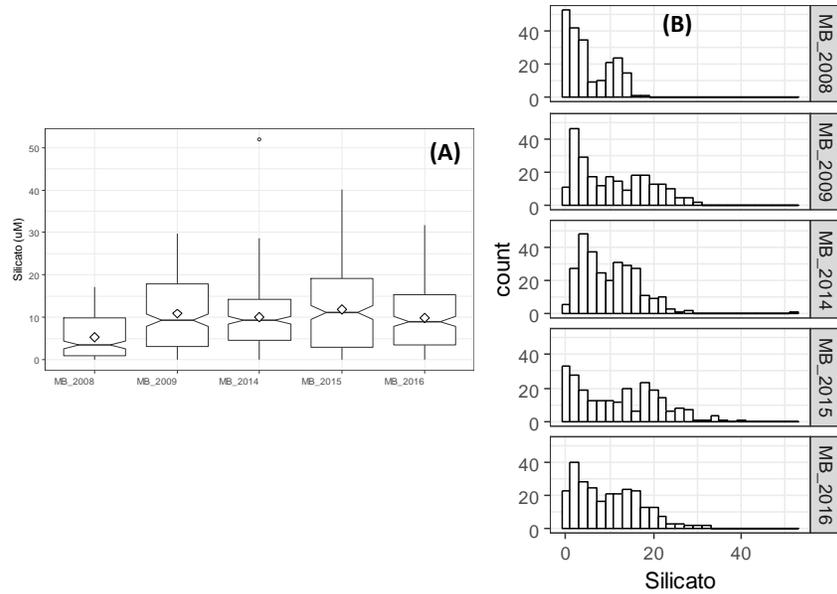
#### 2.1.2.2.4 Silicato

Las concentraciones de silicato exhibieron diferencias estadísticamente significativas entre todos los cruceros y profundidades (**Tabla 11**). Las diferencias observadas en el análisis global se debieron a que 2008 ha sido el año en el cual se han registrado los valores más bajos, en cambio entre los otros periodos (2009, 2014, 2015 y 2016) no hubo diferencias significativas (**Tabla 15, Figura 50**). Los menores niveles de silicato de 2008, respecto de 2009, 2014, 2015 y 2016, se observaron a nivel superficial, a 100 y 200 m de profundidad. A los 10 m se repitió el patrón excepto por el año 2015, que no exhibió diferencias. En el estrato de los 50 m, las concentraciones de 2008 fueron más bajas sólo en relación a 2009, 2014 y 2015, y la presente campaña (2016) exhibió diferencias con 2009 por presentar menores niveles de silicato (**Tabla 15, Figura 51**).

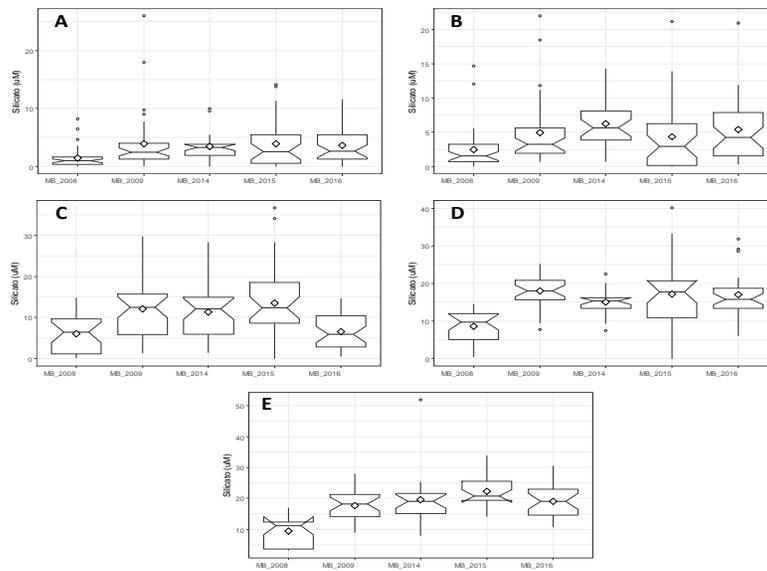


**Tabla 15.** Resultados del análisis de pruebas múltiples de Tukey para la variable silicato.

Silicato	Factor	Diferencia	Lím <sub>inf</sub>	Lím <sub>sup</sub>	<i>p</i>
<b>Global</b>	2008-2009	0,669	0,445	0,892	0,000
	2008-2014	0,719	0,504	0,934	0,000
	2008-2015	0,648	0,424	0,872	0,000
	2008-2016	0,593	0,375	0,811	0,000
<b>0 m</b>	2008-2009	0,590	0,145	1,035	0,003
	2008-2014	0,640	0,163	1,116	0,003
	2008-2015	0,509	0,044	0,973	0,024
	2008-2016	0,587	0,139	1,034	0,004
<b>10 m</b>	2008-2009	0,552	0,085	1,018	0,012
	2008-2014	0,871	0,382	1,360	0,000
	2008-2016	0,570	0,109	1,030	0,007
<b>50 m</b>	2008-2009	0,728	0,198	1,258	0,002
	2008-2014	0,722	0,174	1,270	0,003
	2008-2015	0,707	0,163	1,251	0,004
	2009-2016	-0,519	-1,016	-0,022	0,036
<b>100 m</b>	2008-2009	0,796	0,430	1,162	0,000
	2008-2014	0,636	0,260	1,011	0,000
	2008-2015	0,571	0,196	0,946	0,000
	2008-2016	0,723	0,363	1,084	0,000
<b>200 m</b>	2008-2009	0,656	0,396	0,915	0,000
	2008-2014	0,728	0,455	1,001	0,000
	2008-2015	0,893	0,623	1,162	0,000
	2008-2016	0,728	0,468	0,987	0,000



**Figura 50.** A: Gráfico de cajas y bigotes resultante del análisis comparativo global de las concentraciones de silicato, B: Histograma de frecuencia de la concentración de silicato para los cruces entre 2008 y 2016.



**Figura 51.** Gráficos de cajas y bigotes resultantes del análisis comparativo por estrato de las concentraciones silicato. A: superficie; B: 10 m; C: 50 m; D: 100 m; E: 200 m.

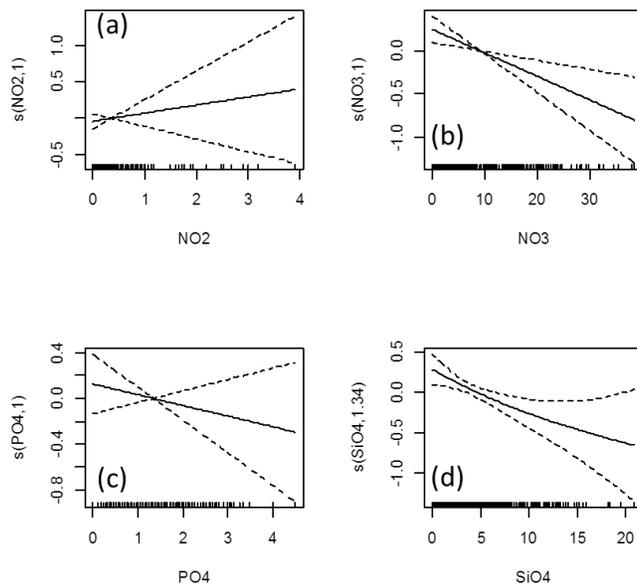


### 2.1.2.3 Relación Nutrientes-Fitoplancton

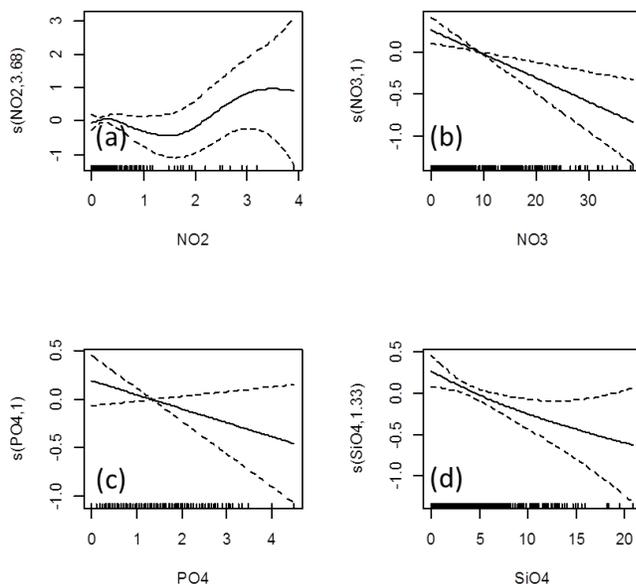
Al analizar la abundancia fitoplanctónica total, se evidenció una relación significativa con la concentración de nitrato y de silicato, aun cuando la devianza explicada fue baja (2,82 y 2,76%, respectivamente) (**Tabla 16, Figura 52**). Una situación similar se detectó con la abundancia de diatomeas, con una devianza explicada levemente mayor para nitrato (3,02%) (**Tabla 17, Figura 53**). La abundancia de los flagelados, además de presentar una relación significativa con el nitrato y el silicato, lo hizo con la concentración de fosfato, con una devianza explicada de 4,45, de 5,89 y de 3,80% respectivamente (**Tabla 16, Figura 54**).

**Tabla 16** Resultados del análisis GAM para la relación entre el fitoplancton y los nutrientes.  $P_{TS}$ : probabilidad del término de suavizamiento, DE: devianza explicada (%), GCV: validación cruzada generalizada; n: número de datos, NS: nivel de significancia.

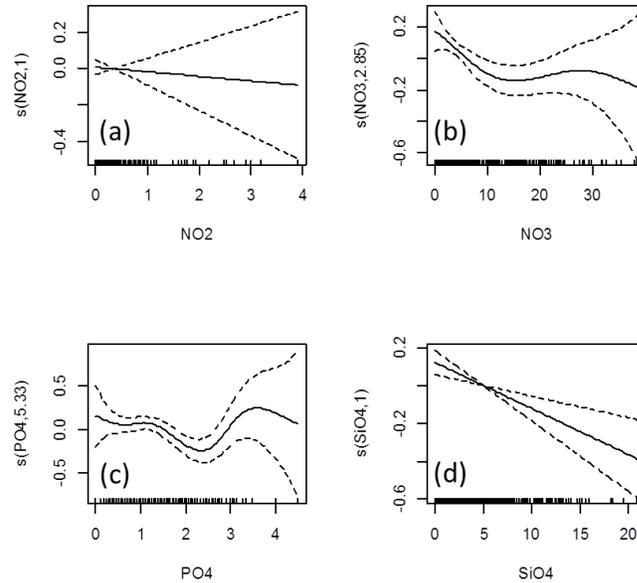
VARIABLE	MODELO	$P_{TS}$	DE (%)	GCV	n	NS
<b>ABUNDANCIA TOTAL (cél/mL)</b>	fito ~ s(NO <sub>3</sub> )	0,001	2,820	1,7451	359	0,01
	fito ~ s(SiO <sub>4</sub> )	0,008	2,760	1,7495	359	0,01
<b>ABUNDANCIA DIATOMEAS (cél/mL)</b>	dia ~ s(NO <sub>3</sub> )	0,001	3,020	1,7733	359	0,01
	dia ~ s(SiO <sub>4</sub> )	0,012	2,490	1,7863	359	0,01
<b>ABUNDANCIA FLAGELADOS (cél/mL)</b>	flag ~ s(NO <sub>3</sub> )	0,005	4,450	0,2766	359	0,01
	flag ~ s(PO <sub>4</sub> )	0,008	5,800	0,2765	359	0,01
	flag ~ s(SiO <sub>4</sub> )	0,000	3,800	0,2756	359	0,01



**Figura 52** Efecto derivado del GAM de los nutrientes sobre la abundancia fitoplanct3nica total (c3l/mL). (a) Nitrito ( $\mu\text{M}$ ); (b) Nitrato ( $\mu\text{M}$ ); (c) Fosfato ( $\mu\text{M}$ ); (d) Silicato ( $\mu\text{M}$ ).



**Figura 53** Efecto derivado del GAM de los nutrientes sobre la abundancia de diatomeas (c3l/mL). (a) Nitrito ( $\mu\text{M}$ ); (b) Nitrato ( $\mu\text{M}$ ); (c) Fosfato ( $\mu\text{M}$ ); (d) Silicato ( $\mu\text{M}$ ).



**Figura 54** Efecto derivado del GAM de los nutrientes sobre la abundancia de flagelados (cél/mL). (a) Nitrito ( $\mu\text{M}$ ); (b) Nitrato ( $\mu\text{M}$ ); (c) Fosfato ( $\mu\text{M}$ ); (d) Silicato ( $\mu\text{M}$ ).

### 2.1.3 Fitoplancton

#### 2.1.3.1 Composici3n y Abundancia

Se identific3 un total de 155 representantes del microfitoplancton, de los cuales 76 pertenecieron al grupo de las diatomeas y 79 al grupo de los flagelados.

El grupo de las diatomeas se caracteriz3 por el dominio de formas en cadena, destacando, por el n3mero de representantes, el g3nero *Chaetoceros* con 21 especies, seguido de *Rhizosolenia* con 8. Del total, 10 especies exhibieron abundancias m3ximas superiores a 100 c3l/mL, sobresaliendo con m3s de 500 c3l/mL *Chaetoceros compressus*, *C. debilis*, *Guinardia striata* y *Leptocylindrus danicus* (Tabla 17).

Entre las formas flageladas predominaron los dinoflagelados tecados (69 especies). Los g3neros mejor representados fueron *Ceratium* y *Protoperdinium* con 17 y 16 especies respectivamente, y s3lo el dinoflagelado del g3nero *Prorocentrum* alcanz3 una concentraci3n m3xima superior a 100 c3l/mL (Tabla 18).



**Tabla 17** Géneros y especies de diatomeas identificadas durante el crucero MOBIO de septiembre de 2016 y su abundancia máxima (AB-MAX) (cél/mL). S: diatomeas solitarias.

DIATOMEAS	(AB-MAX)	DIATOMEAS	(AB-MAX)
<i>Actinocyclus curvatulus</i> (S)	0,1	<i>Eucampia zodiacus</i>	22,7
<i>Actinoptychus splendens</i> (S)	0,1	<i>Fragilariopsis doliolus</i>	2,2
<i>Asteromphalus arachne</i> (S)	0,2	<i>Gossleriella tropica</i> (S)	0,0
<i>Asteromphalus brookei</i> (S)	0,1	<i>Guinardia delicatula</i>	60,8
<i>Asteromphalus heptactis</i> (S)	2,0	<i>Guinardia flaccida</i>	0,2
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	383,2	<i>Guinardia striata</i>	729,6
<i>Bacteriastrum elongatum</i>	1,2	<i>Hemiaulus hauckii</i>	0,1
<i>Cerataulina pelágica</i>	264,8	<i>Hemiaulus sinensis</i>	0,4
<i>Chaetoceros affinis</i>	2,6	<i>Lauderia annulata</i>	47,6
<i>Chaetoceros anastomosans</i>	0,2	<i>Leptocylindrus danicus</i>	925,2
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	39,8	<i>Leptocylindrus mediterraneus</i>	18,6
<i>Chaetoceros compressus</i>	744,4	<i>Lioloma delicatulum</i> (S)	0,6
<i>Chaetoceros constrictus</i>	7,2	<i>Lioloma pacificum</i> (S)	2,0
<i>Chaetoceros convolutus</i>	5,7	<i>Lithodesmium undulatum</i>	0,8
<i>Chaetoceros curvisetus</i>	139,7	<i>Nitzschia longissima</i> (S)	11,0
<i>Chaetoceros dadayi</i>	0,1	<i>Planktoniella sol</i> (S)	3,2
<i>Chaetoceros danicus</i>	1,0	<i>Proboscia alata</i>	2,4
<i>Chaetoceros debilis</i>	1.146,0	<i>Proboscia indica</i>	1,2
<i>Chaetoceros decipiens</i>	12,6	<i>Pseudo-nitzschia australis</i>	44,7
<i>Chaetoceros didymus</i>	2,2	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	211,6
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	1,4	<i>Pseudosolenia calcaravis</i>	0,0
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	21,6	<i>Rhizosolenia acuminata</i>	0,5
<i>Chaetoceros messanensis</i>	1,0	<i>Rhizosolenia bergonii</i>	0,2
<i>Chaetoceros protuberans</i>	2,8	<i>Rhizosolenia cylindrus</i>	0,0
<i>Chaetoceros radicans</i>	8,4	<i>Rhizosolenia imbricata</i>	1,2
<i>Chaetoceros socialis</i>	134,4	<i>Rhizosolenia imbricata var. minuta</i>	1,8
<i>Chaetoceros teres</i>	7,6	<i>Rhizosolenia setigera f. pungens</i>	2,8
<i>Chaetoceros tetrastichon</i>	0,2	<i>Rhizosolenia styliformis</i>	9,7
<i>Chaetoceros tortissimus</i>	0,1	<i>Rhizosolenia temperei</i>	0,4
<i>Corehtron criophilum</i>	0,4	<i>Skeletonema sp.</i>	59,2
<i>Coscinodiscus centralis</i> (S)	0,2	<i>Stephanopyxis turris</i>	2,2
<i>Coscinodiscus concinnus</i> (S)	0,1	<i>Thalassionema frauenfeldii</i>	9,7
<i>Coscinodiscus wailesii</i> (S)	0,1	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	3,2
<i>Cylindrotheca closterium</i> (S)	37,0	<i>Thalassiosira aestivalis</i>	5,3
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	13,0	<i>Thalassiosira angustelineata</i>	65,6
<i>Detonula pumila</i>	162,3	<i>Thalassiosira decipiens</i>	66,4
<i>Ditylum brightwellii</i> (S)	0,2	<i>Thalassiosira rotula</i>	33,2
<i>Eucampia cornuta</i>	27,2	<i>Thalassiosira subtilis</i>	86,1



**Tabla 18** Géneros y especies de flagelados identificados durante el crucero MOBIO de septiembre 2016 y su abundancia máxima (AB-MAX) (cél/mL). A: flagelados atecados.

FLAGELADOS	(AB-MAX)	FLAGELADOS	(AB-MAX)
<i>Actiniscus pentasterias</i> (A)	0,0	<i>Goniodoma polyedricum</i>	0,4
<i>Brachidinium capitatum</i> (A)	0,2	<i>Gonyaulax fusiformis</i>	0,0
<i>Ceratium arietinum</i>	0,0	<i>Gonyaulax polygramma</i>	0,2
<i>Ceratium azoricum</i>	0,2	<i>Gonyaulax spinifera</i>	0,2
<i>Ceratium candelabrum</i>	0,0	<i>Gymnodinium sanguineum</i> (A)	0,0
<i>Ceratium extensum</i>	0,0	<i>Gymnodinium sp.</i> (A)	1,2
<i>Ceratium furca</i> var. <i>berghii</i>	5,2	<i>Gyrodinium sp.</i> (A)	7,1
<i>Ceratium furca</i> var. <i>eugrammun</i>	0,6	<i>Kofooidinium splendens</i> (A)	0,0
<i>Ceratium furca</i> var. <i>seta</i>	0,3	<i>Lingulodinium polyedrum</i>	0,1
<i>Ceratium limulus</i>	0,0	<i>Oxytoxum curvatum</i>	0,0
<i>Ceratium lineatum</i>	0,0	<i>Oxytoxum elelgans</i>	0,1
<i>Ceratium massiliense</i>	0,1	<i>Oxytoxum scolopax</i>	0,3
<i>Ceratium minutum</i>	0,2	<i>Podolampas bipes</i>	0,1
<i>Ceratium pentagonum</i>	0,1	<i>Podolampas palmipes</i>	0,0
<i>Ceratium petersii</i>	1,0	<i>Podolampas spinifera</i>	0,1
<i>Ceratium pulchellum</i>	0,1	<i>Polykrikos sp.</i>	3,0
<i>Ceratium symmetricum</i>	0,1	<i>Prorocentrum gracile</i>	5,8
<i>Ceratium trichoceros</i>	0,0	<i>Prorocentrum micans</i>	835,2
<i>Ceratium tripos</i>	0,1	<i>Prorocentrum sp.</i>	0,0
<i>Cochlodinium sp.</i> (A)	0,4	<i>Protopteridinium brochii</i>	0,2
<i>Corythodinium challengeroides</i>	0,0	<i>Protopteridinium claudicans</i>	0,4
<i>Corythodinium constrictum</i>	0,2	<i>Protopteridinium conicum</i>	0,4
<i>Corythodinium curvicaudatum</i>	0,0	<i>Protopteridinium depressum</i>	0,0
<i>Corythodinium diploconus</i>	0,3	<i>Protopteridinium divergens</i>	0,2
<i>Corythodinium frenguelli</i>	0,1	<i>Protopteridinium globulum</i>	0,0
<i>Corythodinium longiceps</i>	0,1	<i>Protopteridinium grande</i>	0,0
<i>Corythodinium sceptrum</i>	0,2	<i>Protopteridinium latissimum</i>	0,0
<i>Corythodinium tessellatum</i>	0,0	<i>Protopteridinium leonis</i>	0,2
<i>Dictyocha fibula</i> (A)	0,6	<i>Protopteridinium oceanicum</i>	0,0
<i>Dinophysis acuminata</i>	0,4	<i>Protopteridinium ovum</i>	0,0
<i>Dinophysis caudata</i>	0,0	<i>Protopteridinium pedunculatum</i>	0,6
<i>Dinophysis hastata</i>	0,0	<i>Protopteridinium pellucidum</i>	3,6
<i>Dinophysis mitra</i>	0,0	<i>Protopteridinium pentagonum</i>	0,0
<i>Dinophysis parvulum</i>	0,0	<i>Protopteridinium steinii</i>	0,4
<i>Dinophysis rotundata</i>	0,0	<i>Protopteridinium tenuissimum</i>	0,0
<i>Dinophysis tripos</i>	0,1	<i>Ptychodiscus noctiluca</i> (A)	0,0
<i>Diplopsalis lenticula</i>	0,2	<i>Pyrocystis lunula</i> (A)	0,2
<i>Diplopsalis minor</i>	1,0	<i>Pyrophacus horologium</i>	0,1
<i>Distephanus speculum</i> (A)	0,2		0,4
<i>Eutreptiella marina</i> (A)	0,1		0,0



En ambos grupos la mayoría de las especies se registró en la zona costera (1-20 mn). Ocupando exclusivamente la región oceánica (40-200 mn) se encontraron 19 diatomeas, predominando especies grandes de los géneros *Chaetoceros* y *Rhizosolenia*, y entre los flagelados fueron 29 especies, equivalente al 36,7%, donde destacó el género *Ceratium* con representantes de gran longitud (**Tabla 19**).

**Tabla 19** Especies de diatomeas y flagelados que resultaron exclusivas de la región oceánica (40-100 mn) durante el crucero de septiembre de 2016. S: diatomeas solitarias, A: flagelados atecados.

DIATOMEAS	FLAGELADOS
<i>Actinoptychus splendens</i> (S)	<i>Actiniscus pentasterias</i> (A)
<i>Asteromphalus brookei</i> (S)	<i>Ceratium candelabrum</i>
<i>Bacteriastrum elongatum</i>	<i>Ceratium extensum</i>
<i>Chaetoceros anastomosans</i>	<i>Ceratium fusus</i> var. <i>seta</i>
<i>Chaetoceros atlanticus</i>	<i>Ceratium limulus</i>
<i>Chaetoceros dadayi</i>	<i>Ceratium lineatum</i>
<i>Chaetoceros lacinosus</i>	<i>Ceratium petersi</i>
<i>Chaetoceros messanensis</i>	<i>Ceratium symmetricum</i>
<i>Chaetoceros tetrastichon</i>	<i>Ceratium trichoceros</i>
<i>Chaetoceros tortissimus</i>	<i>Ceratium tripos</i>
<i>Coscinodiscus wailesii</i>	<i>Cochlodinium</i> sp. (A)
<i>Lioloma delicatulum</i> (S)	<i>Corythodinium challengeroides</i>
<i>Proboscia indica</i>	<i>Corythodinium frenguelli</i>
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	<i>Corythodinium tessellatum</i>
<i>Rhizosolenia acuminata</i>	<i>Dinophysis hastata</i>
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	<i>Dinophysis mitra</i>
<i>Rhizosolenia cylindrus</i>	<i>Dinophysis rotundata</i>
<i>Rhizosolenia styliformis</i>	<i>Gonyaulax fusiformis</i>
<i>Rhizosolenia temperei</i>	<i>Kofoidinum splendens</i> (A)
	<i>Oxytoxum curvatum</i>
	<i>Oxytoxum elegans</i>
	<i>Oxytoxum scolopax</i>
	<i>Podolampas bipes</i>
	<i>Podolampas spinifera</i>
	<i>Protoperidinium globulum</i>
	<i>Protoperidinium grande</i>
	<i>Protoperidinium latissimum</i>
	<i>Protoperidinium tenuissimum</i>
	<i>Ptychodiscus noctiluca</i> (A)

La abundancia fitoplanctónica integrada total fluctuó entre 0,1 y 452,8 cél/mL. El grupo de las diatomeas presentó las mayores concentraciones celulares, con un máximo de 452,4cél/mL y aportes porcentuales al total, superiores al 80% en la mayoría de las estaciones. Entre los flagelados



predominaron abundancias inferiores a 1,0 cél/mL, excepto por el valor máximo de 230,2 cél/mL, registrado frente a punta Junín a 40 mn de la costa (**Tabla 20**).

**Tabla 20** Abundancia celular integrada (cél/mL) y aporte porcentual (%) de diatomeas (DIATO) y flagelados (FLAGE), durante el crucero de septiembre de 2016. DDC: distancia de la costa (mn).

LATITUD	TRANSECTA	DDC	TOTAL	DIATO	FLAGE	%DIATO	%FLAGE
18°25'S	T1	1	76,1	63,5	12,6	83,4	16,6
		5	153,8	151,6	2,2	98,6	1,4
		10	52,2	51,8	0,4	99,2	0,8
		20	105,8	103,8	2,0	98,1	1,9
		40	3,2	3,1	0,2	94,1	5,9
		60	1,0	0,9	0,2	85,0	15,0
19°00'S	T5	80	2,7	0,4	2,3	13,9	86,1
		1	116,5	110,6	5,9	94,9	5,1
		5	0,8	0,6	0,2	71,5	28,5
		10	0,3	0,2	0,0	84,8	15,2
		20	24,8	24,6	0,2	99,1	0,9
		40	52,4	52,1	0,3	99,4	0,6
		60	4,9	4,8	0,1	97,2	2,8
19°40'S	T9	80	0,2	0,0	0,1	29,0	71,0
		100	0,4	0,2	0,2	47,8	52,2
		1	204,1	203,3	0,9	99,6	0,4
		5	140,1	139,7	0,4	99,7	0,3
		10	115,5	115,3	0,2	99,8	0,2
		20	48,7	48,6	0,1	99,8	0,2
		40	231,1	0,9	230,2	0,4	99,6
20°20'S	T13	60	0,2	0,0	0,2	8,5	91,5
		80	0,2	0,2	0,1	74,9	25,1
		100	0,1	0,1	0,1	54,8	45,2
		1	357,5	357,2	0,2	99,9	0,1
		5	3,2	3,1	0,1	98,1	1,9
		10	0,3	0,1	0,2	38,0	62,0
		20	0,5	0,3	0,2	53,9	46,1
21°00'S	T17	40	89,8	89,7	0,1	99,9	0,1
		60	0,5	0,3	0,2	59,2	40,8
		80	0,8	0,7	0,1	87,2	12,8
		100	0,4	0,3	0,1	82,8	17,2
		1	0,4	0,3	0,1	82,0	18,0
		5	0,1	0,1	0,0	100,0	
		10	0,0	0,0	0,0		100,0
21°00'S	T17	20	0,1	0,0	0,0	32,3	67,7
		40	0,1	0,0	0,1	28,8	71,3
		60	2,1	1,9	0,1	93,4	6,6
		80	0,1	0,1	0,0	66,0	34,0
		100	1,2	1,1	0,1	90,0	10,0



Continuación Tabla 20.

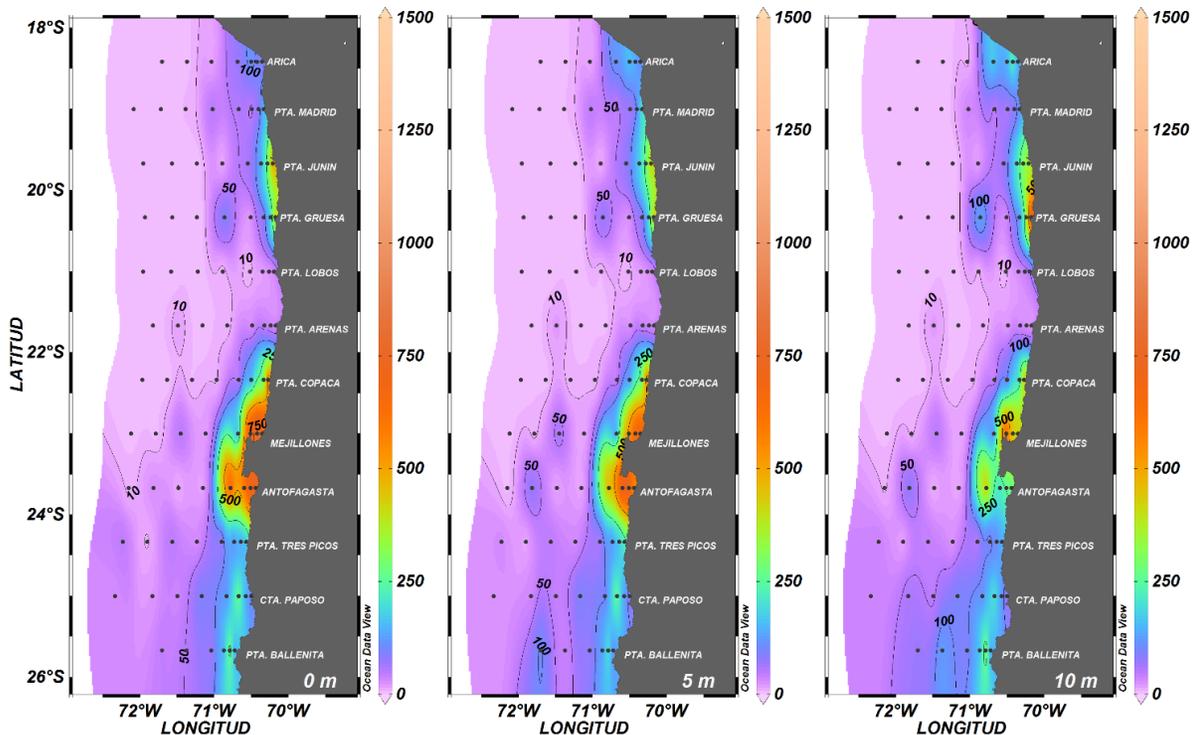
LATITUD	TRANSECTA	DDC	TOTAL	DIATO	FLAGE	%DIATO	%FLAGE
21°40'S	T21	1	0,0	0,0	0,0	66,7	33,3
		5	0,0	0,0	0,0		
		10	1,0	1,0	0,1	95,0	5,0
		20	1,9	1,8	0,1	95,3	4,7
		40	2,1	1,9	0,1	93,4	6,6
		60	0,7	0,5	0,1	82,6	17,4
		80	10,3	10,1	0,2	97,8	2,2
		100	1,0	0,9	0,1	91,8	8,2
22°20'S	T25	1	272,9	272,7	0,2	99,9	0,1
		5	2,0	1,9	0,1	95,5	4,5
		10	10,9	10,8	0,1	98,9	1,1
		20	0,5	0,4	0,1	81,4	18,6
		40	3,1	2,9	0,2	93,2	6,8
		60	1,2	1,1	0,1	93,0	7,0
		80	0,9	0,7	0,2	81,6	18,4
		100	1,4	1,3	0,1	94,8	5,2
23°00'S	T29	1	222,2	221,8	0,3	99,9	0,1
		5	244,0	243,7	0,3	99,9	0,1
		10	452,8	452,4	0,4	99,9	0,1
		20	1,4	1,0	0,4	72,2	27,8
		40	4,8	4,8	0,0	99,4	0,6
		60	34,9	34,8	0,1	99,8	0,2
		80	0,9	0,8	0,1	87,2	12,8
		100	3,2	3,2	0,1	97,8	2,2
23°40'S	T33	1	380,3	379,6	0,7	99,8	0,2
		5	208,8	208,5	0,3	99,8	0,2
		10	156,2	155,9	0,3	99,8	0,2
		20	445,8	445,2	0,6	99,9	0,1
		40	4,5	4,4	0,1	96,9	3,1
		60	3,8	3,2	0,6	85,3	14,7
		80	78,4	78,3	0,1	99,8	0,2
		100	12,6	12,3	0,3	97,3	2,7
24°20'S	T37	1	75,5	75,1	0,3	99,6	0,4
		5	37,8	37,2	0,5	98,6	1,4
		10	15,7	15,7	0,1	99,5	0,5
		20	6,2	5,9	0,3	95,9	4,1
		40	23,8	23,5	0,3	98,8	1,2
		60	23,0	22,8	0,2	99,3	0,7
		80	4,2	4,0	0,2	94,4	5,6
		100	28,2	27,9	0,3	99,0	1,0



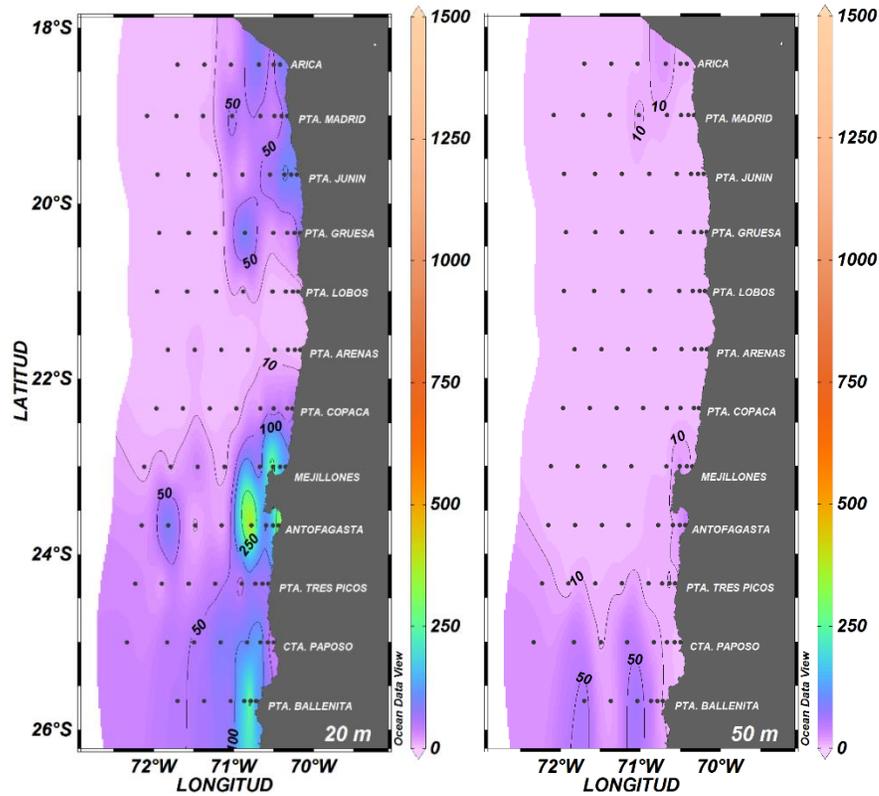
Continuaci3n Tabla 20.

LATITUD	TRANSECTA	DDC	TOTAL	DIATO	FLAGE	%DIATO	%FLAGE
25°00'S	T41	1	9,6	9,6	0,1	99,4	0,6
		5	38,0	37,7	0,3	99,1	0,9
		10	205,2	205,1	0,1	99,9	0,1
		20	43,2	42,8	0,4	99,2	0,8
		40	88,7	88,6	0,2	99,8	0,2
		60	39,6	39,3	0,3	99,2	0,8
		80	47,1	46,7	0,3	99,3	0,7
		100	30,1	29,8	0,2	99,2	0,8
25°40'S	T46	1	3,1	3,0	0,1	96,7	3,3
		5	366,8	366,7	0,2	100,0	
		10	105,7	105,5	0,2	99,8	0,2
		20	58,3	58,1	0,2	99,6	0,4
		40	57,3	56,9	0,4	99,4	0,6
		60	60,8	60,1	0,7	98,9	1,1

La distribución horizontal de la abundancia de las diatomeas mostró focos de alta concentración ( $>100$  cél/mL) entre 1 y 20 mn de la costa, los que se mantuvieron desde la superficie hasta los 10 m de profundidad. De norte a sur, el primer foco se localizó entre Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) y punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ), registrándose un máximo de 1.311,8 cél/mL frente a punta Gruesa ( $20^{\circ}20'S$ ) 1 mn de la costa y a 10 m de profundidad. Un segundo foco se registró entre punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ) y Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ), el que presentó un máximo de 978,0 cél/mL frente a Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ), a 10 mn y a 10 m de profundidad. Éste, longitudinalmente se extendió hasta las 20 mn con valores superiores a 500 cél/mL, y latitudinalmente hasta punta Ballenita ( $25^{\circ}40'S$ ) donde se observaron concentraciones cercanas a 500 cél/mL. En el sector oceánico (40-200 mn) la zona desde Arica ( $18^{\circ}25'S$ ) hasta punta Copaca ( $22^{\circ}20'S$ ) exhibió abundancias inferiores a 10 cél/mL, en cambio, desde Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) al sur se observaron pequeños focos que superaron las 100 cél/mL (**Figura 55**). A 25 m de profundidad, el núcleo del norte se mantuvo con abundancias inferiores a 200 cél/mL, pero en Mejillones ( $23^{\circ}00'S$ ) y Antofagasta ( $23^{\circ}40'S$ ) se registraron concentraciones superiores a 500 cél/mL. A 50 m predominaron abundancias fueron inferiores a 10 cél/mL, excepto por un foco levemente superior a 50 cél/mL en punta Ballenita ( $24^{\circ}50'S$ ), que se extendió entre las 40 y las 60 mn de la costa (**Figura 56**).

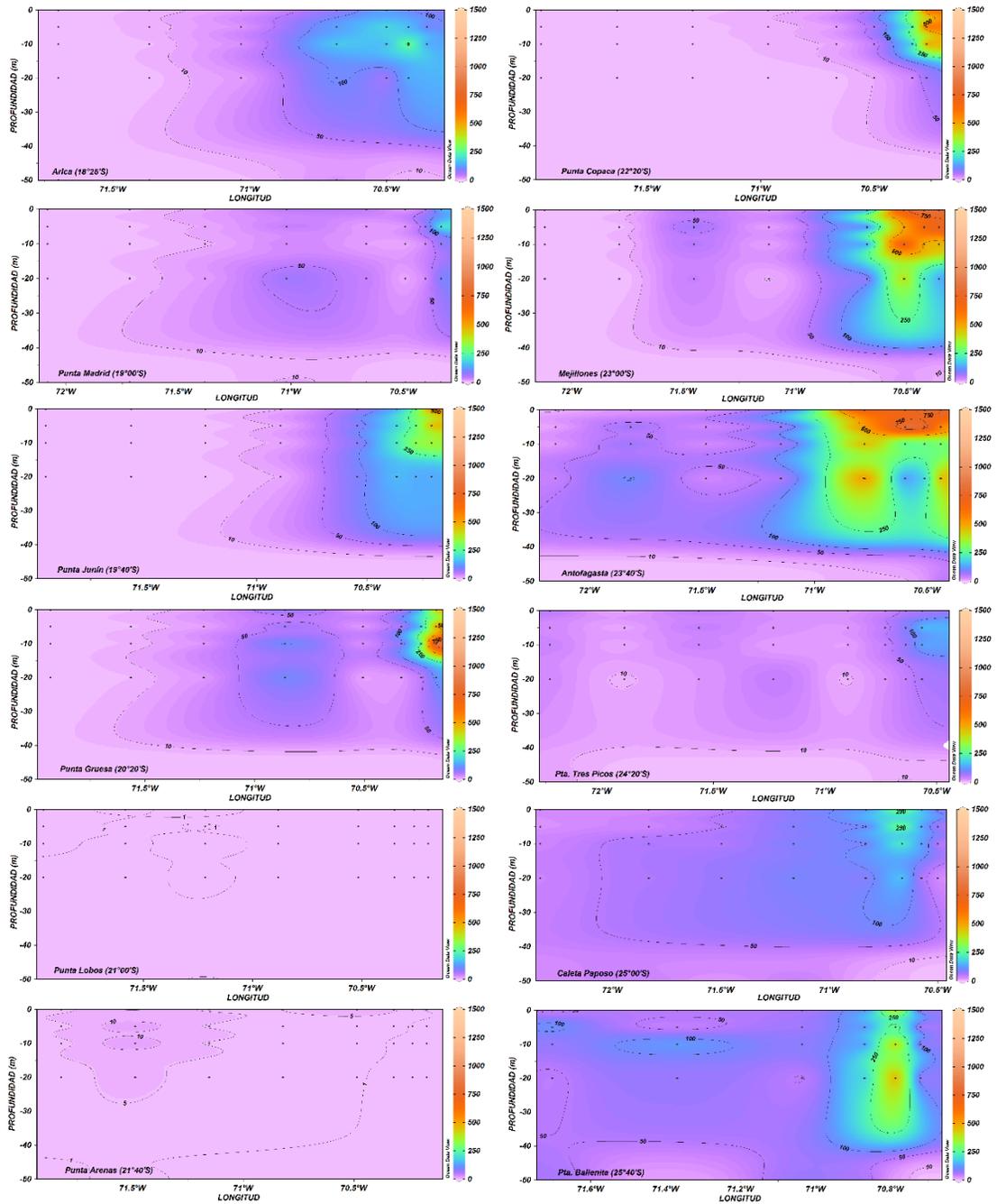


**Figura 55** Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) entre la superficie y 10 m de profundidad, durante septiembre de 2016.



**Figura 56.** Distribución horizontal de la abundancia de diatomeas (cél/mL) a 20 m y 50 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

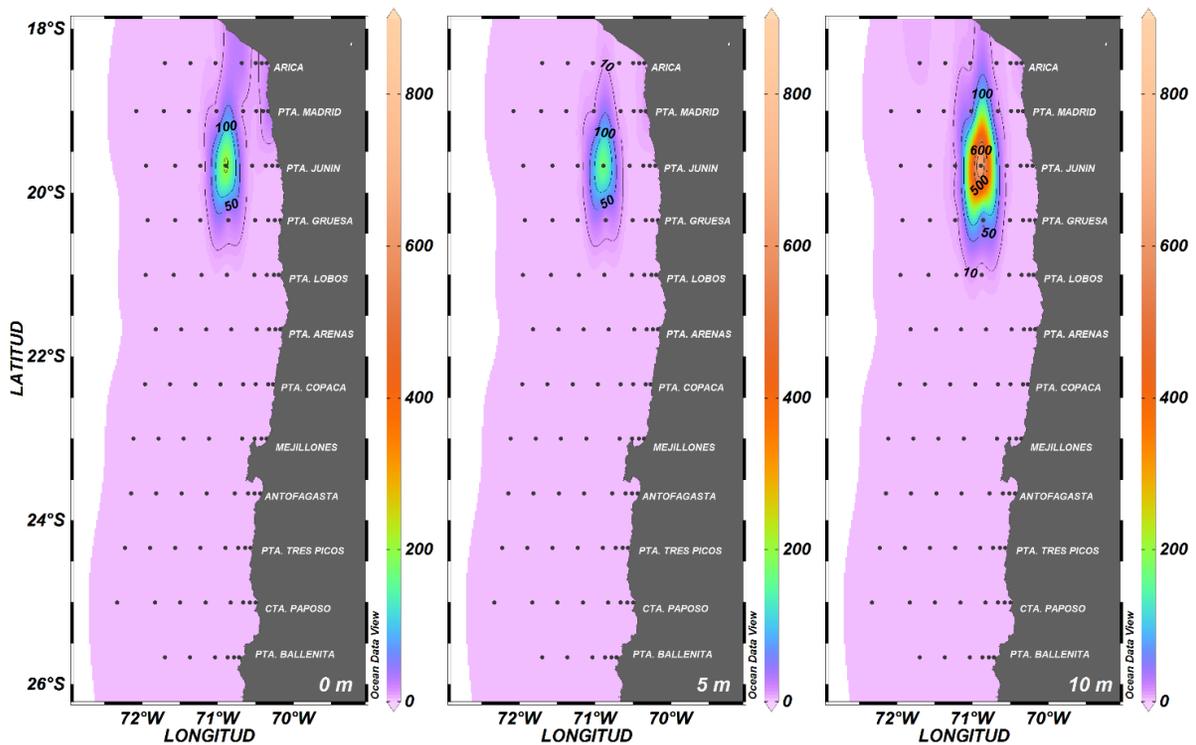
En la componente vertical, las secciones entre Arica (18°25'S) y punta Gruesa (20°20'S) muestran los focos de máxima concentración (>500 cél/mL) muy restringidos a la costa (1-10 mn) y a los primeros 10 m de profundidad, mientras que entre las 40 y 200 mn y en el resto de la columna de agua, predominaron abundancias inferiores a 10 cél/mL. Desde Mejillones (23°00'S) al sur las altas concentraciones (>100) se extendieron hacia el sector oceánico y hasta más allá de los 30 m de profundidad, donde se registraron valores superiores a 100 cél/mL. Entre punta Lobos (21°00'S) y punta Arenas (21°40'S) las abundancias no superaron las 10 cél/mL a lo largo de toda la transecta y en toda la columna de agua (**Figura 57**).



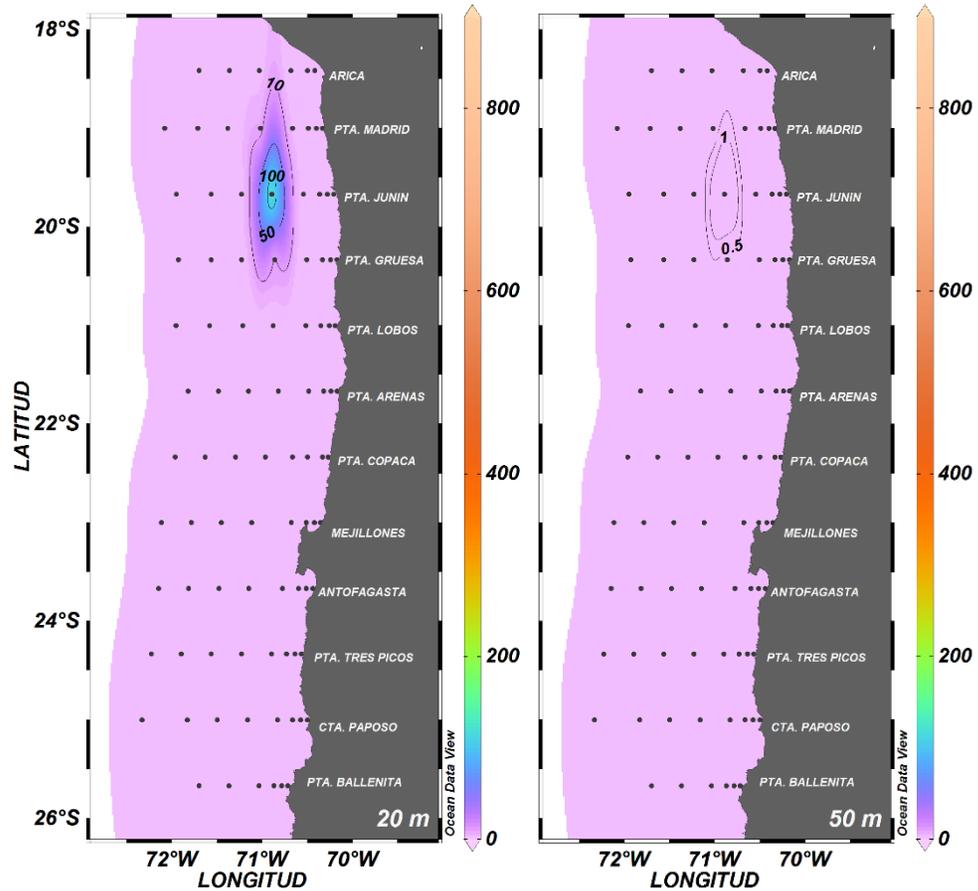
**Figura 57** Distribuci3n vertical de la abundancia de diatomeas (c3l/mL) entre los 18°25' y los 25°40' de latitud sur, durante septiembre de 2016.



La distribuci3n horizontal de la abundancia de los flagelados mostr3, en todos los estratos, un predominio de valores inferiores a 5,0 c3l/mL. Entre la superficie y los 10 m de profundidad, se registr3 un foco de alta concentraci3n (>200 c3l/mL) frente a punta Jun3n (19°40'S) a 40 mn de la costa, que exhibi3 un m3ximo de 846,8 c3l/mL a 10 m de profundidad. Este se proyect3 hacia el norte y hacia la costa, donde se observaron valores cercanos a 50 c3l/mL (**Figura 58**). A 25 m el foco en Jun3n (19°40'S) se mantuvo con un m3ximo de 170 c3l/mL, y a 50 m de profundidad el grupo de los flagelados estuvo pr3cticamente ausente (**Figura 59**).

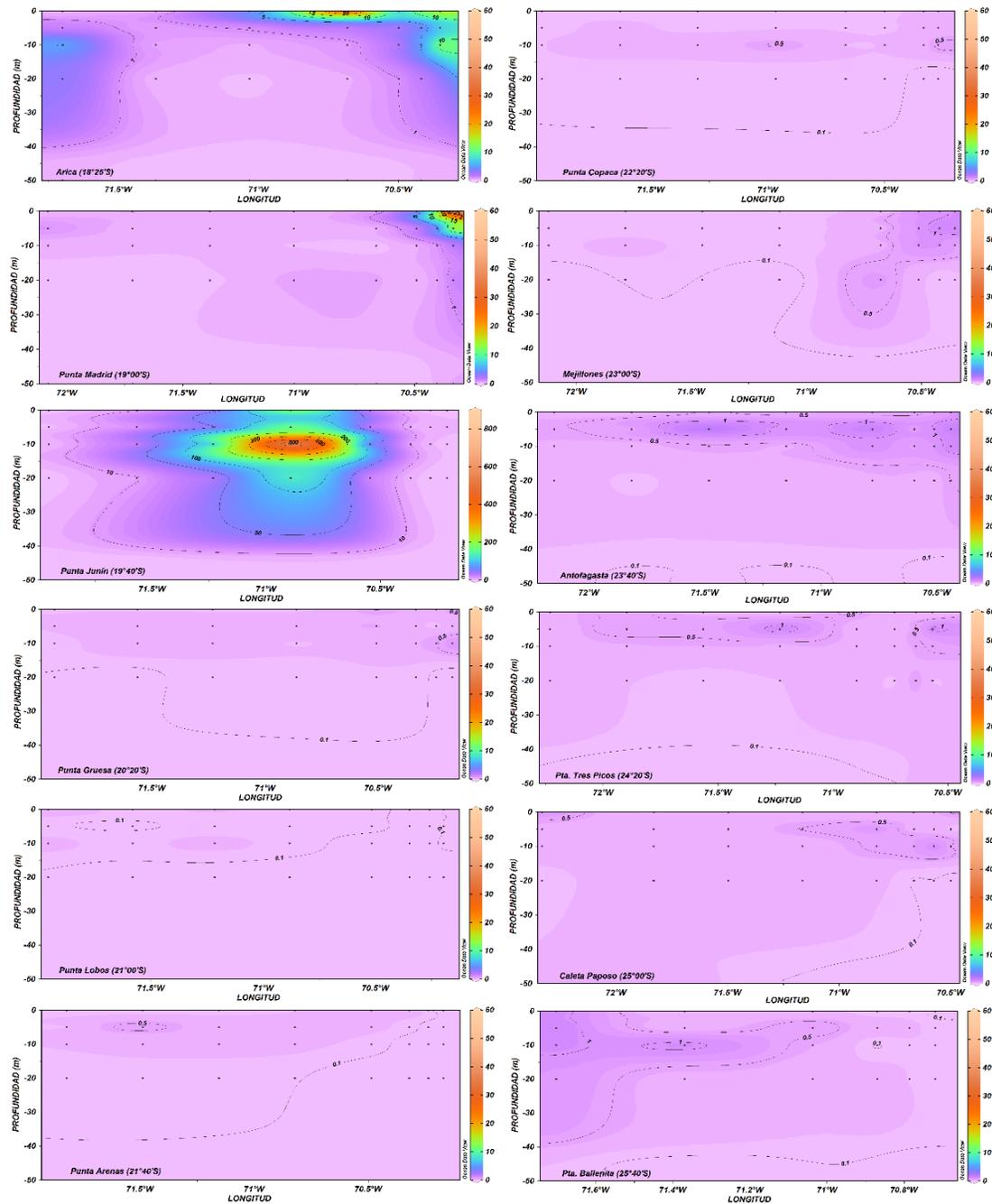


**Figura 58** Distribuci3n horizontal de la abundancia de flagelados (c3l/mL) entre la superficie y 10 m de profundidad, durante septiembre de 2016.



**Figura 59** Distribuci3n horizontal de la abundancia de flagelados (cél/mL) a 20 m y 50 m de profundidad, durante septiembre de 2016.

La distribuci3n vertical de la abundancia de los flagelados, permiti3 observar el predominio de valores inferiores a 1,0 cél/mL en toda el área y en toda la columna de agua. La excepci3n fueron los focos del sector norte, que en Arica (18°25'S) y en punta Madrid (19°00'S) se encontraron restringidos a la superficie, con un máxmo de 55,2 cél/ml frente a punta Madrid (19°00'S) a 1 mn de la costa, y el núcleo de máxma abundancia (846,8 cél/mL) que se localizó a 40 mn de la costa y a los 10 m de profundidad en el sector de punta Junín (19°40'S), extendiéndose hasta los 20 m donde se registraron concentraciones superiores a 100 cél/mL (**Figura 60**).



**Figura 60** Distribuci3n vertical de la abundancia de flagelados (cél/mL) entre los 18°25' y 25°40' de latitud sur, durante septiembre de 2016.

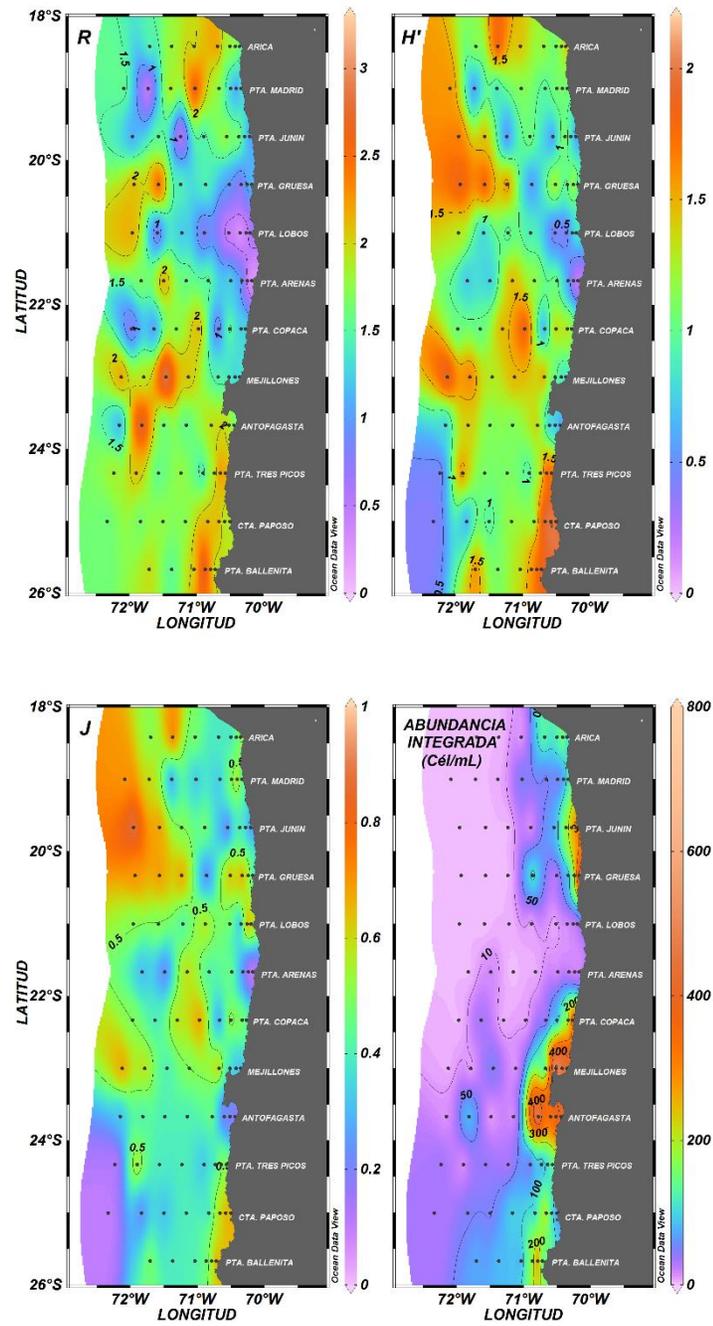


### 2.1.3.2 Estructura de la comunidad

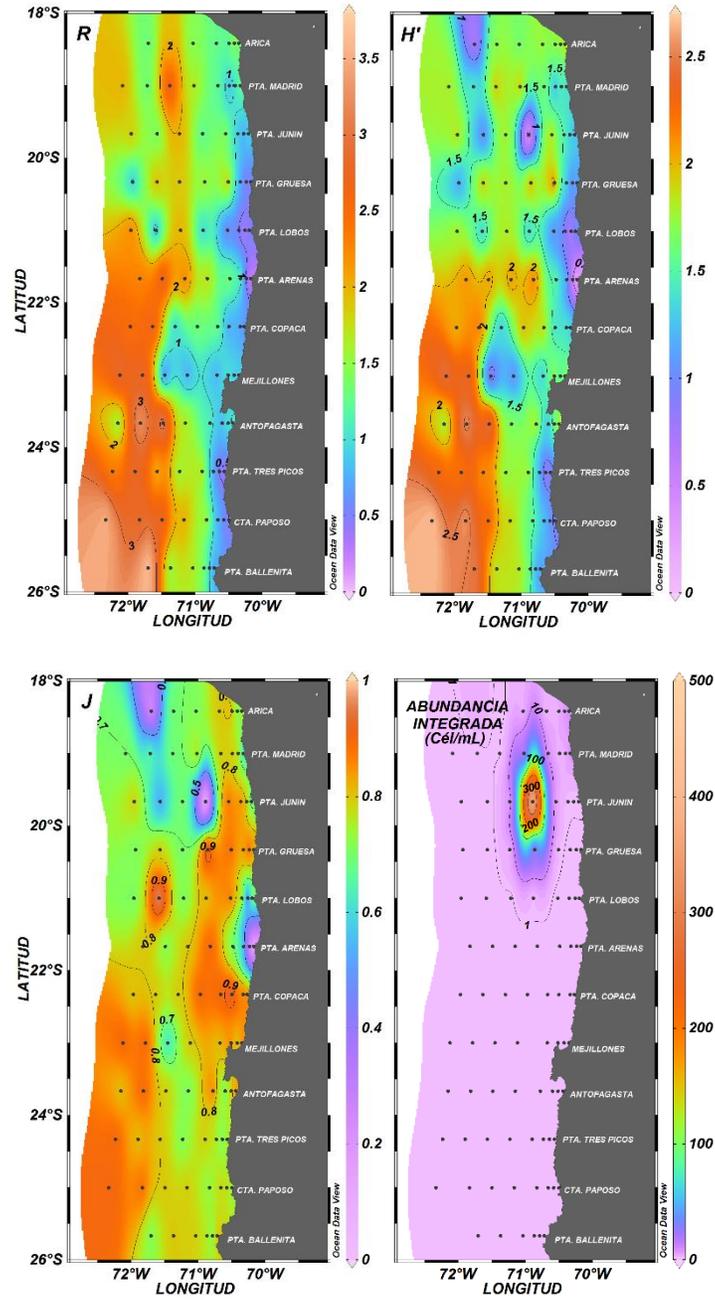
#### 2.1.3.2.1 Índices Comunitarios

La riqueza de especies del grupo de las diatomeas fluctuó entre 0,2 y 3,3. La distribución mostró una tendencia al aumento hacia la región oceánica (>40 mn) y desde Mejillones (23°00'S) hacia el sur. Altos valores (>1,5) se registraron en la costa (1-10 mn) asociados al foco que se extendió entre punta Tres picos (24°00'S) y punta Ballenita (25°40'S), mientras que en punta Gruesa (20°20'S) y Mejillones (23°00'S), donde se detectaron las concentraciones más importantes, la riqueza se mantuvo cercana a 1,0. Respecto de la diversidad, ésta presentó valores extremos de 0,1 y 2,2. La distribución reveló un patrón similar al de la riqueza, con valores superiores a 1,5 en el sector punta Tres picos (24°00'S) y punta Ballenita (25°40'S), e iguales o inferiores a 1,0 en las zonas de máxima abundancia. La uniformidad fluctuó entre 0,1 y 1,0. Los mayores valores (>0,6) se observaron en la región oceánica (60-100 mn) desde punta Gruesa (20°20'S) al norte, y disminuyó hacia el sur y en las áreas de máxima abundancia, excepto entre punta Tres picos (24°00'S) y punta Ballenita (25°40'S) donde fue cercana a 0,6 (**Figura 61**).

Los flagelados presentaron valores máximos de riqueza, diversidad y uniformidad de 3,8, 2,7 y 1,0 respectivamente. La distribución de la riqueza reveló altos valores en el sector entre 60 y 100 mn, especialmente desde punta Gruesa (20°20'S) al sur, lo mismo que la diversidad, mientras que en la franja costera (1-10 mn) ambos índices disminuyeron. Un patrón similar exhibió la uniformidad, destacando el valor mínimo (0,02) a 40 mn frente punta Junín (19°40'S) donde se registró la máxima concentración del grupo, y donde la diversidad también fue baja (0,1) (**Figura 62**).



**Figura 61** Distribución de los índices comunitarios de diatomeas. R: riqueza, H': diversidad y J: uniformidad, durante septiembre de 2016.



**Figura 62.** Distribuci3n de los índices comunitarios de flagelados. R: riqueza, H': diversidad y J: uniformidad, durante septiembre de 2016.



### 2.1.3.3 Especies Representativas

Las especies y géneros de diatomeas que realizaron aportes porcentuales superiores al 50% fueron *Cerataulina pelagica*, *Chaetoceros compressus*, *Chaetoceros debilis*, *Detonula pumila*, *Guinardia striata*, *Leptocylindrus danicus* y *Pseudo-nitzschia* sp.

Entre Arica (18°25'S) y punta Gruesa (20°20'S), donde se registró la abundancia máxima principal, destacaron *G. striata* y *C. debilis*. *Pseudo-nitzschia* sp exhibió proliferaciones casi mono-específicas en la zona de mínima concentración (punta Lobos (21°00'S)-punta Arenas (21°40'S)). En punta Copaca (22°20'S), Mejillones (23°00'S) y Antofagasta (23°40'S), *C. debilis*, *C. compressus* y *L. danicus* respectivamente, dieron cuenta de las abundancias observadas, y desde punta Tres picos (24°20'S) al sur, se registró un conjunto de especies con aportes similares, donde destacaron *D. pumila* y *Pseudo-nitzschia* sp. (**Tabla 21**).



**Tabla 21.** Géneros y especies de diatomeas con los mayores aportes porcentuales durante el crucero MOBIO de septiembre de 2016. AM: abundancia máxima (cél/mL), AP: aporte porcentual (%), AT: aporte total (%). Cpelag: *Cerataulina pelagica*, Ccompres: *Chaetoceros compressus*, Cebilis: *Chaetoceros debilis*, Dpumila: *Detonula pumila*, Gstriata: *Guinardia striata*, Ldanicus: *Leptocylindrus danicus*, Pseudo sp.: *Pseudo-nitzschia* sp.

DIATOMEAS	18°25'S		19°00'S		19°40'S		20°20'S		21°00'S		21°40'S	
	AM (cél/mL)	AP (%)										
Cdebilis							1146,0	65,9				
Gstriata	319,8	52,7	295,2	48,8	729,6	68,8	160,8	13,4				
Pseudo sp.	135,7	16,6	73,4	26,1	78,7	9,0	145,2	13,7	2,0	64,9	17,4	79,8
<b>AT (%)</b>		<b>69,4</b>		<b>74,9</b>		<b>77,8</b>		<b>93,0</b>		<b>64,9</b>		<b>79,8</b>

DIATOMEAS	22°20'S		23°00'S		23°40'S		24°20'S		25°00'S		25°40'S	
	AM (cél/mL)	AP (%)										
Cpelag											264,8	23,4
Ccompres	379,2	16,5	744,4	66,8	94,0	3,2					78,4	4,1
Cdebilis	708,0	58,6										
Dpumila					162,3	3,3	80,4	18,0	147,0	16,3	128,4	14,5
Ldanicus			111,4	3,7	925,2	80,1						
Pseudo sp.	84,0	6,1			211,6	7,9	65,4	48,3	79,7	40,1	54,2	18,9
<b>AT (%)</b>		<b>81,2</b>		<b>70,6</b>		<b>94,5</b>		<b>66,3</b>		<b>56,3</b>		<b>61,0</b>



Los flagelados que realizaron las mayores contribuciones porcentuales fueron los dinoflagelados tecados *Ceratium furca* y *Prorocentrum* sp., y los dinoflagelados atecados del género *Gymnodinium* y *Gyrodinium*.

*Prorocentrum* sp. dominó de manera mono-específica la zona entre Arica (18°25'S) y punta Junín (19°40'S). Entre punta Gruesa (20°20'S) y punta Copaca (22°20'S) fueron los dinoflagelados atecados, a los cuales se unió *C. furca* desde Mejillones (23°00'S) al sur (**Tabla 22**).



**Tabla 22.** Géneros y especies de flagelados con los mayores aportes porcentuales durante el crucero MOBIO de septiembre de 2016. AM: abundancia máxima (cél/mL), AP: aporte porcentual (%), AT: aporte total (%). Cfurca: *Ceratium furca*, Gymno sp.: *Gymnodinium sp.*, Gyro sp.: *Gyrodinium sp.*, Proro sp.: *Prorocentrum sp.*

FLAGELADOS	18°25'S		19°00'S		19°40'S		20°20'S		21°00'S		21°40'S	
	AM (cél/mL)	AP (%)										
Gymno sp.							0,4	32,2	0,2	35,9	0,3	34,4
Gyro sp.							0,6	16,4	0,1	7,8	0,3	14,7
Proro sp.	34,1	56,4	48,0	69,4	835,2	97,9						
<b>AT (%)</b>		<b>56,4</b>		<b>69,4</b>		<b>97,9</b>		<b>48,6</b>		<b>43,8</b>		<b>49,1</b>

FLAGELADOS	22°20'S		23°00'S		23°40'S		24°20'S		25°00'S		25°40'S	
	AM (cél/mL)	AP (%)										
Cfurca			0,4	12,7	0,6	9,6	0,2	5,5	0,2	9,0	0,2	5,5
Gymno sp.	0,2	32,7	0,8	33,6	0,6	23,2	1,0	35,8	0,7	31,0	0,5	33,5
Gyro sp.	0,4	14,7	0,5	13,0	0,4	13,4	1,2	32,7	1,0	21,7	0,2	14,9
<b>AT (%)</b>		<b>47,4</b>		<b>59,3</b>		<b>46,3</b>		<b>74,0</b>		<b>61,7</b>		<b>53,8</b>

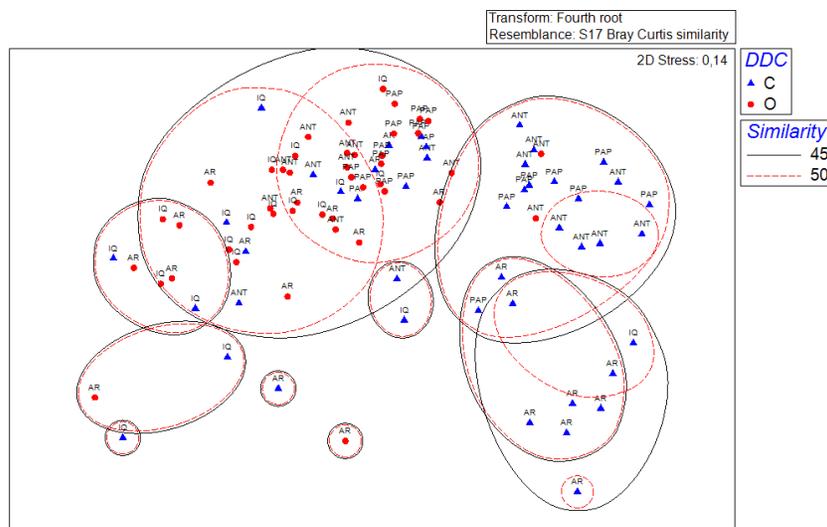


### 2.1.3.4 Análisis de Ordenamiento

Se evaluaron las diferencias latitudinales y longitudinales en la distribución de las especies de diatomeas y dinoflagelados. Para esto se aplicó un análisis de ordenamiento, mediante el programa PRIMER 6, correspondiente a un escalamiento multidimensional no-métrico (NMDS). Se trabajó con la información de abundancia de las especies que realizaron aportes al total iguales o superiores al 50%, en forma individual o en conjunto. Una vez obtenidos los grupos se aplicó un análisis de similitud (ANOSIM) para establecer la distancia entre ellos. Se consideraron especies costeras aquellas que se distribuyeron entre 1 y 20 mn de la costa, y oceánicas las que se detectaron entre 40 y 100 mn (Avaria et al., 1982).

El análisis de ordenamiento permitió la separación entre la zona costera (1-20 mn) y la zona oceánica (40-100 mn) (ANOSIM 0,2), y dentro de la zona costera se diferenciaron tres áreas. La primera, denominada Arica (AR), correspondió al sector Arica (18°25'S)-punta Junín (19°40'), la segunda Antofagasta (ANT) se extendió desde punta Copaca (22°20'S) a Antofagasta (23°40'S) y la tercera PAPOSO (PAP) agrupó las localidades desde punta Tres Picos (24°20'S) a punta Ballenita (25°40'S). La zona oceánica no exhibió divisiones latitudinales y se encontró asociada principalmente al área costera IQUIQUE (IQ), que comprendió desde punta Gruesa (20°20'S) a punta Arenas (21°40'S) (Figura 63).

Al analizar la composición específica de las agrupaciones se observó que la abundancia de las diatomeas determinó la separación costa-oceano y, además, estableció las diferencias latitudinales, destacando *Guinardia striata* en el área Arica (AR), *Chaetoceros compressus* y *Leptocylindrus danicus* en Antofagasta y Paposos, y en el área Iquique y en el sector oceánico, *Pseudo-nitzschia* sp. Entre los flagelados, el género *Prorocentrum* dominó en el área Arica, y en las otras zonas y en el sector oceánico, las formas atecadas de los géneros *Gymnodinium* y *Gyrodinium*.



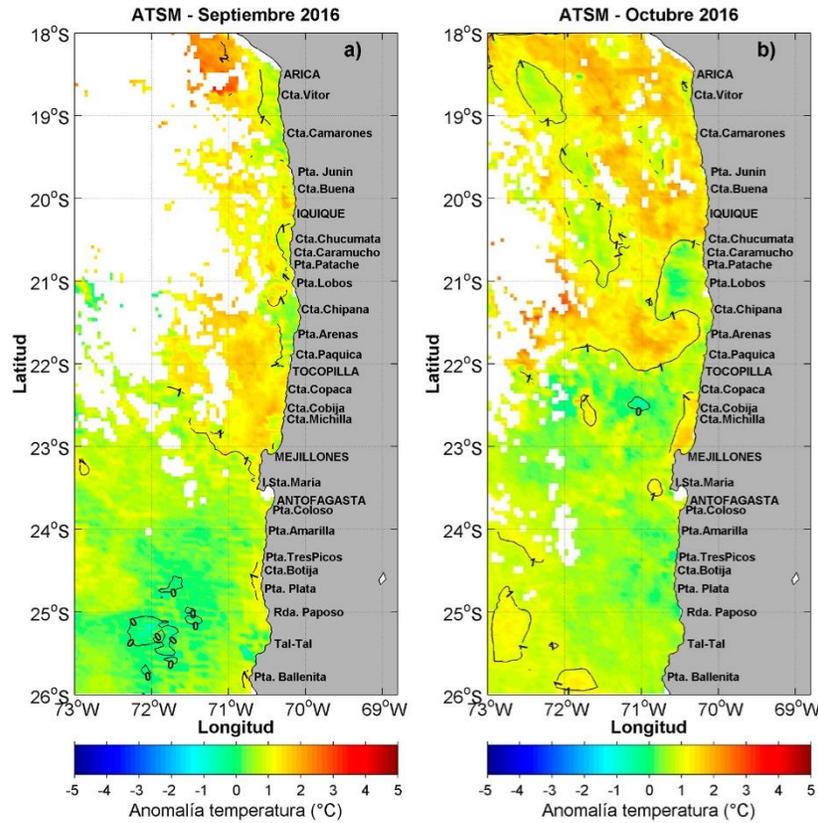


**Figura 63** Resultados del análisis de ordenación de la abundancia total por distancia de la costa (DDC). Los triángulos azules identifican la zona costera (C) y los círculos rojos la zona oceánica (O). Las letras representan los sectores ARICA (AR): Arica (18°25'S)-punta Junín (19°40'S), IQUIQUE (IQ): punta Gruesa (20°20'S)-punta Arenas (21°40'S), ANTOFAGASTA (ANT): punta Copaca (22°20'S)-Antofagasta (23°40'S), PAPOSO (PAP): punta Tres Picos (24°20'S)-punta Ballenita (25°40'S).

## 2.1.4 Variable satelitales

### 2.1.4.1 Anomalía de Temperatura superficial del mar (ATSM)

En septiembre y octubre predominaron las ATSM positivas en toda la zona. En septiembre se presentó nubosidad en el sector oceánico al norte de los 22°S, sin embargo, ATSM  $>+1^{\circ}\text{C}$  se registraron en la costa desde Mejillones, y desde los 22°S con 72°W hacia el norte, en el sector oceánico. Máximos de  $+2^{\circ}\text{C}$  se registraron en focos frente a Arica. En la costa, focos positivos menores a  $+1^{\circ}\text{C}$  se registraron entre Arica y punta Junín, caleta Chucumata y entre punta Lobos a Tocopilla. Al sur de la península de Mejillones los valores se mantuvieron menores a  $+1^{\circ}\text{C}$ . En octubre disminuyó el área de cobertura de las ATSM  $>+1^{\circ}\text{C}$ , registrándose éstas desde los 22°S al norte en el sector oceánico y en la costa estuvieron presentes desde caleta Chucumata al norte y de caleta Copaca a Mejillones (**Figura 64**).



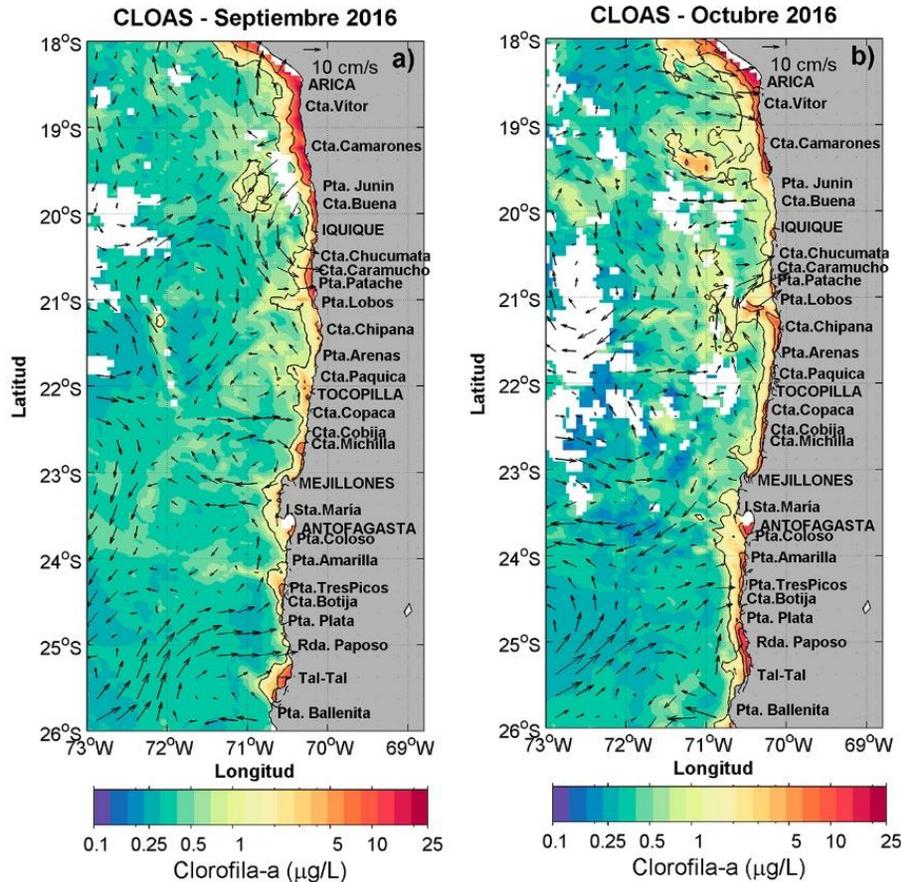
**Figura 64.** Distribución superficial de anomalía de temperatura satelital ( $^{\circ}\text{C}$ ) promedio mensual de: a) Septiembre 2016, y b) Octubre 2016. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.

#### 2.1.4.2 Clorofila-a y velocidad geostrofica

La distribución de clorofila-a satelital promedio mensual para septiembre y octubre dio cuenta de una franja costera de valores  $>1 \mu\text{g/L}$  a lo largo de toda la zona, abarcando una mayor extensión hacia el oeste desde caleta Chipana al norte. Los focos de mayor extensión se acentuaron en octubre, en los  $21^{\circ}\text{S}$  que llegó a los  $71^{\circ}\text{W}$  y al norte de los  $20^{\circ}\text{S}$  extendido hasta los  $71,5^{\circ}\text{W}$ , donde alcanzó concentraciones  $>5 \mu\text{g/L}$ . En septiembre, concentraciones  $>5 \mu\text{g/L}$ , se registraron desde punta Lobos al norte, con máximos  $>20 \mu\text{g/L}$  entre Arica y los  $19^{\circ}30'\text{S}$  y hacia el sur focos  $>5 \mu\text{g/L}$  se registraron en Michilla, Antofagasta, punta Tres Picos y en el área de Tal-Tal. En octubre, el foco norte se redujo hasta el norte de punta Junín, conservando los máximos en Arica. Hacia el sur, concentraciones  $>5 \mu\text{g/L}$  se registraron desde caleta Chipana hasta Mejillones, y entre  $5$  y  $10 \mu\text{g/L}$  desde Antofagasta a Tal-Tal (**Figura 65a**).



Las cartas de circulación geostrófica para ambos meses mostraron velocidades predominantes  $<10$  cm/s y con alta variación en la dirección. Destacó un giro ciclónico centrado en el sector oceánico de los  $21^{\circ}\text{S}$  que permaneció los dos meses, al igual que un flujo hacia la costa al sur de punta Tres Picos, el que se debilitó en octubre. Un flujo hacia la costa al sur de Iquique fue coincidente con una estructura anticiclónica con máximos  $>10$  cm/s principalmente en octubre. Este mes además se registraron flujos hacia la costa  $>10$  cm/s en el área de Arica (**Figura 65b**).



**Figura 65.** Distribuci3n superficial promedio mensual de clorofila-a satelital (µg/L) y velocidad geostrofica (m/s) de: a) Septiembre 2016, y b) Octubre 2016. Crucero MOBIO-MPH en las XV y II regiones, septiembre-octubre de 2016.

### 2.1.4.3 Series de tiempo

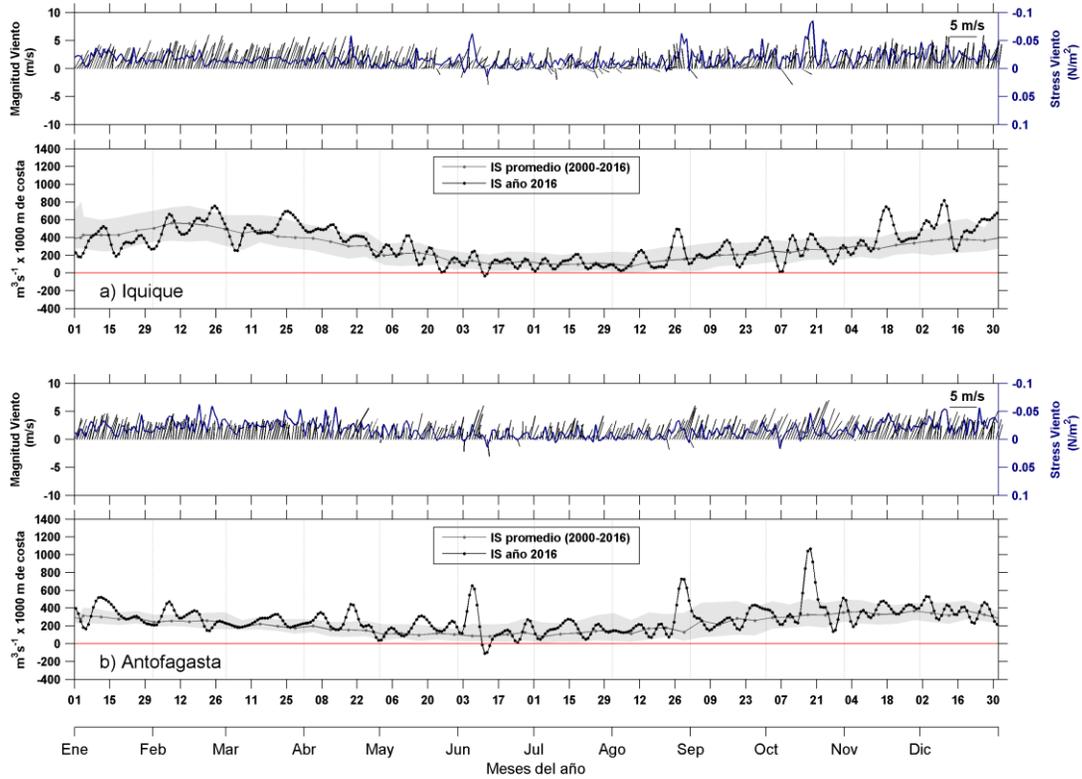
#### 2.1.4.3.1 Series de tiempo de viento en la costa de Iquique y Antofagasta

La serie de trazos de los vectores de viento en ambas localidades (Iquique y Antofagasta) (**Figura 66**), presentaron una direcci3n predominantemente desde el sur-suroeste pr3cticamente durante todo el a1o 2016, con eventos aislados de vientos NO entre junio-octubre. Ambas localidades presentaron estr3s del viento en su mayor1a  $<0,05 \text{ N/m}^2$ , variando de acuerdo a la estacionalidad del ciclo anual, las magnitudes fueron mayores en Iquique que en Antofagasta. En ambas series se observ3 una disminuci3n de las intensidades en el periodo de invierno junto con una mayor variaci3n en la direcci3n, lo que se tradujo en una disminuci3n estacional del 1ndice de Surgencia (IS).

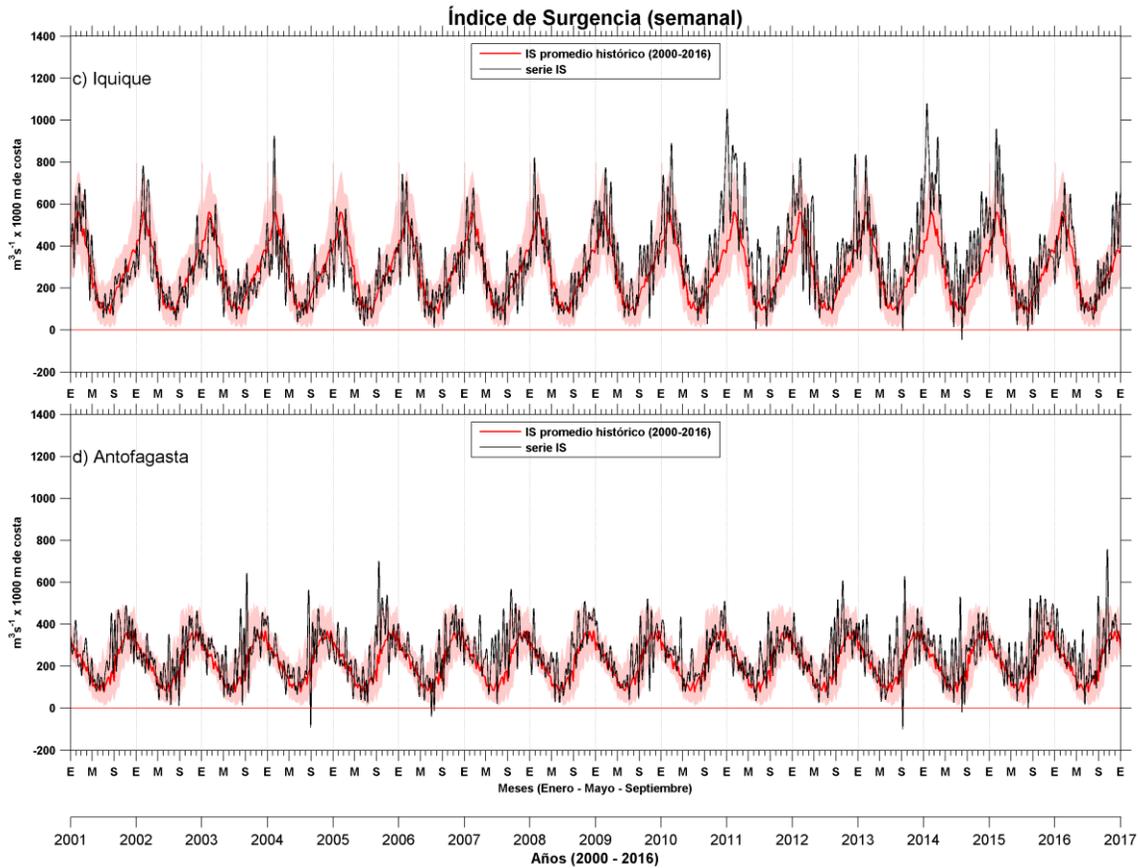


Iquique mostró valores del IS más cercanos al rango de las medianas de la serie, con aumentos notables fuera del rango,  $>200 \text{ m}^3/\text{s}$ , a finales de agosto, noviembre (el más importante,  $\sim 300 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y comienzos de diciembre, mientras que en Antofagasta, aumentos del IS se dieron más frecuentemente, registrándose los más notables,  $>400 \text{ m}^3/\text{s}$ , a comienzos de junio, finales de agosto y mediados de octubre, éste último el mayor aumento de ambas series ( $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Valores negativos del IS, indicando un transporte hacia la costa, fueron de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  en Antofagasta, y sólo se observaron coincidentes con los eventos de viento en dirección N-NO de comienzos de junio.

La serie de tiempo histórica del IS semanal (2000-2016) muestra mayor rango de intensidades en Iquique (**Figura 67**). En esta localidad valores por sobre el rango de la mediana se han registrado con mayor intensidad entre 2010 y 2015, disminuyendo estas diferencias durante 2016. En Mejillones pulsos notables por sobre la media han sido esporádicos en la serie, y en 2016 destacan aumentos a final de año, registrándose en octubre el valor puntual más alto de la serie ( $\sim 750 \text{ m}^3/\text{s}$ ).



**Figura 66.** Panel superior: Diagrama de trazos del viento y estr3s del viento ( $N/m^2$ ) diario, durante el a3o 2016. Panel inferior: Serie temporal del 3ndice de Surgencia ( $m^3/s \times 1000$  m de costa) filtrada con un peso medio de 7 d3as, junto con su promedio hist3rico semanal (2000 – 2016) obtenido de los datos de viento tri-horario. El 3rea sombreada representa la mediana, Q1 y Q3 de la serie hist3rica, entre enero y diciembre de 2016, de los aeropuertos: a) Diego de Aracena en Iquique, y b) Cerro Moreno en Antofagasta. Fuente de datos: Direcci3n Meteorol3gica de Chile.



**Figura 67.** Serie temporal del Índice de Surgencia ( $m^3/s \times 1000$  m de costa), filtrada con un peso de 15 días y su promedio histórico semanal de los datos de viento tri-horario (enero 2000 - diciembre 2016) El área sombreada representa la mediana, Q1 y Q3 de la serie histórica, entre enero y diciembre de 2016, de los aeropuertos: a) Diego de Aracena en Iquique, y b) Cerro Moreno en Antofagasta. Fuente de datos: Dirección Meteorológica de Chile.



### 2.1.4.3.2 Condiciones regionales y locales (series de tiempo)

El evento cálido El Niño 2015-2016, que dio inicio en la región ecuatorial en febrero de 2015 y se prolongó hasta abril de 2016, fue considerado como uno de los más intensos de los últimos 50 años (**Figura 68a**). Posteriormente a este evento, la zona Ecuatorial registró un periodo neutral con tendencia hacia condiciones frías hasta el mes de septiembre. En octubre de 2016 se decretó una condición La Niña de carácter débil, la que se mantuvo hasta diciembre de 2016. Desde enero de 2017, la región Ecuatorial fue consistente con condiciones neutrales, lo que se espera se mantenga durante el otoño austral. Posterior a este período los pronósticos son inciertos (NOAA, 2015; 2016; 2017).

Los indicadores regionales mostraron comportamientos contrarios en la segunda mitad de 2016. Lo anterior dado que en la región Niño3.4 las anomalías cambiaron a negativas en junio, lo que se mantuvo hasta mediados de febrero (con un mínimo de  $-0,9^{\circ}\text{C}$  registrado en octubre), mientras en la región Niño1+2, a pesar de mostrar una disminución luego del evento cálido, las anomalías fueron positivas con valores de  $+0,53^{\circ}\text{C}$  en septiembre y  $+0,43^{\circ}\text{C}$  en diciembre, aumentando desde mediados de enero de 2017 hasta mediados de marzo a valores  $>+1,5^{\circ}\text{C}$ , pero en abril disminuyeron a  $\sim 1^{\circ}\text{C}$  (**Figura 68a**).

### 2.1.4.3.3 Condiciones oceanográficas locales en base a imágenes satelitales (2002-2017):

#### 2.1.4.3.3.1 Serie de Anomalía de Temperatura

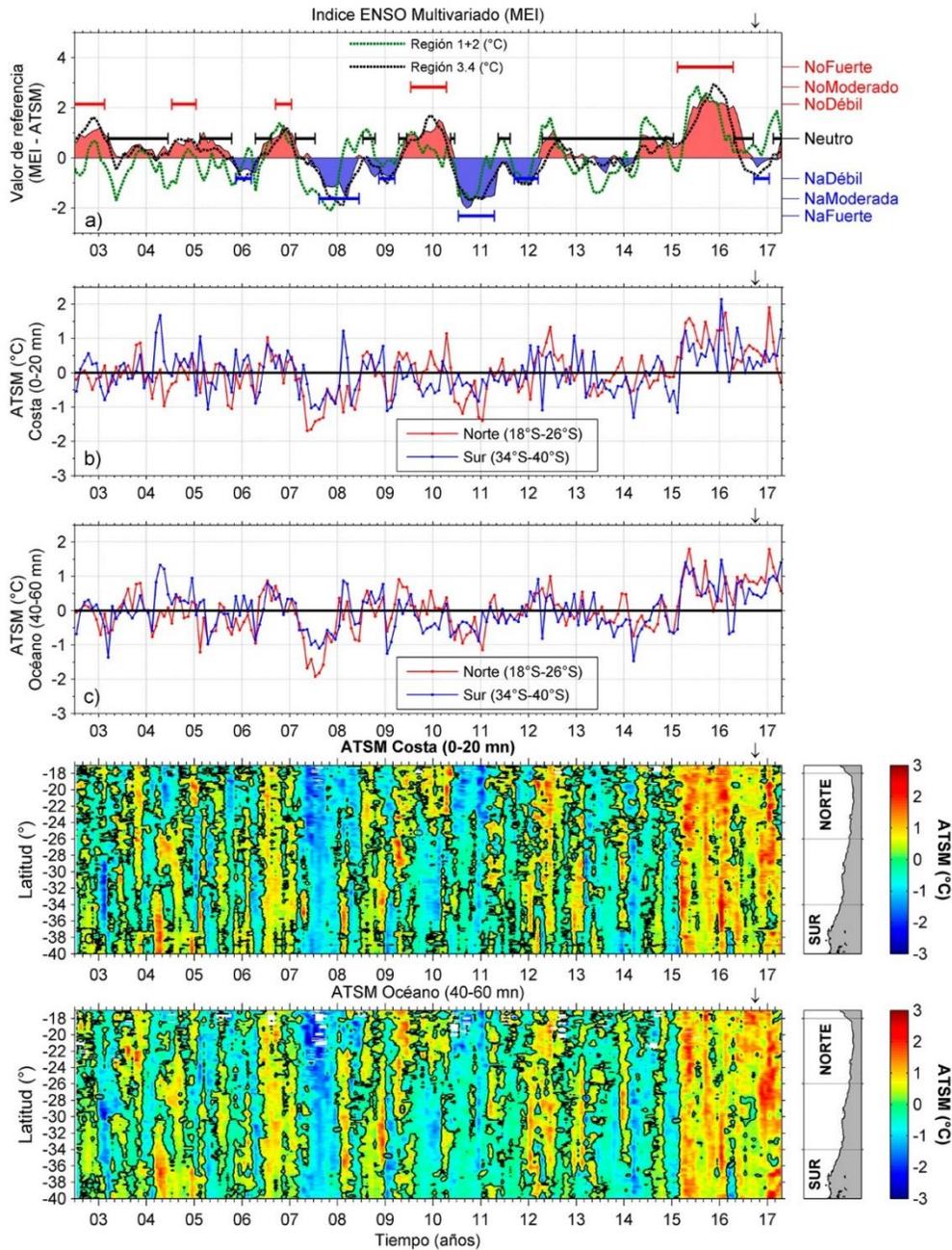
Anomalías positivas de temperatura (ATSM) se registraron en la zona norte ( $18^{\circ}$ - $26^{\circ}\text{S}$ ) desde febrero de 2015, y un mes después en la zona sur ( $23^{\circ}$ - $40^{\circ}\text{S}$ ), dando comienzo al evento El Niño 2015-2016 en las costas de Chile (**Figura 68A**). En las series costeras, los máximos valores se registraron en enero de 2016 en el sector sur ( $2,1^{\circ}\text{C}$ ) y en febrero 2016 en el sector norte ( $1,8^{\circ}\text{C}$ ) (**Figuras 68b**). El pico de las ATSM en la serie oceánica se registró en el mes de mayo 2015 en el sector norte ( $1,8^{\circ}\text{C}$ ), abril de 2015 y en el sector sur en enero de 2016 ( $\sim 1,5^{\circ}\text{C}$ ) (**Figura 68c**). En la región Ecuatorial la NOAA en mayo de 2016 indicó una transición a condición neutral, y posteriormente decretó una condición La Niña débil en octubre, sin embargo, a nivel local en la zona norte se mantuvieron las ATSM positivas ( $>0^{\circ}\text{C}$ ) hasta marzo de 2017.



En las series de ATSM de la zona sur, por otro lado, también se mantuvieron las ATSM positivas, pero se registraron valores negativos en el sector costero en marzo de 2016 ( $-0,3^{\circ}\text{C}$ ) y en el sector oceánico en marzo y abril 2016 ( $\sim -0,6^{\circ}\text{C}$ ). Entre agosto y diciembre de 2016 en el sector oceánico sur las ATSM fluctuaron en torno a los  $0,5^{\circ}\text{C}$ , y en el sector norte en torno a valores de  $0,9^{\circ}\text{C}$  desde julio a diciembre. En las series costeras, desde agosto a diciembre de 2016 en el sector norte las anomalías han mostrado un descenso sostenido, de  $0,8$  a  $0,3^{\circ}\text{C}$ , y en el sector sur una tendencia positiva hasta diciembre, cuando se registró un valor de  $0,6^{\circ}\text{C}$ . En los primeros meses de 2017, ATSM de  $+1,9^{\circ}\text{C}$  en el sector costero y  $+1,8^{\circ}\text{C}$  en el sector oceánico, valores máximos del período. Posteriormente las anomalías descendieron gradualmente hasta  $-0,3^{\circ}\text{C}$  en el sector costero, primer dato negativo desde enero de 2015. El sector sur en cambio, ha mostrado una tendencia al alza en los cuatro primeros meses de 2017, alcanzando en abril valores de  $+1,3^{\circ}\text{C}$  en la costa y  $+1,4^{\circ}\text{C}$  en el océano.

Los diagramas Hovmöller mostraron prácticamente toda la zona con anomalías positivas en el período marzo 2015 a abril 2017. En el sector costero, al norte de los  $24^{\circ}\text{S}$ , anomalías  $>1^{\circ}\text{C}$  se mantuvieron constantes entre marzo 2015 y febrero 2016 (período más largo), y posteriormente en enero-febrero de 2017. Entre los  $34^{\circ}$  y  $37^{\circ}\text{S}$  se registraron las mayores anomalías ( $>1^{\circ}\text{C}$ ) de la zona sur, las que a diferencia de la zona norte se dieron en forma de pulsos. Entre los  $24^{\circ}$  y  $27^{\circ}\text{S}$  anomalías  $>1^{\circ}\text{C}$  se han mantenido desde noviembre a febrero 2017, siendo el período más extenso de esta área. Las mayores anomalías,  $+2^{\circ}$  a  $+3^{\circ}\text{C}$ , se registraron en forma simultánea tanto en la zona norte como en la sur, en los meses de marzo-abril 2015, enero-febrero 2016 y enero-febrero 2017 (**Figuras 68 d y e**).

En el sector oceánico, aunque se mantuvieron las anomalías positivas en la mayor parte de la zona entre febrero-marzo 2015-a abril 2017, registrándose una menor frecuencia de núcleos de valores  $>1^{\circ}\text{C}$  que en el sector costero. Una mayor cobertura de valores  $>1^{\circ}\text{C}$ , se registraron entre enero y abril de 2017, al norte de los  $32^{\circ}\text{S}$ . Dentro de este período cálido, se registraron anomalías negativas en ambos sectores (costa y océano), principalmente al sur de los  $35^{\circ}\text{S}$  entre marzo y abril de 2016 con mínimos de  $-1^{\circ}\text{C}$ , en el sector oceánico principalmente y anomalías negativas ( $<0^{\circ}\text{C}$ ) en el sector costero entre los  $20^{\circ}$  y  $24^{\circ}\text{S}$  (**Figuras 68 d y e**).



**Figura 68.** Series de tiempo para el período mayo 2002- abril 2017 de: a) MEI y ATSM en la Regi3n Ni3o<sub>1+2</sub> y Regi3n Ni3o<sub>3,4</sub>, con rangos MEI clasificando la intensidad de los ciclos ENOS. Series de tiempo del promedio de ATSM (°C) norte entre 18°-26°S (rojo) y sur 34°-40°S (azul) en los sectores: b) costero, y c) oceánico. Diagramas Hovmöller de ATSM en los sectores: d) costero, y e) oceánico, para el área total (18°-40°S).



#### 2.1.4.4 Serie de clorofila-a satelital

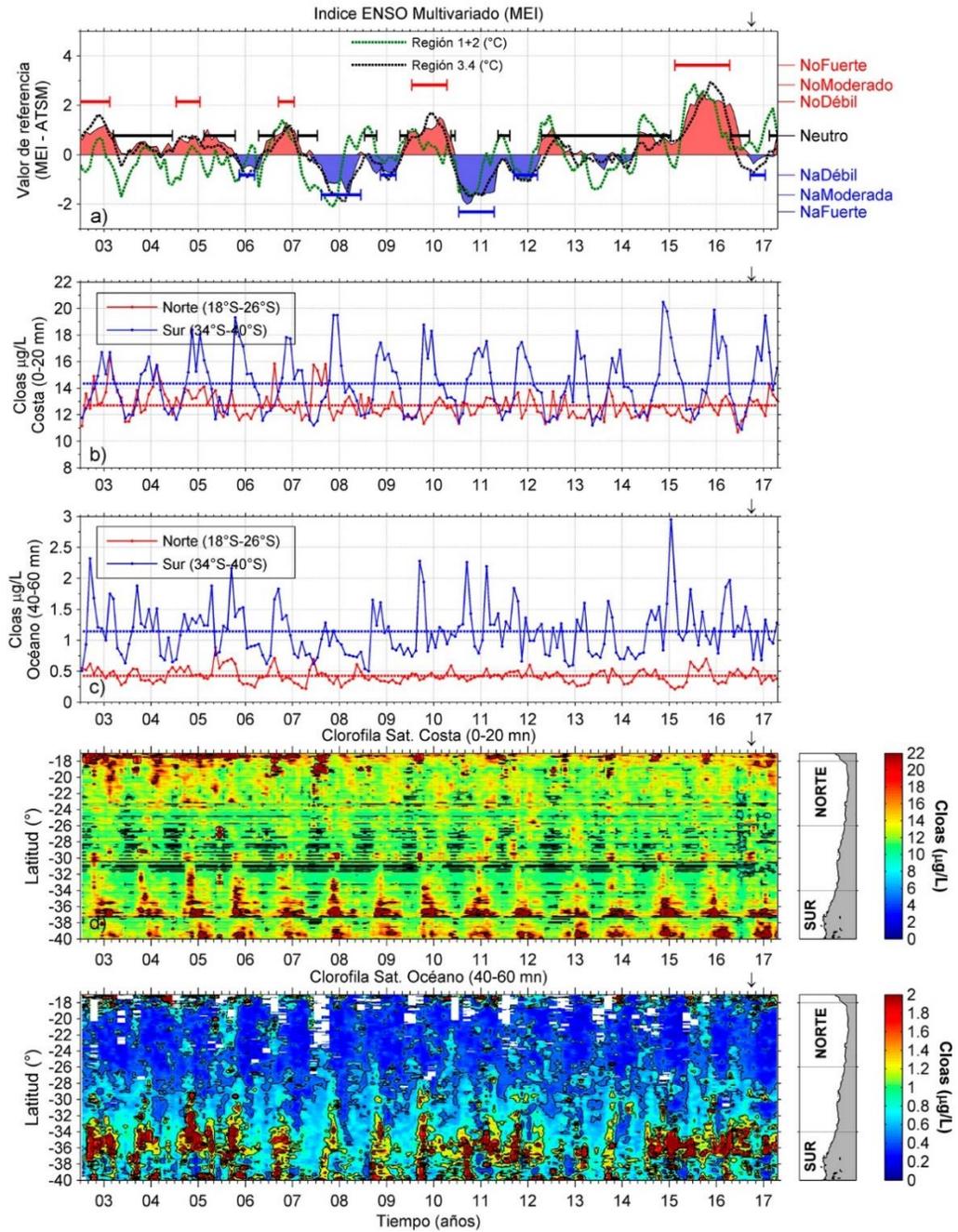
Las series de clorofila-a norte ( $18^{\circ}$  a  $26^{\circ}$ S) y sur ( $34^{\circ}$  a  $40^{\circ}$ S) del período 2002-2016, muestran que la serie costera sur ha sido más regular con máximos estacionales en primavera-verano y un promedio de datos ( $14,2 \mu\text{g/L}$ ) mayor que la serie norte ( $12,7 \mu\text{g/L}$ ). Los máximos de la serie norte han tenido mayor variación en cuanto a la temporalidad sin presentar una estacionalidad clara (**Figura 69**).

La serie costera sur ha mostrado una leve tendencia positiva, con la excepción del año 2012, debido al retardo en la aparición del máximo de primavera al verano de 2013. En la serie costera norte en cambio, se observa un quiebre en la serie a finales de 2007, siendo las concentraciones de clorofila-a más bajas desde 2008 en adelante. En este sentido se observa una tendencia negativa entre los años 2003 y 2012, para luego presentar un incremento en las concentraciones hasta abril de 2017 (no comparables a la primera parte de la serie, antes de 2007), manteniéndose el año 2009 como el más pobre de la serie.

En estas series, el evento cálido 2015-16 no habría tenido una mayor influencia sobre la distribución pigmentaria, ya que en la serie costera sur para los periodos 2015 y 2016 se registraron los habituales máximos de primavera-verano, correspondiendo el dato de diciembre de 2015 al tercer valor más alto de la serie, después de los registros de noviembre y diciembre de 2014. En la serie costera norte se registraron máximos en la primavera de 2015, y en verano y primavera de 2016, con datos dentro del rango de lo observado en los últimos años de la serie. Por el contrario, entre junio y julio de 2016 se registraron las menores concentraciones del sector costero (series norte y sur).

Las series del sector oceánico, tienen comportamientos más variados con una mayor frecuencia de máximos invernales en la zona norte y en primavera-verano en la zona sur. La serie sur (promedio  $1,1 \mu\text{g/L}$ ) ha mostrado concentraciones más altas que la norte (promedio  $0,4 \mu\text{g/L}$ ).

En los diagramas Hovmöller (**Figura 69d**) del sector costero, las áreas de mayor recurrencia de focos de altas concentraciones ( $>1 \mu\text{g/L}$ ) se restringen al norte de los  $20^{\circ}$ S hasta finales de 2007, ya que posteriormente los focos recurrentes se replegaron al norte de los  $19^{\circ}$ S. Entre los  $24^{\circ}$  y  $32^{\circ}$ S se encontró un área de relativa pobreza con focos recurrentes  $<10 \mu\text{g/L}$ . Al sur de los  $32^{\circ}$ S aparecen focos estacionales de primavera-verano, con máximos de hasta  $20 \mu\text{g/L}$  que se extienden hasta los  $\sim 37^{\circ}10'S$ , observándose un quiebre al sur de punta Lavapié. Entre los  $39^{\circ}$  y  $40^{\circ}$ S nuevamente destacan focos estacionales de primavera-verano con valores  $> 20 \mu\text{g/L}$ . En el sector oceánico, un área recurrente de mayores concentraciones ( $1$  a  $2 \mu\text{g/L}$ ) se mantiene al norte de los  $19^{\circ}$ S, observándose hacia el sur un área de pobreza pigmentaria relativa hasta los  $26^{\circ}$ S. Al sur de los  $26^{\circ}$ S, se registran habitualmente  $>0,5 \mu\text{g/L}$ , aumentando hasta valores  $>2 \mu\text{g/L}$  al sur de los  $33^{\circ}$ S, con máximos estacionales menos definidos que en el sector costero.



**Figura 69.** Series de tiempo para el período mayo 2002- abril 2017 de: a) MEI y ATSM en la Región Niño<sub>1+2</sub> y Región Niño<sub>3,4</sub>, con rangos MEI clasificando la intensidad de los ciclos ENOS. Series de tiempo del promedio de clorofila-a satelital norte entre 18°-26°S (rojo) y sur 34°-40°S (azul) en los sectores: b) costero, y c) oceánico. Diagramas Hovmöller de clorofila-a satelital en los sectores: d) costero, y e) oceánico, para el área total (18°-40°S).

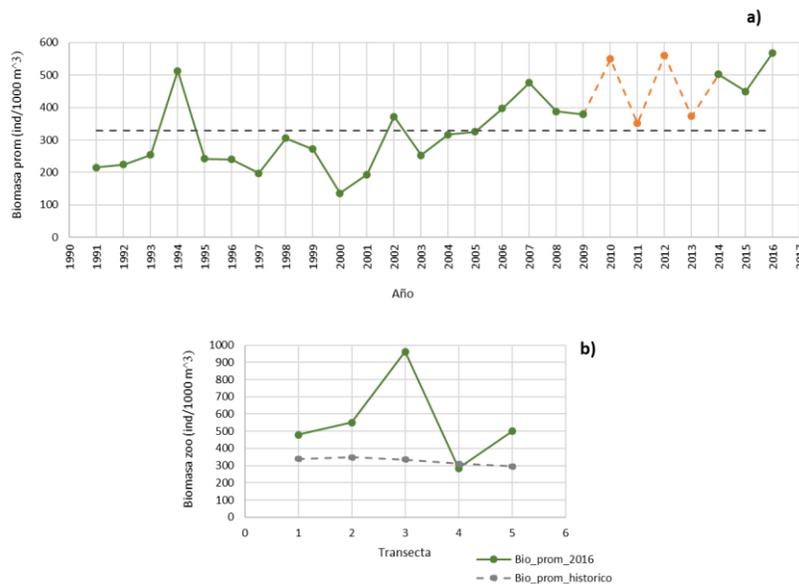


## 2.2 Objetivo específico 4.2.2: Determinar la distribución espacial de la abundancia, la composición del mesozooplanton y del ictioplanton.

### 2.2.1 Zooplancton en el crucero

La biomasa media del zooplancton de la serie de datos 1991-2016 se caracterizó por presentar valores mayores al promedio histórico ( $328 \text{ ml}/1000\text{m}^3$ ), desde el 2006 a 2016. El nivel de biomasa media más alto se registró en el 2016, con  $568 \text{ ml}/1000\text{m}^3$ ; seguido de 1994 con  $513 \text{ ml}/1000\text{m}^3$ . La más baja biomasa se observó en el 2000 ( $136 \text{ ml}/1000\text{m}^3$ ) (Figura 70a).

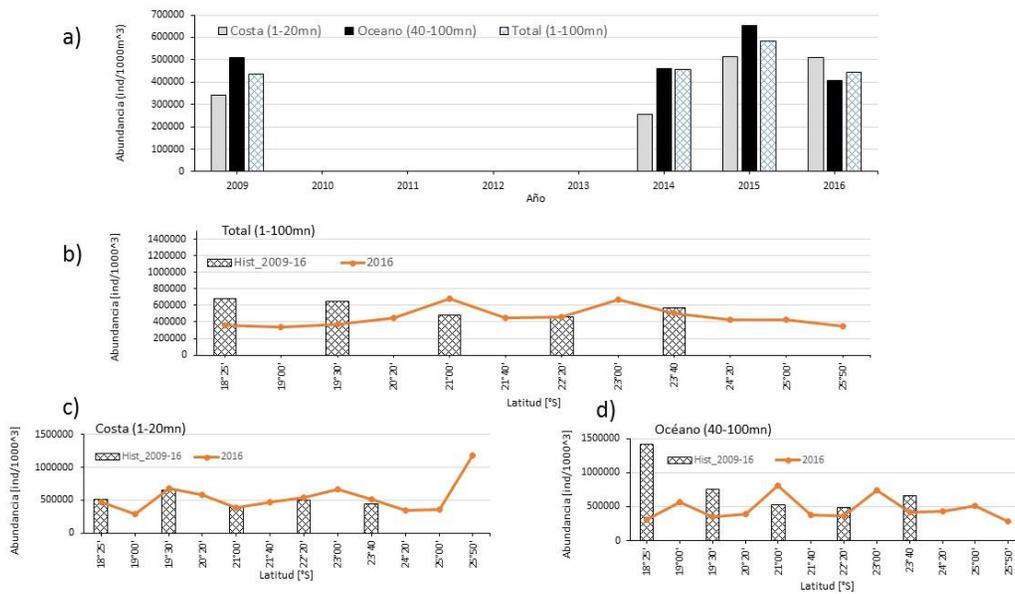
En cuanto a la distribución de la biomasa media histórica entre las 5 transectas, se encontraron los valores más altos en la transecta 2 ( $348 \text{ ml}/1000\text{m}^3$ ), disminuyendo gradualmente hacia el sur, registrando el nivel más bajo en la transecta 5 ( $295 \text{ ml}/1000\text{m}^3$ ). A pesar de lo anterior, la biomasa histórica presentó promedios poco variables en las 5 transectas. Por otra parte, la distribución de la biomasa media en el 2016 fue diferente a la histórica, registrándose el mayor valor en la transecta 3 ( $962 \text{ ml}/1000\text{m}^3$ ), siendo superior a los niveles históricos de las transectas (Figura 70b).



**Figura 70.** a) Biomasa promedio interanual del zooplancton total ( $\text{ml zoo}/1000 \text{ m}^3$ ), obtenida a partir de los proyectos MOBIO norte 1991-2016 (línea verde) y RECLAN 2010-2013 (línea punteada anaranjada). Se indica en una línea punteada gris el valor de biomasa promedio histórica 1991-2016. b) biomasa promedio del Zooplancton para las 5 transectas históricas del proyecto MOBIO norte, durante el periodo 1991-2016 (línea punteada gris); y del proyecto MOBIO 2016 (línea verde).



La mediana estimada sobre los datos de abundancia zooplanct3nica en la prospecci3n a1o 2016 fue un 24% menor a lo reportado el a1o anterior, debido principalmente a la disminuci3n observada en los registros de la franja oce3nica (40-100mn), aspecto excepcional en la base de datos disponible (**Figura 71a**). En la distribuci3n promedio hist3rica de este par3metro por transecta (5 transectas hist3ricas) el promedio m3s alto de los registros oce3nicos se observ3 en la primera transecta (18°25'LS) posiblemente asociado a la proyecci3n de focos de productividad costera del Per3 (Codo de Arica), mientras que durante la prospecci3n a1o 2016, los registros m3s altos de abundancia zooplanct3nica oce3nica se obtuvieron en los paralelos 19°00' S, 21°00' S y 23°00' S (**Figura 71b, Tabla 23**).



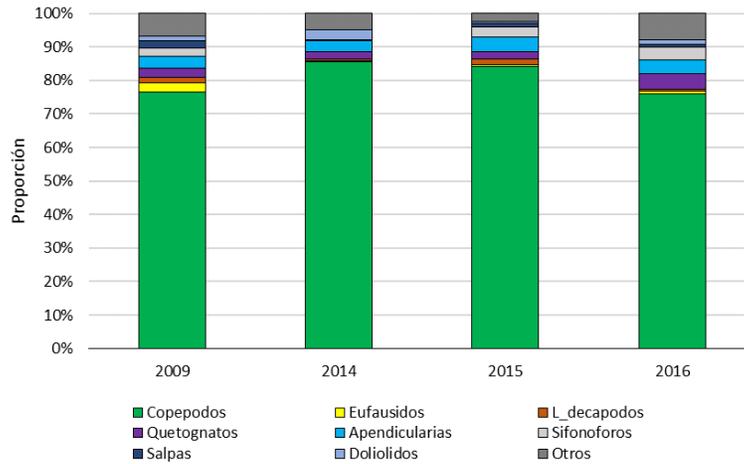
**Figura 71** Gr3ficos de: a) La distribuci3n interanual general de la mediana estimada por zonas del zooplancton, b) mediana estimada por transecta (hist3rica y a1o 2016) para el 3rea total, c) mediana estimada por transecta (hist3rica y a1o 2016) franja costera (1-20mn) y d) mediana estimada por transecta (hist3rica y a1o 2016) franja oce3nica (40-100mn).



**Tabla 23.** Tabla resumen la abundancia relativa, valores mínimos, máximos, promedios, desviaciones estándar, constancia numérica (CN) y frecuencia de ocurrencia (FO), para cada grupo del zooplancton identificado en el área y periodo de estudio.

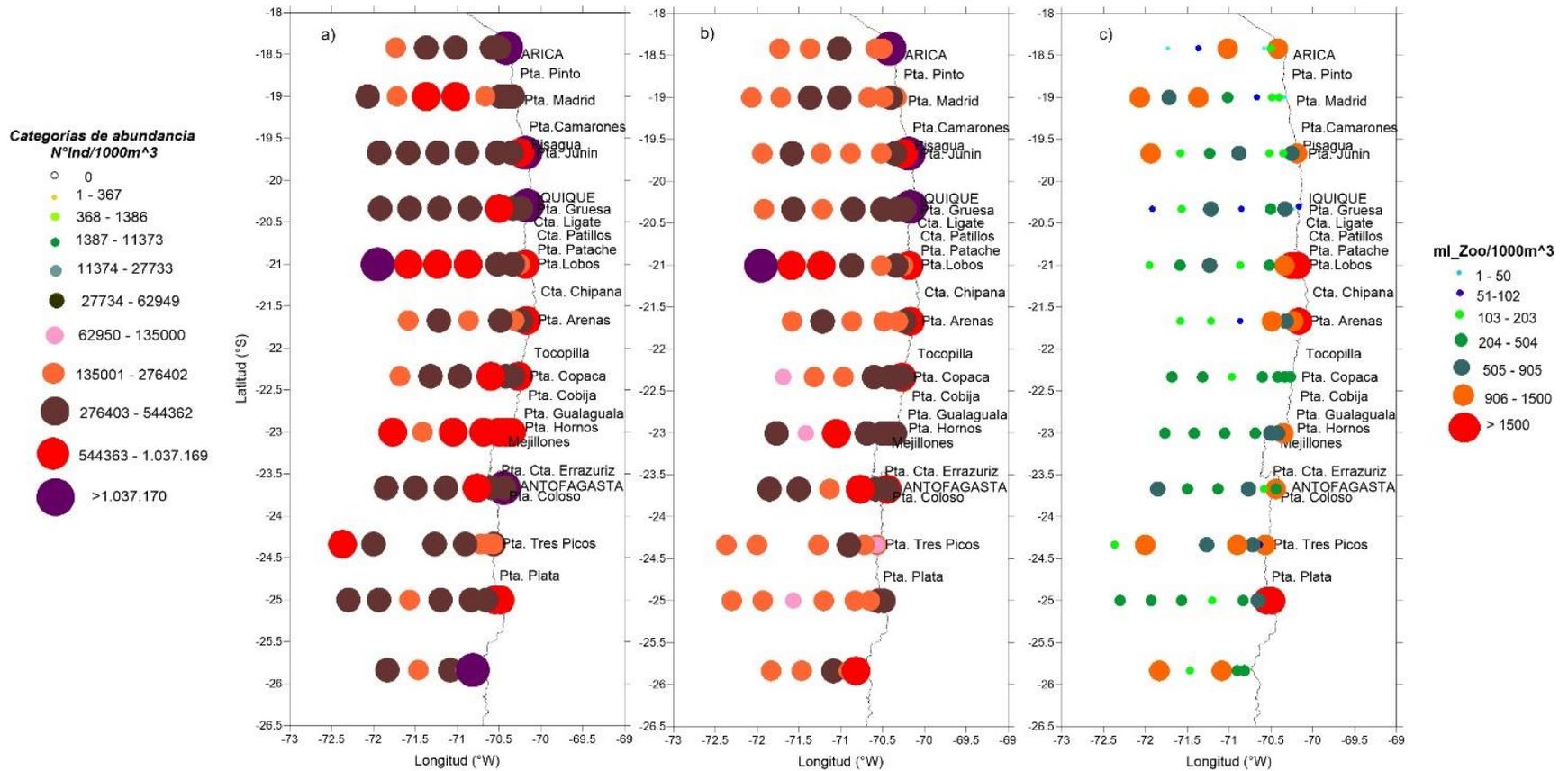
Taxa	Nº Total ind	Nº Est (+)	Mínimo	Máximo	Mediana	Promedio	Desv Estand	CN %	FO %
Copepodos	32441910	89	73221	1296274	289155	364516	245668	70.024	100.00
Eufáusidos	449275	83	517	39077	3705	5413	5929	0.970	93.26
Larvas eufáusidos	1269732	86	593	174114	3868	14764	30565	2.741	96.63
Ostracodos	308505	80	509	17416	2866	3856	3413	0.666	89.89
Cladóceros	448196	49	496	74650	3380	9147	14974	0.967	55.06
Anfípodos	129124	63	517	11866	1324	2050	2255	0.279	70.79
Isopodos	50857	37	495	4851	1061	1375	1043	0.110	41.57
Larva Cypris	7395	7	537	2322	741	1056	704	0.016	7.87
Estomatópodos	2158	3	689	735	733	719	26	0.005	3.37
Nauplis	698277	61	493	445843	2930	11447	56687	1.507	68.54
Larvas decápodos	359428	69	487	60375	1610	5209	9455	0.776	77.53
Medusas	262826	62	495	50869	2538	4239	6695	0.567	69.66
Sifonóforos	1819683	82	777	104251	13350	22191	21411	3.928	92.13
Ctenóforos	14919	10	582	5070	1021	1492	1323	0.032	11.24
Quetognatos	2141703	88	1953	71691	21918	24338	14406	4.623	98.88
Poliquetos	767967	78	517	327761	2353	9846	39503	1.658	87.64
Larva Gastropodo	133530	48	493	16234	1857	2782	2938	0.288	53.93
Heterópodo	39748	23	533	9288	754	1728	2422	0.086	25.84
Pterópodo	60737	24	487	15096	1047	2531	3450	0.131	26.97
Salpas	1566423	66	537	508607	3965	23734	75788	3.381	74.16
Doliolidos	841781	71	487	164074	4488	11856	23072	1.817	79.78
Apendicularias	2002583	89	677	109637	17538	22501	21891	4.322	100.00
Radiolarios	20099	19	495	2331	792	1058	605	0.043	21.35
Foraminíferos	56236	40	496	3581	1229	1406	803	0.121	44.94
Larva Cifonauta	59856	33	533	11336	845	1814	2103	0.129	37.08
Larva Brachiopodo	1815	2	738	1077	907	907	240	0.004	2.25
Larva Equinodermos	121886	21	493	38377	1487	5804	9824	0.263	23.60
Paralarvas cefalopodos	2538	4	537	733	634	634	83	0.005	4.49
Pólipos sifonoforos	250349	35	509	77035	2432	7153	13495	0.540	39.33

El análisis cualitativo de los grupos principales del zooplancton indicó una mayor proporción de copépodos (>75%) durante los 4 años de análisis, además de una alta participación de apendicularias y quetognatos a lo largo de estos años (**Figura 72**). En el 2016 se observó una disminución de la proporción de copépodos con respecto a los años anteriores, mientras que los quetognatos, los sifonóforos y otros organismos como los poliquetos, nauplis, larvas de eufausidos, entre otros, aumentaron su participación en relación al resto de los años. Los quetognatos y sifonoforos presentaron en 2016 la proporción más alta (4,7% y 3,6% respectivamente) de sus grupos, en la serie de datos disponible (**Figura 72**).



**Figura 72** Porcentaje de participaci3n de los grupos principales del zooplancton, durante primavera de 2009 y 2014-2016, para la zona norte.

La distribuci3n espacial de la abundancia total del zooplancton en la zona de estudio, se caracteriz3 por presentar la mayoría de los valores máximos en zonas cercanas a la costa (1-5 mn). Estas altas abundancias (>1037170 ind/1000m<sup>3</sup>) se ubicaron principalmente frente a Arica (18,41°S), seguido de Punta Junin (19,6°S) y Punta Gruesa (20,3°S) (**Figura 73a**). Tambi3n se destaca un foco de alta abundancia a 100 mn de Punta Lobos (1069674 ind/1000m<sup>3</sup>). La gran parte de estos focos de abundancia se deben al alto n3mero de copépodos encontrado en dichas zonas (**Figura 73b**). Por otra parte, la biomasa zooplanct3nica registr3 los valores máximos (>1500 ml/1000m<sup>3</sup>) frente a Punta Lobos, Punta Arenas y Rada Papos, muy cercanos a la costa (entre a 1-5 mn) (**Figura 73c**). Las altas biomásas frente a Punta Lobos se deberían a la mayor participaci3n de organismos gelatinosos (sifon3foros y medusas) y quetognatos, mientras que las de Punta Arenas a la participaci3n de eufausidos y poliquetos. Por 3ltimo, el foco de biomasa de Rada Papos est3 asociado al alto n3mero de quetognatos y apendicularias en este sector.



**Figura 73** Distribuci3n espacial de la abundancia total de zooplancton (n° de ind/1000 m<sup>3</sup>) (a), abundancia de copépodos (b) y la biomasa total (ml zoo/1000 m<sup>3</sup>) (c), durante septiembre-octubre de 2016.



## 2.2.2 Comparación de estructuras zooplanctónicas por zonas

### 2.2.2.1 Análisis exploratorio de datos

Se realizó una clasificación considerando la latitud, separada en tres zonas (norte=[18°25' - 21° L.S.], centro=[21° - 22°20' L.S.] y sur=[22°20' - 23°49' L.S.]), y la longitud en base a la distancia a la costa dividida en dos áreas (1-30, 40-100 mn). En la **Tabla 24** se presentan el resumen del número de estaciones monitoreadas, de grupos zooplanctónicos y de ejemplares por taxa.

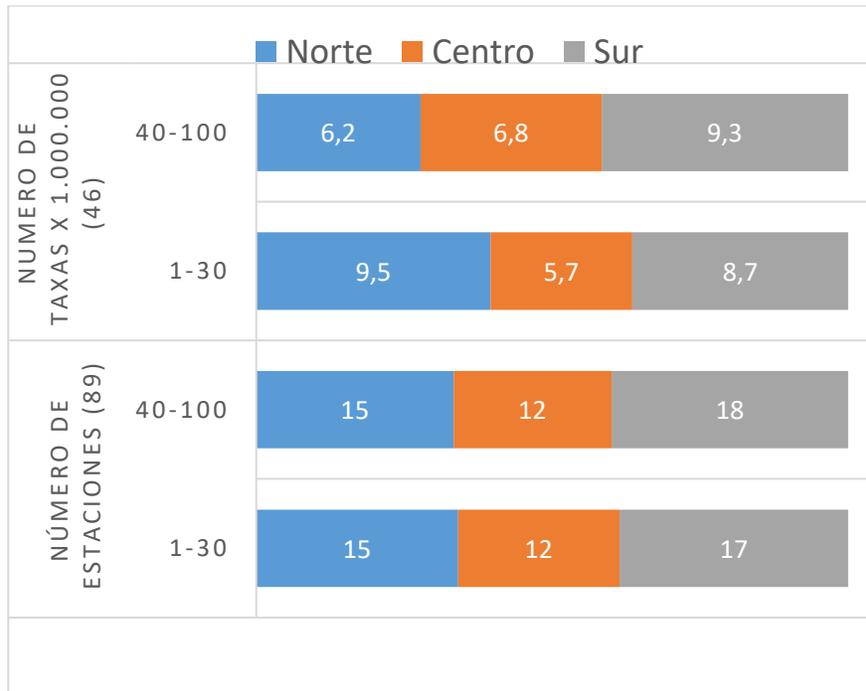
**Tabla 24** Número estaciones, taxa y ejemplares para las zonas definidas y a la distancia a la costa en que se realizó el muestreo.

Zona	Distancia a la Costa	Número de Estaciones	Número de Especies	Numero de Taxa x 10 <sup>6</sup>
Norte	1-30	15	17	9,5
	40-100	15	21	6,2
	1-100	30	21	15,7
Centro	1-30	12	19	5,7
	40-100	12	20	6,8
	1-100	24	20	12,6
Sur	1-30	17	22	8,7
	40-100	18	22	9,3
	1-100	35	22	18,1
Area	1-30	44	22	23,9
	40-100	45	22	22,4
	1-100	89	22	46,3

En el crucero analizado se monitoreo un total de 89 estaciones, con un número de estaciones monitoreadas levemente superior en la zona sur (39 %), 11 estaciones más que para la zona centro (27 %) y 5 más que en la zona norte (33 %) del área definida, mientras que los tamaños de muestra para la categorización longitudinal (distancia a la costa) presentan un número similar de estaciones monitoreadas, con un 49 % para las estaciones costeras y un 51 % respecto de las estaciones con una distancia a la costa superior o igual a las 40 millas (**Tabla 24**). El número de estaciones monitoreadas para cada combinación de estrato espacial fluctuó entre 12 y 18 estaciones con un promedio en torno a las 15 estaciones (**Figura 74**).



Respecto del n3mero total de taxa, el n3mero de ejemplares fue similar entre la zona costera y la oce3nica, mientras que a nivel latitudinal se observ3 un mayor n3mero de individuos hacia el sur de la zona monitoreada (**Tabla 24**). El n3mero de ejemplares para cada combinaci3n de estrato espacial fluctu3 entre los 5,7 y los 9,5 millones de individuos, registr3ndose un promedio entorno a los 7,7 millones de ejemplares (**Figura 74**).



**Figura 74.** Proporción del n3mero de individuos y proporción de estaciones monitoreadas por zona y distancia a la costa. Valores al interior de las barras y entre par3ntesis en el eje de las ordenadas corresponden al n3mero de individuos en miles y los tamaños de muestra de estaciones.

No se observ3 ning3n patr3n entre del n3mero de individuos y los estratos latitudinales (norte, centro y sur) y longitudinales (distancia a la costa), as3 como tampoco con la cantidad de estaciones monitoreadas (**Figura 74** y **Tabla 24**).



**Tabla 25** Porcentaje de ejemplares por grupo zooplactónico, según distancia a la costa, zona y total.

Taxa	Distancia a la Costa		Zona Latitudinal			Total
	1-30	40-100	Norte	Centro	Sur	
Anfipodos	0,35	0,21	0,25	0,31	0,28	0,28
Apendicularias*	3,8	4,9	2,9	4,7	5,3	4,32
Cladoceros	0,483	1,49	0,71	2,35	0,22	0,97
Copépodos*	75,2	64,5	75,8	76,4	60,5	70,0
Ctenoforos	0,05	0,02	0,01	0,02	0,06	0,03
Doliolidos*	1,91	1,72	0,50	1,91	2,89	1,82
Estomatopodos	0	-	-	0,0113	0,0041	0,005
Eufausidos	0,92	1,02	0,76	0,94	1,17	0,97
Foraminiferos	0,08	0,16	0,10	0,12	0,14	0,12
Heteropodos	0,08	0,09	0,02	0,05	0,17	0,09
Isopodos	0,09	0,13	0,1427	0,0812	0,10	0,110
L.Cypris	0,02	0,02	0,01	0,01	0,023	0,02
L.Decapodos	0,8	0,7	0,8	0,5	0,9	0,78
L.Eufausidos*	3,517	1,910	4,761	0,522	3	2,741
L.Gastropodos	0,188	0,395	0,176	0,365	0,332	0,288
L.Pulpo	0,0	0,0	0,0	-	0,0	0,01
L.brachiopodos	0,003	0,005	0,005	0,009	-	0,004
L.cifonautas	0,17	0,09	0,09	0,10	0,18	0,13
L.equinodermos	0,26	0,27	0,26	0,14	0,35	0,26
Medusas	0,62	0,51	0,63	0,48	0,57	0,57
Nauplis*	0,66	2,42	0,68	0,20	3,13	1,51
Ostracodos	0,67	0,67	0,5	0,4	1,0	0,67
P.sifonoforos	0,675	0,4	0,1	0,6	0,90	0,5
Poliquetos*	1,24	2,10	1,56	0,59	2,48	1,66
Pteropodos	0,12	0,14	0,16	0,03	0,17	0,13
Quetognatos*	4,16	5,11	3,60	4,50	5,59	4,62
Radiolarios	0,03	0,06	0,01	0,05	0,06	0,04
Salpas*	1,02	5,91	2,96	0,42	5,81	3,38
Sifonoforos*	2,80	5,14	2,42	4,14	5,09	3,93

\* Taxa seleccionado para modelado



En la **Tabla 25** se detalla para cada estrato espacial de an3lisis, el porcentaje asociado a cada taxa. Los cop3podos consistentemente representan el porcentaje m3s alto de ejemplares, con un 70 % para el 3rea total y con valores que fluctúan entre un 60 % y un 76 % para cada estrato de estudio. Lo siguen en una menor proporci3n los quetognatos, apendicularas, sifon3foros y salpas que representan para el 3rea un 16,3 % del total con porcentajes por taxas que variaron entre un 4,6 % y un 3,4 % respectivamente. Por 3ltimo, los taxa larvas de eufausidos, doliolidos, poliquetosy nauplis representan para el 3rea total un 7,7 % e individualmente toman valores desde 2,7 % a un 1,5 % del total de ejemplares respectivamente. Cabe destacar que s3lo los 9 grupos zooplanct3nicos mencionados, representan el 94 % del total de ejemplares observados para los 29 taxa.

### 2.2.2.2 Comparaci3n de estructuras

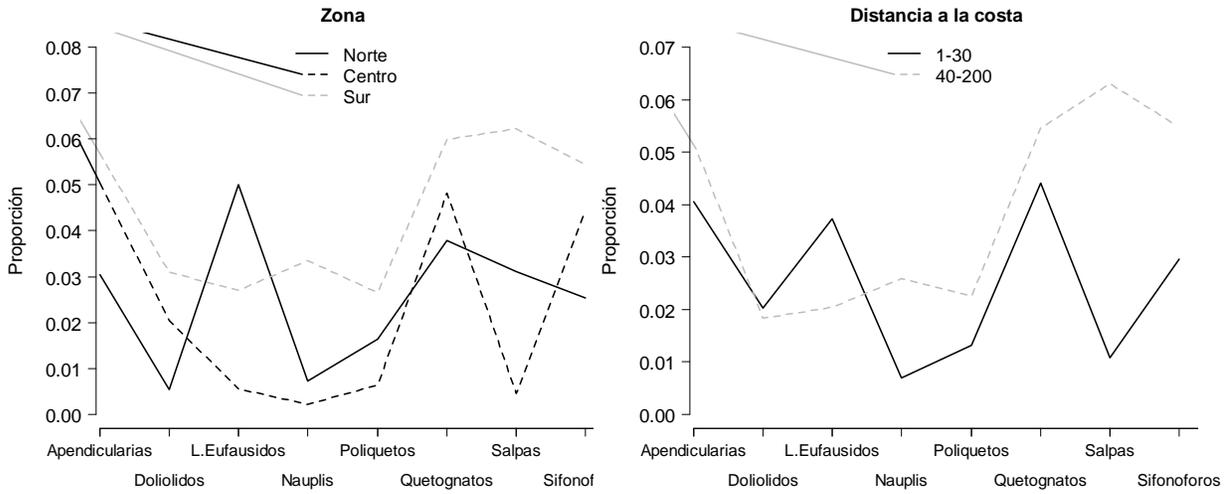
Debido a que el n3mero de ejemplares observados por taxa difiere y existen grupos zooplanct3nicos con una muy baja representatividad o presentes solo en algunos estratos de an3lisis, lo cual puede influenciar los resultados de la prueba, se opt3 por considerar solo aquellos taxa que presentaron un porcentaje superior al 1,0 % y presentes en todos los estratos, con lo cual se seleccionaron 9 taxas que representan el 94 % del total de individuos observados en el 3rea (**Tabla 26**).

Los resultados indican diferencias significativas entre las composiciones zooplactonicas para los distintos niveles de los estratos latitudinales y distancia a la costa ( $p\text{-value} < 0,01$ ; **Tabla 26 y Figura 75**).

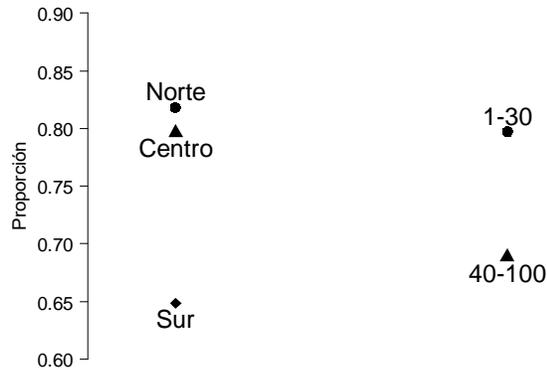
**Tabla 26** Hip3tesis, estadístico de Wald y valor p para el an3lisis por zona y distancia a la costa.

Estrato	Hip3tesis	Wald	p.value
Zona	Ho: norte = centro = sur	2.061.891	< 0,001
Distancia a la costa	Ho: 1 - 30 mn = 40 - 100 mn	1.316.656	< 0,001

Tanto para los estratos de an3lisis basados en la distancia a la costa, como para la zona latitudinal, se observaron diferencias significativas en la composici3n zooplanct3nica (**Figura 75**). Los taxa que contribuyeron al rechazo en la hip3tesis de igualdad en las estructuras en las zonas latitudinales y basadas en la distancia a la costa corresponden principalmente a las larvas de eufausidos, nauplis, salpas y sifon3foros, mientras que los cop3podos muestran una mayor proporci3n de individuos en estaciones cercanas a la costa y hacia el norte del 3rea monitoreada (**Figura 75**).



**Copepodos**



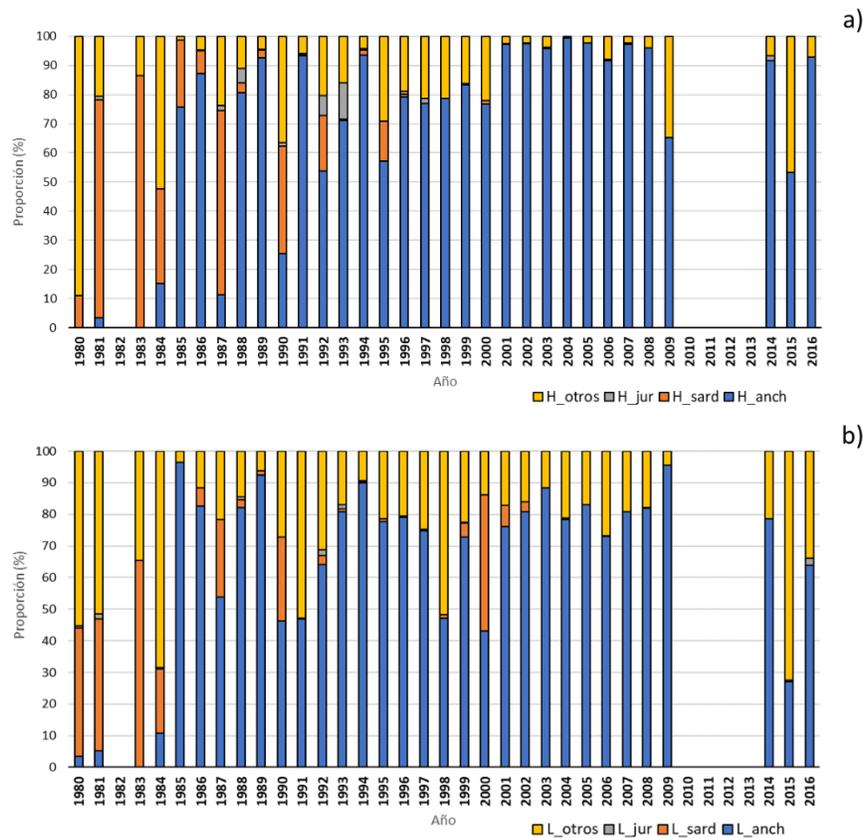
**Figura 75.** Composici3n estructura zooplactonica por zona y distancia a la costa para los taxas, cop3podos, apendicularias, doliolidos, larvas de eufausidos, nauplis, poliquetos, quetognatos, salpas y sifonoforos.



### 2.2.3 Ictioplancton

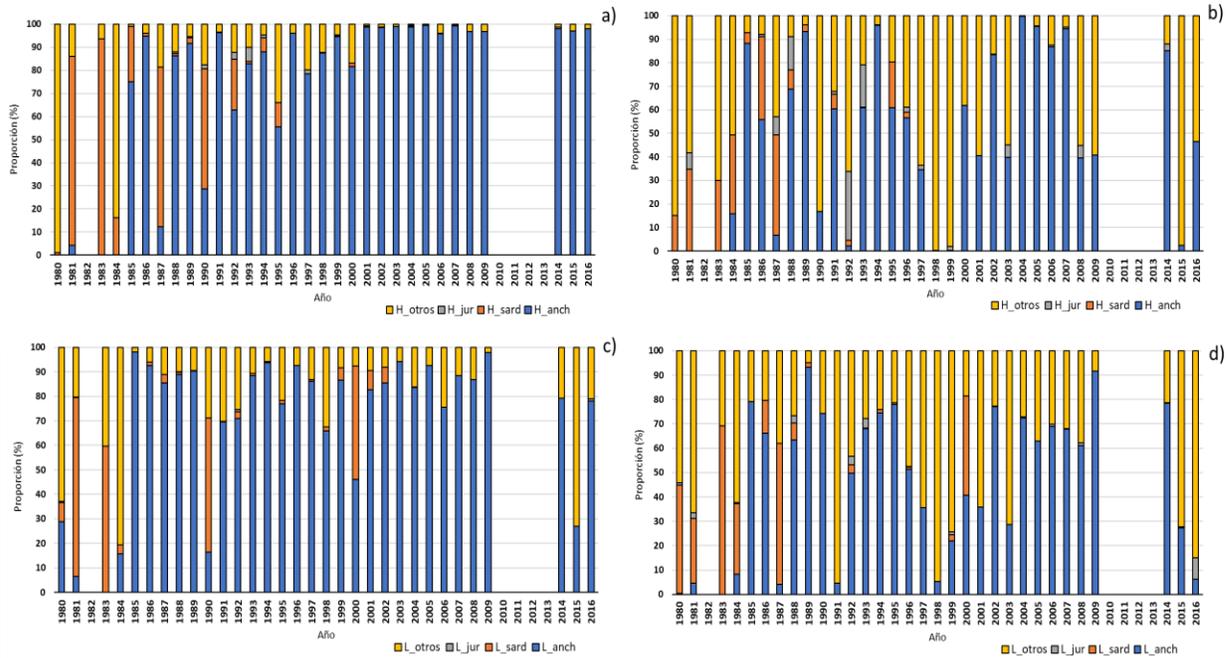
A partir del análisis de la proporción de especies de ictioplancton (anchoveta, sardina española, jurel y otras especies), se destaca el predominio de la anchoveta con respecto a las otras especies desde el año 1991 a la fecha. Desde el 2001 a 2016 los huevos de anchoveta se presentaron con proporciones  $>$  a 90%, a excepción de los años 2009 y 2015. En las larvas de anchoveta se observaron proporciones  $>$  a 70%, en el periodo 2001-2016, a excepción del 2015. En cuanto a los huevos de sardina española, en general se observaron proporciones elevadas (entre 20 a 80%) durante los años 1981-1990, exceptuando 1986, 1988 y 1989. En las larvas de sardina, estas proporciones se encontraron dentro del periodo 1980-1990, excluyendo a los años 1985-1986 y 1988-1989. A diferencia de los huevos, las larvas también presentaron una proporción cercana al 50% en el 2000. El ictioplancton de sardina española se registró con la mayor predominancia de la serie 1980-2016 en el año 1983 (**Figura 76a y 76b**).

Por otra parte, el ensamblaje de especies se observó más diverso desde 1981 a 1995 en los huevos; y desde 1980 a 1993 en las larvas (**Figura 76a y 76b**).



**Figura 76** Proporci3n intera1ual de huevos (a) y larvas (b) total de anchoveta, jurel, sardina espa1ola y otras especies, durante el periodo comprendido entre 1980-2016, en la zona norte de Chile.

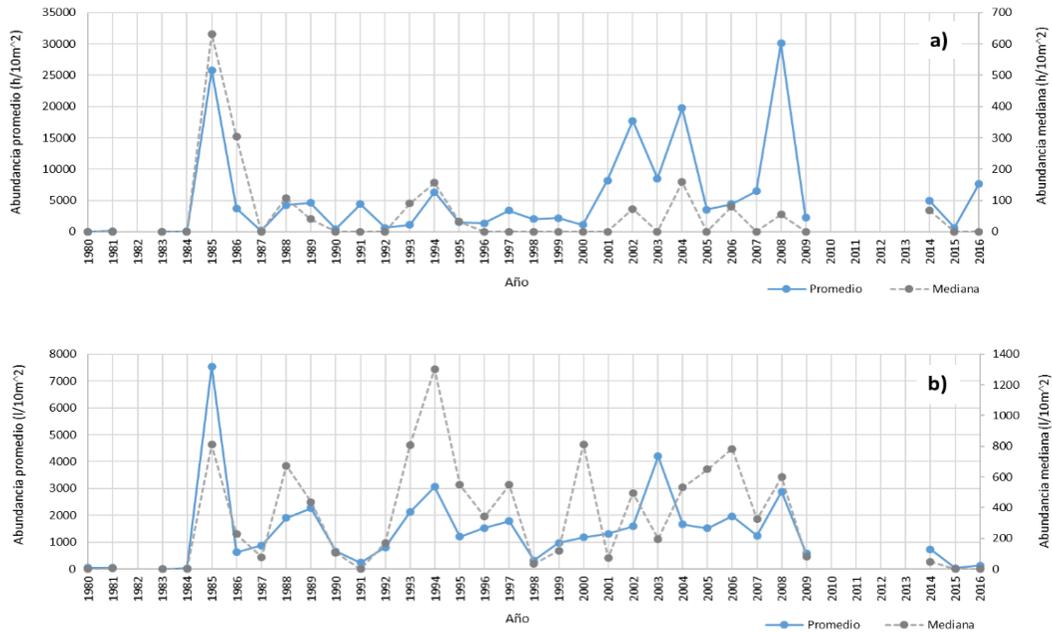
Al analizar la composici3n de especies de ictioplancton en la costa y el oc3ano se encontraron diferencias en las especies predominantes en ambos sectores. En la costa, en la mayor parte de los a1os se observ3 una predominancia de huevos y larvas de anchoveta (>70 % del total). Esta predominancia alcanz3 > de 90% en los huevos y > del 80% en las larvas, durante el periodo 2001-2016, exceptuando el a1o 2015 en las larvas de anchoveta (**Figuras 77a y 77b**). En el oc3ano, en la mayor1a de los a1os de an1lisis los huevos y larvas de otras especies presentaron altas proporciones (cerca a 50%). Los huevos de otras especies en el oc3ano se observaron con proporciones > a 90% en los a1os 1998-1999 y 2015, mientras que en las larvas se registraron proporciones similares en 1991 y 1998 (**Figuras 77a y 77b**).



**Figura 77** Proporci3n interanual de huevos en la costa (a) y en el oc3ano (b) de anchoveta, jurel, sardina espa1ola y otras especies. Proporci3n interanual de larvas en la costa (c) y en el oc3ano (d) de anchoveta, jurel, sardina espa1ola y otras especies, durante el periodo comprendido entre 1980-2016, en la zona norte de Chile.

En cuanto a la abundancia media interanual de huevos de anchoveta, se destacaron dos a1os por sobre el resto, debido a sus elevadas abundancias. Estos correspondieron a 1985 y 2008, con niveles superiores a 25.000 huevos/10 m<sup>2</sup>. Por otra parte, la mediana indic3 que la m3s alta abundancia se encontr3 en 1985 (> 600 huevos/10 m<sup>2</sup>). Tambi3n se registr3 que en el periodo 2001-2008 las abundancias promedio de huevos tendieron a ser m3s altas que el resto de los a1os (excluyendo 1985), alcanzando el m3ximo valor en 2008 (30.000 huevos/10 m<sup>2</sup>), para luego descender en los 3ltimos tres a1os de an3lisis (7.654 huevos/10 m<sup>2</sup> en 2016). Las medianas en general fueron bajas (<100 huevos/10 m<sup>2</sup>) en la mayor3a de los a1os, con excepci3n de 1985 (**Figura 78a**).

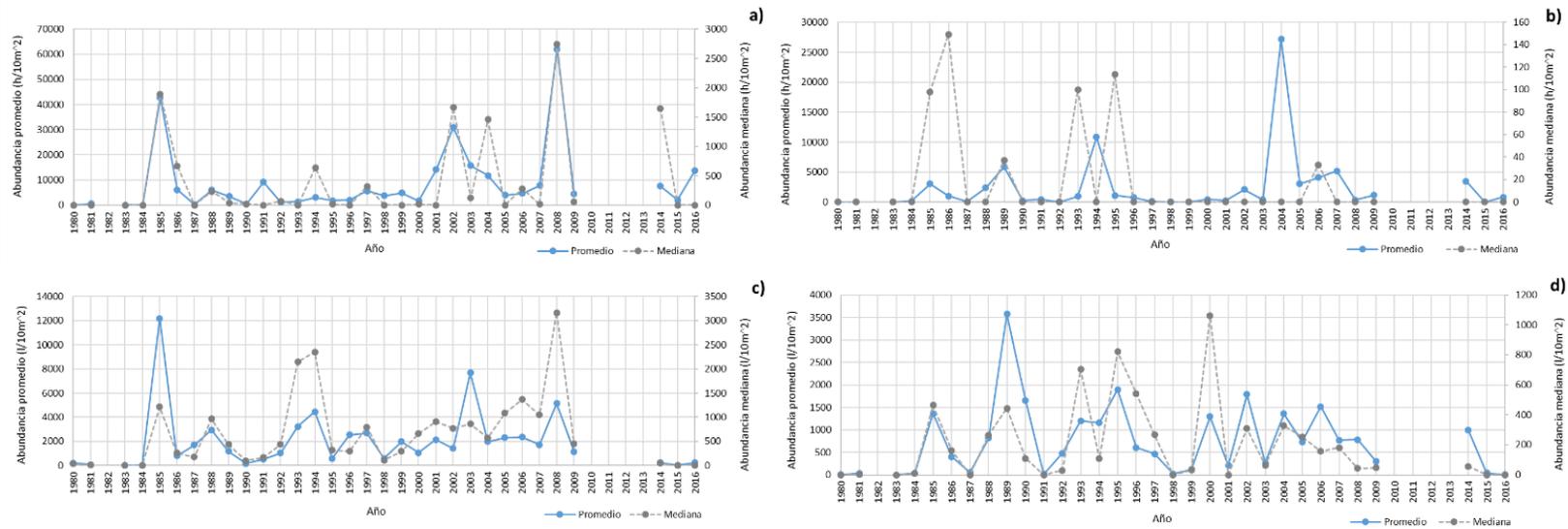
La abundancia promedio de larvas de anchoveta present3 el valor m3s alto en 1985 (> 7.000 larvas/10 m<sup>2</sup>), mientras que la mediana indic3 que la mayor abundancia de la serie de datos se encontr3 en 1994 (> 1.200 larvas/10 m<sup>2</sup>). En gran parte de los a1os se presentaron medianas de la abundancia de larvas superiores a 300 larvas/10 m<sup>2</sup>, valores que en general fueron m3s altos que las medianas de huevos (**Figura 78b**).



**Figura 78** Abundancia interanual promedio y mediana de los huevos (a) y larvas (b) totales de anchoveta, en el periodo comprendido entre 1980-2016.

Al comparar las abundancias medias y medianas de huevos en la costa y el océano se observaron valores más altos de ambos parámetros en la costa (**Figura 79a y 79b**). En la costa, la mayor abundancia promedio y la mayor mediana se encontraron en el 2008 (>60.000 y >2.500 huevos/10 m<sup>2</sup> respectivamente). Desde el 2001 a 2016 tendieron a registrarse valores más altos de abundancia tanto media (>10.000 huevos/10 m<sup>2</sup>) como mediana (>500 huevos/10 m<sup>2</sup>), a excepción de los años 2005-2007, 2009 y 2015. En el océano la abundancia promedio más alta se registró en 2004 (27.148 huevos/10 m<sup>2</sup>), mientras que la mayor mediana se encontró en 1986 (149 huevos/10 m<sup>2</sup>) (**Figura 79b**).

Al igual que en los huevos, las larvas de anchoveta presentaron niveles más altos de abundancia promedio y mediana en la costa, con respecto al océano. En la costa, la mayor abundancia promedio se registró en 1985 (12.000 larvas/10 m<sup>2</sup>), mientras que la mayor mediana se encontró en 2008 (> 3.000 larvas/10 m<sup>2</sup>). Desde el 2000 a 2008 tendieron a observarse medianas más altas de abundancia de larvas (> 600 larvas /10 m<sup>2</sup>), con respecto a los años anteriores (exceptuando los años 1985, 1988, 1993 y 1994). En los últimos tres años de la serie se registraron abundancias medias y medianas muy bajas (<250 larvas /10 m<sup>2</sup>) (**Figura 79c**). En el océano la abundancia promedio más alta se observó en 1989 (3.572 larvas /10 m<sup>2</sup>), mientras que la mayor mediana en el 2000 (1.060 larvas/10 m<sup>2</sup>) (**Figura 79d**).

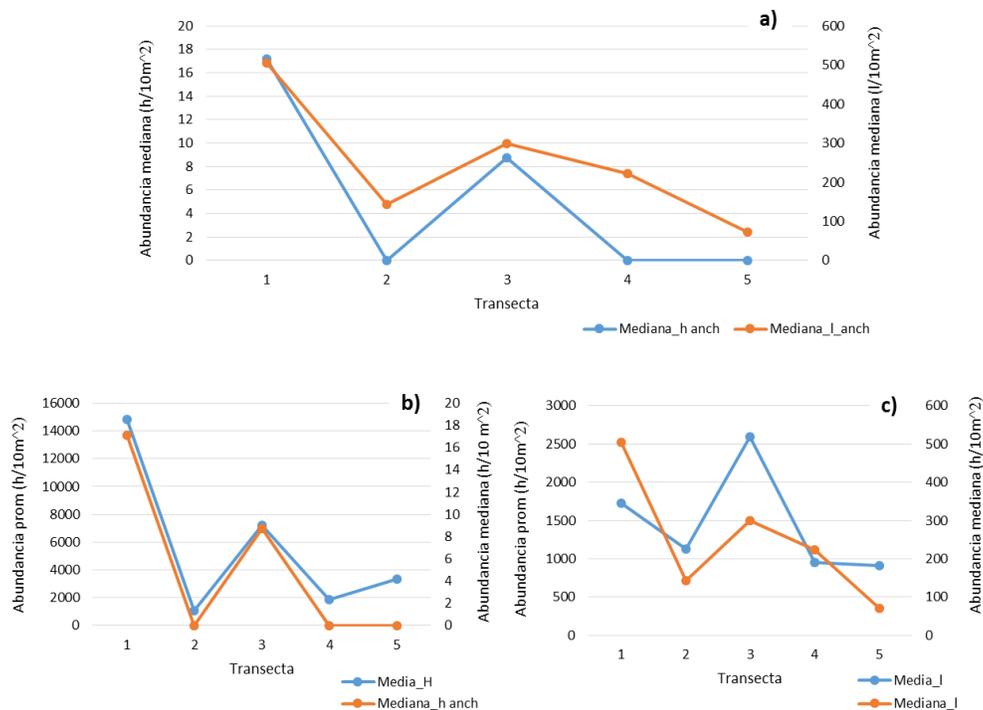


**Figura 79** Abundancia interanual promedio y mediana de los huevos de anchoveta en la costa (a) y el océano (b); y de las larvas en la costa (c) y el océano (d), en el periodo comprendido entre 1980-2016.



Al analizar la distribuci3n del ictioplancton de anchoveta entre las cinco transectas hist3ricas de la zona norte, durante el periodo 1980-2016, se observ3 una coincidencia espacial entre los mayores valores de las medianas en los huevos y en las larvas. Tanto en los huevos como en las larvas las medianas m3s altas se registraron en la transecta 1 (18°25'), seguida de la transecta 3 (21°00') (**Figura 80a**). No obstante, las medianas de las larvas presentaron valores superiores a las de los huevos (transecta 1: 504 larvas/10m<sup>2</sup> vs 17 huevos/10m<sup>2</sup>), producto de que los huevos se encontraron altamente agregados.

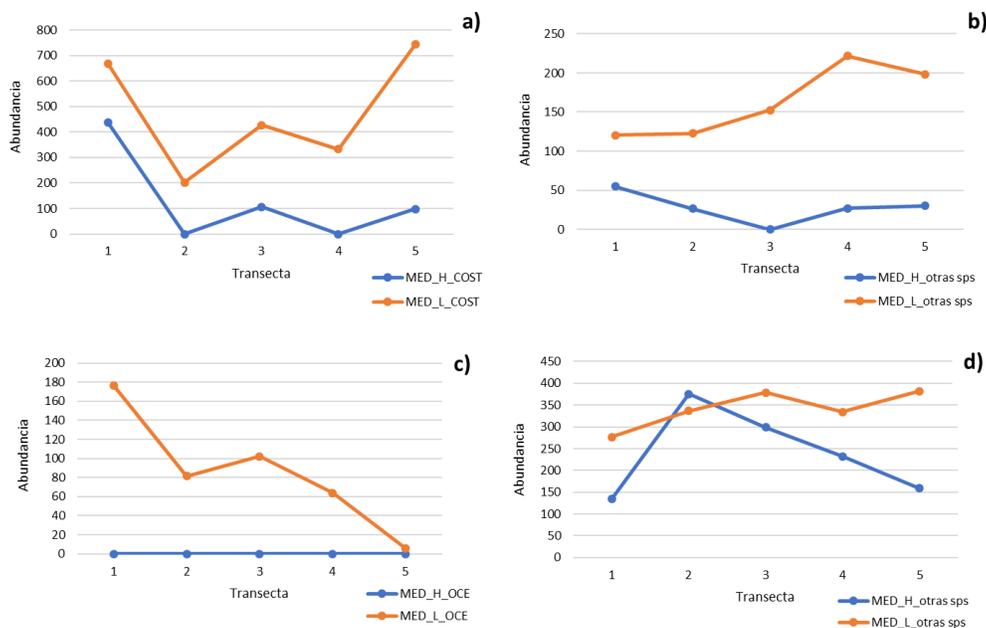
Al utilizar el dato promedio de huevos se observaron valores mayores que en las larvas en la mayor3a de las transectas (**Figuras 80b y 80c**). En los huevos las mayores abundancias promedio coincidieron espacialmente con las m3s altas medianas, ubicadas en las transectas 1 y 3 (**Figura 82b**). Por otra parte, la mayor abundancia promedio de larvas se ubic3 en la transecta 3, mientras que la mayor mediana se encontr3 en la transecta 1 (**Figura 80c**).



**Figura 80.** a) Medianas de las abundancias de huevos y larvas de anchoveta durante el periodo 1980-2016, a lo largo de las cinco transectas hist3ricas de la zona norte. Abundancia media (en azul) y mediana (en naranja) de huevos (b) y larvas (c) de anchoveta en las cinco transectas hist3ricas, correspondiente al periodo 1980-2016.

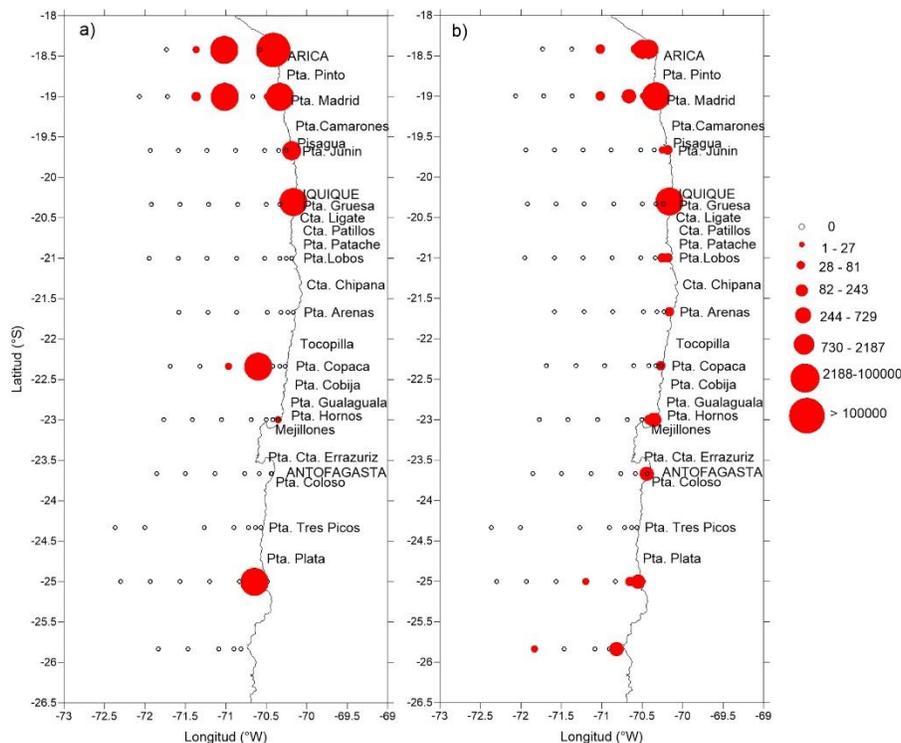


Al comparar la distribuci3n de las abundancias medianas del ictioplancton de anchoveta en la costa y en el oc3ano, se obtuvieron los mayores valores en la costa (**Figuras 81a y 81c**). En este sector las transectas 1 y 5 tuvieron los m1s altos niveles de huevos y de larvas, respectivamente. Por otra parte, el ictioplancton de otras especies (entre ellas *Vinciguerria*) se present3 con mayores medianas en el oc3ano, en relaci3n a la costa (**Figuras 81b y 81d**). En el sector oce1nico la transecta 2 registr3 el valor m1s alto de huevos, mientras la transecta 5 el de larvas (**Figura 81d**).



**Figura 81** Distribuci3n de la abundancia mediana de huevos y larvas de anchoveta ( $n^{\circ}$  de h o l/10m<sup>2</sup>), en la costa (a) y en el oc3ano (c). Abundancia mediana de huevos y larvas de otras especies, en la costa (b) y en el oc3ano (d), en la zona norte de Chile.

La distribución espacial del ictioplancton de anchoveta en la zona de estudio, se caracterizó por presentar las mayores abundancias entre Arica e Iquique ( $18,4^{\circ}$ - $20,3^{\circ}$ S) (**Figura 82**). Los huevos presentaron su máxima abundancia frente a Arica (259.902 huevos/10 m<sup>2</sup>), a 5 mn de distancia a la costa. También se observaron focos secundarios con más de 50.000 huevos/10 m<sup>2</sup> frente a punta Madrid (19,0°S), a 1 y 40 mn respectivamente; además de Iquique y Punta Copaca (>6000 huevos/10 m<sup>2</sup>) (**Figura 82a**). Las larvas registraron la mayor abundancia frente a Iquique (2917 larvas/10 m<sup>2</sup>), seguido de Punta Madrid (2616 larvas/10 m<sup>2</sup>), ambas a 1 mn de la costa. Se destaca que se encontró un mayor número de estaciones positivas en las larvas con respecto a los huevos, las que se ubicaron en las estaciones más cercanas a la costa de la mayoría de las transectas, aunque sus abundancias en general fueron bajas (entre 82-243 larvas/10 m<sup>2</sup>) (**Figura 82b**).

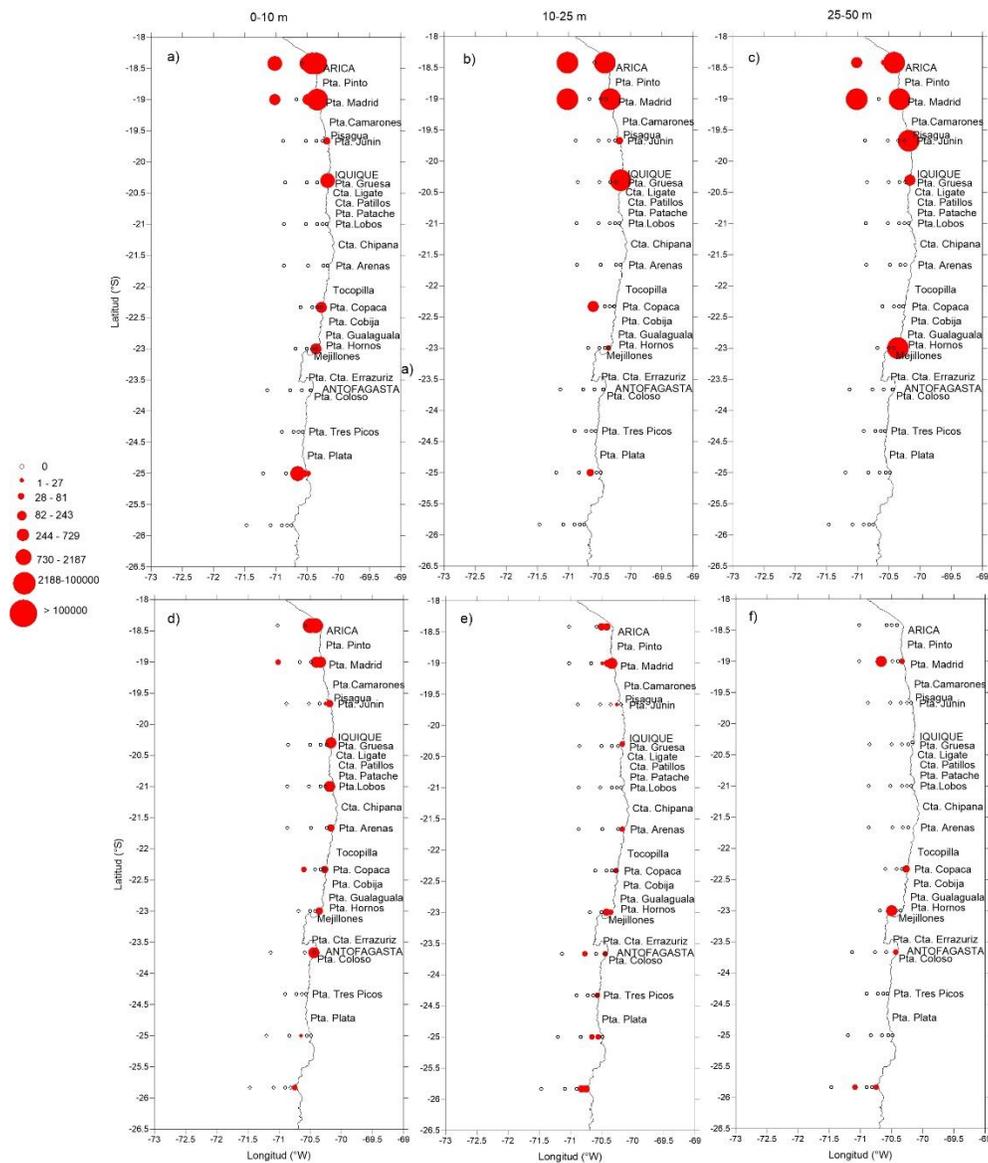


**Figura 82.** Distribución espacial de huevos (a) y larvas (b) de anchoveta (n° h o l/10 m<sup>2</sup>) durante septiembre-octubre de 2016, en la zona norte de Chile.



En cuanto a la distribución espacial de los huevos y larvas de anchoveta por estrato, esta se concentró principalmente entre Arica y Punta Gruesa (**Figura 83**). En el estrato más superficial (0-10 m) los huevos presentaron la mayor abundancia a 5 mn frente a Arica (36.358 huevos/10 m<sup>2</sup>) (**Figura 83a**). Entre los 10-25 m, estos registraron las máximas abundancias (>37.000 huevos/10 m<sup>2</sup>) en Punta Madrid y Arica, a 1 y 5 mn de distancia a la costa respectivamente (**Figura 83b**). En el estrato más profundo (25-50m), se registraron 8 estaciones positivas, destacando con las más altas concentraciones a 1 mn frente a Mejillones (15.223 huevos/10 m<sup>2</sup>) y altos focos de abundancia también frente a Punta Madrid (>10.000 huevos/10 m<sup>2</sup>) (**Figura 83c**). En la vertical, las máximas abundancias de huevos (>35.000 huevos/10m<sup>2</sup>) se registraron entre los 0-25 m (**Figura 83**).

En las larvas se observaron valores de abundancia por estrato menores a los huevos. En los tres estratos de profundidad las mayores abundancias no sobrepasaron las 1100 larvas/10m<sup>2</sup>, encontrándose el mayor número (1053 larvas/10m<sup>2</sup>) en el estrato más superficial (0-10 m) y frente a Arica (**Figura 83d, 83e y 83f**).



**Figura 83.** Distribuci3n espacial de huevos (n° huevos/10 m<sup>2</sup>) en los distintos estratos de profundidad: a) 0-10 m; b) 10-25 m y c) 25-50 m. Distribuci3n espacial de larvas en los estratos de profundidad: d) 0-10 m; e) 10-25 m y f) 25-50 m.



#### 2.2.4 Asociación espacial entre huevos de anchoveta y las variables oceanográficas

Para evaluar la relación espacial entre la distribución del ictioplancton y las variables bio-oceanográficas temperatura, salinidad, oxígeno, densidad y clorofila-a, observadas en la zona de estudio, se aplicaron tres indicadores de asociación espacial, que corresponden a: una modificación de la prueba t, el coeficiente de Tjøstheim y el coeficiente de codispersión.

Se consideraron las variables oceanográficas observadas en las siguientes profundidades, la superficie, a los 5, 10, 20, 30 y 50 y 100 metros, las cuales fueron relacionadas con la distribución espacial de huevos de anchoveta extraídos de muestras de zooplancton obtenidas en tramo 0-100m (columna de agua). El número total de estaciones con registros oceanográficos y muestreo de ictioplancton de anchoveta varió entre las 81 y 89 estaciones (**Tabla 27**).



**Tabla 27** Número estaciones monitoreadas, el coeficiente de correlación de Pearson corregido por autocorrelación espacial, la prueba t modificada (valor p entre paréntesis) y el coeficiente no paramétrico de Tjøstheim, para las diferentes profundidades evaluadas entre los huevos de anchoveta y las variables oceanográficas, año 2016.

Profundidad (m)	n° de estaciones	Temperatura		Salinidad		Oxígeno		Densidad		Clorofila	
		t*	Tj*	t*	Tj*	t*	Tj*	t*	Tj*	t*	Tj*
Superficie [0 - 3]	89	0,03 (0,832)	-0,39	0,04 (0,814)	-0,44	0,24 (0,04)	0,23	0,00 (0,98)	0,09	0,25 (0,018)	0,06
5 (3 - 5)	89	-0,05 (0,753)	-0,47	0,03 (0,854)	-0,44	0,11 (0,351)	0,20	0,13 (0,262)	0,17	0,39 < 0,01	0,04
10 (5 - 10)	89	-0,16 (0,265)	-0,45	0,03 (0,881)	-0,45	-0,29 < 0,01	0,05	0,27 (0,01)	0,15	0,59 < 0,01	0,07
20 (10 - 20)	89	-0,18 (0,153)	-0,34	0,03 (0,843)	-0,43	-0,33 < 0,01	0,10	0,27 (0,016)	0,05	0,38 < 0,01	0,003
30 (20 - 30)	89	-0,16 (0,182)	-0,25	0,05 (0,767)	-0,37	-0,27 (0,037)	0,08	0,24 (0,04)	-0,02	0,17 (0,102)	-0,04
50 (30 - 50)	89	-0,13 (0,3)	-0,19	0,07 (0,662)	-0,26	-0,21 (0,104)	0,07	0,20 (0,099)	0,02	0,14 (0,184)	0,05
75 (50 - 75)	85	-0,09 (0,456)	-0,18	0,12 (0,456)	-0,25	-0,16 (0,259)	0,12	0,16 (0,204)	-0,02	-0,03 (0,785)	0,19
100 (75 - 100)	81	0,01 (0,958)	-0,20	0,15 (0,329)	-0,35	-0,12 (0,399)	0,24	0,11 (0,375)	-0,06	0,44 < 0,01	0,31

t\* : Prueba t modificada entre huevos de anchoveta y las variables oceanográficas, (•) indica valor p asociado a la prueba t modificada, valor sin paréntesis corresponde a la correlación de Pearson corregida por autocorrelación espacial.

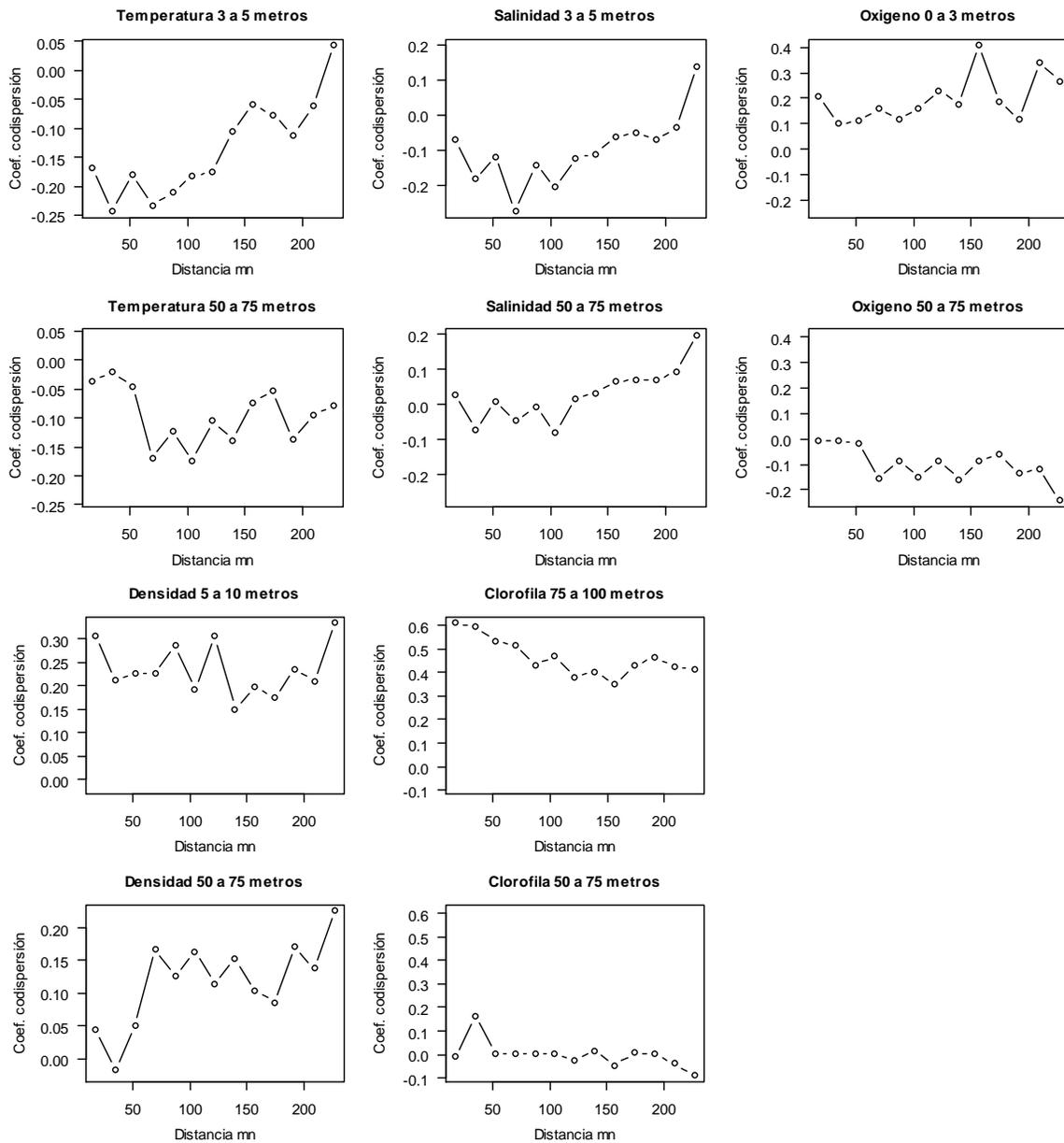
Tj\* : Coeficiente de Tjøstheim entre huevos y las variables oceanográficas. Los resultados de la prueba t modificada, indican que no existe evidencia muestral para rechazar la hipótesis nula de ausencia de correlación espacial entre el ictioplancton de anchoveta y las variables oceanográficas en la mayoría de las profundidades, salvo en la relación con el oxígeno en superficie, con la densidad entre los 5 y 10 metros y con la clorofila-a para profundidades superiores a los 75 metros (Tabla 24, valor p < 0,05). Los coeficientes de correlación de Pearson corregido por autocorrelación espacial para las profundidades hasta los 75 metros, muestran bajos niveles de asociación los que en promedio estuvieron en torno a -0,10 con la temperatura, en 0,05 con la salinidad, en -0,13 con el oxígeno, en 0,18 con la densidad del mar y en 0,30 con la clorofila-a hasta los 100 metros.



Por otra parte y similar a lo observado el año 2015, el coeficiente no paramétrico de Tjøstheim, muestra asociación negativa entre el ictioplancton de anchoveta y la temperatura y salinidad en profundidades hasta los 20 metros, con índices promedios en torno a los -0,40. El oxígeno disuelto y la densidad del mar presentan menores valores con promedios alrededor de los 0,15 en profundidades hasta los 10 metros. La clorofila-a registra valores promedio en torno a los 0,25 en profundidades superiores a los 50 metros (**Tabla 27**).

En la Figura 1 se presenta el coeficiente de codispersión como medida de la asociación espacial, entre la distribución de huevos de anchoveta y las variables oceanográficas temperatura y salinidad medidas entre los 3 y 5 metros, el oxígeno disuelto medido hasta los 3 metros, la densidad del mar medida entre los 5 y 10 metros, la clorofila-a medida sobre los 75 metros y todas las variables oceanográficas entre los 50 y 75 metros de profundidad.

El general se observa valores de asociación espacial bajos en aquellas profundidades identificadas con la prueba t modificada y/o el coeficiente Tjøstheim, para todas las variables oceanográficas a excepción de la clorofila-a, que presenta valores altos de codispersión en profundidades superiores a los 75 metros. Fuera de estas profundidades el coeficiente de codispersión presenta un comportamiento errático o en torno a cero (**Figura 84**



**Figura 84.** Coeficiente de codispersi3n para asociaci3n espacial entre la distribuci3n de huevos y las variables oceanogr3ficas consideradas cerca de la superficie y entre los 50 y 75 metros de profundidad, a3o 2016.



## 2.3 Objetivo específico 4.2.3: Caracterizar los recursos pelágicos presentes en la zona de estudio, mediante índices de abundancia relativa y de cobertura geográfica en relación a las condiciones bio-oceanográficas.

### 2.3.1 Distribución espacial de los recursos

Los principales recursos detectados durante la prospección hidroacústica fueron la anchoveta con un 48,7 % y vinciguerría con un aporte del 50,6% de la energía acústica total.

#### a) Anchoveta

La especie se presentó en sectores definidos y muy costeros, con una gran mayoría de celdas de baja densidad; en este contexto, la distribución espacial indicó que el recurso se reportó entre Arica y Antofagasta, con dos núcleos principales (**Figura 85a**). La primera zona es la más importante y se emplazó en un área muy costera ubicada entre Arica e Iquique, preferentemente en las primeras cinco millas de la costa, ocupando un área de 695 mn<sup>2</sup> y un registro de 268.500 m<sup>2</sup>/mn<sup>2</sup> de las lecturas acústica, representando el 86% del total. El segundo foco se ubicó a la cuadra de Mejillones y abarcó una zona muy restringida y de gradientes térmicos leves en las primeras tres millas de la costa. La distribución en profundidad de los registros indicó que estuvieron dentro de los primeros 30 m de la columna de agua, aunque la mayoría se presentó en los primeros 20 metros.

#### b) Vinciguerría

La vinciguerría presentó densidades más altas, distribuida en regiones oceánicas, presentando dos áreas relevantes (**Figura 85b**); el primer sector se localizó frente a punta Madrid en una zona oceánica sobre las 85 mn de la costa que se extendió 185 mn<sup>2</sup>, alcanzando las 53.660 m<sup>2</sup>/mn<sup>2</sup> que constituyó el 17% de las lecturas acústicas. La segunda región se emplazó entre Iquique y punta Arenas sobre las 70 mn de la costa y es la que registró las mayores densidades acústicas, con una lectura de 219.575 m<sup>2</sup>/mn<sup>2</sup>, lo que representó el 68% del total del recurso detectado. Respecto a la distribución batimétrica se observó que este recurso se encuentra mayoritariamente en profundidades superiores a 150 m.

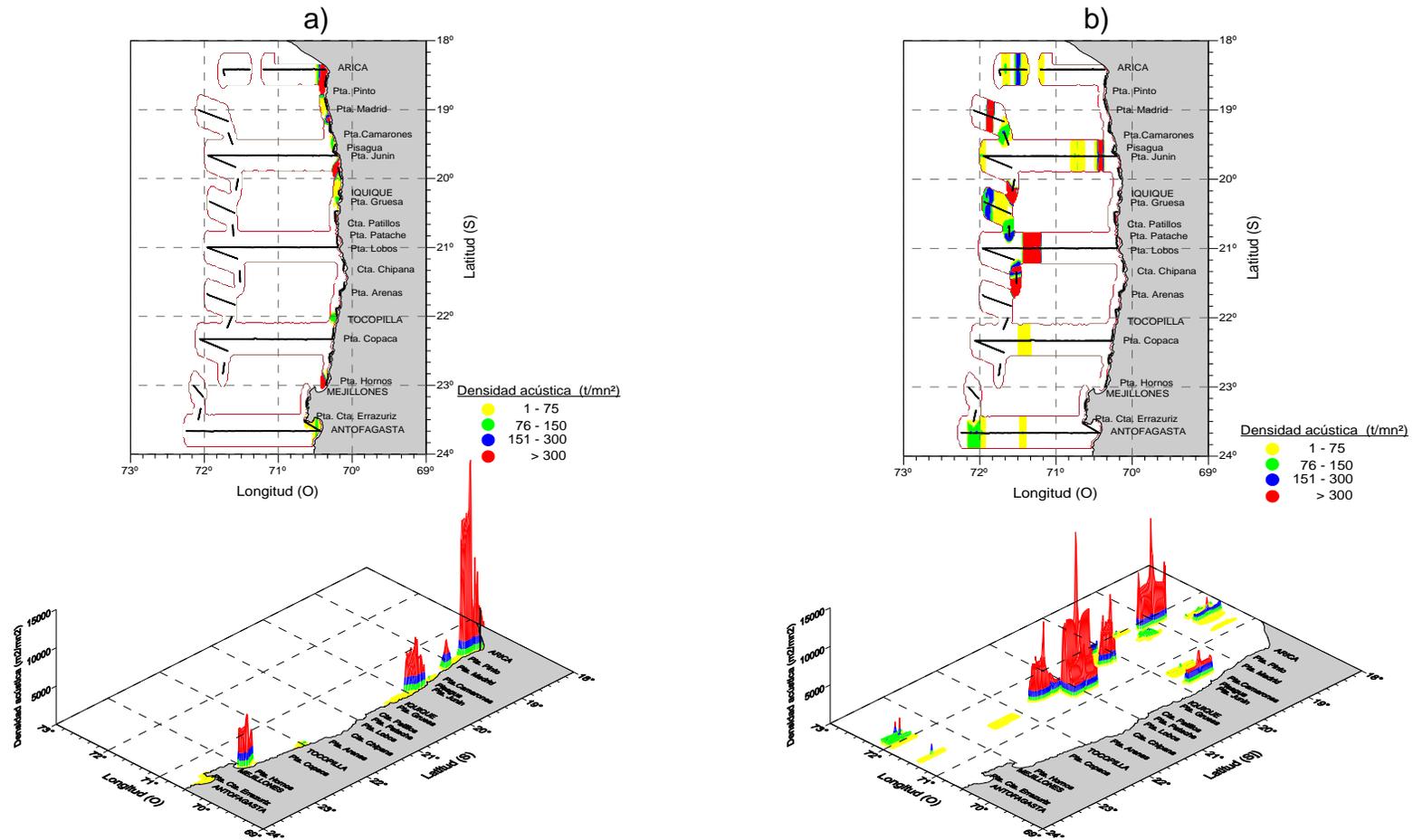


Figura 85. Distribuci3n espacial de la densidad ac3stica de a) de anchoveta y b) vinciguerra durante el crucero MOBIO 1609.



### 2.3.2 Índices de Densidad y Cobertura

En la **Tabla 28** se muestran los resultados de los índices de Densidad (ID) y Cobertura (IC) de las especies. El ID de anchoveta registró un valor de 565,7 t/mn<sup>2</sup>, lo que implicó un importante incremento respecto de los años 2014 (ID=168,8 t/mn<sup>2</sup>) y 2015 (ID=108,5 t/mn<sup>2</sup>), siendo el mayor del período analizado. El comportamiento del indicador evidencia una importante variabilidad interanual, así la **Figura 86a** muestra un comportamiento ascendente de este indicador en este último año que puede ser asociado a una condición cálida en el Pacífico Sur. En efecto, durante los años El Niño se observa una concentración de la especie y un aumento de sus densidades. En el caso de la vinciguerría alcanzó a 688,8 t/mn<sup>2</sup>, cifra que es mayor a los años precedentes ID=340,6 t/mn<sup>2</sup> y 485,5 t/mn<sup>2</sup> (2014 y 2015) siendo uno de los mayores del período estudiado (**Figura 86b**).

Respecto al IC, la anchoveta mostró el indicador más bajo del período 1997-2016, con una ocupación de solo el 4,4%. En este sentido, el IC de este año indicó una repartición espacial menor al de años anteriores (IC=13,8% año 2014; IC=5,5% año 2015), con una merma del 20% respecto del año precedente (**Figura 87a**). Asimismo, se destaca que tanto en 1997 como en el 2015 y 2016 (años cálidos) la anchoveta se concentró mayoritariamente en la costa y en áreas muy definidas por lo que el IC disminuye, destacándose que durante eventos cálidos se mantiene constante en alrededor de un 5%. Por su parte la vinciguerría registró un IC de 3,9%, que es mayor que el año precedente, exhibiendo un incremento del 20% entre los años (**Figura 87b**).

### 2.3.3 Distribución espacial de anchoveta y su relación con las variables bio-oceanográficas, mediante Sistemas de Información Geográfico.

El análisis entre la densidad de la especie y las variables bio-oceanográficas se determinó en base a las profundidades de los cardúmenes (**Figura 88**). Se establecieron tabulaciones cruzadas para estimar los rangos óptimos de preferencia. En general, la anchoveta mostró regulares asociaciones, debido a su baja extensión espacial.



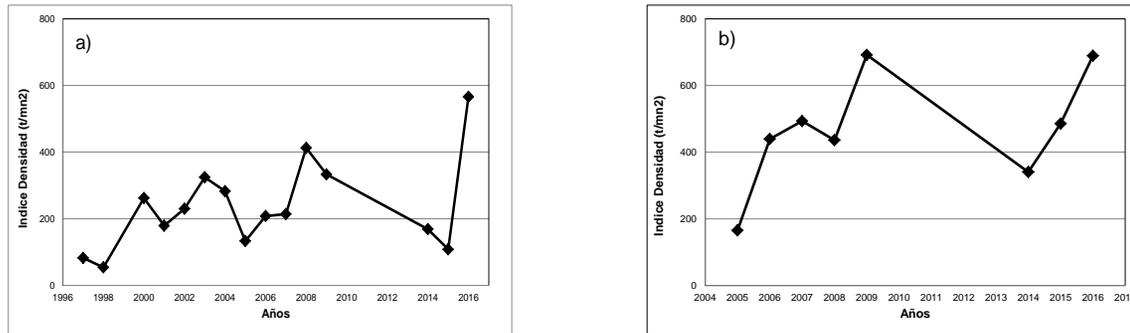
Para la temperatura, los histogramas mostraron que la especie se present3 entre los 14,0 y 18,5°C, con una moda en la isoterma de 16°C (56% de las celdas). El recurso registr3 un bajo grado de asociaci3n con un 3ndice  $V(Cramer)$  de 0,19 (**Tabla 29**). Respecto de la salinidad, la anchoveta se ubic3 entre los 34,5 y 34,9 psu, concentr3ndose en la isohalina de 34,8 psu (app. 47% de celdas). La cobertura geogr3fica del recurso y su distribuci3n en un amplio rango de salinidades implic3 que la asociaci3n entre las variables fuera significativa ( $\chi^2_{calculado} 11.400 > 15,5 \chi^2_{tabla (c-1, r-1)}$ ), los 3ndices  $V(Cramer)$  son significativos y alcanzaron los 0,32 (**Tabla 29**) que indic3 la m3s alta correlaci3n entre todas las variables analizadas, con un tipo de relaci3n directa.

**Tabla 28.** 3ndices de Densidad (ID) (t/mn<sup>2</sup>) y cobertura (IC) (%) de anchoveta y vinciguerria estimados para el crucero MOBIO 1609.

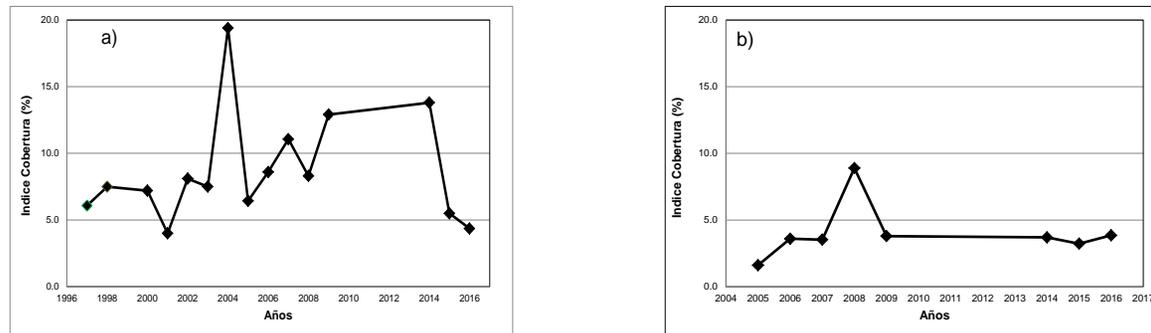
Especie	ID (t/mn <sup>2</sup> )	IC (%)
Anchoveta	565,7	4,4
Vinciguerria	688,8	3,9

**Tabla 29.** Coeficientes  $V(Cramer)$  de Cramer de las distribuciones de anchoveta, respecto de las variables ambientales. En par3ntesis se indican los rangos preferentes de las variables.

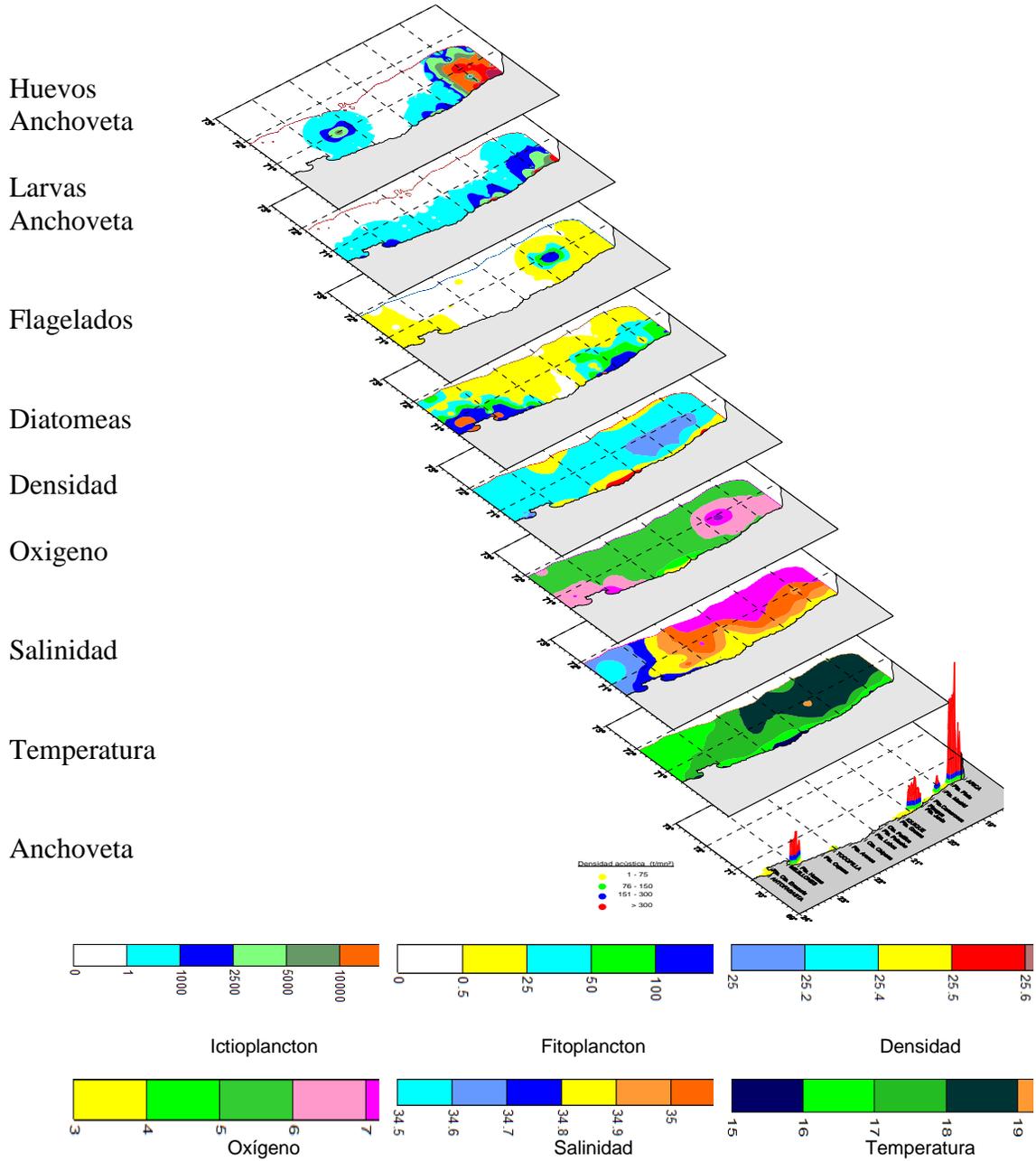
VARIABLE		V Cramer
Temperatura (°C)	(16,0-16,9)	0,19
Salinidad (psu)	(34,7-34,89)	0,32
Ox3geno (mL/L)	(5,0-6,9)	0,20
Densidad ( $\sigma$ )	(25,5-25,79)	0,28
Clorofila (mg/m <sup>2</sup> )	(0,50-0,10)	0,09
Diatomeas (c3l/mL)	(50-100)	0,27
Flagelados (c3l/mL)	(5-10)	0,24
Huevos anchoveta (ind/m <sup>3</sup> )	(10000)	0,12
Larvas anchoveta (ind/m <sup>3</sup> )	(> 100)	0,26
Zooplancton (ind/m <sup>3</sup> )	(300-500)	0,12



**Figura 86** Índices de Densidad (ID) de: a) anchoveta y b) vinciguerra. Período 2005-2016.



**Figura 87** . Índices de Cobertura (IC) de: a) anchoveta y b) vinciguerra. Período 2005-2016.



**Figura 88.** Distribuci3n espacial de anchoveta y de las variables bio-oceanogr3ficas.



En cuanto al oxígeno, el recurso se distribuyó en un amplio rango que va desde 3,0 mL/L hasta 8,0 mL/L con un rango preferente entre 5,0 y 6,5 mL/L donde se localizó el 80% de los registros (Figura 5), dicha concentración en una clase estrecha conllevó a que la asociación entre las variables fuera débil, los índices  $V(Cramer)$  registraron un valor de sólo 0,20. Para la densidad del agua, la distribución que limitó la presencia de la especie varió entre 25,0 y 26,1 Kg/m<sup>3</sup>, con un peak en la isodensidad de 25,6 Kg/m<sup>3</sup>, en el rango preferencial los  $V(Cramer)$  alcanzaron a 0,28, lo que indicó una buena correlación entre las variables. En el caso de la clorofila, la especie se presentó en un rango entre los 0,01-2,1 mg/m<sup>3</sup>, con una ventana preferente entre 0,5 y 1,0 mg/m<sup>3</sup> (70% de las celdas), los coeficientes  $V(Cramer)$  alcanzaron solamente los 0,09 lo que reveló una nula asociación con la anchoveta.

En cuanto a la oferta alimentaria, la distribución espacial del recurso evidenció una asociación que varió positivamente con las diatomeas, así el mayor número de celdas positivas se registraron en densidades entre 50 y 100 (cél/mL), rango que concentró el 75% de celdas, el valor  $V(Cramer)$  alcanzó los 0,27 lo que da cuenta de una alta correlación entre las variables ( $\chi^2$  calculado 9.680 > 9,5  $\chi^2$  tabla (c-1,r-1)). Al contrario, la distribución geográfica de la anchoveta reveló una débil correlación con el zooplancton, donde el mayor número de celdas positivas de la especie se reportó en densidades menores a 500 (ind/m<sup>3</sup>), debido a la alta concentración de la especie en rangos acotados de la variable biológica, los índices  $V(Cramer)$  son mínimos con 0,12.



## **2.4 Objetivo específico 4.2.4: Determinar las variaciones mensuales de la temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto y clorofila, así como también la biomasa y abundancia del zooplancton y composición del ictoplancton en 3 estaciones costeras de la zona norte (Arica, Iquique y Mejillones) y una estación en la zona centro-sur (Bahía Coliumo).**

En este segmento se describen los resultados asociados al objetivo específicos y 2.4, en los que se contempla el monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas durante el desarrollo del crucero y su variabilidad mensual observada en las estaciones fijas de monitoreo.

El muestreo de las estaciones de vigilancia del presente informe abarca el período 2015 - 2017, período que estuvo influenciado por el evento El Niño febrero 2015- abril 2016. Las estaciones de la zona norte que son Arica, Iquique y Mejillones durante el período cálido registraron en la vertical dos pulsos que se reflejaron tanto en temperatura, salinidad como en el oxígeno disuelto, aunque en estos dos últimos con un efecto menor (**Figura 89a-c**).

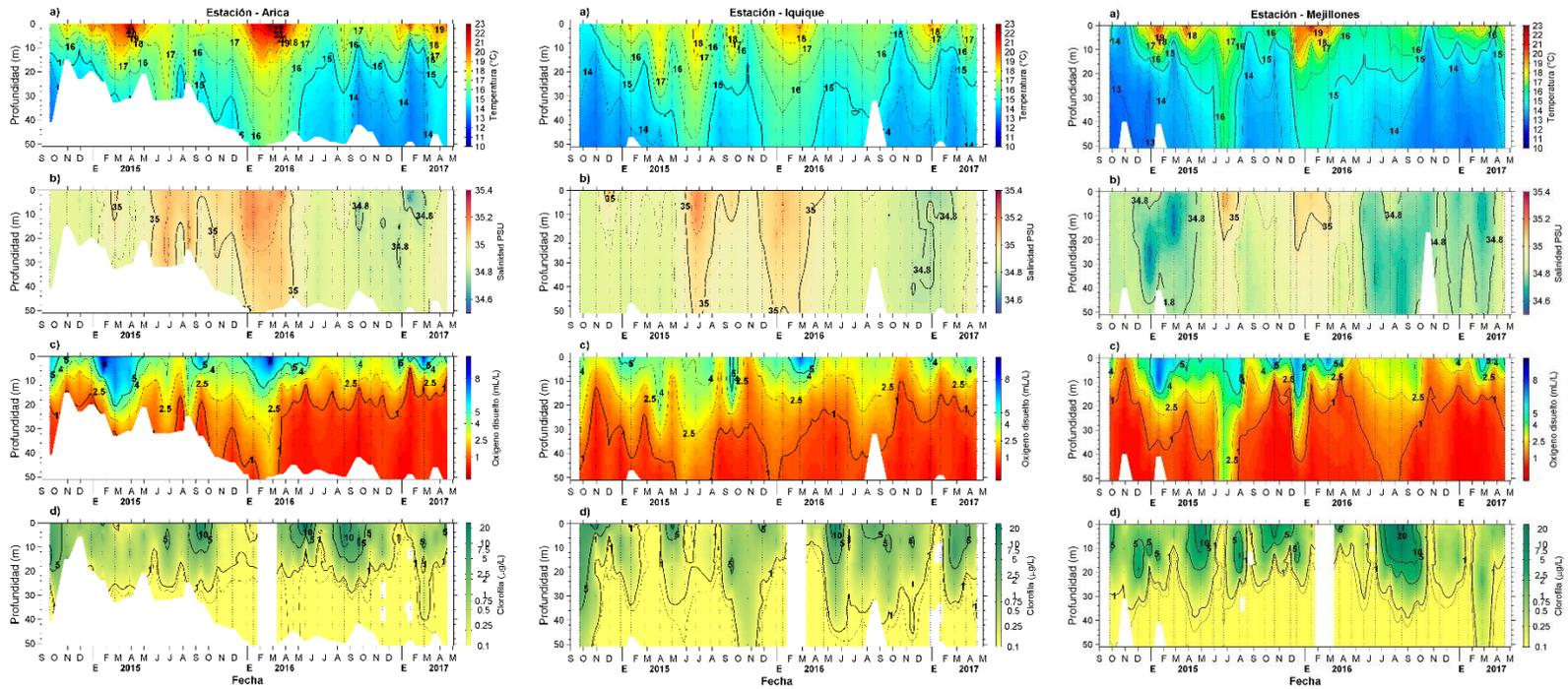
En Arica, las isotermas de 14° a 16°C se profundizaron en el invierno de 2015 (mayo-junio) y en el verano/otoño de 2016 (diciembre-abril), la salinidad superó los 35 en toda la columna y se profundizó la isolínea de 1 mL/L bajo los 50 m. Estas características se suavizaron desde Arica a Mejillones. En este sentido, en Mejillones los valores de salinidad >35 y la isolínea de 1 mL/L no sobrepasaron los 20 y 40 m, respectivamente. Desde mayo de 2016 en adelante, la isoterma de 15°C se mantuvo dentro de los primeros 40 m, la salinidad descendió a valores entre 34,9 y 34,8, este último valor principalmente en Mejillones, y la isolínea de 1 mL/L se mantuvo dentro de los primeros 20 m. En los primeros meses de 2017, la temperatura mostró el calentamiento estacional (17° a 19°C) asociado a salinidades >34,9 en marzo y abril (**Figura 89a-c**).

La clorofila-a presentó una capa de concentraciones >1 µg/L en la mayoría de los muestreos mensuales, abarcando desde superficie hasta el nivel de 30 m en promedio. Sólo Iquique registró eventualmente una capa más amplia de hasta 50 m no asociada a las profundizaciones de las otras variables. Núcleos de altas concentraciones (5 a 10 µg/L) se midieron en las tres estaciones coincidentes con los meses de agosto-septiembre y con menor frecuencia en los meses de abril-mayo. Mejillones es la estación que tuvo la mayor frecuencia de núcleos de altas concentraciones. Dentro de esta serie, concentraciones bajas (<1µg/L) se observaron en febrero-marzo y agosto 2015 en Iquique, y en Mejillones en junio y agosto 2015, junio y octubre de 2016. En Arica las menores concentraciones (~1 µg/L) se registraron entre diciembre 2015 a enero 2016, junto con diciembre 2016. En los primeros meses de 2017, núcleos >1µg/L se observaron en las tres estaciones, y las mayores concentraciones correspondieron a Iquique (**Figura 89d**).

La densidad dio cuenta de columnas de agua estratificadas (**Figura 90a**), con presencia de aguas menos densas superficiales en los períodos de primavera-verano, con valores mínimos <24,6 kg/m<sup>3</sup> en Arica, <25 kg/m<sup>3</sup> en Mejillones y <25,4 kg/m<sup>3</sup> en Iquique. Aguas comparativamente más densas,



se acercaron a la superficie en los últimos meses de 2014, con valores  $>26 \text{ kg/m}^3$  en las tres localidades, lo que se volvió a detectar entre agosto y noviembre de 2015 en Iquique y Mejillones, posteriormente desde marzo de 2016 en Mejillones, mayo en Arica, y septiembre en Iquique. Valores de  $25,8 \text{ kg/m}^3$ , tuvieron presencia en los primeros 20 m entre finales de invierno y comienzos de primavera 2016, periodos en que llegaron más cerca de la superficie, principalmente en Iquique y Mejillones.



**Figura 89.** Series de tiempo de a) temperatura (°C), b) salinidad, c) concentraci3n de ox3geno disuelto (mL/L) y d) clorofila ( $\mu\text{g/L}$ ), en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones, entre septiembre 2014 y abril 2017.

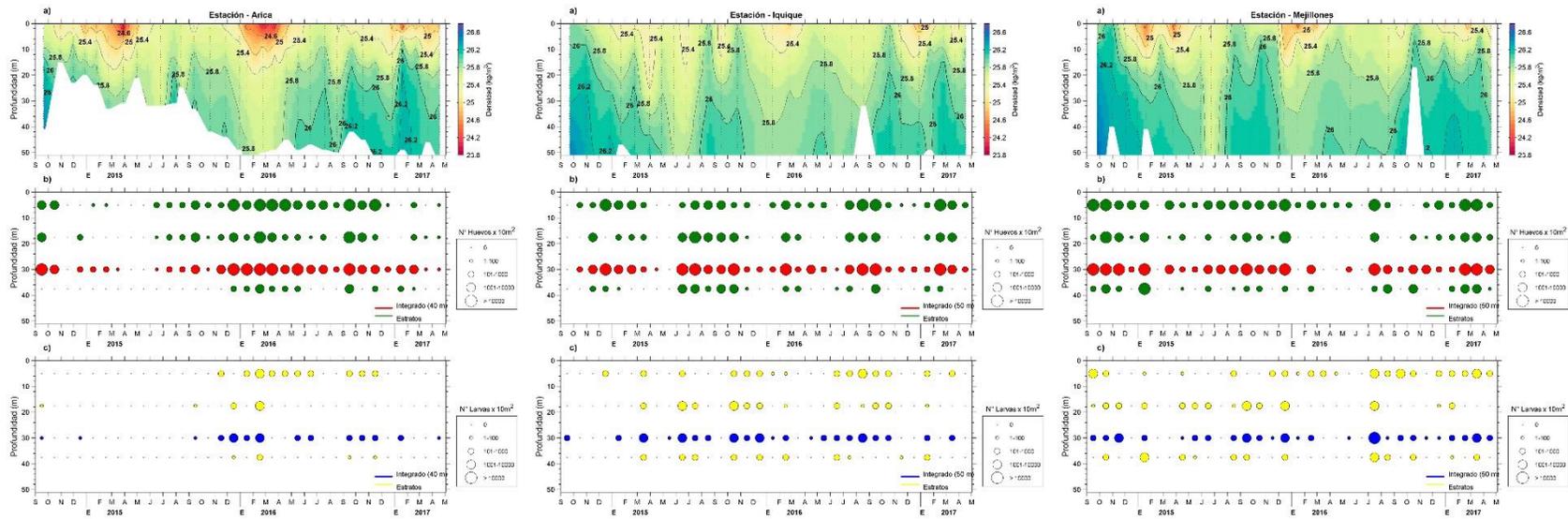


Figura 90. Series de tiempo de a) densidad (kg/m<sup>3</sup>), b) n° de huevos y c) n° de larvas de anchoveta, en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones, entre septiembre 2014 y abril 2017.



En la zona sur, las estaciones ubicadas a 5, 12 y 18 mn frente a Coliumo, mostraron temperatura entre 13° y 14°C, entre enero y mayo de 2016, con profundizaciones de las isotermas de 11° y 12°C bajo la profundidad máxima de muestreo. Temperaturas mínimas se registraron en octubre principalmente en las estaciones de 5 y 12 mn, donde la isoterma de 11°C se ubicó a menos de 10 m. Desde noviembre 2016 a abril de 2017 las temperaturas entre superficie y 10 a 20 m se mantuvieron entre 13° y 14°C, con una profundización de la isoterma de 11°C entre febrero y abril (**Figura 91a**).

La salinidad presentó en la serie los mayores valores entre finales de primavera y verano de cada año (2015 y 2016), con valores de hasta 34,6 entre diciembre 2014 y febrero 2015, los que en 2016 sólo se registraron en enero y no fueron reportados en 2017. Los valores más bajos de salinidad correspondieron a los meses de otoño-invierno, con mínimos <30 entre junio y agosto de 2015 en las estaciones ubicadas a 5 y 12 mn. El mínimo estacional de otoño-invierno de 2016 presentó valores más altos que los reportados para 2015 en las estaciones de 5 y 12 mn, con valores entre 33,3-33,6. En la estación de 18 mn la salinidad en 2016 fue levemente más baja en 2015. Entre noviembre 2016 y abril 2017, la salinidad presentó poca variación, manteniéndose en ~34,4 (**Figura 91b**).

La serie de densidad mostró picnoclinas bien definidas en las tres estaciones de Coliumo, con un núcleo de mínimos valores superficiales en el invierno. En invierno de 2016, las estaciones de 5 y 12 mn reportaron aguas superficiales más densas que las observadas en el mismo periodo de 2015. En la estación 18 en cambio, la densidad de julio-agosto de 2016 fue menor que en 2015. En la vertical, la isopicna de 26,2 kg/m<sup>3</sup> se registró a menos de 10 m en enero de 2016, profundizándose posteriormente bajo los niveles de muestreo hasta agosto, cuando volvió a ser detectada en un mínimo de ~15 m en diciembre de 2016 (**Figura 91c**).

#### 2.4.1 Anomalías de temperatura y salinidad

Las estaciones de vigilancia costera de la zona norte mostraron anomalías positivas mayores a 1°C y mayores a 0,1 en salinidad en respuesta al paso de una serie de ondas internas, de las cuales cuatro de las más intensas fueron ondas intraestacionales que se propagaron por la zona de estudio. Estas ondas generaron perturbaciones en toda la columna de agua que se reflejaron en anomalías positivas de temperatura y salinidad (1 a 3°C y 0,1 a 0,3), con un pulso importante en salinidad entre diciembre de 2015 y marzo de 2016 (**Figura 92 y 93**).

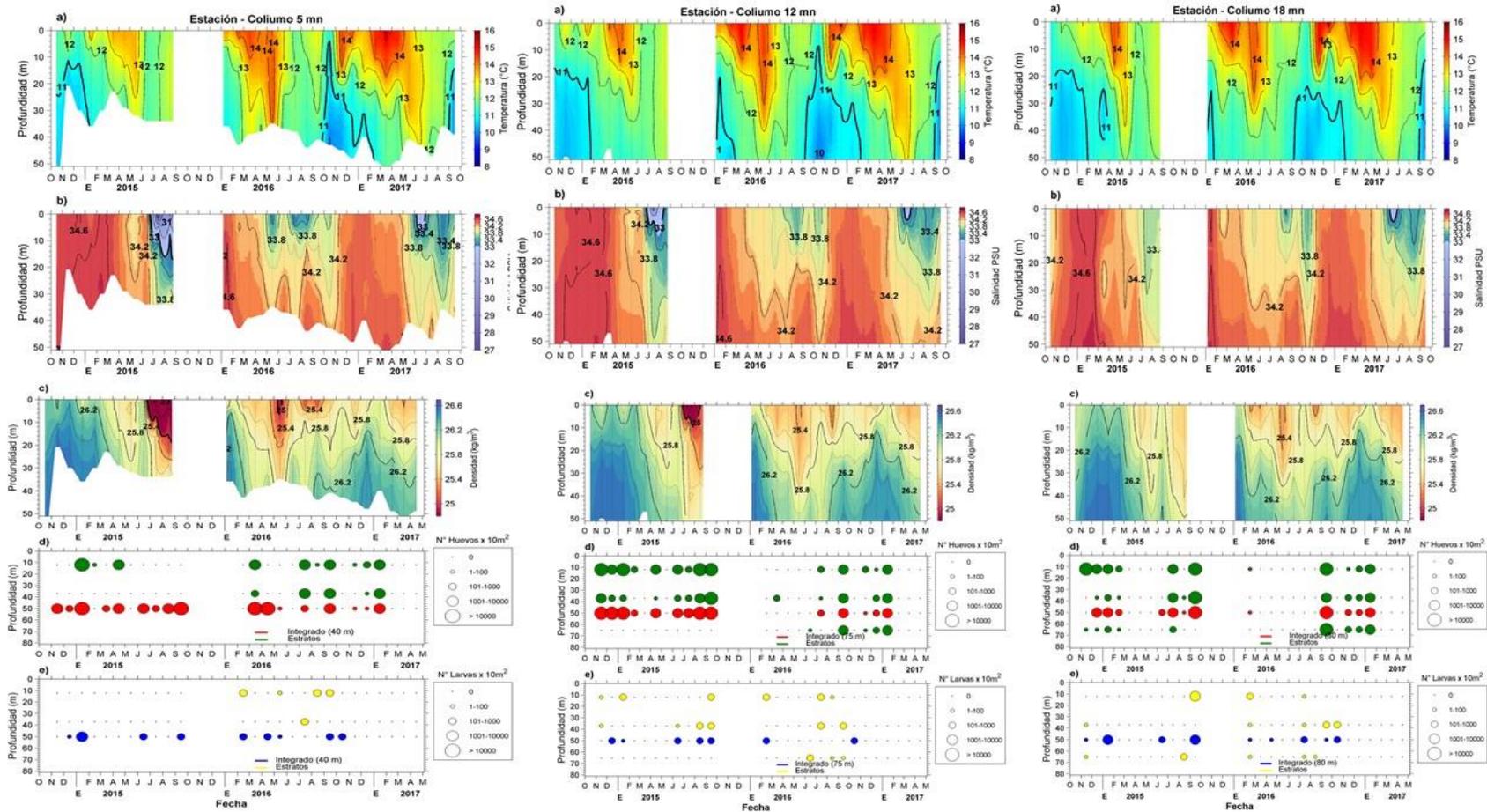
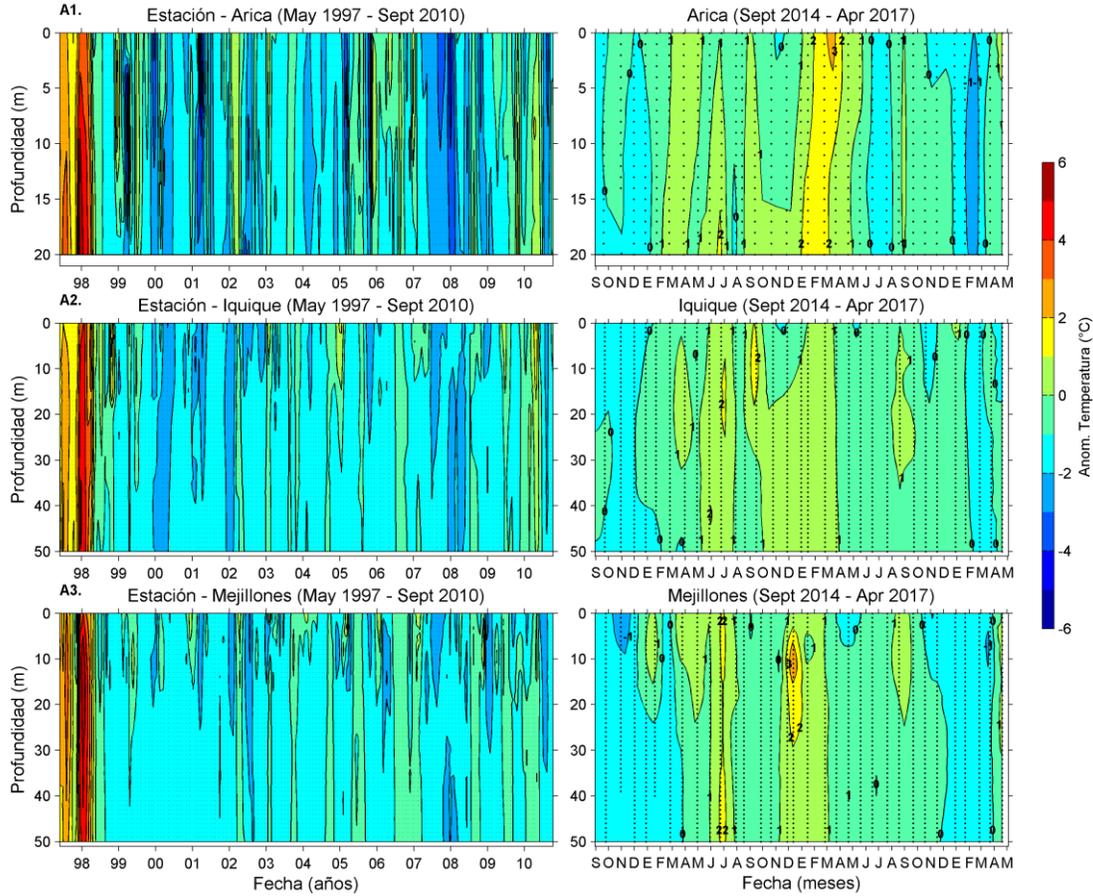


Figura 91. Series de tiempo de a) temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) y b) salinidad, c) densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), d) N $^{\circ}$  de huevos y e) N $^{\circ}$  de larvas de anchoveta, en las estaciones fijas de Coliumo a 5, 12 y 18 mn, entre octubre 2014 y abril 2017.



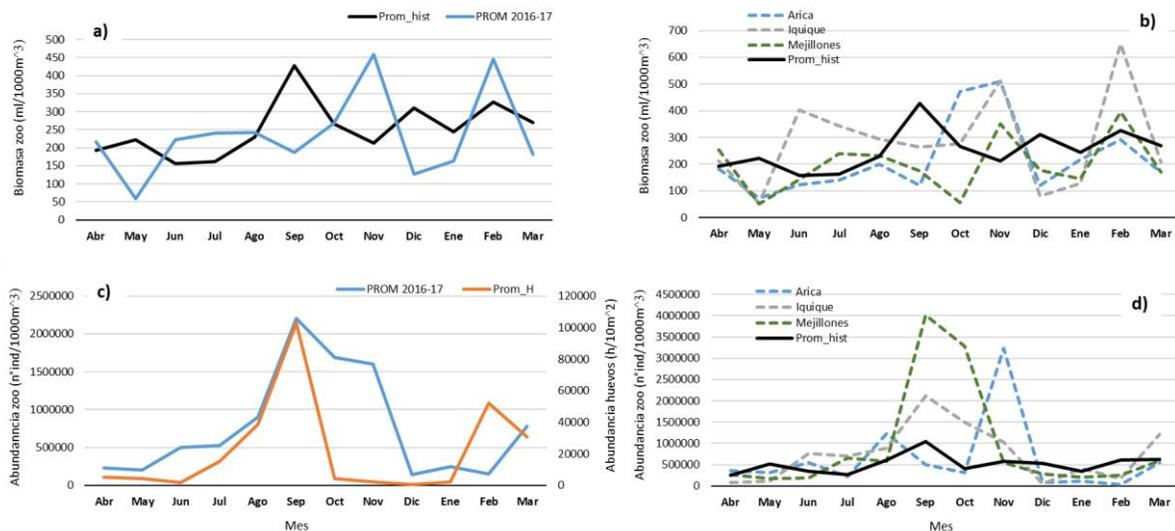
**Figura 92.** Series de tiempo de anomalía de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) en las estaciones fijas de Arica, Iquique y Mejillones, entre a) mayo de 1997 y septiembre de 2010, y b) septiembre 2014 y abril 2016.



## 2.4.2 Estaciones fijas de monitoreo de zooplancton

Al analizar la serie mensual histórica de la biomasa de zooplancton (1997-2016), se observó el valor máximo en primavera (septiembre), mientras que los más bajos en invierno (junio-julio) (**Figura 94a**). Por otra parte, el valor máximo de biomasa observado durante 2016-2017 presentó un desfase de dos meses con respecto a los niveles históricos, encontrándose en noviembre (428 ml/1000m<sup>3</sup>). También se destaca un segundo valor alto de biomasa durante febrero de 2017 (446 ml/1000 m<sup>3</sup>). Ambos valores de verano (2016-2017) superaron al máximo histórico de primavera (428 ml/1000 m<sup>3</sup>) (**Figura 94a**). La elevada biomasa zooplanctónica encontrada en noviembre de 2016 se debió a los máximos registrados en Arica, Mejillones e Iquique, mientras que el valor de febrero de 2017, a los altos niveles de Iquique y Mejillones, superiores al promedio histórico (**Figura 94b**).

La señal anual de la abundancia promedio de huevos observada en las tres estaciones presentó el máximo en septiembre (primavera), coincidiendo con el mayor valor de abundancia media de zooplancton (**Figura 94c**). Por otro lado, los valores mínimos tanto de huevos como de zooplancton se registraron en diciembre (**Figura 94c**). La serie mensual histórica 1997-2016 de la abundancia zooplanctónica también señala el nivel máximo en primavera, concordando con lo observado durante el 2016 (**Figuras 94c y 94d**). Esta alta abundancia media de septiembre de 2016 (>2.000.000 ind/1000 m<sup>3</sup>) se debe a los elevados valores registrados en Mejillones y en Iquique (**Figura 94d**).

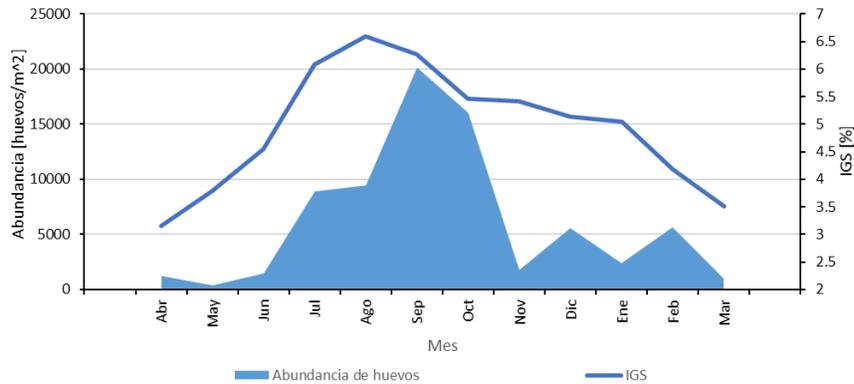


**Figura 94** Señal anual de: a) biomasa zooplanctónica promedio histórica de Arica-Iquique-Mejillones 1997-2016 y observada 2016-2017; b) biomasa promedio histórica de las tres estaciones y abundancias observadas en cada estación de monitoreo; c) abundancia promedio de zooplancton total y abundancia media de huevos observada en las tres estaciones; d) abundancia zooplanctónica promedio histórica 1997-2016 y abundancia observada en cada estación de monitoreo, durante abril de 2016-marzo 2017.



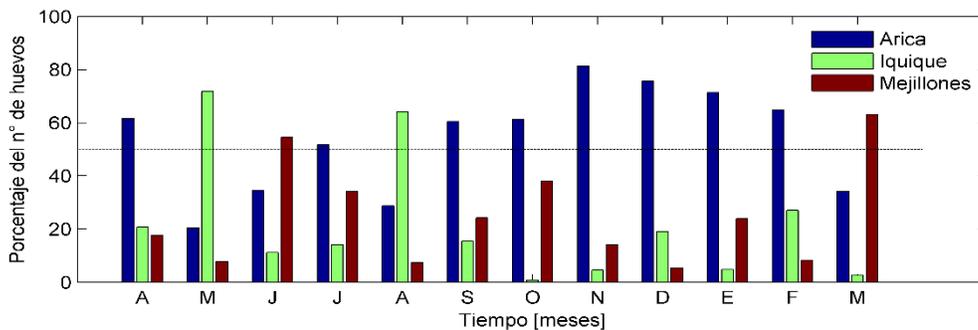
### 2.4.3 Ictioplancton en estaciones fijas

Las series de referencia mensual (SRM) establecidos para la abundancia de huevos y el IGS indican un desfase temporal de un mes entre la se1al anual de estas variables, siendo posterior al desarrollo gonádico la disponibilidad de huevos en las estaciones de monitoreo (**Figura 95**).



**Figura 95.** Serie mensual de referencia para la abundancia de huevos de anchoveta y el IGS de los adultos, correspondiente a la zona de Arica a Mejillones.

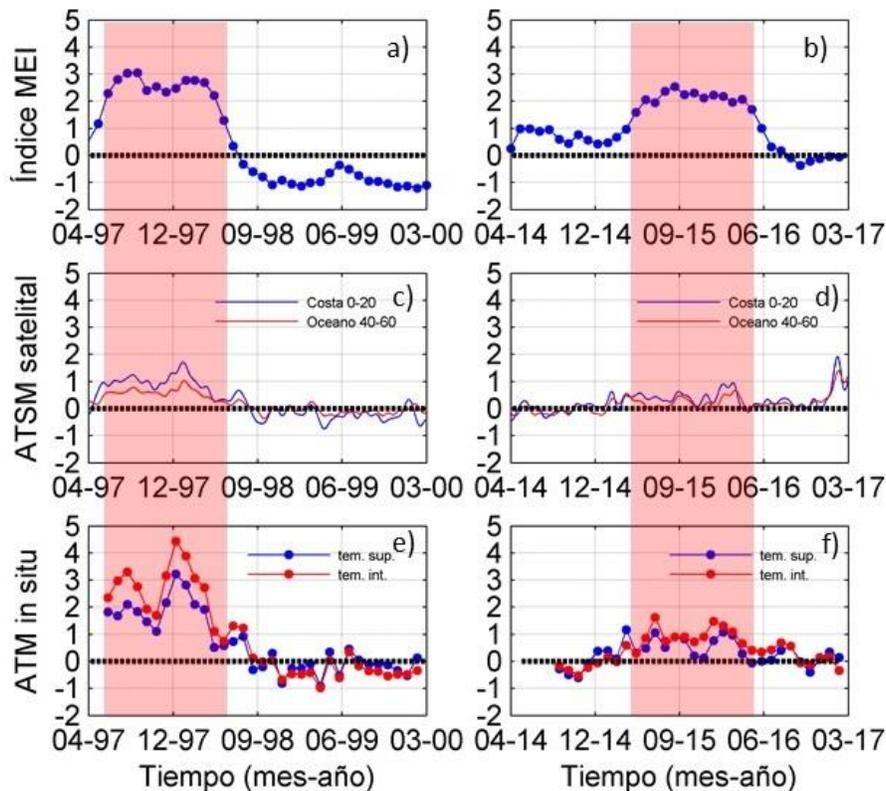
En la SRM de la proporci3n de huevos se destaca la incidencia de valores por sobre 50% en Arica, durante los meses de primavera-verano (septiembre-febrero) y oto1o (abril). Por otra parte, en los meses de oto1o-invierno (marzo-agosto), a excepci3n de abril y julio, m1s del 50% de los huevos se encontraron en las estaciones de Iquique o Mejillones (**Figura 96**).



**Figura 96.** Proporci3n mensual de referencia de los huevos de anchoveta entre las tres estaciones de monitoreo, para la zona norte de Chile. La lnea punteada indica la proporci3n del 50%.

El promedio del rango MEI observado durante el periodo catalogado como ENOS fuerte 1997-98, fue un ~ 3% mayor al registrado durante el desarrollo del ENOS fuerte 2015-16 (66,4 v/s 64,5) (**Figura 97**). La duraci3n total de ambos eventos fue similar (ENOS 15-16,1 mes > que ENOS 97-98) y los dos periodos en su tramo de mayor intensidad tuvieron una duraci3n de 13 meses.

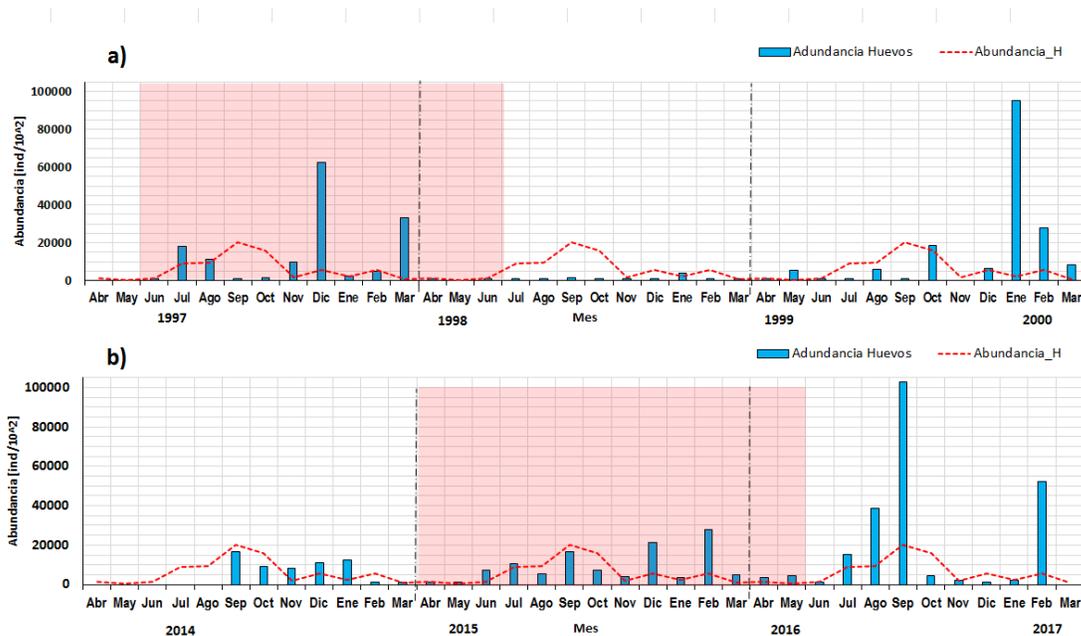
En general, las anomalías positivas (>1) observadas en el índice MEI tuvieron una proyecci3n local tanto en la ATSM satelital como in situ (**Figura 97**), durante los eventos ENOS considerados. Las anomalías de la ATSM satelital e in situ del periodo intenso ENOS 97-98 fueron de mayor magnitud que las del 2015-16. Posterior al ENOS 97-98, a nivel local y en el Ecuador, las anomalías negativas fueron frecuentes (Fase fría, La Niña), mientras que después del ENOS 2015-16, la condici3n regional paso de neutra a fría (fines del 2016) y a nivel local se observaron anomalías positivas de menor magnitud hasta marzo de 2017. En febrero de 2017, el registro satelital de ATSM alcanzó los 2°C, mientras la ATSM in situ fue cercana a 0°C (**Figura 97d y Figura 97f**).



**Figura 97.** Series de tiempo de los periodos: 1997-2000 paneles izquierdos, 2014-2017 paneles derechos. a) y b) Índice MEI, c) y d) ATSM satelital de la costa y océano, e) y f) ATSM in situ y temperatura integrada.

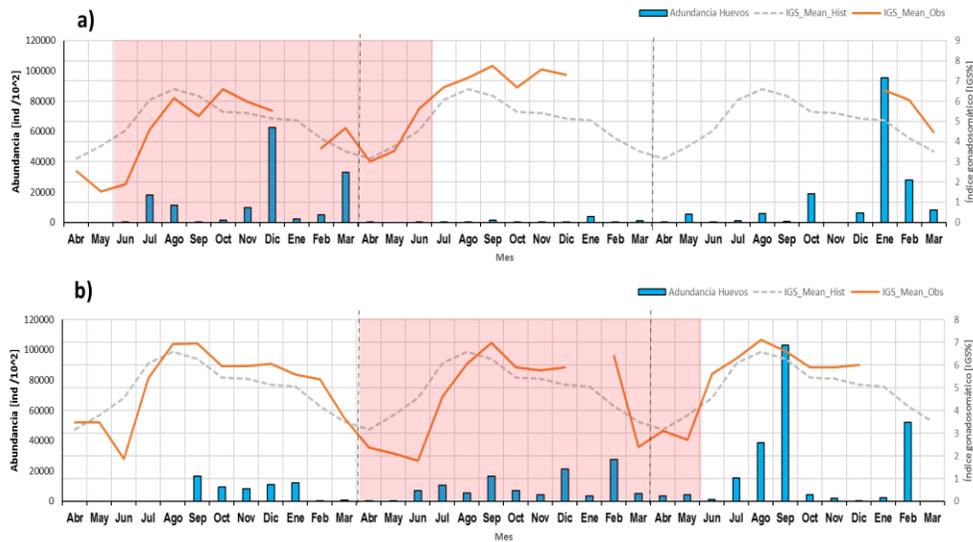


La abundancia media de huevos registrada en los meses de verano fue mayor al registro de septiembre, donde la SMR present3 su valor m3s alto (20.132 huevos/10m<sup>2</sup>). Durante el ENOS 1997-98, los registros an3malos se observaron en Dic-1997 y Mar-1998 (62.573 y 33.153 huevos/10m<sup>2</sup>, respectivamente), mientras que en El Ni3o fuerte 2015-16 los registros inusuales se observaron en Dic-2015 y feb-2016 (21.379 y 27.800 huevos/10m<sup>2</sup> respectivamente) (**Figura 98**). Posterior a los ENOS en an3lisis se destacaron registros inusualmente altos en: Enero y febrero de 2000 (95.298 y 27.801 huevos/10m<sup>2</sup>, respectivamente) y en septiembre 2016 y febrero de 2017 (102.893 y 52.309 huevos/10m<sup>2</sup>, respectivamente) (**Figura 98**).



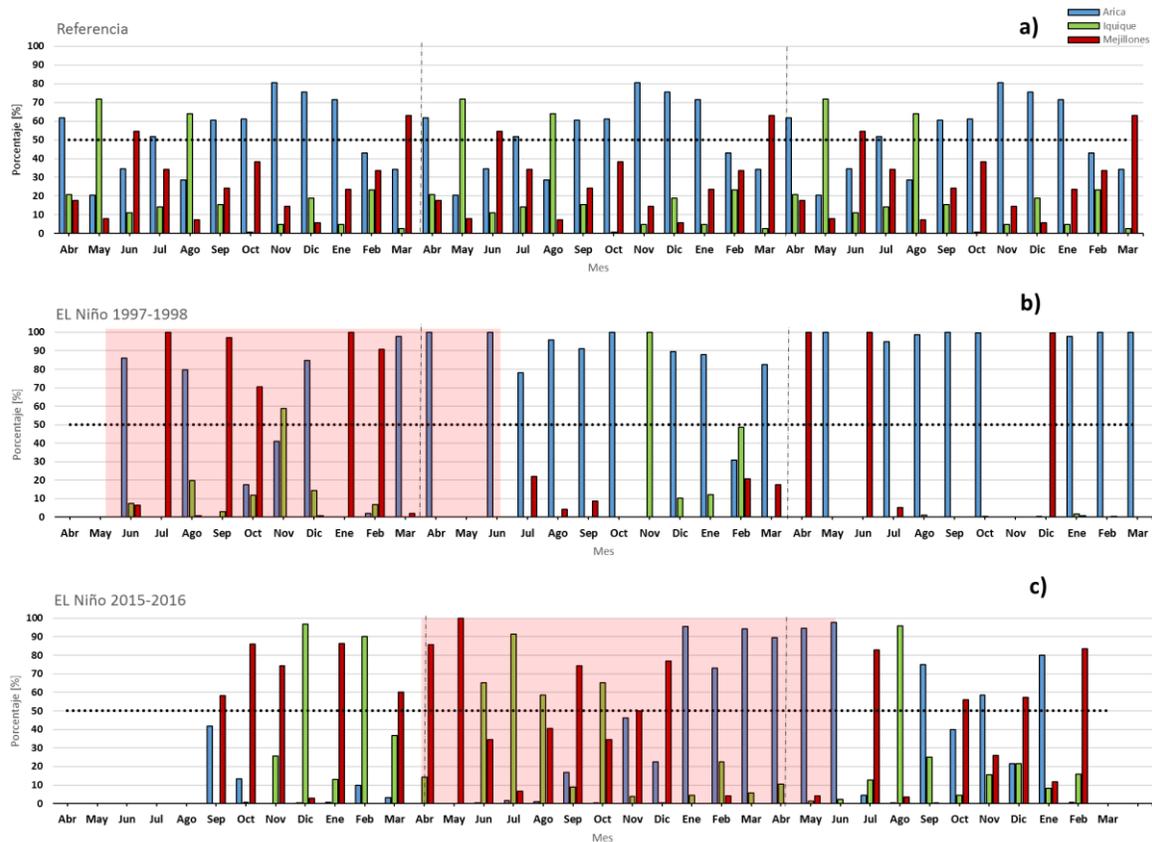
**Figura 98** Serie mensual de la abundancia promedio de huevos en las tres estaciones de monitoreo (barras azules) y la abundancia promedio hist3rica (1997-2017, l3neas punteadas rojas), durante los periodos: abril de 1997-marzo 2000 (a) y abril de 2014-marzo 2017 (b). Se destaca en un recuadro rojo los tramos correspondientes a eventos ENOS de categor3a fuerte.

Durante el periodo ENOS 1997-98 en categor3a fuerte, los valores de IGS $\geq$ 6% se presentaron de forma inusual durante octubre y noviembre de 1997, siendo superiores al IGS hist3rico de referencia (**Figura 99a**). Tamb3n se encontraron valores similares desde julio a diciembre de 1998 (**Figura 99a**). En El Ni3o 2015-16 los valores de IGS $>$ 6% se registraron desde agosto a diciembre de 2015, con niveles superiores al IGS hist3rico de referencia (**Figura 99b**).



**Figura 99** Serie mensual de la abundancia promedio de huevos en las tres estaciones de monitoreo (barras azules), IGS promedio observado durante cada mes (líneas naranjas) e IGS promedio histórico (1997-2017), línea punteadas gris), durante: abril de 1997-marzo 2000 (a) y abril de 2014-marzo 2017 (b). Se destaca en un recuadro rojo los tramos correspondientes a eventos ENOS de categoría fuerte.

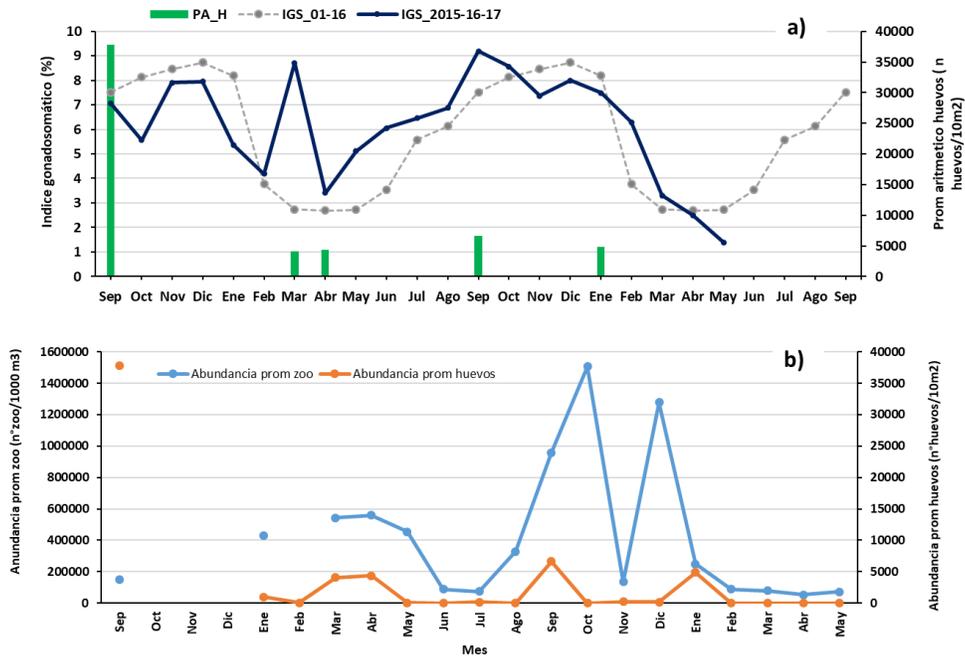
Durante los dos periodos comparados cerca del 80% de los huevos se registraron en una única estación de monitoreo, alcanzando hasta el 100% en algunos meses. En el periodo ENOS 2015-16, si bien las proporciones de huevos entre las tres estaciones fueron más homogéneas en relación al periodo El Niño anterior, se observó que en general más del 50% de los huevos se encontraron en las estaciones de Iquique y Mejillones (**Figura 100 b y c**).



**Figura 100** : Series mensuales de la proporción de huevos de anchoveta entre las tres estaciones de vigilancia, de referencia (a), durante ENOS 1997-98 (b) y ENOS 2015-16 (c). Se destaca en un recuadro rojo los periodos El Niño de categoría fuerte.

### 2.4.3.1 Estaciones fijas zona sur

En las estaciones de la zona sur se destaca que en septiembre de 2015 se observó una abundancia de huevos mayor de lo esperado, de acuerdo al valor de IGS del mes y el IGS histórico (**Figura 101a**). Se observaron también pulsos de abundancia en los meses de marzo-abril de 2016 y en septiembre de 2016 y enero de 2017, no obstante, las magnitudes de estos pulsos son inferiores a lo esperado con respecto a los valores de IGS mensual y los históricos (**Figura 101a**). Por otra parte, los pulsos de abundancia de huevos desde marzo hasta octubre de 2016, presentaron sincronía con el zooplancton. La densidad media más alta de zooplancton se registró en octubre de 2016, con un desfase de un mes en relación al pulso de abundancia de huevos (**Figura 101b**).



**Figura 101.** a) Índice gonadosomático medio mensual (IGS) (línea azul), promedio histórico del IGS (línea gris) y promedio aritmético de huevos (huevos/10 m<sup>2</sup>) de anchoveta en Coliumo (5, 12 y 18 mn). b) Serie mensual para la abundancia promedio del zooplancton y los huevos de anchoveta, en el periodo comprendido entre septiembre del 2015, hasta mayo de 2017, correspondiente a Coliumo (5, 12 y 18 mn).



## 2.5 Objetivo específico 4.2.5: Determinar la distribución y abundancia de huevos de anchoveta para la evaluación del stock desovante.

### 2.5.1 Distribución y abundancia de huevos de anchoveta (MPH)

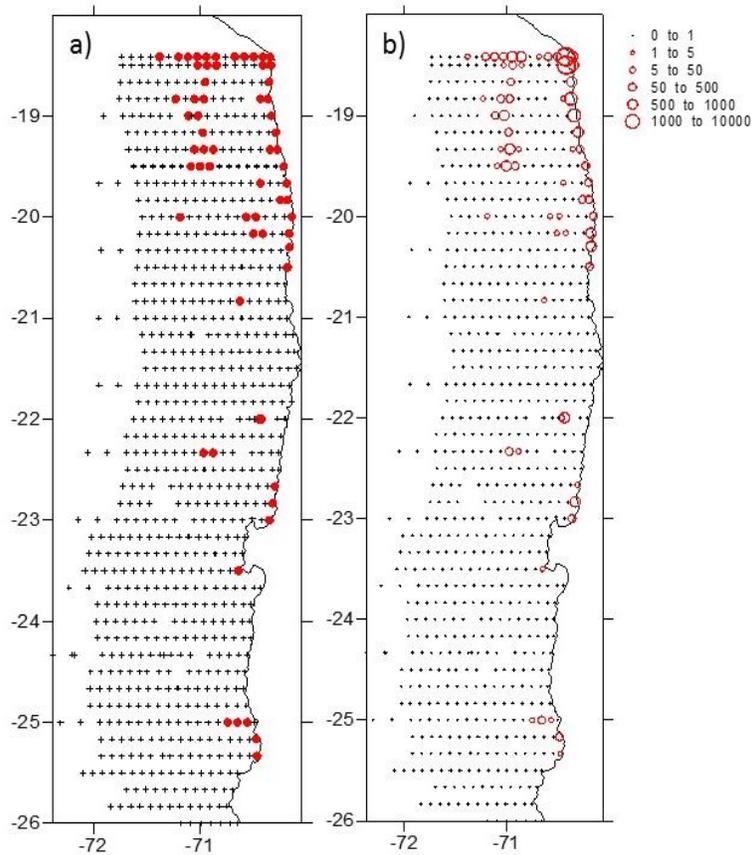
El desarrollo de esta componente se enmarca dentro del objetivo específico 2.5 y a continuación se describen los resultados correspondientes.

Del total de 800 estaciones ictioplanctónicas, 65 presentaron huevos de anchoveta, lo que representa un 8% de estaciones positivas. La densidad de huevos es bastante baja en comparación a otros años, pero la densidad de las estaciones positivas está en el rango de aplicaciones previas (**Tabla 28**), lo que constata una alta concentración, que es lo que se observa en su distribución espacial (**Figura 102a**). El área prospectada fue de 42684 mn<sup>2</sup>. El área de desove estimada correspondió a 3105 mn<sup>2</sup> (**Tabla 28**).

**Tabla 28.** Resultados de los cruceros de huevo para las distintas aplicaciones del MPH.

Año	Estac.	Estac. (+)	Total Huevos	Densidad	Densidad (+)	Area crucero	Area desove	Temp 10 m
	N°	N°	N°	H/0.05 m <sup>2</sup>	H/0.05 m <sup>2</sup>	mn <sup>2</sup>	mn <sup>2</sup>	°C
1992	542	212	10974	20	52	17055	10332	16.25
1995	578	208	7555	13	36	18137	13315	15.64
1996	752	176	6718	9	38	18353	10698	15.28
1997	800	209	8054	10	39	28276	14660	18.26
1999	598	132	7582	13	57	27374	7525	15.84
2000	502	212	10473	21	49	19539	13059	15.72
2001	514	60	7586	15	126	25921	4026	15.56
2002	589	310	18305	31	59	30264	18309	15.94
2003	537	129	9264	17	72	26986	7597	15.84
2004	649	208	12079	19	58	30152	9193	16.29
2005	658	214	17066	26	80	30368	12521	15.55
2006	799	226	11434	14	51	41448	14408	16.14
2007	799	113	4724	6	42	38269	6439	14.01
2008	717	136	10304	14	76	35264	7594	16.21
2009	773	46	4702	6	102	38289	1743	15.89
2011	730	292	13915	19	48	34736	15771	15.4
2012	564	241	10779	19	45	32291	14356	15.74
2013	770	201	6267	8	31	36696	10819	15.67
2014	632	128	7458	12	58	29811	6451	15.92
2015	659	150	6206	9	41	31411	8025	17.39
2016	800	65	6039	8	93	42684	3105	17.05

Las estaciones positivas se muestran muy cercanas a la costa y concentradas en las inmediaciones de Arica entre los 18°S y 20 °S (**Figura 104a**). En relación a lo observado el año anterior, se aprecia una baja notable en la extensión del área de desove.



**Figura 102** Distribuci3n espacial de: a) estaciones con registro de huevos de anchoveta y b) abundancia de huevos de anchoveta. Septiembre-octubre de 2016.



## **2.6 Objetivo específico 4.2.6: Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.**

### **2.6.1 Monitoreo reproductivo de la anchoveta en la zona norte**

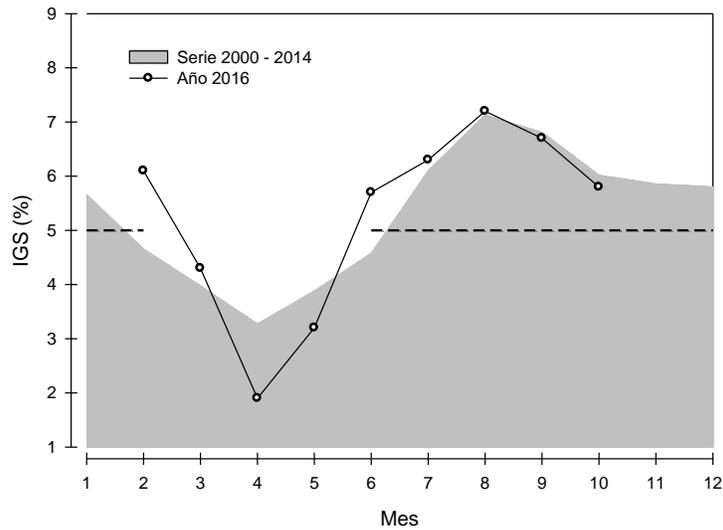
El seguimiento reproductivo (enero - octubre), a través del análisis de la variación semanal y mensual del índice gonadosomático (IGS) e indicadores histológicos de la actividad de desove (IAD) y de la atresia ovárica (IAO), permitió monitorear la manifestación de los mayores desoves de la anchoveta en la zona Arica-Antofagasta.

El comportamiento mensual del IGS en lo transcurrido del año 2016 (enero-octubre), con 8.924 hembras, cifra 2% menor respecto a lo medido en el 2015 en igual fecha, mostró un registro alto en febrero (6,1%), para disminuir claramente a partir de marzo (4,3%) y alcanzar el valor mínimo en abril (1,9%), correspondiendo al término del evento reproductivo del año anterior. Por su parte, desde mayo el indicador experimentó un repunte (4,3%), para presentar registros relativamente altos entre junio y octubre (mayor a 5%), con máximos en agosto (7,2%) y septiembre (6,7%) (**Figura 103**). En cuanto a su variabilidad semanal, el IGS incrementó gradualmente hacia fines de mayo (semanas 21 y 22), para mostrar un aumento en las semanas de junio y julio (semanas 23 a 31), y mantenerse con valores relativamente altos hasta la última semana de octubre (semana 44), con registros mayores que se centran en las semanas de agosto y septiembre, antecedentes que evidenciaron la activación de la maduración gonadal y el desarrollo del evento reproductivo (**Tabla 29; Figura 104**).

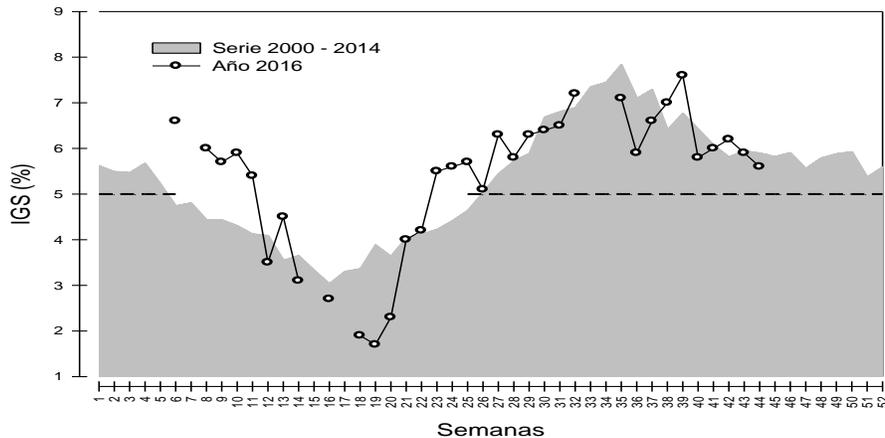


**Tabla 29.** Valor semanal de los indicadores reproductivos (IGS, IAD e IAO) de anchoveta en la zona Arica-Antofagasta, enero-octubre, 2016.

Semana (N°)	Fecha 2016	Anchoveta de la Zona Arica-Antofagasta				
		Macroscópico		Microscópico		
		IGS	n	IAD	IAO	n
1	28/12 - 03/01					
2	04/01 - 10/01					
3	11/01 - 17/01					
4	18/01 - 24/01					
5	25/01 - 31/01					
6	01/02 - 07/02	6,6	43	47,1	5,9	51
7	08/02 - 14/02					
8	15/02 - 21/02	6,0	18	3,5	0,0	57
9	22/02 - 28/02	5,7	100	19,5	1,6	128
10	29/02 - 06/03	5,9	55	6,7	3,3	60
11	07/03 - 13/03	5,4	72			
12	14/03 - 20/03	3,5	101	2,2	38,5	91
13	21/03 - 27/03	4,5	47	6,3	3,1	64
14	28/03 - 03/04	3,1	101	1,4	23,4	145
15	04/04 - 10/04					
16	11/04 - 17/04	2,7	19			
17	18/04 - 24/04					
18	25/04 - 01/05	1,9	275	0,0	3,0	135
19	02/05 - 08/05	1,7	106	0,0	6,1	132
20	09/05 - 15/05	2,3	114	0,0	6,4	94
21	16/05 - 22/05	4,0	86	0,0	10,8	111
22	23/05 - 29/05	4,2	103	3,3	4,9	122
23	30/05 - 05/06	5,5	64	2,9	4,4	205
24	06/06 - 12/06	5,6	17	10,1	0,7	149
25	13/06 - 19/06	5,7	634	4,1	2,7	292
26	20/06 - 26/06	5,1	387	11,0	7,4	299
27	27/06 - 03/07	6,3	445	0,7	0,3	295
28	04/07 - 10/07	5,8	607	23,9	1,0	305
29	11/07 - 17/07	6,3	550	26,3	0,7	304
30	18/07 - 24/07	6,4	794	23,0	0,0	317
31	25/07 - 31/07	6,5	468	29,3	1,6	304
32	01/08 - 07/08	7,2	539	33,4	0,7	302
33	08/08 - 14/08					
34	15/08 - 21/08					
35	22/08 - 28/08	7,1	423	36,0	1,3	303
36	29/08 - 04/09	5,9	310	8,6	12,3	301
37	05/09 - 11/09	6,6	276	46,5	1,6	310
38	12/09 - 18/09	7,0	299	49,0	0,0	306
39	19/09 - 25/09	7,6	426	50,0	1,3	302
40	26/09 - 02/10	5,8	214	40,4	1,3	297
41	03/10 - 09/10	6,0	110	2,7	10,2	147
42	10/10 - 16/10	6,2	166	33,3	0,7	144
43	17/10 - 23/10	5,9	408	9,7	15,4	298
44	24/10 - 30/10	5,6	547	13,0	8,8	308



**Figura 103.** Variaci3n mensual del 3ndice gonadosom3tico de anchoveta en la Zona Arica-Antofagasta. Serie 2000 - 2014 y a1o 2016. La l3nea segmentada representa el valor referencial de actividad reproductiva de IGS = 5%.



**Figura 104** Variaci3n semanal del 3ndice gonadosom3tico de anchoveta en la Zona Arica - Antofagasta. Serie 2000 - 2014 y a1o 2016. La l3nea en IGS 5% representa el valor referencial de actividad reproductiva.



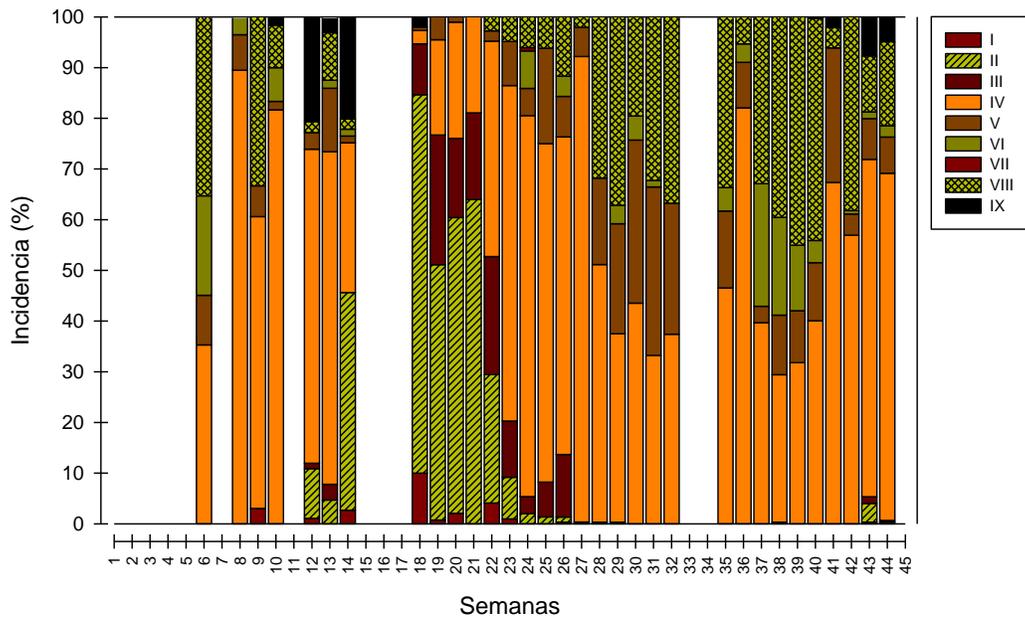
En este año 2016, se destaca primeramente valores altos que se ubicaron sobre el nivel histórico durante febrero, hecho que podría asociarse a las anomalías en el proceso reproductivo del año 2015, en que la anchoveta inicio su periodo de maduración gonadal con un retraso de aproximadamente un mes y medio, a la vez que se caracterizó por manifestar una menor intensidad reproductiva (Böhm *et al.*, 2016). Por su parte, el repunte de la actividad ovárica en mayo – junio y posterior intensificación en julio, con registros que se mantienen relativamente altos hasta fines de octubre y con máximos en el bimestre agosto – septiembre, son concordantes con el patrón histórico, no obstante, el IGS de las semanas de junio se destacó por superar el nivel de la serie para este mes, caracterizándose por valores que sobrepasaron el valor referencial de 5% como umbral de inicio del periodo de actividad reproductiva (Díaz *et al.*, 2013). Estos antecedentes evidenciaron que la anchoveta gatilló el evento reproductivo de manera definida a partir de la primera semana de junio (5,5%), mientras que la intensificación de la actividad durante las semanas de julio se normalizó a la tendencia histórica, proceso reproductivo que se mantiene hacia fines de octubre con registros relativamente altos.

El cálculo de los índices microscópicos se sustentó de la observación histológica de 6.678 hembras, cifra 6% menor respecto a lo analizado en el 2015 en igual fecha, a objeto de intensificar y precisar el monitoreo de la actividad reproductiva de la anchoveta. El análisis microscópico fue satisfactorio en la medida que entregó información precisa y detallada de los cambios que acontecieron asociado al proceso de maduración del ovario, confirmando la tendencia observada a través del **IGS**.

La variabilidad semanal de las fases de madurez (**Figura 105**) mostró entre inicios de febrero e inicios de marzo (semanas 6 a 10) prácticamente la totalidad de las hembras en desarrollo del evento reproductivo, con un aporte relativamente importante de actividad de desove. Por su parte, entre las semanas 12 y 14 (marzo) aparecen con alta frecuencia hembras en regresión (EMS IX) que finalizaron el desove, conjuntamente con hembras en regeneración o en reposo (EMS II), las que alcanzaron la mayor incidencia entre las semanas 14 y 21 (fines de marzo a mediados de mayo), correspondiendo este periodo al término del proceso reproductivo del año anterior y a la fase de reposo y reorganización gonadal, caracterizándose por el mayor descenso de hembras sexualmente activas y por una muy baja incidencia de desove. Posteriormente, a partir de fines de mayo e inicio de junio (semanas 22 y 23) se manifestó un cambio biológico, donde se observó un predominio de fases de desarrollo gonadal, hecho que señaló el inicio del periodo reproductivo de este año, condición que se mantiene a fines de octubre (semana 44), destacándose la intensificación de los desoves entre inicios de julio (semana 28) y mediados de octubre (semana 42), periodo en que se obtuvo una mayor frecuencia de hembras hidratadas (EMS VI) y de ovarios con folículos post-ovulatorios (EMS VIII).



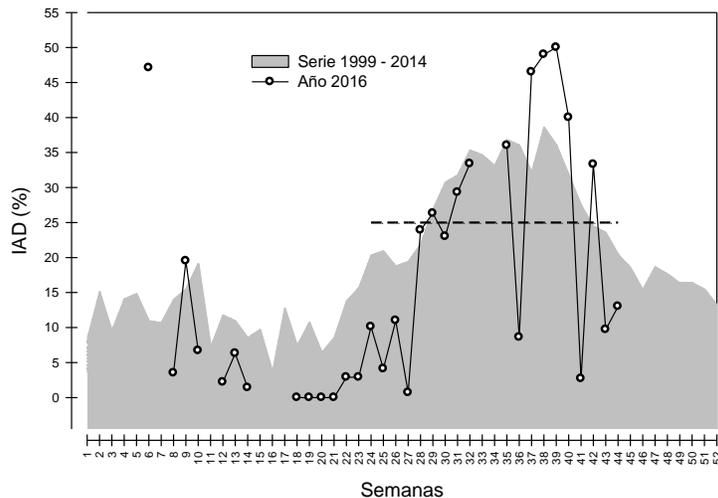
La frecuencia de hembras sexualmente activas (fases agrupadas III al VIII) descendió entre mediados – fines de marzo (semanas 12 y 14) y mediados de mayo (semana 21), periodo de reposo sexual relativo, con una incidencia mayormente bajo 50%. Por su parte, a partir de fines de mayo (semana 22) la actividad repuntó marcadamente (65%), para sobrepasar 90% desde mediados de junio (semana 24), condici3n de hembras sexualmente activas que persiste hasta la última semana de octubre (semana 44). Los resultados de este ańo indicaron un proceso de maduraci3n gonadal acorde al patr3n que se caracteriza por el incremento de la actividad en junio, para superar el 90% entre julio y diciembre-enero. No obstante, es importante destacar en este ańo los registros por sobre el nivel hist3rico para las semanas de junio, antecedentes que evidenciaron la manifestaci3n del evento reproductivo en este mes.



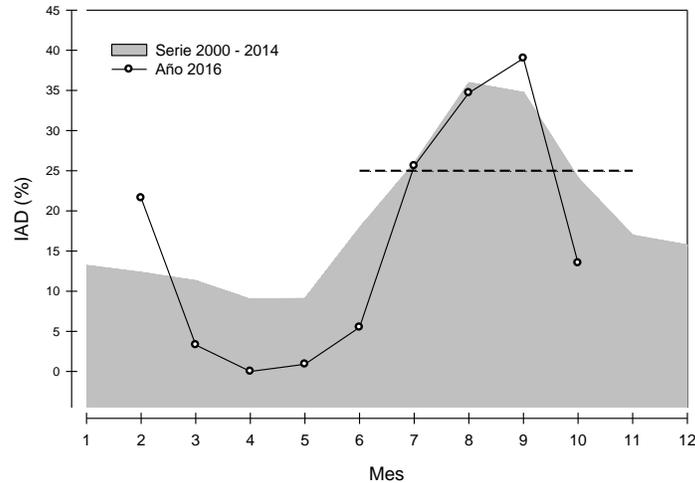
**Figura 105.** Incidencia semanal de las fases histol3gicas de madurez ov3rica.



El an3lisis semanal de la frecuencia de hembras desovantes, definidas como aquellas en condici3n de desove inminente (hidratadas) m3s las que desovaron en la misma noche y en la noche anterior a la captura (con FPO I al IV), permite monitorear la intensidad de desove de la anchoveta mediante el indicador de la actividad de desove (IAD). El seguimiento del IAD mostr3 registros relativamente altos en las semanas de febrero (6 y 9), mientras que disminuy3 con valores que no superaron mayormente 10% entre inicios de marzo y fines de junio (semanas 10 a 27), hecho que evidenci3 un periodo de baja actividad de desove. Por su parte, a partir de la primera semana de julio (28) el IAD experiment3 un claro repunte (24%), y se mantiene con registros altos hasta mediados de octubre, con m3ximos que se centran en las semanas de agosto a octubre, antecedentes que reflejaron el periodo de intensificaci3n de los desoves (**Tabla 27; Figura 106**). En relaci3n al comportamiento mensual, el periodo de mayores desoves se manifest3 entre julio y septiembre, para evidenciar una disminuci3n en octubre (**Figura 106**). Los antecedentes de este a3o indicaron para junio registros que se ubicaron bajo el nivel hist3rico, hecho que se3al3 desoves menos intensos respecto al patr3n. No obstante, el repunte del IAD entre julio y septiembre mostr3 la normalizaci3n a la tendencia hist3rica.



**Figura 106** Variaci3n semanal del índice de actividad de desove de anchoveta en la Zona Arica – Antofagasta. A3o 2016 y serie 1999-2014. La l3nea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.

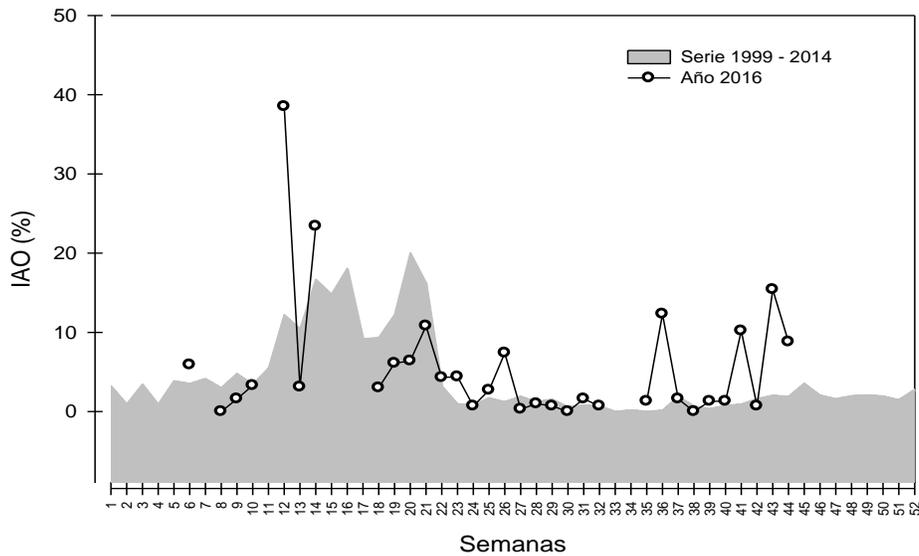


**Figura 107** Variación mensual del índice de actividad de desove de anchoveta en la Zona Arica – Antofagasta. Año 2016 y serie 2000-2014. La línea horizontal de IAD 25% representa el valor referencial del periodo de mayores desoves.

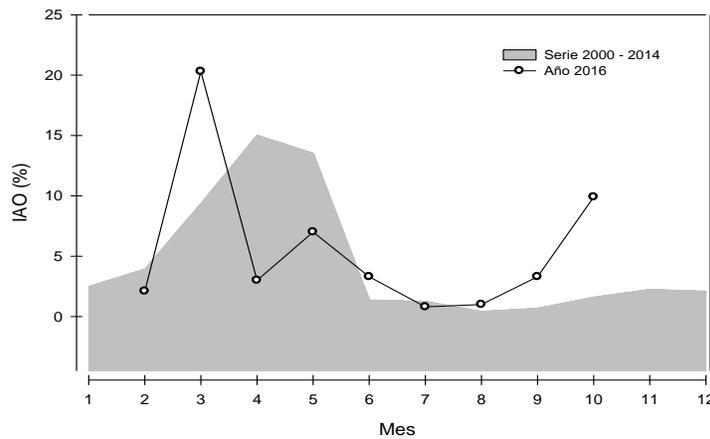
El comportamiento semanal al incremento del IAD, de acuerdo al criterio  $\geq 25\%$ , permitió definir el inicio del periodo de intensificación de los desoves (MID) que se manifestó a mediados y fines de julio (semanas 29 y 31) y se mantiene con valores relativamente altos hasta mediados de octubre (33%), sustentado por la mayor incidencia de hembras hidratadas y de ovarios con folículos post-ovulatorios. De acuerdo a los resultados, el inicio del periodo MID en este año está acorde al patrón histórico que se caracteriza por manifestarse entre mediados de julio y mediados de octubre (aproximadamente 3 meses).

El comportamiento característico del IAO (**Figuras 108 y 109**) indica una mayor incidencia de atresia en otoño, periodo de menor actividad reproductiva, mientras que está prácticamente ausente durante el desarrollo del evento de desove principal (junio a mediados de octubre), reapareciendo desde mediados de octubre con registros relativamente bajos que evidencian los primeros indicios de la disminución de la intensidad de desove (Böhm *et al.*, 2013).

En el 2016, el IAO mostró registros inusualmente bajos de atresia en las semanas de junio, con un máximo de 7%, mientras que, entre julio y septiembre los valores se ajustaron a la tendencia histórica con una baja incidencia, exceptuando de manera aislada la primera semana de septiembre (36) donde los ejemplares evidenciaron atresia alta (12%) y baja actividad de desove (IAD), condición que se normalizó en las semanas siguientes. Por su parte, durante las semanas de octubre, el comportamiento del IAO reflejó la tendencia al incremento de la atresia, hecho acorde a la disminución en la intensidad de desove. En cuanto a los altos valores de IAO en las semanas de otoño está acorde al periodo de menor actividad reproductiva (**Tabla 30; Figuras 108 y 109**).



**Figura 108.** Variación semanal del índice de atresia ovárica (IAO) de anchoveta en la Zona Arica-Antofagasta. Año 2016 y serie 1999 – 2014.



**Figura 109** Variación mensual del índice de atresia ovárica de anchoveta en la Zona Arica – Antofagasta. Año 2016 y serie 2000 - 2014.

El análisis reproductivo a la última semana de octubre de 2016, indicó que el mayor desove de anchoveta se manifestó desde mediados y fines de julio (semanas 29 y 31) y se mantiene hasta mediados de octubre, visualizándose en este período la permanencia de índices reproductivos relativamente altos (IGS e IAD).



Los resultados indicaron que durante la ejecución del crucero de huevos y de la toma de datos para ejemplares adultos, la anchoveta se encontró en desarrollo del proceso reproductivo, en el periodo en que se visualizó el incremento de la actividad ovárica y de desove (MID).

## 2.6.2. Estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta

En la estimación de la biomasa del stock desovante anchoveta mediante el método de producción de huevos se empleó información derivada de muestreo biológico de adultos (crucero de adultos) y del muestreo de huevos (crucero de huevos), los que se realizaron simultáneamente y en distintas embarcaciones en el área explorada.

### 2.6.3 Crucero de adultos

#### a) Número de lances en muestreo de adultos

De acuerdo al diseño de muestreo, se utilizaron 36 lances en total para estimar los parámetros de los adultos, lo que está dentro de lo utilizado normalmente en los últimos años (**Tabla 30**).

#### b) Número de anchovetas muestreadas en cada lance

Se muestrearon 35 hembras en cada lance (Picquelle & Stauffer, 1985; Rojas & Oliva, 1993), las que se analizaron histológicamente con el fin de registrar la incidencia de folículos postovulatorios para la determinación de la frecuencia de desove (**Tabla 30**). El total de ovarios analizados histológicamente fue de 1250.

**Tabla 30** Número de lances y total de hembras muestreadas en los distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.

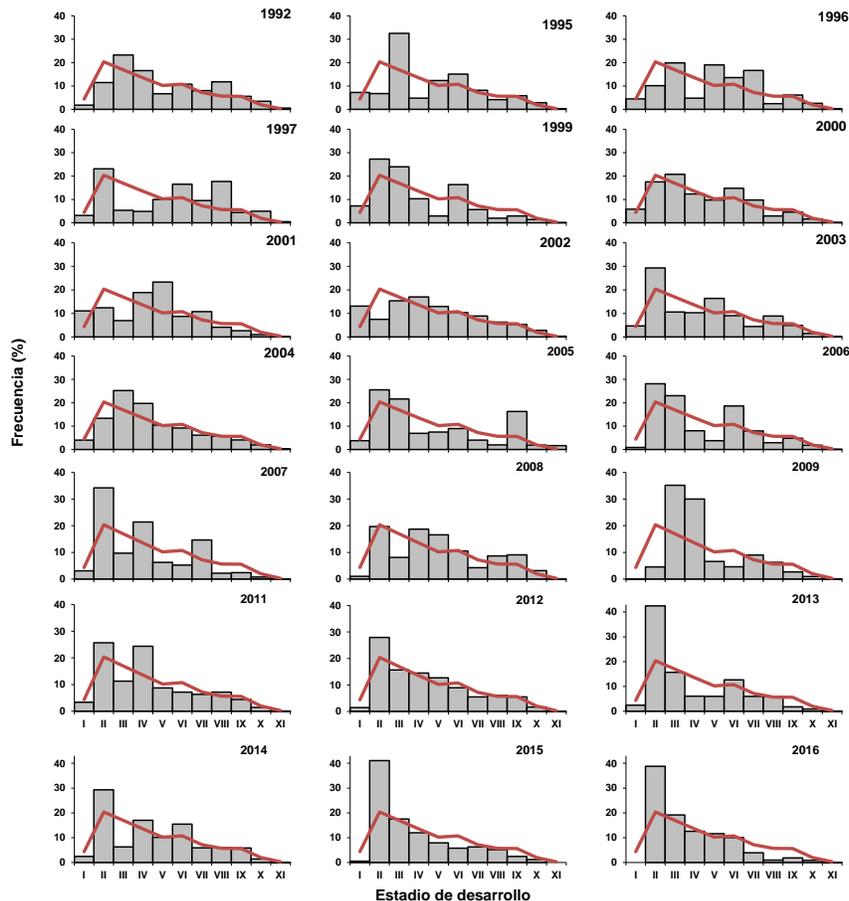
Año	Lances	Hembras	Año	Lances	Hembras
1992	48	1440	2006	42	1260
1995	40	1177	2007	55	1645
1996	32	927	2008	60	1800
1997	60	1800	2009	37	1272
1999	51	1530	2011	41	1388
2000	92	1800	2012	45	1546
2001	60	1800	2013	37	1277
2002	60	1800	2014	43	1514
2003	60	1800	2015	41	1429
2004	55	1651	2016	36	1250
2005	60	1799			



## 2.6.4 Estimación de la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos.

### 2.6.4.1 Producción diaria de huevos

El número de huevos por estadio de desarrollo, indicó una mayor representación en el estadio 2 para luego disminuir paulatinamente (**Figura 110**), situación normal respecto del promedio histórico en que el estadio 1 se encuentra subrepresentado (**Figura 110**) debido a su baja probabilidad de muestreo, por su corta duración y a que la hora de muestreo debe ser cercana a la hora pico de desove (23:00 h).

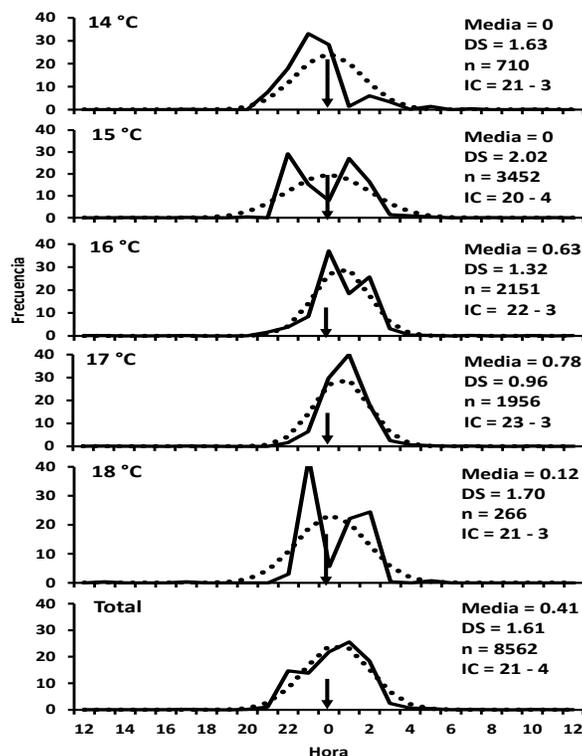


**Figura 110.** Frecuencia (Nº) de huevos de anchoveta por estadio de desarrollo para cada año de cruceo ictioplanctónico. Barras: Frecuencia (%) del año. Línea: Frecuencia (%) considerando todos los cruceros.



### 2.6.4.2 Asignación de edad a Huevos

Como fue señalado en la metodología, se aplicaron dos enfoques para la asignación de edad a los huevos de anchoveta, correspondientes a la metodología tradicional de Lo (1985) y al Modelo Multinomial (Bernal *et al.*, 2001). Otro parámetro que se utiliza para la asignación de edades a los huevos, es la hora pico de desove en el ciclo diario, para lo cual se utilizó la base de datos histórica para estimar la proporción de huevos en estadio 1 en función de la hora y temperatura (**Figura 111**). Observándose que en primer lugar no hay un efecto apreciable de la temperatura; y en segundo lugar que el desove se produce solamente de noche, con un máximo en torno a las 23-24 h. No hay desoves en el día; el 95% de los huevos son desovados entre las 21:00 y 4:00 horas (**Figura 111**).



**Figura 111.** Proporción de huevos en estadio 1 colectados en el plancton (Línea continua). Base de datos de las aplicaciones del MPH desde 1992 al 2015. Línea punteada es el ajuste de una distribución normal con parámetros entregados en cada panel: Media, desviación estándar (DS), número de huevos (n) e Intervalo de Confianza (95%), indicando que el 95% de los huevos son desovados en ese intervalo de horas. Flecha indica las 0 horas.



### 2.6.4.3 Estimación tradicional de Lo.

La ecuación utilizada para la edad en función de la temperatura y estadio de desarrollo, corresponde a la ajustada para *Engraulis ringens* de la zona norte de Chile, en base a los datos del experimento de incubación de Soto (2001) y que se encuentran detallados en Claramunt *et al.*(2007). Los parámetros de la ecuación se entregan en **tabla 31**.

**Tabla 31** Parámetros de la ecuación combinada para estadio y temperatura ajustada a los datos de anchoveta de la zona norte (Soto, 2001) (E.S.= Error estándar; MSE= Error estándar residual).

Soto (2001)			
Parámetro	E.S	P	
a	9.8206	1.0261	1.61E-12
b	0.0986	0.0024	<2E-16
c	0.1018	0.0167	2.06E-07
d	1.8151	0.1103	<2E-16
MSE		1.371	

### 2.6.4.4 Modelo Multinomial

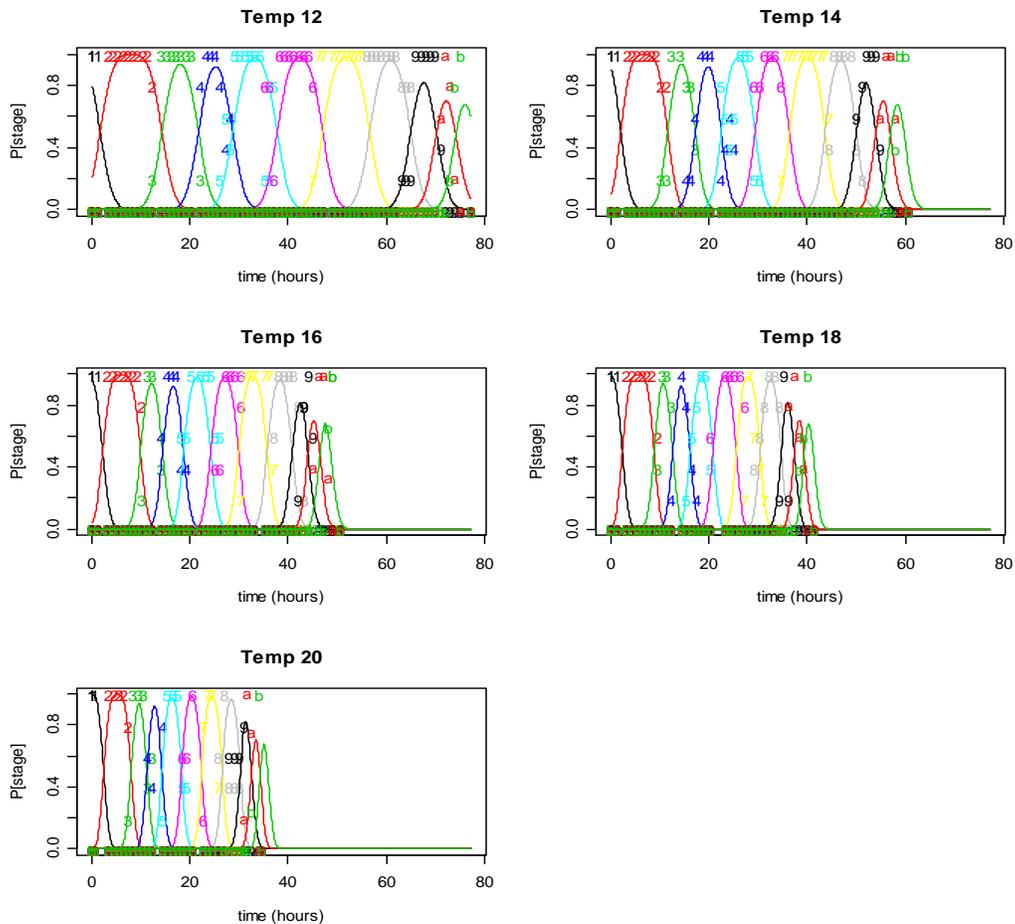
El ajuste del modelo probabilístico multinomial utilizado para la datación de huevos de anchoveta zona norte se presenta en **tabla 32** y en la **figura 112**.

**Tabla 32** Resultados del ajuste del modelo probabilístico para la edad de los estadios de huevos en anchoveta zona norte.

Deviance Residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.531e+00	0.000e+00	0.000e+00	4.712e-08	5.279e+00

Coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
Age	-0.45616	0.02207	-20.673	< 2e-16 ***
Temp	-0.23354	0.03277	-7.126	1.03e-12 ***
Stage1	9.85686	106.18988	0.093	0.926
Stage2	1.99937	0.50492	3.960	7.50e-05 ***
Stage3	-4.28656	0.53603	-7.997	1.28e-15 ***
Stage4	-7.99786	0.59893	-13.354	< 2e-16 ***
Stage5	-11.47754	0.68216	-16.825	< 2e-16 ***
Stage6	-16.01424	0.81073	-19.753	< 2e-16 ***
Stage7	-20.64955	0.96296	-21.444	< 2e-16 ***
Stage8	-25.41910	1.12874	-22.520	< 2e-16 ***
Stage9	-29.61716	1.27841	-23.167	< 2e-16 ***
Stage10	-32.22342	1.37153	-23.494	< 2e-16 ***
Stage11	-34.18482	1.44515	-23.655	< 2e-16 ***
Stage12	-36.04157	1.50341	-23.973	< 2e-16 ***
Age:Temp	0.07955	0.00322	24.700	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1  
 (Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)  
 Null deviance: 11187.72 on 1735 degrees of freedom  
 Residual deviance: 711.68 on 1720 degrees of freedom  
 AIC: 881.2  
 Number of Fisher Scoring iterations: 20



**Figura 112.** Ajuste del modelo probabilístico multinomial para huevos de anchoveta zona norte a las temperaturas de incubaci3n

### 2.4.4.1 Estimaci3n de Po

En tabla 18 se entregan los resultados de las estimaciones de Po y Z segun las dos metodologías. Para el “Modelo de Lo GLM” la desviaci3n estandar de la edad de los huevos para el estadio es tomado de los experimentos de incubaci3n. En el caso del Modelo Multinomial se especific3 la desviaci3n estandar en 1,5 horas en el parámetro “Spawn.sig” dentro de “depn.control” en el paquete eggs de R. La producci3n diaria de huevos estimada para el modelo de Lo es de 148,8 huevos/0,05m<sup>2</sup>/día con un coeficiente de variaci3n de 45%. En el modelo Multinomial la estimaci3n es de 110,4 huevos/0,05m<sup>2</sup>/día con un coeficiente de variaci3n de 46%. La tasa de mortalidad instantánea para el modelo de Lo se estima en 0,0616 hora<sup>-1</sup> y para el modelo Multinomial en 0,0464 hora<sup>-1</sup>, con errores estandar de 0,01563 y 0,01817 respectivamente, siendo significativamente distinta de cero (P<0,05) en ambas estimaciones (**Tabla 33**).

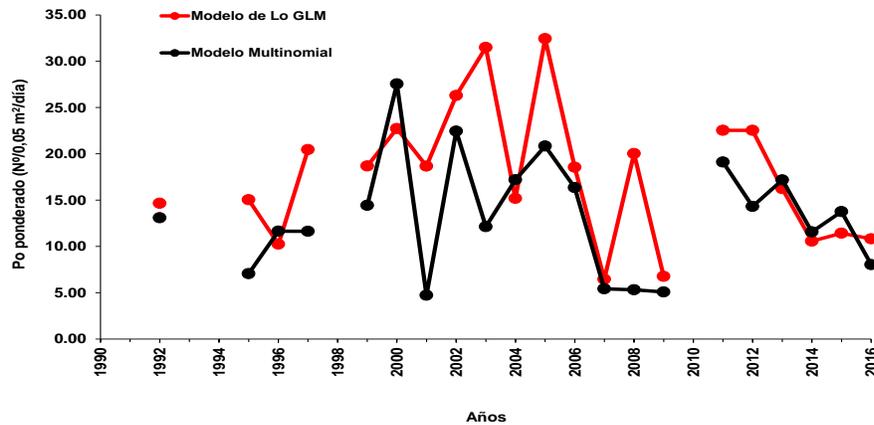


**Tabla 33.** Resultados del ajuste de producci3n diaria de huevos en funci3n de la edad de los huevos para las dos metodologías (Rutinas eggs y eggsplore en plataforma R). ln(Po) corresponde al estimado del logaritmo de Po (N° huevos/m2/día). Z corresponde a la estimaci3n de mortalidad diaria de huevos (Z, en horas). Std. Error en el caso de Po corresponde al coeficiente de variaci3n de Po y para Z es el error estandar. n es el númerode observaciones. Pr(>|z|) es la probabilidad de que el parámetro no sea significativo (i.e. = 0). AIC es el criterio de informaci3n de Akaike.

		Modelo de Lo GLM						Modelo Multinomial					
		Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z )	n	AIC	Estimate	Std. Error	Z value	Pr(> z )	n	AIC
1992	ln(Po)	6.1815	0.2440	25.3	<2e-16	575	3308.8	6.0687	0.2456	24.7	<2e-16	496	3018
	Z	-0.0116	0.0082	-1.4	0.16			-0.0072	0.0091	-0.8	0.43		
1995	ln(Po)	6.0150	0.2589	23.2	<2e-16	691	2985	5.2581	0.2399	21.9	<2e-16	645	2807.5
	Z	-0.0217	0.0088	-2.5	0.01			-0.0067	0.0082	-0.8	0.42		
1996	ln(Po)	5.8617	0.2922	20.1	<2e-16	503	2339.4	5.9904	0.2909	20.6	<2e-16	464	2326.6
	Z	-0.0095	0.0099	-1.0	0.34			-0.0169	0.0100	-1.7	0.09		
1997	ln(Po)	6.3058	0.2781	22.7	<2e-16	547	2656.3	5.7415	0.2520	22.8	<2e-16	421	2523.3
	Z	-0.0290	0.0103	-2.8	4.7E-03			0.0033	0.0114	0.3	0.77		
1999	ln(Po)	7.2146	0.3367	21.4	<2e-16	342	1762	6.9564	0.3292	21.1	<2e-16	289	1735.8
	Z	-0.0497	0.0118	-4.2	2.5E-05			-0.0390	0.0125	-3.1	1.8E-03		
2000	ln(Po)	6.5222	0.2277	28.6	<2e-16	524	2946.5	6.7148	0.2271	29.6	<2e-16	460	2972.5
	Z	-0.0235	0.0078	-3.0	2.6E-03			-0.0322	0.0085	-3.8	1.5E-04		
2001	ln(Po)	7.7850	0.5494	14.2	<2e-16	133	875.16	6.4111	0.5441	11.8	<2e-16	122	796.84
	Z	-0.0299	0.0180	-1.7	0.10			0.0130	0.0189	0.7	0.491		
2002	ln(Po)	6.7681	0.1779	38.0	<2e-16	669	4901	6.6093	0.1736	38.1	<2e-16	577	4368
	Z	-0.0189	0.0061	-3.1	1.9E-03			-0.0154	0.0065	-2.4	0.02		
2003	ln(Po)	7.6801	0.2823	27.2	<2e-16	297	2403.1	6.7258	0.3023	22.2	<2e-16	274	1764.8
	Z	-0.0245	0.0089	-2.7	6.0E-03			-0.0152	0.0106	-1.4	0.15		
2004	ln(Po)	6.9038	0.2307	29.9	<2e-16	491	3229.3	7.0279	0.2201	31.9	<2e-16	463	3124.7
	Z	-0.0291	0.0078	-3.7	1.9E-04			-0.0352	0.0076	-4.6	3.6E-06		
2005	ln(Po)	7.3609	0.2118	34.8	<2e-16	501	3393.6	6.9187	0.2199	31.5	<2e-16	472	3259.5
	Z	-0.0456	0.0073	-6.2	5.1E-10			-0.0201	0.0081	-2.5	1.3E-02		
2006	ln(Po)	6.9865	0.2352	29.7	<2e-16	495	3069	6.8605	0.2310	29.7	<2e-16	420	2835.2
	Z	-0.0367	0.0085	-4.3	1.8E-05			-0.0306	0.0093	-3.3	1.0E-03		
2007	ln(Po)	6.6417	0.3187	20.839	<2e-16	286	1596.1	6.4667	0.3088	20.944	<2e-16	291	1574
	Z	-0.0334	0.0102	-3.285	1.02E-03			-0.0298	0.0099	-3.018	0.00255		
2008	ln(Po)	7.5280	0.2745	27.422	<2e-16	366	3068.7	6.2018	0.3183	19.485	<2e-16	295	1932.4
	Z	-0.0303	0.0093	-3.256	1.13E-03			0.0051	0.0125	0.405	0.686		
2009	ln(Po)	7.9973	0.5377	14.874	<2e-16	94	674.94	7.7094	0.6371	12.1	<2e-16	84	570.1
	Z	-0.0466	0.0176	-2.651	8.02E-03			-0.0349	0.0223	-1.565	0.118		
2011	ln(Po)	6.9007	0.1863	37.05	<2e-16	677	4310.7	6.7353	0.1779	37.871	<2e-16	653	4148.8
	Z	-0.0320	0.0058	-5.478	4.30E-08			-0.0305	0.0058	-5.236	1.64E-07		
2012	ln(Po)	6.9214	0.2221	31.16	<2e-16	467	3256	6.4680	0.2092	30.918	<2e-16	435	2883
	Z	-0.0265	0.0077	-3.46	5.39E-04			-0.0179	0.0080	-2.249	2.45E-02		
2013	ln(Po)	7.0043	0.2799	25.022	<2e-16	214	1338.6	7.0608	0.2883	24.495	<2e-16	214	1319
	Z	-0.0612	0.0099	-6.188	6.09E-10			-0.0625	0.0107	-5.848	4.99E-09		
2014	ln(Po)	6.8843	0.3007	22.89	<2e-16	295	1925	6.7247	0.3041	22.113	<2e-16	275	1824
	Z	-0.0280	0.0103	-2.73	6.33E-03			-0.0202	0.0112	-1.809	0.070		
2015	ln(Po)	6.7959	0.2551	26.645	<2e-16	346	1919	6.9818	0.2874	24.297	<2e-16	282	1715
	Z	-0.0537	0.0095	-5.648	1.62E-08			-0.0544	0.0122	-4.458	8.28E-06		
2016	ln(Po)	7.9980	0.4490	17.814	<2e-16	144	937.13	7.7002	0.4574	16.836	<2e-16	130	871.69
	Z	-0.0616	0.0156	3.941	8.12E-05			-0.0464	0.0182	0.0107			



Una vez ponderadas las estimaciones de la producción diaria de huevos por la proporción de área de desove (área positiva respecto del área total), se observa que el parámetro sigue la tendencia a la baja desde el 2011 (Figura 113).



**Figura 113** Estimaciones de Producción diaria de huevos ( $N^{\circ}/0,05 \text{ m}^2/\text{día}$ ), ponderado por la proporción del área de desove respecto del área de crucero, para anchoveta de la zona norte en base a las dos metodologías aplicadas.

**2.6.4.2 Estimación la proporción de estadios de madurez microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta, con su varianza asociada.**

Se analizaron 1250 hembras, correspondientes a 36 lances provenientes de la Pesca de Investigación (Tabla 34). El análisis histológico de los ovarios indicó que el 99,8% de las hembras se encontraban activas. Solo 3 ejemplares se encontraba en reposo (inactivas). Este comportamiento reproductivo evidencia que el Crucero se efectuó durante el máximo proceso de desove de la anchoveta.

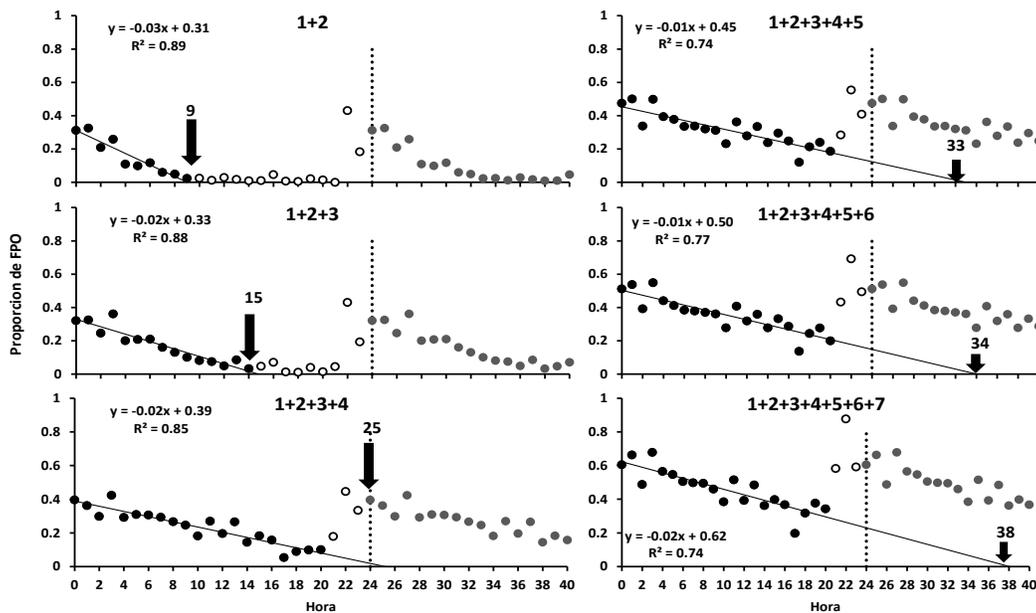
**Tabla 34.** Número de lances y total de hembras muestreadas en los distintos años de aplicación del MPH en la zona norte.

Año	Lances	Hembras	Año	Lances	Hembras
1992	48	1440	2006	42	1260
1995	40	1177	2007	55	1645
1996	32	927	2008	60	1800
1997	60	1800	2009	37	1272
1999	51	1530	2011	41	1388
2000	92	1800	2012	45	1546
2001	60	1800	2013	37	1277
2002	60	1800	2014	43	1514
2003	60	1800	2015	41	1429
2004	55	1651	2016	36	1250
2005	60	1799			



### 2.6.4.3 Validaci3n asignaci3n de edad a FPO

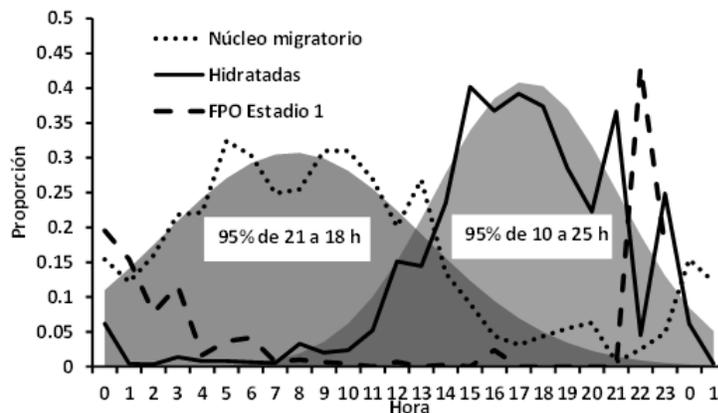
La proporci3n de los estadios de FPO de acuerdo a la hora de captura obtenidos en los proyectos del 2004 al 2015 es presentada en la **figura 114** en donde se observa un pico de presencia de FPO en torno a las 24 horas para luego declinar. Los estadios 1 y 2 (1+2 en figura) muestran un decaimiento sostenido que no pasa de las 9 horas. Al agregar el siguiente estadio de FPO (1+2+3), el decaimiento alcanza hasta las 15 horas. Los FPO 1 al 4 (1+2+3+4) estarían dentro de un ciclo diario, ya que no sobrepasarían las 25 horas. Al agregar los siguientes estadios el tiempo sobrepasa un ciclo diario. Por tanto los estadios 1 al 4 conforman una cohorte diaria de FPO para estimaciones de fracci3n diaria de hembras desovantes, en otras palabras, los FPO pertenecientes a los estadios 1 al 4 tendrían una duraci3n no superior a las 24 horas.



**Figura 114** Proporci3n de estadios de FPO en funci3n de la hora de captura utilizando la base hist3rica de las aplicaciones del MPDH en la zona norte (25842 hembras). Primer panel (1+2) corresponde a los FPO 1 y 2, luego en cada panel se va agregando un estadio de FPO. Lnea segmentada vertical indica un ciclo diario. Crculos llenos en negro indican los datos para el ajuste de linea. Crculos en gris se repite informaci3n para construir segundo ciclo diario. Nmero sobre flecha vertical indica la hora a proporci3n = 0 segun ajuste. Todas las regresiones significativas ( $P < 0.05$ )



Por otra parte, la utilizaci3n de los estadios de N3cleo Migrante e Hidratadas para estimar fracci3n desovante se sustenta en que estos estadios son r3pidos y su duraci3n no pasa de 1 d3a, lo que se aprecia en la figura 115. EL estadio de N3cleo Migrante presenta un m3ximo en torno a las 8 de la ma1ana para luego decaer, ya que empieza la hidrataci3n. La m3xima probabilidad de encuentro de hembras hidratadas es en torno a las 18 horas Luego estas decaen por el inicio del desove, indicado en figura 8 por el aumento de la presencia de FPO estadio 1.



**Figura 115** Proporci3n de los estadios de madurez ov3rica de N3cleo Migratorio e Hidratadas de acuerdo a la hora de captura, para la base de datos hist3rica del MPDH. L3nea segmentada es la proporci3n de hembras con FPO estadio 1, indicando las horas de inicio del desove. Areas en gris es ajuste de una distribuci3n normal con media 8 h y desviaci3n est3ndar de 5 h para n3cleo migrante; y de 18h y 4h respectivamente para hidratadas. En rect3ngulos blancos se entrega el per3odo que durar3a el estadio (95%).

#### 2.6.4.4 Estimaci3n Fracci3n Diaria de Hembras desovante

Considerando a los estadios de N3cleo Migrante (EMM 5) e Hidratado (EMM 6) como pertenecientes al grupo de desove que desovar3 en la noche del d3a de su captura, la fracci3n desovante se estima en 0,243, con una varianza de 0,0024 y un coeficiente de variaci3n de 20,3%. Considerando los FPO de I al IV (Excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 h) como correspondientes hembras que desovaron la noche anterior, o sea con edades menor o igual a 24 horas, la fracci3n diaria de hembras desovantes se estima en 0,246 con una varianza de 0,00197 y un coeficiente de variaci3n de 18%. Test para muestras emparejadas indica que no existen diferencias significativas entre ambas estimaciones ( $t_{cal} = 0,0435$ ;  $t_{tabla} = 2,03$ ). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracci3n diaria de hembras desovantes de 0,244, una varianza de 0,00070 y un coeficiente de variaci3n de 10,8%.



Es necesario señalar que los criterios de datación de los FPO cambiaron desde el año 2007 respecto de las evaluaciones anteriores, debido a los avances ya señalados en el proyecto FIP 2006-38 (Claramunt *et al*, 2007), por lo que no se pueden realizar comparaciones válidas con estimaciones de años anteriores al 2007. Sin embargo, la nueva clasificación de los estadios para la estimación de fracción desovante (Núcleo migrante + Hidratadas y FPO I al IV) ha mostrado bastante consistencia entre ellos (**Tabla 35**)

**Tabla 35** Estimaciones de fracción desovante diaria según la clasificación en 7 estadios de FPO. Fracción desovante FPO 0 corresponde a la utilización de los estadios de núcleo migrante e hidratadas. Fracción desovante FPO 1 corresponde a la utilización de FPO de estadios I al IV.

		Media	Varianza	CV
2007	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.28	3.70E-04	0.07
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.25	4.12E-04	0.08
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.26	1.90E-04	0.05
2008	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.24	4.88E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.23	7.08E-04	0.11
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.24	2.30E-04	0.06
2009	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.34	9.05E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.28	9.26E-04	0.11
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.31	3.10E-04	0.06
2011	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.26	5.73E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.28	6.69E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.27	2.76E-04	0.06
2012	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.29	5.85E-04	0.08
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.22	3.86E-04	0.09
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.26	1.85E-04	0.05
2013	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.29	1.07E-03	0.11
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.19	6.25E-04	0.13
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.24	3.51E-04	0.08
2014	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.15	5.38E-04	0.15
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.18	8.95E-04	0.17
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.17	3.42E-04	0.11
2015	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.15	7.51E-04	0.18
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.21	1.71E-03	0.20
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.18	5.54E-04	0.13
2016	FRACCION DESOVANTE FPO 0 =	0.24	2.42E-03	0.20
	FRACCION DESOVANTE FPO 1 =	0.25	1.97E-03	0.18
	FRACCION DESOVANTE FPO 0+1 =	0.24	7.03E-04	0.11



#### **2.6.4.5. Estimación la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación, y la fecundidad media poblacional, con sus respectivas varianzas.**

La estimación de la fecundidad parcial de anchoveta se realizó sobre la base del recuento de ovarios clasificados histológicamente como hidratados, sin presencia de folículos post-ovulatorios.

En el ajuste de la fecundidad parcial en función del peso corporal, para las 38 hembras que efectivamente clasificaron microscópicamente como hidratadas (**Figura 116**) se utilizó el modelo de tipo lineal para los cálculos de fecundidad media poblacional. El modelo de tipo lineal es preferible debido a (Hunter *et al.*, 1985): 1) Explica mejor la variación que los curvilíneos; 2) sus coeficientes de regresión tienen significado biológico; 3) para la estimación de producción de huevos, la fecundidad de los ejemplares en los extremos (grandes y pequeños) no es tan crítica como en la de los rangos medios, los que son bien explicados por el modelo lineal simple. La regresión ajustada para el 2016 es:

$$\text{Fecundidad} = 241,76 + 597,6 * (W)$$

$$n = 38$$

$$r^2 = 0,72$$

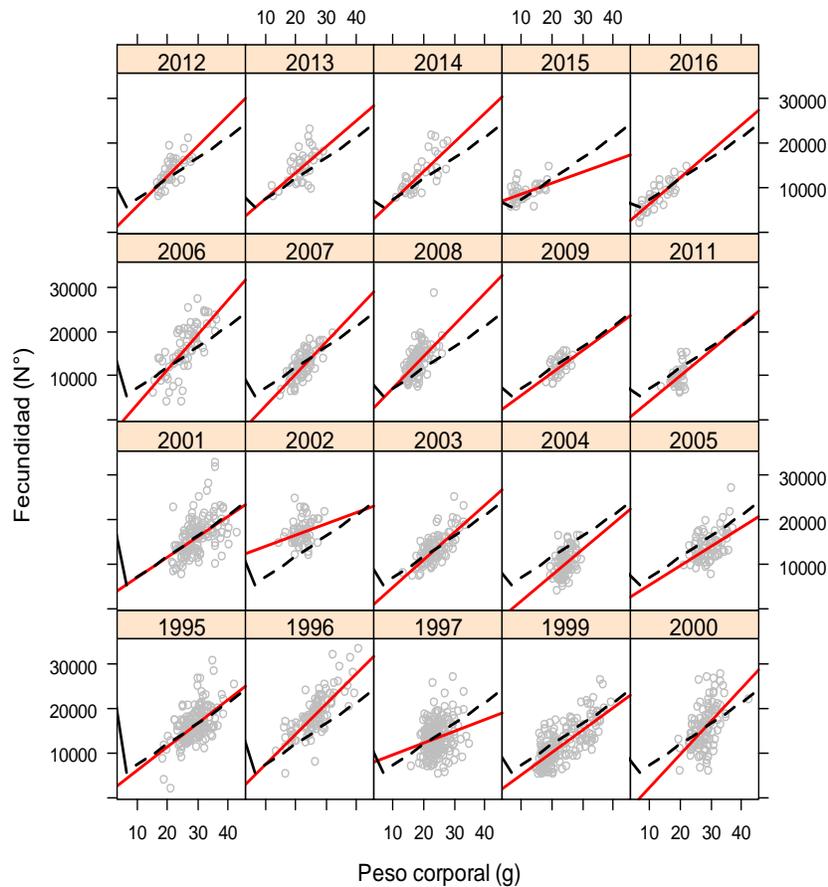
$$\text{Error estándar del intercepto, } S_a = 814,81$$

$$\text{Error estándar de la pendiente, } S_b = 61,905$$

$$\text{Error típico, } S_{yx} = 1659$$

$$\text{Probabilidad de que la pendiente sea cero, } P (\text{Pendiente}=0) = 1,58e-11$$

La recta ajustada para el 2016 es muy cercana a la estimación de largo plazo (**Figura 116**)



**Figura 116.** Fecundidad parcial en función del peso corporal para los años de aplicación del MPDH. Línea roja es el ajuste para el año. Línea negra segmentada es el ajuste común a todos los años.

Con la ecuación ajustada, se estimó la fecundidad parcial de las hembras en los 36 lances efectivos. La fecundidad media poblacional se estimó en 6594 ovocitos/hembra, con una varianza de 145060 y un coeficiente de variación de 6%. El estimado poblacional es el más bajo de la serie (**Tabla 36**), producto del bajo peso de las hembras.



**Tabla 36.** Parámetros de adultos obtenidos en las distintas aplicaciones del MPH en la zona norte.

Año	Peso promedio		Fecundidad parcial		Fecundidad relativa	Fracción desovante		Proporción hembras	
	(g)	CV (%)	Nº	CV (%)	Nº ovoc./g	día <sup>-1</sup>	CV (%)		CV (%)
1992	20.7	1.32	14917	1.62	721	0.160	6.22	0.48	2.95
1995	29.2	2.53	15405	2.77	528	0.180	4.65	0.42	5.83
1996	30.0	2.52	19658	2.87	654	0.170	12.79	0.45	8.01
1997	21.7	1.73	12102	1.95	559	0.130	3.07	0.51	2.76
1999	22.7	1.42	10600	2.75	467	0.170	3.81	0.46	5.19
2000	30.9	1.02	16279	2.86	528	0.189	7.50	0.50	4.39
2001	32.4	1.17	15911	2.27	492	0.188	27.02	0.47	5.36
2002	21.3	0.96	11032	1.45	787	0.137	6.87	0.51	3.09
2003	25.2	1.16	13327	2.07	530	0.182	10.47	0.49	3.47
2004	23.6	1.72	12246	1.96	371	0.176	7.16	0.52	3.53
2005	23.0	1.26	12059	1.60	460	0.190	6.70	0.44	4.80
2006	22.5	3.06	12088	5.21	537	0.203	5.17	0.45	4.93
2007	21.7	1.92	10497	3.33	484	0.293	6.76	0.50	3.67
2008	21.9	2.36	14920	2.99	682	0.298	8.89	0.45	3.36
2009	18.0	3.50	8410.9	4.19	468	0.309	5.70	0.43	4.98
2011	23.4	2.40	11458	4.81	489	0.273	6.09	0.51	5.76
2012	20.1	2.61	11794	3.66	586	0.258	5.26	0.49	4.17
2013	24.5	1.11	15027	3.18	614	0.242	7.73	0.528	3.38
2014	17.0	2.12	10943	4.28	644	0.168	11.03	0.502	5.31
2015	13.2	4.13	8403	3.00	636	0.177	13.30	0.501	4.38
2016	11.5	3.94	6594	5.78	574	0.244	10.85	0.489	5.65

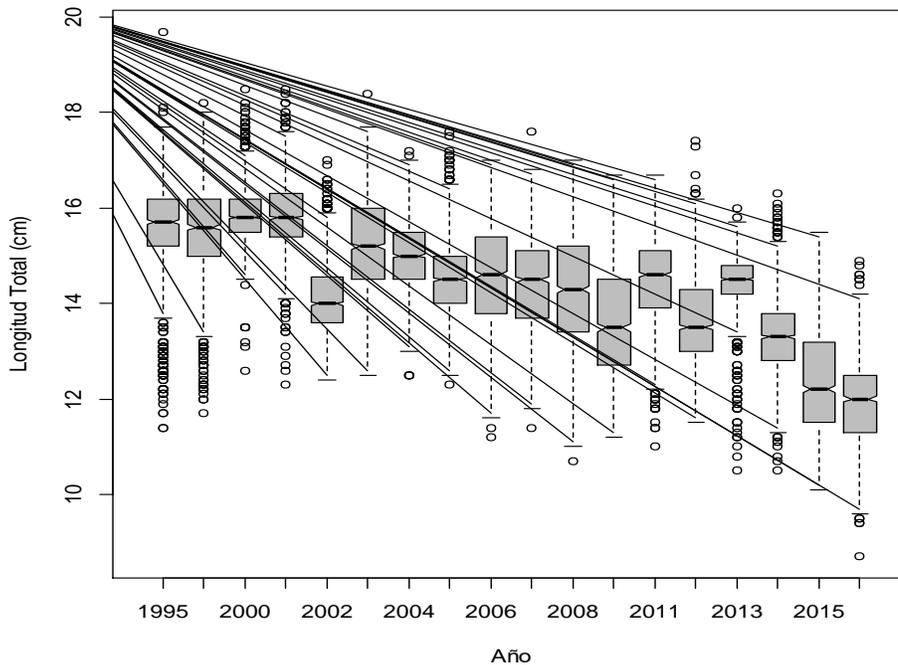
#### 2.6.4.6 Estimación la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras, con sus respectivas varianzas.

##### 2.6.4.6.1 Proporción sexual en peso de hembras maduras

La proporción de hembras en peso para el total de lances analizados presentó una amplitud comprendida entre 0,19 y 0,78 (Tabla 34) con un promedio de 0,49, una varianza igual a 0,00076 y un coeficiente de variación de 5,6%.

##### 2.6.4.6.2 Peso promedio de hembras maduras

La distribución de tallas de las hembras en el año 2016 presenta una moda cercana a los 12 cm LT (Figura 117), siendo una de las distribuciones de talla con hembras más pequeñas de la serie histórica, concordante con el bajo peso promedio estimado.



**Figura 117** Boxplot de la longitud total de las hembras muestreadas en cada a1o de aplicaci3n del MPDH en la zona norte.

El peso total del cuerpo de hembras hidratadas, estadi0 que se caracteriza por el incremento temporal del peso producido por la retenci3n de agua en el ovario, se calcul3 de acuerdo al ajuste obtenido de una ecuaci3n lineal estimada con aquellas hembras maduras de cada lance y que histol3gicamente no clasificaron como hembras hidratadas, resultando:

$$PT = 1.6538 + 0.9064 * PC$$
$$r^2 = 0,91$$
$$n = 1084$$

El peso promedio por lance de las hembras maduras, fluctu3 de 7,66 a 17,97 gramos (**Tabla 37**). El peso promedio de hembras maduras en el 1rea investigada fue de 11,49 gramos, con una varianza de 0,2054 y un coeficiente de variaci3n de 3,9%.



**Tabla 37.** Resumen de los datos de los lances. Hora del lance en hora y fracción de hora, número de hembras (n), Estadios de Madurez Microscópico (EMM), Folículos post-ovulatorios (FPO), peso total (PT; Corregido), fecundidad parcial estimada (FECUNDIDAD) y Proporción de hembras en peso (Prop Hembras).

Lance	Hora	n	ESTADIOS DE MADUREZ OVÁRICA								ESTADIOS FOLÍCULOS POSTOVULATORIOS							PT	FECUNDIDAD	Prop. Hembras
			EMM 1	EMM 2	EMM 3	EMM 4	EMM 5	EMM 6	EMM 7	EMM 8	FPO 1	FPO 2	FPO 3	FPO 4	FPO 5	FPO 6	FPO 7			
1	9.1	35	0	0	0	20	15	0	0	0				3	2		8	12.3	7128	0.72
2	14.2	35	0	0	0	29	2	4	0	0				5	3		12	13.5	7808	0.40
3	17.9	34	0	0	0	22	1	11	0	0					2	5	8	12.1	6946	0.53
4	8.3	34	0	0	0	33	1	0	0	0					1		2	12.2	7187	0.47
5	2.0	34	0	0	0	30	4	0	0	0	7	14					4	12.4	7280	0.25
6	2.0	35	0	0	0	33	2	0	0	0	5	5				1	13	12.6	7392	0.54
7	4.5	34	0	0	0	31	3	0	0	0	5	10					9	13.4	7851	0.44
8	2.6	34	0	0	0	33	1	0	0	0				33	1			10.4	6168	0.39
9	2.5	34	0	0	0	27	7	0	0	0	1	2	1				10	12.8	7431	0.26
10	4.6	35	0	0	0	32	3	0	0	0	10	10	1				1	11.5	6805	0.78
11	22.0	35	0	0	0	26	0	9	0	0			1	2	3		7	18.0	10199	0.25
12	3.7	35	0	0	0	34	1	0	0	0			1	1	2		7	17.9	10332	0.49
13	20.7	35	0	0	0	34	1	0	0	0					1	1	13	15.1	8735	0.75
14	20.6	35	0	0	0	0	0	35	0	0								17.7	9286	0.50
15	14.0	35	0	0	0	22	3	10	0	0	1	1	9				5	9.5	5624	0.57
16	19.4	35	0	0	0	8	2	25	0	0							4	7.8	1615	0.43
17	10.8	35	0	0	0	31	4	0	0	0	2		10	4			9	15.2	8863	0.66
18	14.4	35	0	0	0	23	2	10	0	0			7	4			5	10.4	6083	0.50
19	18.2	35	0	0	1	33	1	0	0	0				3	2		9	9.9	5827	0.78
20	22.2	35	0	0	0	33	0	0	0	2	1	2		1	2		8	8.0	4122	0.67
21	6.9	35	0	1	0	34	0	0	0	0	6	6	4				7	10.4	6131	0.51
22	11.4	34	0	0	0	22	12	0	0	0			5	2			4	9.5	5589	0.45
23	17.1	35	0	0	0	35	0	0	0	0			4	2	1		9	12.0	7027	0.56
24	21.4	35	0	0	0	5	0	30	0	0			1				1	10.2	5690	0.31
25	8.8	35	0	1	0	30	4	0	0	0	2	5	5	2		1	6	9.6	5709	0.53
26	5.8	35	0	0	0	35	0	0	0	0		16	8				3	8.9	5356	0.22
27	7.4	35	0	0	0	35	0	0	0	0	3	12	7				1	9.0	5394	0.39
28	12.3	35	0	0	0	25	0	10	0	0			2	4			3	7.7	4517	0.37
29	19.4	32	0	1	0	28	1	2	0	0			2	1	6		5	8.5	5107	0.49
30	11.4	35	0	0	0	31	4	0	0	0	1	3	11				5	12.5	7349	0.49
31	7.6	35	0	0	0	25	10	0	0	0						1	9	10.6	6288	0.76
32	14.8	35	0	0	0	27	1	6	0	1			2	3	1	1	6	8.4	4986	0.47
33	17.2	35	0	0	1	18	1	14	0	1			1	2			4	9.8	5717	0.65
34	9.5	35	0	0	0	15	20	0	0	0	4	3	1	1			1	11.3	6593	0.44
35	11.8	35	0	0	1	31	0	0	0	3							2	10.8	6316	0.44
36	9.4	35	0	0	0	18	17	0	0	0					1		4	11.9	6866	0.57

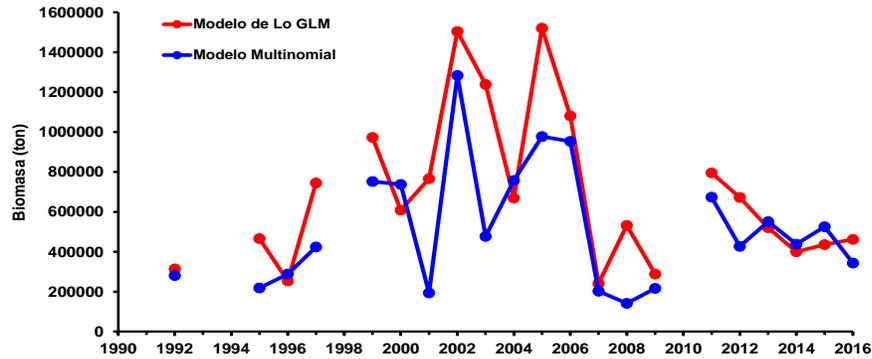


### 2.6.4.7 Estimar la biomasa del stock desovante de la anchoveta y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.

La biomasa desovante estimada por el modelo tradicional de Lo resulta en 461.877 t, con una varianza de 5,976E+11 y un coeficiente de variación de 167%. Por el Modelo Multinomial se estima una biomasa de 342.906 t con una varianza de 3.4205E+11 y un coeficiente de variación de 170% (Tabla 38). Ambas estimaciones son muy similares y su diferencia se explica por la distinta datación de los huevos. Sin embargo, ambas estimaciones muestran valores similares al año anterior (Figura 118).

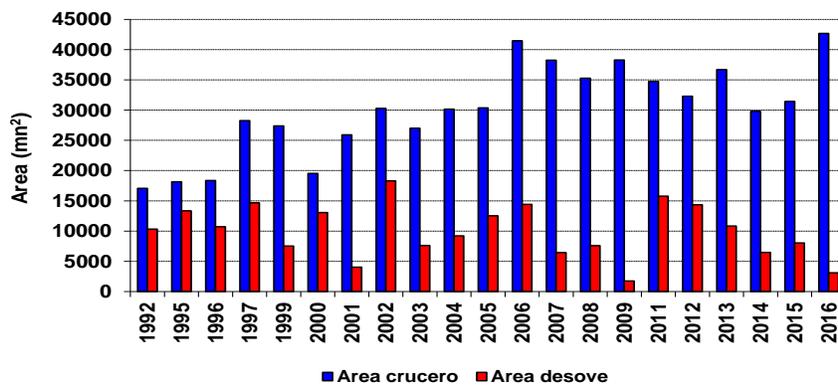
**Tabla 38.** Estimaciones de la producción diaria de huevos (huevos/0,05 m<sup>2</sup>/día), su varianza y coeficiente de variación (CV, %), área de desove, área de estudio y biomasa de anchoveta en cada año de aplicación del método. (\*: Se utilizó función global de fecundidad parcial).

	Modelo de Lo GLM			Modelo Multinomial			
	Estimado	Varianza	CV	Estimado	Varianza	CV	
1992	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	14.65	21.144	31.4	13.09	17.059	31.6
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	10332			10332		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	17055			17055		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>314232</b>	<b>1.03E+10</b>	<b>32.3</b>	<b>280714</b>	<b>8.32E+09</b>	<b>32.5</b>
1995	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	15.03	20.666	30.2	7.05	3.903	28.0
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	13315			13315		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	18137			18137		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>465696</b>	<b>2.17E+10</b>	<b>31.6</b>	<b>218468</b>	<b>4.16E+09</b>	<b>29.5</b>
1996	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	10.24	15.391	38.3	11.65	19.726	38.1
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	10698			10698		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	18353			18353		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>293356</b>	<b>1.05E+10</b>	<b>40.5</b>	<b>281152</b>	<b>1.35E+10</b>	<b>40.3</b>
1997	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	20.46	43.397	32.2	11.63	11.539	29.2
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	14660			14660		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	19627			19627		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>744838</b>	<b>6.62E+10</b>	<b>34.5</b>	<b>423654</b>	<b>1.81E+10</b>	<b>31.7</b>
1999	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	18.65	144.297	64.3	14.43	82.382	62.9
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	7525			7525		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	27374			27374		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>973292</b>	<b>3.94E+11</b>	<b>64.5</b>	<b>751810</b>	<b>2.25E+11</b>	<b>63.1</b>
2000	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	22.73	40.155	27.9	27.55	58.729	27.8
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	13059			13059		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	19539			19539		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>608087</b>	<b>3.11E+10</b>	<b>29.0</b>	<b>737217</b>	<b>4.54E+10</b>	<b>28.9</b>
2001	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	18.67	682.528	139.9	4.73	42.928	138.6
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	4026			4026		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	25921			25921		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>765885</b>	<b>1.20E+12</b>	<b>142.7</b>	<b>193857</b>	<b>7.52E+10</b>	<b>141.5</b>
2002 (*)	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	28.30	36.269	22.9	22.44	25.137	22.3
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	18309			18309		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	30264			30264		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>1503911</b>	<b>1.30E+11</b>	<b>24.0</b>	<b>1283127</b>	<b>9.05E+10</b>	<b>23.4</b>
2003	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	31.50	272.686	52.4	12.13	46.367	56.1
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	7852			7852		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	26986			26986		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>1238731</b>	<b>4.41E+11</b>	<b>53.6</b>	<b>477004</b>	<b>7.46E+10</b>	<b>57.3</b>
2004 (*)	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	15.18	40.323	41.8	17.19	47.035	39.9
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	9193			9193		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	30152			30152		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>668979</b>	<b>8.08E+10</b>	<b>42.5</b>	<b>757385</b>	<b>9.46E+10</b>	<b>40.6</b>
2005 (*)	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	32.43	114.620	33.0	20.84	51.045	34.3
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	12521			12521		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	30368			30368		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>1520754</b>	<b>2.64E+11</b>	<b>33.8</b>	<b>972285</b>	<b>1.17E+11</b>	<b>35.0</b>
2006	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	18.54	55.595	40.2	16.35	41.706	39.5
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	14117			14117		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	41182			41182		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>1081156</b>	<b>1.96E+11</b>	<b>40.9</b>	<b>953115</b>	<b>1.47E+11</b>	<b>40.2</b>
2007	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	6.45	25.182	0.8	5.41	16.654	75.4
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	6439			6439		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	38269			38269		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>240727</b>	<b>3.54E+10</b>	<b>78.2</b>	<b>202088</b>	<b>2.34E+10</b>	<b>75.7</b>
2008	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	20.02	140.661	59.0	5.31	13.335	69.0
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	7594			7594		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	35264			35264		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>532132</b>	<b>1.02E+11</b>	<b>60.0</b>	<b>141270</b>	<b>9.60E+09</b>	<b>69.4</b>
2009	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	6.77	291.607	252.4	5.07	230.343	299.1
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	1743			1743		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	38289			38289		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>287916</b>	<b>5.28E+11</b>	<b>252.4</b>	<b>215886</b>	<b>4.17E+11</b>	<b>299.2</b>
2011	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	22.54	36.880	27.7	19.11	25.467	26.4
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	15771			15771		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	34736			34736		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>795056</b>	<b>5.15E+10</b>	<b>28.5</b>	<b>673857</b>	<b>3.39E+10</b>	<b>27.3</b>
2012	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	22.54	56.476	33.3	14.32	20.232	31.4
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	14356			14356		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	32291			32291		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>672077</b>	<b>5.19E+10</b>	<b>33.9</b>	<b>427071</b>	<b>1.87E+10</b>	<b>32.0</b>
2013	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	16.23	70.376	51.7	17.18	83.571	53.2
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	14356			14356		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	32291			32291		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>520336</b>	<b>7.42E+10</b>	<b>52.4</b>	<b>550629</b>	<b>8.80E+10</b>	<b>53.9</b>
2014	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	10.57	46.832	64.7	11.57	59.784	66.8
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	6451			6451		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	29811			29811		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>396005</b>	<b>6.91E+10</b>	<b>65.8</b>	<b>437627</b>	<b>8.81E+10</b>	<b>67.8</b>
2015	P0 (Nº/0.05 m <sup>2</sup> /día) ponderado	11.42	33.329	50.5	13.76	61.371	57.0
	Area desove (mn <sup>2</sup> )	8025			8025		
	Area Total (mn <sup>2</sup> )	31411			31411		
	<b>BIOMASA (ton)</b>	<b>436014</b>	<b>5.07E+10</b>	<b>51.6</b>	<b>525087</b>	<b>9.25E+10</b>	<b>57.9</b>



**Figura 118** Biomosas desovantes estimadas en cada año de aplicaci3n del M3todo de producci3n Diaria de Huevos.

Una tendencia negativa se observa en el 3rea de desove, la cual representa una de las m3s bajas de la serie, junto con el a3o 2009 y 2001 (**Figura 119**). La informaci3n por lance de pesca, se entrega en **tabla 20**.



**Figura 119** 3reas de crucero y de desove para cada a3o de aplicaci3n del M3todo de producci3n Diaria de Huevos.



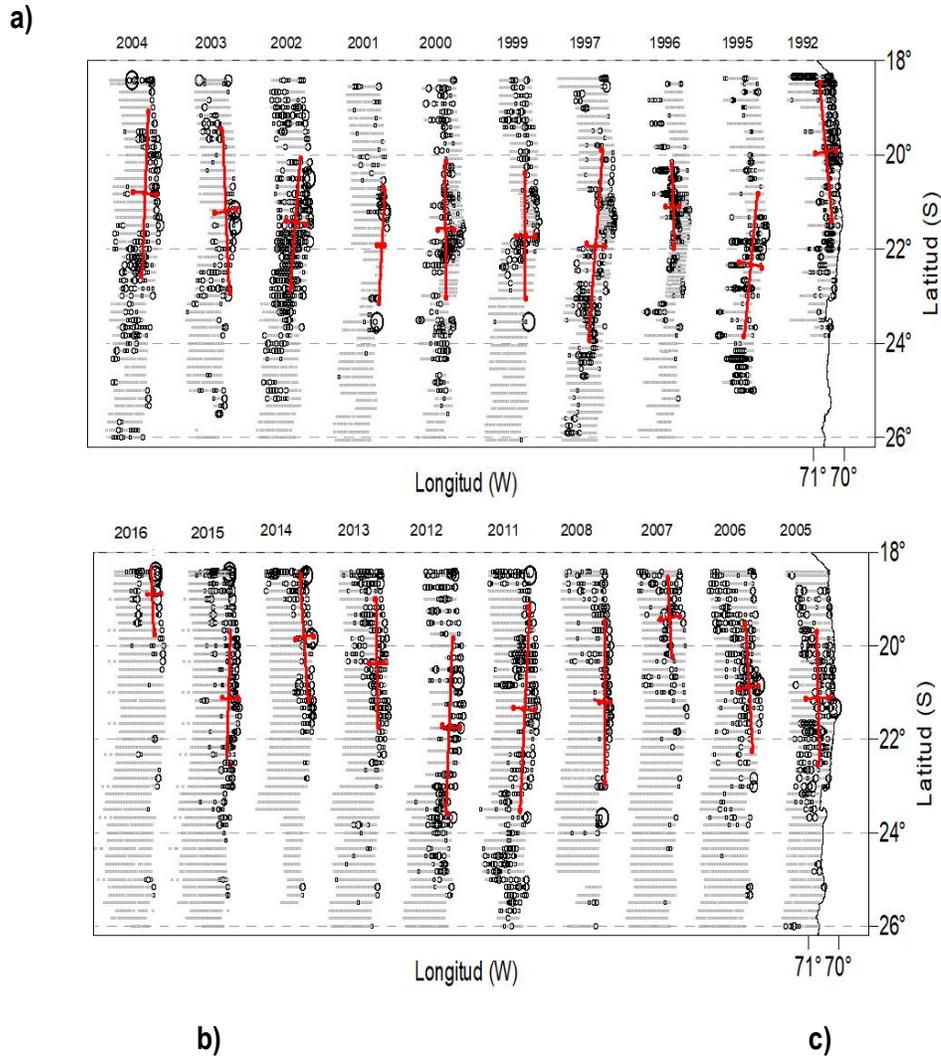
## **2.7. Objetivo específico 4.2.7: Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores y los resultados del presente proyecto.**

### **Índices espaciales**

#### **2.7.1 Centro de gravedad e Inercia.**

El centro de gravedad (CG) de huevos de anchoveta estimado para la zona de estudio (**Fig. 120**) mostró variabilidad entre los periodos analizados, particularmente la mayor fluctuación y alternancia entre periodos se presentó en el eje longitudinal. En tanto, una amplia extensión de los huevos se presentó en la componente meridional. La serie analizada mostró la posición de los CGs más al norte del área de estudio durante 2016 ( $18^{\circ}53'S-70^{\circ}28'W$ ) y en extremo sur en 1995 ( $22^{\circ}20'S-70^{\circ}35'W$ ) (**Fig. 120b**). La mayor diferencia en la componente longitudinal se presentó entre los años 1997 y 2001, el primero mostró el centroide más lejano de la costa ( $21^{\circ}54'S-70^{\circ}43'W$ ), distanciado del segundo por 24 mn, punto geográfico más cercano de la línea de costa ( $21^{\circ}55'S-70^{\circ}18'W$ ) (**Fig. 122c**). La Inercia (I) durante los periodos 1996, 2007 y 2016 disminuyó entre 0,80 y 0,83, indicando una contracción en el rango de distribución de los huevos de anchoveta. En cambio, los años 1997 y 2011 mostraron un incremento en el índice de dispersión (4,16-4,87) con una amplia cobertura de estos en el sentido latitudinal (**Fig. 120a**).

En general, al inicio de la serie los centros de gravedad presentaron una condición más estable con sus centroides en torno a los  $22^{\circ}S$ , excepto los años 1992 y 1996 que se ubicaron al norte de esta latitud. En adelante, un patrón de desplazamiento paulatino de sur a norte en los CGs de huevos marcando tres periodos en esta serie: 2001-2004; 2005-2007 y 2012-2016 (**Fig. 120a**). Los dos últimos periodos se caracterizaron por la disminución del rango de dispersión a medida que se aproximan a menores latitudes.



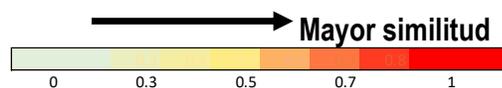
**Figura 120.** a) Distribuci3n de huevos, Centros de gravedad (CG) e Inercia (I); b) Variabilidad de la componente meridional del CG y c) Variabilidad de la componente longitudinal del CG.



## 2.7.2 3ndice de proximidad

Este 3ndice, que cuantifica la distancia entre poblaciones complementa el enfoque de los CGs e Inercia. El 3ndice de proximidad calculado para la serie analizada (**Fig. 121**) demostr3 dos situaciones: la primera, donde los huevos de anchoveta se encuentran cercanos entre periodos, esto es que sus centros de gravedad se concentran entre las latitudes 21°-22°S correspondiente a los a3os 1996-1997, 1999-2006, 2008, 2011 y 2015. Y la segunda, con valores <0,75 distingui3ndose los a3os 1992, 1995, 2007, 2013-2014 y 2016 que fueron m3s distantes o parcialmente distantes del resto de la serie evaluada. En efecto, el centro de gravedad en estos periodos se concentr3 cercano al l3mite norte de la zona de estudio (19°-20°S), y en el caso de 1995 se ubic3 al sur de los 22°S. En particular, los a3os 2007 y 2016 fueron m3s distantes con un 3ndice de proximidad <0,6, evidenciando cierta anormalidad en la distribuci3n de huevos en comparaci3n a otros a3os, periodos que re3nen las siguientes condiciones: CGs tienen una posici3n m3s septentrional y baja dispersi3n (I=0,8-0,83).

A3OS	1992	1995	1996	1997	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1992	0.454																			
1995	0.698	0.683																		
1996	0.623	0.971	0.882																	
1997	0.567	0.918	0.87	0.988																
1999	0.621	0.892	0.926	0.983	0.993															
2000	0.486	0.94	0.744	0.971	0.973	0.942														
2001	0.655	0.848	0.959	0.963	0.979	0.994	0.917													
2002	0.772	0.808	0.983	0.924	0.946	0.963	0.896	0.982												
2003	0.876	0.709	0.979	0.857	0.86	0.899	0.781	0.929	0.973											
2004	0.759	0.757	1	0.91	0.913	0.952	0.822	0.974	0.986	0.981										
2005	0.824	0.679	0.976	0.849	0.847	0.891	0.758	0.926	0.981	0.998	0.979									
2006	0.913	0.277	0.36	0.44	0.331	0.383	0.264	0.401	0.548	0.663	0.497	0.553								
2007	0.758	0.806	0.97	0.919	0.944	0.957	0.901	0.977	0.999	0.965	0.975	0.973	0.53							
2008	0.783	0.883	0.987	0.963	0.98	0.991	0.943	0.998	0.995	0.965	0.99	0.97	0.598	0.992						
2011	0.65	0.941	0.915	0.99	1	0.994	0.984	0.985	0.959	0.891	0.936	0.889	0.45	0.959	0.984					
2012	0.955	0.533	0.831	0.715	0.676	0.731	0.585	0.772	0.882	0.961	0.87	0.935	0.739	0.87	0.876	0.752				
2013	0.987	0.404	0.609	0.573	0.505	0.557	0.43	0.589	0.726	0.83	0.691	0.768	0.917	0.714	0.741	0.601	0.925			
2014	0.755	0.753	0.978	0.897	0.914	0.94	0.848	0.967	0.999	0.977	0.981	0.985	0.493	0.997	0.99	0.939	0.877	0.701		
2015	0.735	0.219	0.252	0.352	0.252	0.291	0.203	0.302	0.429	0.517	0.371	0.412	0.85	0.415	0.485	0.357	0.558	0.751	0.373	

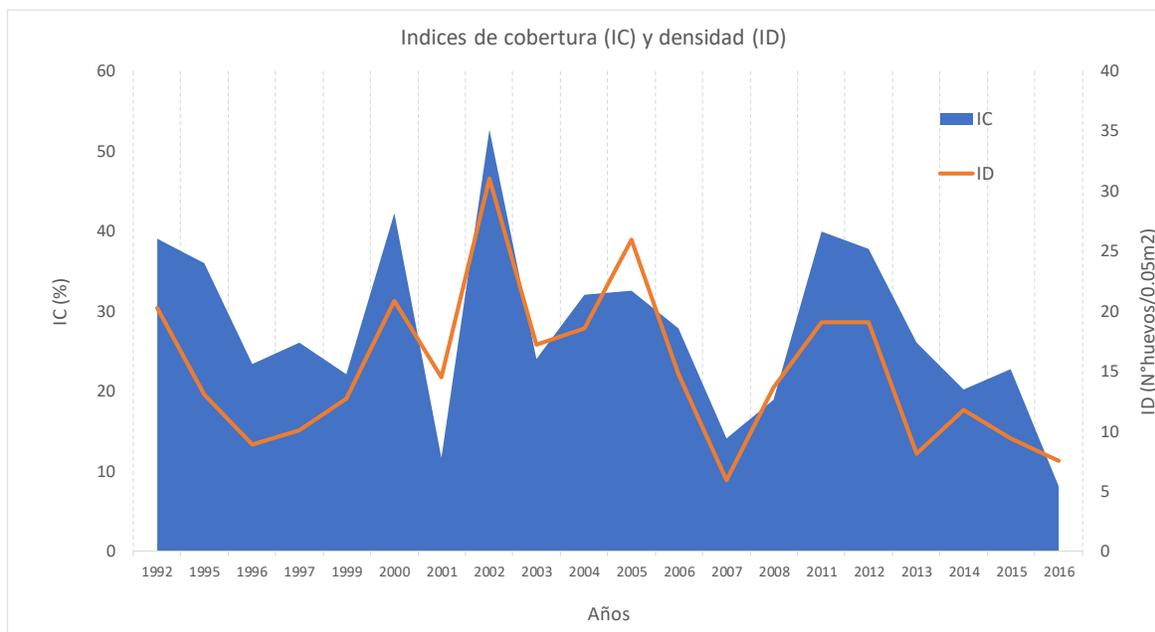


**Figura 121** . Matriz 3ndice de proximidad de la distribuci3n de huevos de los periodos evaluados.



### 2.7.3 3ndice de cobertura y densidad.

Los 3ndices de Cobertura y Densidad mostraron diferencias entre a3os, con una tendencia decreciente en ambos estimados hacia el final de la serie analizada (**Fig. 122**). La mayor densidad de huevos se report3 durante el periodo 2002 con una amplia distribuci3n y cobertura en la zona de estudio ( $ID=31,08$  huevos/ $0,05m^2$ ;  $IC=52,63$  %), mientras que los valores m3s bajos se describen para los a3os 2007 y 2016, ambos periodos representan una 3rea restringida de distribuci3n de huevos en el 3rea de estudio, sin embargo el segundo periodo se relaciona con la disminuci3n sostenida de estos 3ndices a partir del 2011, evidenciando la contracci3n del 3rea de distribuci3n de huevos.



**Figura 122.** 3ndices de cobertura y densidad de huevos. Periodos 1992, 1995-1997, 1999-2008, 2011-2016.



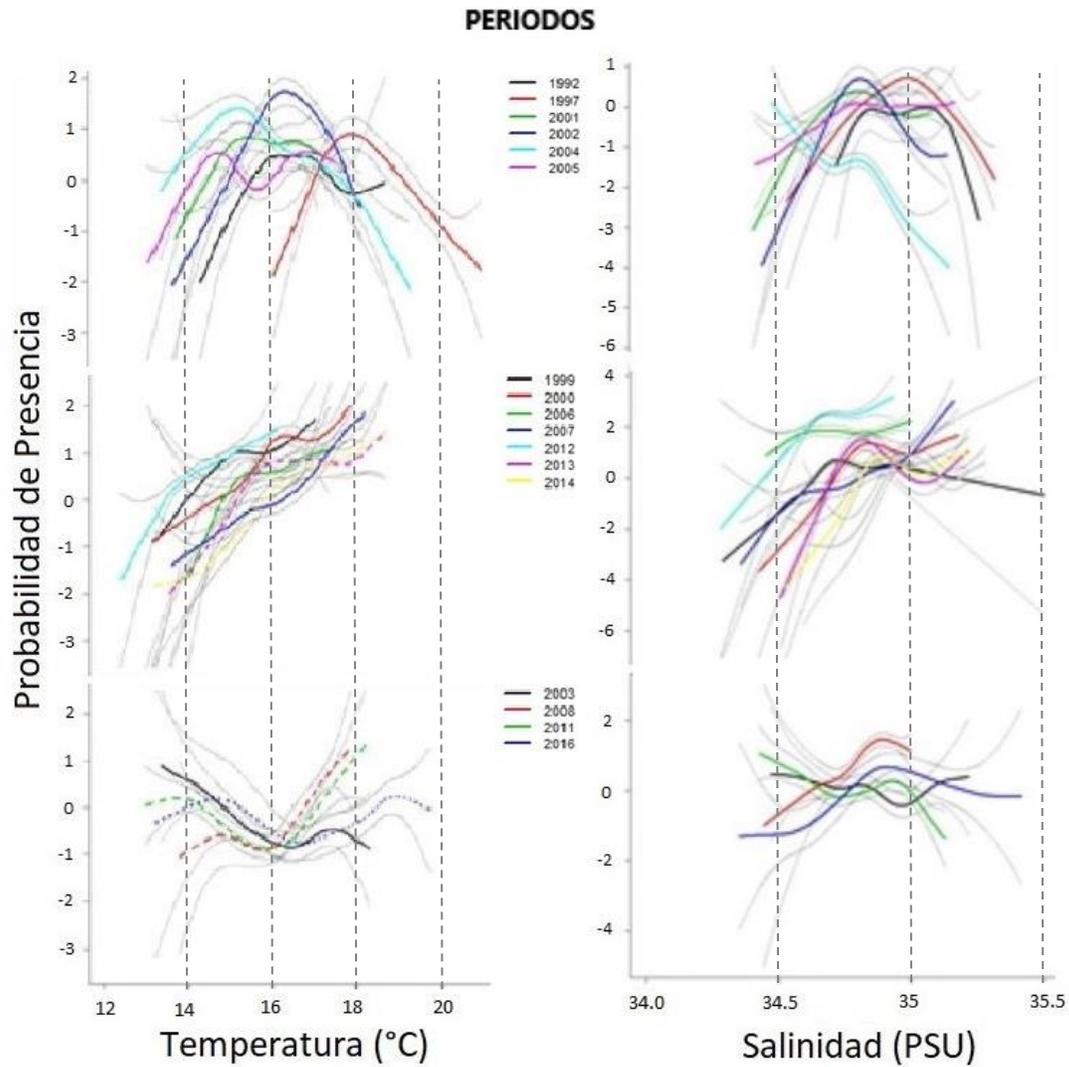
## 2.7.4 Modelos distribución de especies.

### 2.7.4.1 Modelamiento GAM serie 1997-2016.

La **figura 123** muestra el modelamiento de las variables superficiales de temperatura y salinidad con la variable dicotómica huevos de anchoveta, presencia-ausencia. Los predictores fueron significativos en la mayoría de los años con ji-cuadrado  $<0,043$ , excepto los años 1992, 2000, 1996 y 2007 para la temperatura, y 1995 para la salinidad. La devianza residual fue reducida alcanzando un nivel de explicación entre un 4 y 30% de la variabilidad total entre los periodos evaluados.

Para la temperatura superficial se identificaron 3 patrones de respuesta funcional por parte de los huevos de anchoveta: la primera que abarca los periodos 1992, 1997, 2001, 2002, 2004 y 2005 es una relación tipo campana, que mostró un rango óptimo para los huevos, la mayor probabilidad de presencia de huevos ocurre en torno a los  $16^{\circ}\text{C}$  en 1992 y 2002, en 1997 este máximo se presentó con temperaturas más cálidas entorno a la isoterma de  $18^{\circ}\text{C}$ . Durante 2004, el desplazamiento del máximo de huevos se da en condiciones más frías del sistema entorno a los  $15^{\circ}\text{C}$ . En tanto, los periodos 2001 y 2005, mostraron mayor probabilidad en una relación bimodal en torno a los  $15$  y  $17^{\circ}\text{C}$  aproximadamente (**Fig. 123**). El segundo, durante los periodos 1999-2000, 2006-2007 y 2012-2014 correspondió a una relación positiva ascendente que aumenta la probabilidad de presencia de huevos con el aumento de la temperatura, el rango de la función varió entre  $13$  y  $18^{\circ}\text{C}$ . Por último, una relación tipo "U" entre los años 2003, 2008, 2011 y 2016, la que mostró la menor probabilidad de huevos en torno a las isotermas de  $16$  y  $17^{\circ}\text{C}$ .

Por su parte, la salinidad mostró de manera similar respuestas funcionales a la temperatura, sin establecerse en ella un patrón de diferenciación entre años. El rango de mayor frecuencia entre las funciones varió entre 34.5 y 35.25 psu.



**Figura 123** Modelamiento GAM de las variables temperatura y salinidad asociadas a la presencia ausencia de huevos de anchoveta. Periodo 1992, 1995-2016



**Tabla 39.** Análisis de varianza de las covariables ajustadas al modelo de presencia -ausencia de huevos de anchoveta.

Año	Temperatura	Salinidad	Null Deviance	R. Deviance	Pseudo -R <sup>2</sup>
1992	2.90E-01	8.00E-02	103.45	87.54	0.154
1995	1.79E-06	1.23E-01	751.15	687.08	0.085
1996	7.00E-02	3.21E-11	812.24	705.62	0.131
1997	4.10E-04	4.41E-05	911.43	823.87	0.096
1999	1.68E-07	2.20E-16	604.07	455.35	0.246
2000	6.60E-02	1.02E-01	680.44	652.88	0.041
2001	3.30E-02	6.88E-05	370.2	334.97	0.095
2002	2.77E-07	3.87E-12	813.6	581.26	0.286
2003	3.60E-03	2.15E-02	591.58	557.05	0.058
2004	9.46E-07	8.14E-07	811.87	651.85	0.197
2005	5.09E-05	2.31E-03	783.51	722.55	0.078
2006	4.30E-02	5.96E-04	946.17	733.34	0.225
2007	2.60E-01	7.92E-03	622.1	475.13	0.236
2008	2.20E-16	5.87E-14	696.57	593.32	0.148
2011	2.57E-10	3.74E-04	982.59	896.46	0.088
2012	5.70E-04	2.00E-16	747.75	547.2	0.268
2013	2.27E-02	2.15E-07	760.61	571.52	0.249
2014	2.20E-16	2.20E-16	611.89	424.47	0.306
2016	8.97E-05	5.28E-06	450.21	404.13	0.102

### Modelo MaxEnt variables ambientales crucero 2016.

Para el periodo 2016, se utilizó un modelo MaxEnt para predecir la probabilidad de adecuación del hábitat de huevos utilizando los datos de presencia. Las variables ambientales consideradas correspondieron a nutrientes (nitrito, nitrato, fosfato y silicato), plancton (abundancia y biomasa fitoplanctónica, copépodos, eufausidos, larvas decapodos y eufausido, pendiente) y bio-físicas (clorofila, oxígeno, temperatura y salinidad a la profundidad de 10 m). Mediante un enfoque exploratorio, cada uno de estos factores fue modelado por separado con los huevos de anchoveta con el objeto de evaluar la importancia de los componentes en cada factor, eliminando el efecto de interacción entre estos. La prueba de jackknife de contribución de variables mostró que las variables aisladas con mayor ganancia fueron larvas de Eufáusidos con una ganancia de entrenamiento de 0,57, seguida de la temperatura y ganancia de 0,26. También se determinó que el fosfato y la clorofila a tuvieron similar grado de importancia, 0,15 y 0,14, respectivamente (**Figura 124**).



El modelo de selecci3n entonces se compone de las variables que otorgaron el mayor aporte. Este modelo mostr3 una alta probabilidad de ocurrencia de huevos en aguas costeras (**Figura. 125**), particularmente al norte de la latitud 21°S, donde la probabilidad alcanz3 0,92, rodeada de bajas probabilidades variando hasta 0,23. As3 tambi3n, al sur de los 22°30'S la predicci3n del modelo mostr3 condiciones adecuadas con probabilidad media a baja, entre 0,54 y 0,23, para huevos de anchoveta, en este sector se circunscriben dos focos uno en el sector costero y el segundo hacia el Oeste pr3ximo a los 72°W. En general, la probabilidad de presencia de huevos parece disminuir con el aumento de la distancia de costa.

Los mapas de probabilidad obtenidos a partir de los modelos de factores aislados (**Fig. 125 a,b,c**), oceanogr3ficos y nutrientes mostraron mayor amplitud de las condiciones apropiadas para los huevos de anchoveta en el 3rea de estudio. En tanto el plancton parece predecir un 3rea m3s restringida, situaci3n que se replica en la predicci3n del modelo de selecci3n (larvas euf3usidos, temperatura, fosfato y clorofila a).

La prueba de jackknife en el modelo de selecci3n mostr3 que la variable ambiental larvas de euf3usidos predice de manera m3s efectiva la distribuci3n de huevos con una ganancia de entrenamiento de aproximadamente 0,6, seguida por la temperatura (0,25) (**Figura. 124**). El resto de las variables, fosfato, concentraci3n de clorofila a y nitrato, tuvo un impacto similar con ganancia menor a 0,15.

Las curvas de respuesta (**Figura 125**) para la variable larvas de euf3usidos mostr3 que la predicci3n log3stica m3s alta >0.8 la aumenta conforme lo hace la concentraci3n de larvas en el 3rea de estudio. Para la temperatura la respuesta alcanza un m3ximo en torno a 0,75 indicando preferencias por isoterma de 18,5-19°C y un segundo m3ximo entre 13-13,5°C con menor probabilidad predictiva (0,45). Las variables fosfato y nitrato mostraron una predicci3n log3stica que no supera los 0,75, la que aumenta a medida que aumenta la concentraci3n de estas variables. En tanto, la clorofila a mostr3 una respuesta m3xima en torno a 0,6, la que aumenta r3pidamente hasta alcanzar niveles de clorofila de 2 c3l/ml mayores concentraciones no muestran variaciones en la respuesta (**Figura. 126**).

**La figura 127** muestra la curva de ROC que prueba la capacidad que tiene el modelo de predecir la ocurrencia de la variable respuesta, huevos de anchoveta, representando el ajuste del modelo a los datos de entrenamiento (l3nea roja). Las curvas de los datos de entrenamiento y de prueba (l3nea azul) son mayores a la diagonal que representa un modelo aleatorio, con valores AUC mayor a 0,82, por lo tanto se espera que la capacidad predictiva del modelo es mejor que uno aleatorio, a mayor valor de AUC mejor es el modelo de probabilidad.

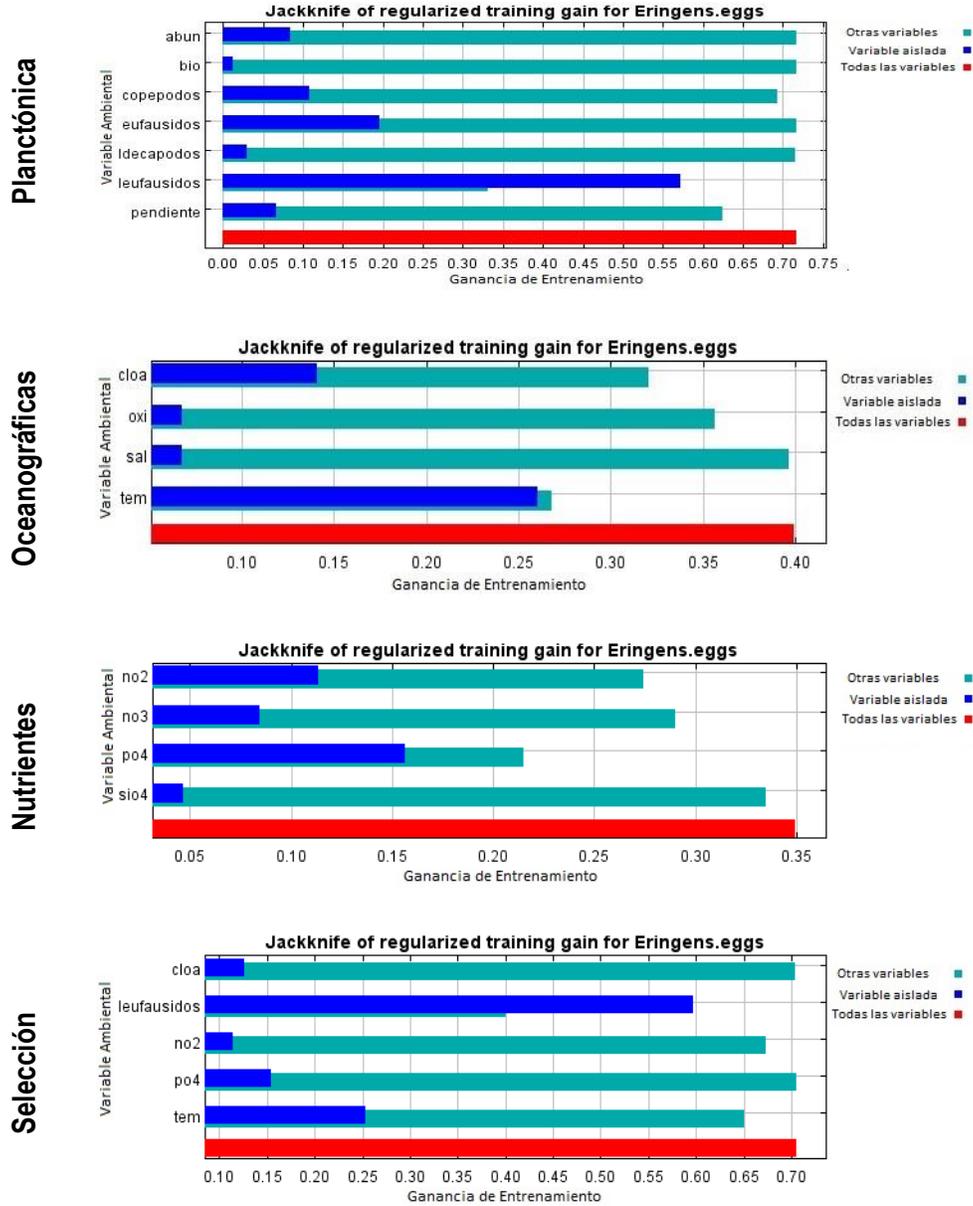
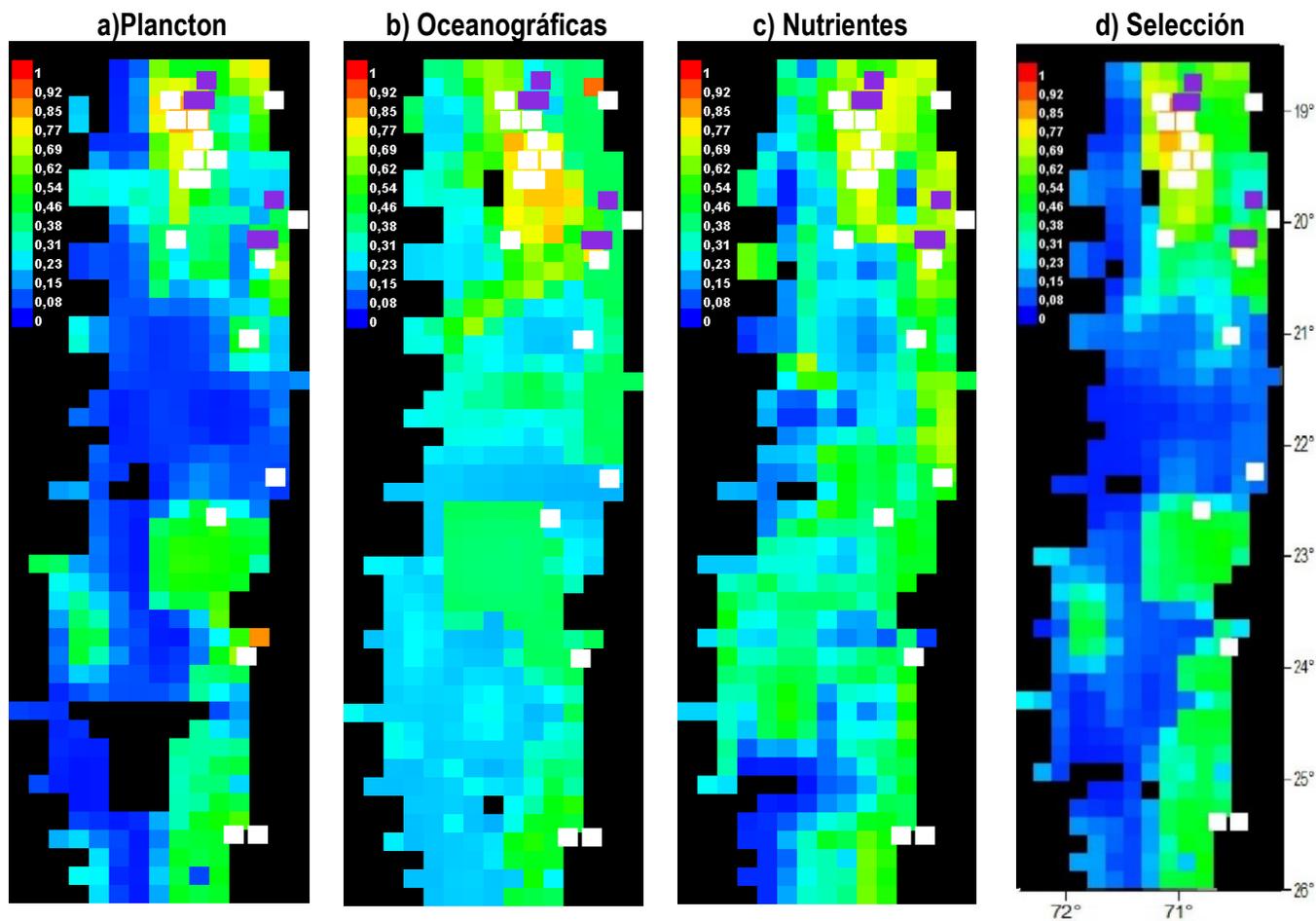
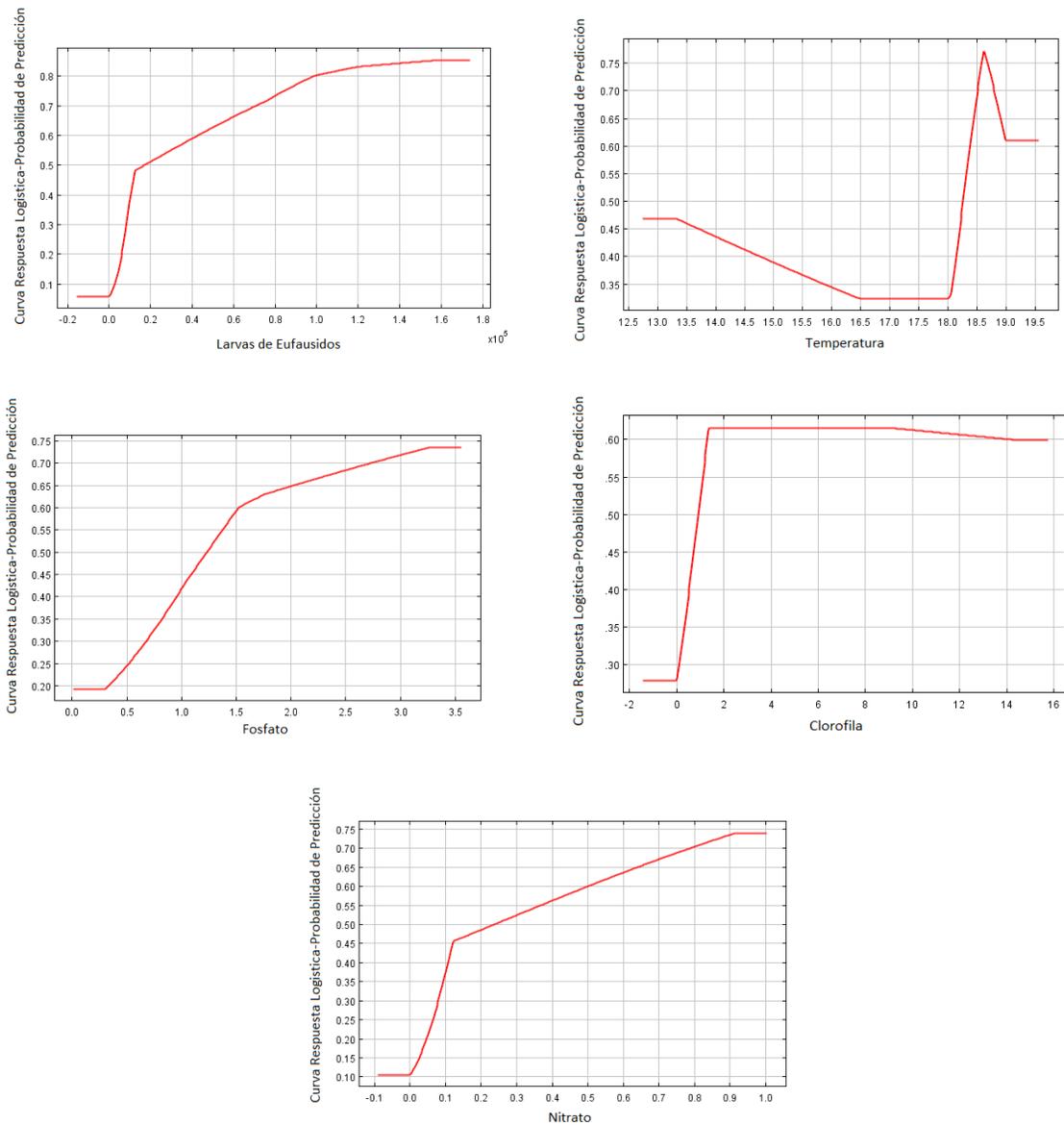


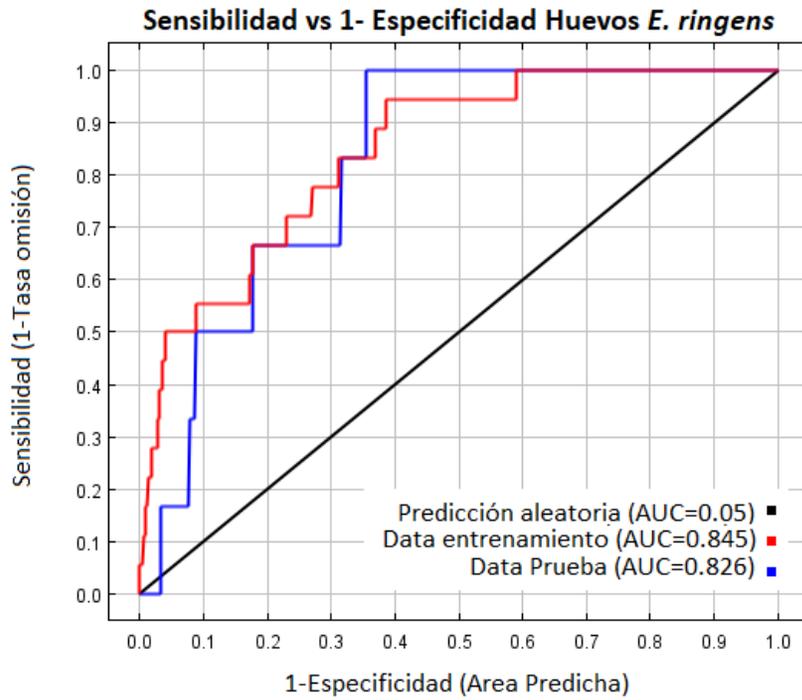
Figura 124. Histograma prueba jackknife de las variables en el modelo MaxEnt y contribuci3n de las variables en los modelos exploratorios (nutrientes, oceanograficas y plancton) y modelo de selecci3n.



**Figura 125** . Mapa predicci3n probabilidad de presencia de huevos *E. ringens*. Cuadrículas en blanco representan la presencia de huevos utilizada en entrenamiento del modelo y morado utilizada en ubicaciones de prueba.



**Figura 126** Curvas de respuesta modelo probabilístico selecci3n de huevos *E. ringens*



**Figura 127** Curva ROC de ajuste modelo MaxEnt huevos *E. ringens*



## VIII. DISCUSIÓN

---

En el esquema de variación climática propuesto en este documento, se destacan tres periodos de cambios entre 1960 y 2016, también conocidos como cambios de régimen en el ecosistema. Estos cambios fueron observados en los grandes ecosistemas marinos en la primera mitad de la década del setenta (1972-1975) y a mediados de la década del ochenta (Serra 1989, Chávez *et al.*, 2003, Aheyt y Ñiquen 2004, Cahuin *et al.*, 2009, Ayon *et al.*, 2011, y Lluch-Belda *et al.*, 2001). En el cambio de régimen de la década de los ochenta, inició un periodo favorable para la anchoveta, caracterizado por una mayor producción de fitoplancton y dominancia del zooplancton de mayor tamaño (Alheim y Ñiquen 2004; Ayon *et al.*, 2011). La evaluación de índices climáticos regionales y locales (Contreras-Reyes *et al.*, 2016), como también de los aspectos biológicos, sugieren la existencia de un tercer cambio de régimen en el año 2007, caracterizado por una disminución en la producción de fitoplancton, la biomasa del stock desovante de anchoveta y un aumento en el biovolumen del zooplancton. Aunque el aumento del biovolumen del zooplancton ha sido asociado con periodos favorables para la anchoveta (Bernal *et al.*, 1984, Alheim y Ñiquen 2004), los aspectos cualitativos de esta variable deben ser tratados con mayor profundidad.

El actual proyecto (2016), se desarrolló durante la superposición de las fases cálidas de cuatro cambios climáticos de distinta frecuencia temporal, similar a lo observado en el cambio de régimen de mediados de la década del ochenta (Oscilación decadal del Pacífico, El Niño, Oscilación Pentadecadal y el Calentamiento Global). Esta interacción ha sido poco estudiada y eventualmente podría inducir cambios drásticos en el ecosistema.

En la zona ecuatorial, el período El Niño 2015/2016 se dio por finalizado en abril de 2016 (NOAA, 2016), mostrando la banda Ecuatorial condiciones de transición hasta septiembre de 2016 e incluso condiciones frías asociadas a La Niña, de intensidad débil en los meses de octubre a diciembre, pasando a neutral en los primeros meses de 2017 (NOAA, 2016b, 2017).

Por otro lado, a nivel local, los resultados de las series de anomalía de temperatura superficial del mar (ATSM) satelitales e hidrográficas en el norte y centro sur de Chile, evidenciaron una condición cálida persistente post evento El Niño 2015/2016, aunque con un efecto moderador de la surgencia en la banda costera. Durante el periodo del crucero se registró un predominio de anomalías positivas de temperatura y de salinidad superficial (ASSM) asociadas a la presencia de agua Subtropical (AST). La mayor presencia de AST observada desde la primavera de 2015, vinculada al desarrollo del evento El Niño que trae como una de sus consecuencias, mayor advección de aguas de origen ecuatorial y subtropical.

Los vientos medidos en el crucero mostraron valores similares a los observados en la primavera de 2015, es decir, más intensos (>10 m/s) respecto de un año normal (2014) (Cifuentes *et al.*, 2015). El incremento del viento durante un evento El Niño, puede estar asociado al incremento de los gradientes de temperatura superficial del océano que producen un reforzamiento del anticiclón del Pacífico Sur.



Lo anterior, potenciaría los procesos de surgencia en el sector costero generando el afloramiento de ASAA y AESS, ambas con mayor participación respecto de periodos normales.

En la costa, los índices de surgencia y turbulencia, así como la presencia de anomalías negativas puntuales de temperatura y salinidad, sumado a la distribución vertical de las distintas variables, indicaron procesos locales de surgencia de distinta intensidad en toda la zona. Las surgencias más intensas se registraron al norte de Pisagua, punta Arenas-Tocopilla y desde punta Amarilla a punta Colorada, sectores donde se ubicaron focos de aguas densas y de menor oxígeno disuelto (OD) que las aguas adyacentes, asociadas a un aumento de AESS. En el caso del foco Arica-caleta Vitor, y el sur de punta Plata, sería el ASAA la principal agua surgente.

Durante la primavera de 2016, el campo de densidad superficial del sector oceánico tuvo un rango similar al registrado en 2015 e inferiores a un año normal (2014), lo que estuvo asociado a aguas superficiales de mayor temperatura que resultan como consecuencia de la persistencia del evento El Niño. En la costa, las aguas densas de la banda costera, que fueron producto del afloramiento de aguas subsuperficiales presentaron menores valores de densidad respecto de un año normal (2014, 2013), producto de un aumento en la participación del ASAA en la surgencia costera en relación al AESS (Morales *et al.*, 1996).

La profundidad de la termoclina (Blanco *et al.*, 2002) se ubicó en profundidades similares a los de un año normal (2014), a diferencia de la primavera de 2015, cuando la termoclina se profundizó producto de la advección de aguas cálidas desde la zona Ecuatorial (Morales *et al.*, 1999). El espesor de la capa de mezcla (EMC) durante la primavera de 2016 fue similar a un año normal, a pesar de registrarse un incremento del viento respecto del promedio. El límite superior de la capa de mínimo OD (LSCMOD, isolínea de 1 mL/L) en el sector oceánico se ubicó en profundidades similares a las registradas en un año promedio, mientras que en la costa se profundizó debido a la mayor presencia de ASAA respecto de 2015.

En la parte superficial de la columna de agua (0-50 m) se registraron hasta +2°C más que en la primavera de 2014 y 2015 (Cifuentes *et al.*, 2016). En este sentido, y a pesar de las mayores temperaturas en la capa superficial, la isoterma de 15°C no se profundizó. Así también, en esta capa hubo focos con salinidades de hasta +0,2. Asociado a lo anterior, la presencia de AST registró un incremento entre un 10 y 20% (Reyes y Pizarro, 2014). Lo anterior muestra que durante la primavera de 2016, el evento El Niño afectó principalmente la capa superficial del sector oceánico, con una mayor presencia de AST y anomalías positivas y significativas de temperatura y salinidad que persistieron una vez concluido El Niño en la zona Ecuatorial.

Los resultados mostraron que durante la primavera de 2016 el AESS registró mayor participación, al mismo tiempo de un aumento de la participación de ASAA al sur de punta Amarilla y una disminución del área abarcada por el núcleo de AST en relación al año anterior.



En cuanto a la distribución de clorofila-a se observó en la banda costera norte ( $18^{\circ}$ - $26^{\circ}$ S), como en el centro sur ( $34^{\circ}$ - $40^{\circ}$ S), que los valores mínimos se registraron en junio y julio de 2016, y los máximos en los períodos esperados de primavera-verano, para 2015 y 2016. Las cartas de clorofila-a satelital mensual de septiembre y octubre de 2016, mostraron la típica franja costera de mayores concentraciones respecto de las aguas oceánicas, donde los focos más importantes se ubicaron al norte de los  $20^{\circ}$ S.

La información in situ dio cuenta de focos de altas concentraciones ( $>1 \mu\text{g/L}$ ) de clorofila-a en gran parte de la banda costera, excepto entre los  $24^{\circ}$  y  $25^{\circ}$ S, donde el índice de turbulencia (IT) y el índice de surgencia (IS) sugirieron un mayor transporte y exportación hacia el sector oceánico. Este año destacó un máximo de clorofila-a de concentraciones atípicamente altas en el sector oceánico de Mejillones, asociado a una corriente débil hacia el oeste. En este período, los focos más importantes de clorofila-a se ubicaron entre Arica-Iquique, punta Arenas, Mejillones, Antofagasta y punta Ballenita.

Tanto Arica, como Iquique, Mejillones y Antofagasta son áreas recurrentes para la proliferación fitoplanctónica por ser centros persistentes de surgencia costera (Morales *et al.*, 1996; Fonseca y Farías, 1987.). De estas áreas, la península de Mejillones (entre los  $22$  y  $24^{\circ}$ S) ejerce una influencia importante en la variabilidad oceanográfica y biológica, más de lo que representaría solamente un accidente topográfico. La península en sí, es un límite latitudinal para la distribución espacial de la clorofila. Esta singular estructura determina patrones particulares de circulación costera y oceánica (Letelier *et al.*, 2012).

La presencia típica de bandas de agua fría en la península de Mejillones es producto de procesos diferentes, aunque asociados a la surgencia: a) en punta Angamos, que es la zona norte de la península de Mejillones, se proyecta la surgencia hacia el oeste, y b) otra banda producida por corrientes a chorro producto de la surgencia de punta Coloso (zona sur de la península de Mejillones), dándose también un quiebre hacia el oeste, producto de la topografía costera (Escribano e Hidalgo, 2001).

Estas dos bandas actúan como frentes térmicos reteniendo aguas cálidas ( $+1^{\circ}\text{C}$ ) al interior de las bahías, tanto en Mejillones como en Antofagasta, siendo el área de Mejillones la de mayor retención. La presencia de cañones submarinos favorece los flujos de surgencia hacia la bahía, en tanto que la presencia de un monte submarino es responsable en parte, de la circulación ciclónica en el interior de la bahía (Rojas y Landaeta, 2014). Esta retención de aguas de surgencia dentro de las bahías, en conjunto con la surgencia, explican las altas concentraciones de clorofila asociadas a las bandas de agua fría, definiendo oceanográficamente los límites de la península de Mejillones (Letelier *et al.*, 2012).

Las concentraciones máximas de los nutrientes durante la presente campaña, aumentaron respecto de 2015, pero en general, se mantuvieron dentro de los rangos informados para la zona (Silva, 1987; Silva *et al.*, 2009; Molina *et al.*, 2005). Se mantuvo el patrón de distribución caracterizado por el aumento de las concentraciones con la profundidad, lo cual comenzó a evidenciarse en la franja



costera (1 a 10 mn) desde los 50 m, debido a la influencia de los procesos de surgencia que generaron el ascenso de aguas ricas en nutrientes y que en la zona son permanentes (Escribano *et al.*, 2003; Silva *et al.*, 1997). La restricción a la franja costera entre Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S) se asocia a la intrusión desde el sector oceánico, del Agua Subtropical Superficial (AST) (Montecino *et al.*, 2005), mientras que desde Antofagasta (23°40'S) al sur, se describe la influencia del Agua Subantártica (ASAA), la cual generó una zona de bajo contenido de nutrientes hasta los 75 m de profundidad (Silva *et al.*, 2009). De norte a sur y hacia los estratos más profundos, las mayores concentraciones de nutrientes revelaron la intrusión del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS), la cual se caracterizó por sus altas concentraciones, las que dominaron toda la región bajo los 100 m de profundidad (Montecino *et al.*, 2005, Silva *et al.*, 2009).

La actividad biológica es también responsable de los patrones de distribución observados, ya que las bajas concentraciones superficiales responden a la actividad fitoplanctónica dentro de los primeros 25 m de profundidad, y que conduce casi al agotamiento del nitrato, fosfato y silicato. Su incremento con la profundidad es también producto de los procesos de oxidación de la materia orgánica, que junto a la presencia del AESS, aumentan la concentración (Silva *et al.*, 1997; Libes, 1992).

Por otra parte, entre Arica (18°25'S) y punta Copaca (22°20'S) y entre los 100 m y 200 m de profundidad, los máximos de nitrito se asociaron a bajas concentraciones de nitrato. Esta condición caracterizada por el máximo secundario de nitrito asociado al mínimo relativo de nitrato, ha sido descrita como típica de la región (Silva, 1987; Silva *et al.*, 2009), y se considera una señal de procesos de desnitrificación relacionados a la presencia de la zona de mínima concentración de oxígeno (ZMO) (Fariás *et al.*, 2007; Thiel *et al.*, 2007).

El fosfato mantuvo un comportamiento similar al del nitrato, lo cual ha sido explicado en términos de la actividad biológica (fotosíntesis, re-mineralización), que ejerce una influencia similar sobre ellos (Libes, 1992), y aunque también se ha señalado que hay procesos que sólo afectan al nitrato, como la desnitrificación bacteriana (Chester, 1996), durante el presente crucero se registró una fuerte asociación en la distribución de ambos. Lo mismo se observó con el silicato, cuyas bajas concentraciones se asociaron con el alto consumo por parte de las diatomeas (Olivares, 1989), grupo que constituye el componente principal de la comunidad fitoplanctónica de la zona (Herrera y Escribano, 2006).

Al respecto, durante este periodo, las diatomeas fueron dominantes, con abundancias que superaron las 600 cél/mL, lo cual puede explicar las relaciones obtenidas en el análisis exploratorio. Este grupo tiene una fuerte afinidad con el nitrato y, en particular, con el silicato para la formación de su pared celular (Reynolds, 2006) y, dado que su concentración dio cuenta de más del 80% de la abundancia total, se obtuvieron los mismos resultados con el fitoplancton total. Respecto de los flagelados y los fosfatos, la explicación no es tan simple. Si bien estos resultados pueden deberse a las bajas concentraciones en ambos parámetros, hay que considerar que un enriquecimiento de fosfato puede contribuir a generar importantes abundancias fitoplanctónicas (Reynolds, 2006), lo que pudo ocurrir



en el sector de punta Junín (19°40'S), donde se registró conjuntamente la proliferación mono-específica de *Prorocentrum* y focos de alta concentración de fosfato (>2,0 µM) en superficie y a 10 m de profundidad.

La primavera de 2016 evidenció una condición normal en cuanto a la concentración y distribución de los nutrientes. Las concentraciones registradas fueron menores a las de 2015 y similares a las de 2008, año que continúa siendo el periodo de menor contenido de nutrientes.

La composición específica y la abundancia de las diatomeas respondieron a una condición típica del periodo primaveral, superando en más de un orden de magnitud la concentración celular de los flagelados (Herrera y Escribano, 2006). Respecto de su distribución longitudinal, la disminución de las abundancias hacia la zona oceánica es una condición normal, y permitió dividir el área en un sistema costero (1-20 mn) y uno oceánico (40-100 mn). En el sector costero predominaron formas pequeñas en cadena, que responden al abastecimiento de nutrientes con altas tasas de crecimiento, y el oceánico (40-100 mn), estuvo caracterizado por la presencia de grandes especies del género *Chaetoceros* y *Rhizosolenia*, capaces de tolerar una mayor estabilidad en la columna y bajos niveles de nutrientes. En el sistema costero, además, se agruparon las áreas que habitualmente exhiben altas concentraciones celulares, como Arica (18°25'S) y Mejillones (23°00'S), sin embargo, el área costera cercana a Iquique (punta Gruesa (20°20'S)-punta Arenas (21°40'S)), que también cae dentro de esa categoría, se asoció a las estaciones oceánicas, debido a que en esta ocasión mostró bajas abundancias.

En el sector oceánico, se observaron núcleos de menor magnitud desde Antofagasta (23°00'S) al sur. Estos pueden ser producto de la advección que sufre el fitoplancton en las plumas de surgencia (Escribano e Hidalgo, 2000), o bien por su transporte costa afuera, asociado a la generación de remolinos de meso-escala (Hormazábal *et al.*, 2004). Interesante destacar en la misma zona, las abundancias detectadas a 20 m de profundidad, las cuales superaron las 100 cél/mL, lo cual pudo deberse a un desplazamiento del grupo hacia un estrato más profundo debido a la presencia en superficie de condiciones no adecuadas.

Por otra parte, el patrón de variación latitudinal en la abundancia de las especies es otra característica de la zona (Informes RECLAN 152). En la costa (1-10 mn) se detectaron proliferaciones mono-específicas de especies, generalmente de los géneros *Chaetoceros*, *Guinardia* y *Leptocylindrus*, que permitieron dividir la región en sectores, con localidades como Arica (18°25'S), punta Lobos (21°00'S) y Mejillones (23°00'S), exhibiendo las abundancias más importantes, mientras que desde Antofagasta (23°40'S) al sur, siempre se registra un conjunto de especies con abundancias similares. Este patrón fue el responsable de la distribución de los índices ecológicos, destacando la alta uniformidad asociada a las máximas abundancias y el incremento de la riqueza y la diversidad hacia la región oceánica.

Respecto de los flagelados, las especies identificadas con un predominio de los géneros *Ceratium* y *Protoperidinium* y sus niveles de abundancia son características de la zona (Herrera y Escribano, 2006). Si bien las concentraciones celulares fueron casi desestimables, el grupo se volvió



especialmente importante en la región oceánica, debido a que allí exhibió el mayor número de representantes. Este dominio oceánico ha sido explicado por la asociación de este grupo con el Agua Subtropical (AST) que predomina en esa región (Avaria *et al.*, 1982). Por otra parte, el aumento de la riqueza y de la diversidad también reveló la importancia cualitativa que adquirió el grupo más allá de las 40 mn, aunque también se incrementó la uniformidad debido a que la mayoría de las especies se encontró representada por un número similar de individuos.

En términos de abundancia de los flagelados, sólo destacó el dinoflagelado *Prorocentrum* sp., que generó un evento de discoloración o marea roja a 40 mn frente a punta Junín (19°40'S). La presencia de este dinoflagelado no es común en la zona, y se ha registrado en el sector Arica (18°25'S)-punta Madrid (19°00'S) asociado al AST y al desarrollo del evento El Niño 2015-2016.

Los valores de biomasa zooplanctónica se encontraron por sobre el promedio histórico (1991-2016) a partir del año 2006, alcanzando durante la prospección de 2016 el registro más alto de la serie de datos disponibles, producto de un incremento en la abundancia del zooplancton gelatinoso (salpas y sifonóforos), cuyas principales agregaciones se observaron en el sector oceánico (>40mn) al sur del paralelo 23°S, donde el índice de turbulencia (IT) y el índice de surgencia (IS) sugirieron un mayor transporte y exportación de clorofila. Adicionalmente, el análisis de las estructuras comunitarias por zonas consideró a salpas y doliolidos como parte de los organismos responsables de las diferencias observadas en todos los estratos considerados, detectándose una mayor abundancia de estos en la zona sur oceánica del área de estudio. Lo anterior coincide con lo señalado por Palma y Apablaza (2004), quienes han reportado las mayores abundancias de organismos gelatinosos (medusas, sifonóforos y ctenóforos) durante primavera-verano frente a la península de Mejillones, asociado a procesos de surgencia,

Durante la campaña 2016 se observó una menor participación de los copépodos junto a un incremento en larvas de eufausidos y larvas naupli. En el análisis de la estructura comunitaria del zooplancton por zonas mediante GLM, larvas de eufausidos y larvas naupli fueron los componentes que más aportaron a las diferencias observadas en todos los estratos considerados, siendo coherente en términos espaciales y temporales con la dinámica del zooplancton. Lo anterior se sustenta en que las mayores abundancias de dichos componentes habitualmente se encuentran asociadas a los núcleos costeros de producción primaria, originados principalmente en el periodo de primavera-verano, aspecto observado en este estudio, debido a que los núcleos de abundancia fitoplanctónica detectados en las zonas costeras norte y sur del área explorada, coincidieron con los de larvas de eufausidos y larvas naupli respectivamente. Adicionalmente, el aporte de las larvas de eufausidos en el análisis es coherente con lo descrito por Fernández *et al* (2002), quienes han señalado un efecto positivo del evento El Niño en los procesos reproductivos de eufausidos.

Durante el 2016, la distribución espacial de los mayores focos de abundancia de ictioplancton de anchoveta concordó con la distribución de los máximos de abundancia de copépodos y estadios tempranos de crustáceos (larvas de eufausidos y larvas naupli), los que se ubicaron principalmente



entre Arica y punta Gruesa (18,4°S-20,3°S). Lo anterior es consistente con la dieta de los adultos, juveniles y larvas de *Engraulis ringens*, los cuales se alimentan principalmente de copépodos (Espinoza y Blaskovic, 2000; Espinoza y Bertrand 2014, Medina *et al.* 2015) y estadios tempranos de copépodos (huevos y nauplis) y otros crustáceos en el caso de las larvas (De Mendiola 1974, Palomera 1991).

Adicionalmente, el modelo MaxEnt, señaló que las variables que contribuyen a determinar el hábitat potencial favorable para huevos de anchoveta durante esta prospección fueron en orden de importancia: larvas de eufáusidos, temperatura, fosfato y clorofila-a. En este sentido, las larvas de eufáusidos podrían establecer la relación trófica como potencial fuente de energía para estadios posteriores de anchoveta. Rojas *et al.* (2011) señalaron que la anchoveta se ha adaptado a los ecosistemas costeros de afloramiento del norte de Chile, aprovechando los altos niveles de fitoplancton, así como las características oceanográficas y topográficas favorables presentes en algunos sitios durante la fase activa de afloramiento para desovar en un hábitat altamente favorable, proporcionando alimentación, protección y crecimiento de larvas y post-larvas de especies pelágicas.

Por otra parte, similar a lo observado en el año 2015, el coeficiente no paramétrico de Tjøstheim, mostró una asociación negativa entre los huevos de anchoveta con la temperatura y salinidad en profundidades hasta los 20 metros. Lo anterior representa una relación espacial negativa entre la densidad de huevos y masa de agua subtropical (AST), la cual alteraría la distribución espacial del ictioplancton de anchoveta restringiendo su cobertura, acorde a lo reportado por Rojas *et al.* (2011) durante el desarrollo de un evento El Niño. En este sentido, las mayores abundancias de huevos y larvas de anchoveta que históricamente se han detectado frente a Arica (18°25') y punta Lobos (21°00'), en este último periodo de estudio sólo se registraron en Arica, encontrándose los huevos altamente agregados en esta área.

La restricción del hábitat de la anchoveta hacia la costa observada en los huevos y larvas durante los años 1998-1999 y 2015, se deberían al efecto de los eventos ENOS, ya que las anomalías positivas de temperatura conducen a las poblaciones de anchoveta a sectores más cercanos a la costa en busca de aguas más frías a las que se asocian (Swartzman *et al.* 2008), reduciendo su distribución y área de desove (Alheit y Ñiquen, 2004). De acuerdo a lo anterior, las expansiones del ecosistema de la anchoveta hacia el océano, observadas principalmente durante el 2004-2005 y 2009, podrían deberse a condiciones favorables para la propagación de esta especie desde la costa hacia el sector más oceánico (> a 40 mn), ya que se registraron en esos años temperaturas bajo el promedio en el sector oceánico.

En la base histórica de datos (1992-2016) los centros de gravedad y el índice de proximidad de los centroides de huevos de anchoveta, no presentaron cambios importantes, mostrando una distribución entre los 20 °S y 22 °S, con una distribución espacial que se superpone significativamente (0,8-0,9). Sin embargo, la excepción a esto es producida por los cambios observados principalmente durante los años 2007 y 2016, que tuvieron una posición más septentrional y baja dispersión. En el norte de



Chile, los desoves de anchoveta han sido asociados a bajas temperaturas del agua de mar, características de un evento de surgencia, los que predominan en el norte de Chile (Escribano *et al.*, 1996), característica que podría conducir los recurrentes desoves en el área de estudio.

La distribución de estadios tempranos de desarrollo de diversas especies se relaciona con aspectos biológicos en la reproducción de adultos, variabilidad espacial y temporal de los desoves debido a la selección de áreas abundantes de alimento y condiciones ambientales óptimas (Soto *et al.*, 2010), así como el transporte de huevos y larvas hacia un hábitat adecuado para su desarrollo. Vasquez *et al.* (2012) sugieren que el transporte y retención de larvas es controlado por mecanismos hidrográficos como las corrientes geostroficas. La variabilidad de estos mecanismos puede influir en la supervivencia de las larvas y, por tanto, en la fuerza de reclutamiento, lo que a su vez afecta al patrón espacial de los huevos.

En cuanto a la distribución vertical de los huevos de anchoveta, las mayores abundancias se encontraron dentro de los primeros 25 m de profundidad (0-25m), lo cual es coincidente con lo descrito para esta especie y otros clupeidos, donde se señala su ubicación principalmente entre los 0-30 m (Sameoto, 1982, Palomera, 1991). Las larvas presentaron una distribución más superficial, con las mayores abundancias entre los 0-10 m, lo cual estaría asociado a la mayor disponibilidad de alimento en las aguas superficiales; además de ubicarse por sobre la profundidad de la termoclina (Palomera 1991). La distribución vertical más amplia de los huevos en comparación a las larvas en la columna de agua, probablemente se deba a los cambios de boyantes de los huevos en los distintos estadios de desarrollo, mientras que las larvas, gracias a su capacidad natatoria, son capaces de desplazarse y ubicarse a profundidades específicas (Palomera 1991).

Similar a la distribución espacial observada en los huevos de anchoveta, la anchoveta adulta se presentó en sectores definidos y muy costeros, con una distribución espacial que se reportó entre Arica y Antofagasta, con dos núcleos principales. La primera zona (de mayor energía acústica) se emplazó dentro de las 5 primeras millas náuticas de la costa entre Arica e Iquique, ocupando un área de 695 mn<sup>2</sup>, el segundo foco se ubicó a la cuadra de Mejillones y abarcó una zona muy restringida. El índice de cobertura registrado durante esta prospección fue el segundo más bajo de la serie 1997-2016, mientras que la densidad de 565,7 t/mn<sup>2</sup> correspondió al registro mas alto del período analizado. Estos aspectos se encontrarían asociados a la permanencia de condiciones anómalas relacionada al evento EL Niño 2015/16.

En el análisis de los coeficientes se observó que la anchoveta presentó correlaciones moderadas con las variables ambientales consideradas, debido a que exhibió una de las coberturas espaciales más bajas en la serie de datos disponible (1997-2016). El análisis indicó que la salinidad y las diatomeas alcanzaron los índices más significativos, lo anterior debido a que la anchoveta se encontró en zonas con predominio de AESS, la cual juega un papel importante en la distribución de los recursos pelágicos.



La información temporal entregada por las estaciones costeras mensuales de Arica, Iquique y Mejillones, mostraron los efectos del evento cálido, los que fueron menos intensos a los reportados en el evento 1997-98 (Reyes y Pizarro 2010). En comparación con el evento cálido anterior, una vez finalizado el evento 1998-98, se registraron características de condiciones frías, lo que no fue observado en esta oportunidad. En este sentido, entre mayo-junio de 2016 la isoterma de 15°C volvió a ubicarse a la profundidad característica del periodo (<30 m) (Morales *et al.*, 1999), la salinidad descendió a valores cercanos a los reportados previo a la condición cálida 2015/2016 y la isolínea de 1 mL/L tuvo una ubicación típica cercana a la superficie, aunque variable (Reyes *et al.*, 2010). Por lo tanto, las distribuciones de las distintas variables físicas en las estaciones costeras de vigilancia de la zona norte en el segundo semestre 2016, y comienzos de 2017 presentaron condiciones dentro de lo observado con anterioridad al evento cálido 2015-16.

En base a la serie histórica, en el período cálido 2015-16 se profundizó la isoterma de 15°C (>30 m) y de la isolínea de 1 mL/L de OD (10-30 m), mientras que por otro lado, los valores de salinidad >35 no habían sido observados desde El Niño 1997-98 (Reyes y Pizarro 2010). Esta profundización de mayo-julio 2015, diciembre-febrero 2016, también se relacionó con el paso de ondas atrapadas a la costa más intensas. Además, el acople del esfuerzo del viento favorable a la surgencia y la disminución en magnitud de la ANM, favoreció los eventos de surgencia costera con agua de menor temperatura hacia superficie, atenuando las perturbaciones originadas por el evento cálido entre fines de primavera 2015 y verano 2016. El aporte de agua subsuperficial durante la surgencia fue más característico de agua de tipo Subantártica que Ecuatorial.

La distribución de clorofila-a en las estaciones costeras no mostró diferencias producto del evento cálido de El Niño 2015-16, a diferencia de lo reportado para este en 1997-98, cuando se observó una clara disminución del pigmento producto de esta alteración oceanográfica. Lo anterior indica que en 2015-16 el forzante local de la surgencia costera tuvo una mayor influencia en la proliferación fitoplanctónica, que los efectos Ecuatoriales. En 2016 la clorofila-a presentó máximos en otoño-invierno en Arica e Iquique, y en invierno en Mejillones, situación ya observada en años anteriores.

La serie satelital de clorofila-a, que tiene una menor duración que la serie de estaciones fijas, ha mostrado un cambio de régimen a fines de 2007, disminuyendo sus concentraciones desde ese año sin volver a mostrar los niveles alcanzados con anterioridad. En este sentido, el mínimo de la serie correspondió al 2009 y 2013, observándose con posterioridad a este último año un leve aumento en las concentraciones, pero sostenido en el tiempo. Estos resultados apoyan lo indicado anteriormente en el sentido de que el evento cálido 2015-16 no afectó la distribución pigmentaria de la zona norte de Chile.

En la zona ecuatorial, el evento 2015-16 fue menos intenso, aunque más extenso que El Niño 1997-98 (15 v/s 12 meses respectivamente), situación que también se observó en la zona norte de Chile. Aunque el Niño en la zona ecuatorial finalizó en abril de 2016, la zona oceánica del norte de Chile mantuvo temperaturas anormalmente altas, asociadas a la presencia de aguas de origen subtropical



hasta marzo de 2017. Sin embargo, al igual que en Perú, la temperatura de la banda costera estuvo modulada por la surgencia (Imarpe, 2016). Por lo tanto, tomando en cuenta todo lo anterior, podemos indicar que el evento El Niño 2015-16, tuvo un efecto moderado en la zona norte de Chile.

Las estaciones de vigilancia del sector sur, en Coliumo, al igual que las de la zona norte registraron el paso de dos ondas atrapadas a la costa durante el periodo cálido 2015-16 (Pizarro *et al.*, 1994). Las estaciones de vigilancia mensual de Coliumo (5, 12 y 18 mn) mostraron un aumento de 1° a 2°C en relación al promedio histórico de Sobarzo *et al.* (2007), como posible efecto de la parte final de El Niño 2015-16. La salinidad, si bien en términos generales mostró una disminución en los primeros meses, en relación al promedio histórico, los mínimos salinos estacionales (mayo-septiembre) superficiales alcanzaron valores mayores (hasta 0,9) (Sobarzo *et al.*, 2007), esto relacionado con las variaciones en los aportes de agua dulce provenientes de los ríos, situación propia de la zona.

Desde noviembre de 2016 hasta abril de 2017, nuevamente se observaron aumentos de temperatura entre 1° a 2°C, con máximos en diciembre de 2016. La salinidad, en cambio, en el mismo periodo (noviembre de 2016 hasta abril de 2017) no mostró grandes diferencias, fluctuando los valores en la vertical de todas las estaciones en torno a 34,4, valor inferior al promedio histórico

Este aumento de temperatura tiene, por una parte, origen en la intensidad de la surgencia, la que estacionalmente disminuye en los periodos de invierno en el área de estudio, debido a un aumento de los vientos del norte (Sobarzo *op. cit.*), mientras que en el verano 2016-17, ésta tuvo un carácter débil, por lo que las aguas de menor temperatura no habrían llegado hasta la superficie. Sumado a esto, y en un contexto más general, en el sector oceánico se ha detectado aumentos de temperatura, los que intermitentemente se han acercado a la costa, lo que también fue observado en la serie de ATSM satelital de la zona sur, dando cuenta de un aumento sostenido de la temperatura desde noviembre de 2016 hasta abril de 2017, principalmente en el sector oceánico, lo que está justificando que el aumento de temperatura en las estaciones de vigilancia está relacionado también a un proceso de mayor escala.

En relación a la señal anual de la abundancia media de zooplancton y de huevos de anchoveta observada en de las estaciones fijas, los valores máximos fueron registrados durante primavera-verano, acorde con los máximos estacionales de la surgencia descrita para la zona norte (Blanco *et al.*, 2001). En Coliumo se registró una sincronía entre la abundancia promedio de huevos y zooplancton desde marzo hasta octubre de 2016, la que no fue observada en los meses posteriores (noviembre a enero), sino que a partir de febrero de 2017 a la fecha.

En las estaciones de monitoreo de la zona norte, durante los periodos el Niño 1997-98 y 2015-16 en su fase de mayor intensidad, se observaron anomalías biológicas semejantes tales como: 1) pulsos de abundancia de huevos inusualmente altos hacia los meses de verano, posteriores al habitual periodo de máxima intensidad de desove descrito por Hernández-Santoro *et al.* (2013), 2) alteraciones en el patrón de distribución de huevos, debido al desplazamiento inusual de los núcleos de agregación hacia las estaciones ubicadas en el centro y sur del área de estudio, y 3) un alto grado de agregación



de los huevos en relación a las proporciones de referencia, ya que frecuentemente más del 80% de estos se obtuvieron en una sola estación. Los aspectos 1 y 3 fueron observados hasta marzo de 2017 indicando la permanencia de anomalías biológicas asociadas a EL Niño en el área de estudio.

En relación a las actividades asociadas a la estimación de la biomasa desovante de anchoveta del año 2016, los parámetros reproductivos de la anchoveta en la zona norte de Chile, entregaron evidencias de que el inicio del periodo de Máxima Intensidad de Desove (MID) durante este año se encontró acorde al patrón histórico, el cual se caracteriza por manifestarse entre mediados de julio y mediados de octubre (Hernández-Santoro *et al.* 2013). Los indicadores reproductivos obtenidos hasta la última semana de octubre de 2016, mostraron que el mayor desove de anchoveta se manifestó desde mediados y fines de julio (semanas 29 y 31) hasta mediados de octubre, visualizándose en este período la permanencia de índices reproductivos relativamente altos (IGS e IAD). El leve aumento del Índice de Atrésia Ovárica a mediados de octubre, evidenció los primeros indicios de una disminución en la intensidad de desove.

La temperatura a una profundidad promedio de 10 m utilizada en los cálculos de edad de los huevos, fue similar a la del crucero 2015 y se encontró por sobre las registradas en cruceros anteriores, exceptuando el correspondiente al año 1997 (El Niño). Por su parte, el área de desove estimada presentó el segundo valor más bajo de la serie de datos, con solo un 8% de las estaciones con registro positivo para huevos de anchoveta. La biomasa desovante se estimó en torno a las 462.000 mil t con un CV de 167%, la cual es similar a la obtenida en el año anterior. La precisión en las estimaciones de la biomasa desovante empleando esta metodología en general son bajas (Armstrong *et al.*, 1988; Claramunt *et al.*, 2007; Bernal *et al.*, 2012), y están determinadas básicamente por la precisión de la estimación de la producción diaria de huevos (CV = 45%) y la fracción desovante (11%). La producción diaria de huevos ha sido un parámetro que se ha caracterizado por presentar una alta incertidumbre en las aplicaciones del MPDH en la zona norte, lo que se debe a diversos factores que tienen relación con la cobertura geográfica de las estaciones positivas, el grado de contagio de la distribución espacial de huevos, la abundancia en la zona, número de cohortes diarias identificadas, entre otros.

La fracción desovante diaria de anchoveta estimada para el 2016 tuvo un alza respecto del 2014 y 2015, periodos donde se registraron las más bajas desde que se utiliza la escala de 7 estadios de FPO, la que puede ser explicada por el bajo tamaño y peso de las hembras. Es necesario señalar que los criterios de datación de los FPO cambiaron desde el año 2007 respecto de las evaluaciones anteriores, debido a los avances ya señalados en el proyecto FIP 2006-38 (Claramunt *et al.*, 2007), por lo que no se pueden realizar comparaciones válidas con estimaciones de años anteriores al 2007. Sin embargo, la nueva clasificación de los estadios para la estimación de fracción desovante (Núcleo migrante + Hidratadas y FPO I al IV) ha mostrado bastante consistencia entre ellos.

En la zona norte de Chile se encuentra una relación positiva entre el área de desove y la biomasa desovante estimada, mostrando sin embargo una mayor dispersión para la biomasa estimada a través



del modelo de Lo. Esta relación es también reportada por Somarakis *et al* (op cit). El año 2016 está dentro de la tendencia general descrita.

La producción diaria de huevos se encuentra inversamente relacionada al área de desove y mejor aún con la proporción que representa el área de desove respecto del área cubierta por el crucero. Estas relaciones implican un uso denso-dependiente del hábitat de desove por parte de la anchoveta, es decir, es probable que cuando la biomasa por unidad de área en la zona de desove excede cierto umbral, los peces tienden a dispersarse sobre una mayor área, para evitar interacciones intraespecíficas como competencia trófica y/o canibalismo de huevos (Somarakis *et al.*, 2004). Este proceso es el que probablemente explique el que la extensión de las áreas de desove (en términos de millas náuticas cuadradas) presente una estrecha relación con las capturas totales del año, la cual se mejora al considerar la proporción del área de desove respecto del área de crucero. Esta relación se explicaría por los cambios en las áreas de desove en función de la disponibilidad o abundancia de anchoveta en la zona norte, asumiendo que la captura total del año es un buen indicador de la abundancia/disponibilidad. Es decir, cuando la abundancia/disponibilidad es alta, la anchoveta tiende a desovar en una zona más amplia, pero con menor densidad, en comparación a años de menor abundancia/disponibilidad, lo que implica una utilización denso-dependiente del hábitat de desove por la anchoveta.

Existe una estrecha relación entre la producción diaria de huevos expandida al área de desove (Producto de Po y área de desove) y la biomasa estimada, tanto para el modelo de Lo como el Multinomial, lo que indica que las fluctuaciones en la biomasa son mayormente determinadas por la producción de huevos y en menor grado por los parámetros de adultos, que son comparativamente más estables interanualmente.

Resulta interesante el constatar que la magnitud de las capturas realizadas durante el primer semestre tendría un efecto negativo sobre la producción diaria de huevos estimada durante el pico de desove (agosto-septiembre), que aún cuando se observa con mayor fuerza para los resultados provenientes del Modelo de Lo, en el Multinomial también se aprecia. La explicación a este efecto estaría en el hecho que la biomasa removida durante el primer semestre significa una merma en la biomasa que desova al momento del crucero de evaluación (pico de desove). Esto podría tener implicaciones importantes para la administración pesquera del recurso y por tanto merece una mayor atención.

Preocupante es la disminución persistente de las tallas, proceso para el cual no se tiene una explicación hasta el momento. Sin embargo, existen evidencias de que esta disminución de los tamaños va acompañada también de una disminución en la talla de madurez sexual, ya que se observa en los últimos tres años (2013 - 2015), la presencia de ejemplares de pequeño tamaño, menores a los 12 cm de LT participando del proceso reproductivo. Esto queda en evidencia al estimar la proporción de hembras con FPO por intervalo de talla para cada año, observándose que entre 1995 y 2013 la mayor presencia de FPO se encuentra entre los 12 y 18 cm de LT. A partir del 2014 la presencia de FPO se traslada hacia tallas menores, alcanzando en el 2016 un 30% de FPO por debajo de los 12



cm. Misma situación ocurre con las hembras en Núcleo Migrante e Hidratadas. Al calcular el porcentaje de FPO en tallas igual o menores a los 12 cm, se observa un ascenso brusco en los últimos años. Lamentablemente no podemos estimar una ojiva de madurez debido a que en el crucero de MPH no se recolectan hembras virginales.



## IX. CONCLUSIONES

---

1. El crucero de primavera 2016 se efectuó durante condiciones ecuatoriales de transición de neutras a frías, pero con condiciones locales cálidas, salinas, con mayor abundancia de organismos gelatinosos y la aparición de *Prorocentrum* sp. asociadas a la presencia anómala de AST en la zona, debido al Niño 2015/16 que persistió a lo largo de la costa sudamericana.
2. La surgencia costera tuvo un efecto atenuador de las condiciones cálidas provocadas por El Niño debido a que los vientos favorables a la surgencia fueron mayores a los de un año normal generando que los valores observados en los nutrientes y el fitoplancton (composición y abundancia), se encontraran dentro de los rangos típicos del sector costero en área y periodo de estudio.
3. Se registró una mayor presencia de ASAA respecto de la primavera de 2015 en la columna de agua y en los afloramientos costeros ocurridos entre Arica y caleta Vitor, al sur de caleta punta Plata. Se observó afloramiento de AESS al norte de Pisagua, punta Arenas-Tocopilla y desde punta Amarilla a punta Colorada.
4. Las abundancias de diatomeas y flagelados estuvieron asociadas a mayores concentraciones de nitrato y fosfato, respectivamente. Las formas flageladas del fitoplancton fueron más frecuentes en el sector oceánico, destacándose la generación de un evento de marea roja por *Prorocentrum* sp, frente a punta Junín (19°40'S). El sistema costero estuvo caracterizado por abundancias significativas de diatomeas formadoras de cadena y de carácter monoespecífico.
5. El área ocupada por la anchoveta y su ictioplancton se presentó restringida a zonas específicas de la franja costera, en consecuencia, tanto en el índice de la cobertura espacial de la anchoveta y en su área de desove se obtuvo el segundo valor más bajo de la serie de datos disponibles. Por el contrario, la anchoveta mostro una densidad de 565,7 t/mn<sup>2</sup>, siendo la mayor del período analizado.
6. La anchoveta mostró un rango de preferencia de temperatura entre 16° y 17°C, mientras que de salinidad fue entre 34,7-34,89, similar al observado en los huevos de anchoveta (16° y 17°C 34,7-34,89). Sin embargo, la anchoveta presentó una mejor asociación espacial en sus larvas.
7. En los últimos cinco años (2012-2016), los huevos de anchoveta se concentraron preferentemente al norte del paralelo 21°S. Durante la prospección año 2016 estos se concentraron en las inmediaciones de Arica, donde fueron asociados a mayores abundancias de larvas de eufausidos y una mayor concentración de fosfatos, a la vez que presentaron una relación inversa con la temperatura y la salinidad, características de la masa de agua subtropical, aspecto que también fue observado en la prospección 2015.



8. En septiembre de 2016 y febrero de 2017, se observaron pulsos inusuales de abundancia de huevos en la estación de monitoreo de Arica, evidenciando la permanencia de anomalías biológicas, en el área de estudio.
9. Durante la ejecución del crucero de huevos y de la toma de datos para ejemplares adultos, la anchoveta se encontró en desarrollo del proceso reproductivo, periodo en que se visualizó el incremento de la actividad ovárica y la máxima intensidad de desove.
10. Desde la prospección del año 2013 se ha observado una disminución en la talla de madurez sexual lo que ha determinado que ejemplares menores a los 12 cm de LT se encuentren participando en el proceso reproductivo. El peso promedio de las hembras registrado durante el 2016 fue el más bajo de la serie histórica, y su distribución de tallas presento una moda cercana a los 12 cm de LT.
11. La producción diaria de huevos se mantuvo en valores similares a los del año 2015 con un incremento del 6% en la biomasa estimada para el stock desovante de anchoveta por el modelo tradicional de Lo y una disminución de un 35% en la estimación derivada del Modelo Multinomial.



## X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- Arcos, J. C., Bryant, G. M., Venkatesan, N., & Argus, M. F. (1975). Repression of dimethylnitrosamine-demethylase by typical inducers of microsomal mixed-function oxidases. *Biochemical pharmacology*, 24(16), 1544-1547.
- Aguilera, A. 2001. Cuadernos de Estadística. Tablas de Contingencia Bidimensionales. Edit La Muralla, Madrid, España. 212 pág.
- Alday, A; A. Uriarte; M. Santos; I. Martín; A. Martinez and L. Motos. 2008. Degeneration of postovulatory follicles of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.). *Scientia marina* 72(3): 565-575.
- Alheit, J., & Niquen, M. (2004). Regime shifts in the Humboldt Current ecosystem. *Progress in Oceanography*, 60(2), 201-222.
- Alvial, A., & Avaria, S. (1981). Proliferación de primavera del fitoplancton en la bahía de Valparaíso. I. Condiciones meteorológicas y oceanográficas. *Revista de Biología Marina*, 17(2), 197-227.
- Armstrong, M.J., Shelton, P.A., Hampton, I., Jolly, G., Melo, Y.C. 1988. Egg production estimates of anchovy biomass in the southern Benguela system. Rep. Clif. Coop. Oceanic Fish. Invest. 29, 137-157.
- Avaria S, P Muñoz y E Uribe. 1982. Composición y biomasa del fitoplancton marino del norte de Chile en diciembre de 1980 (Operación Oceanográfica MARCHILE XI- ERFEN II). *Cienc. y Tec. del Mar, CONA* 6:5-36.
- Ayón, P., Swartzman, G., Espinoza, P., & Bertrand, A. (2011). Long-term changes in zooplankton size distribution in the Peruvian Humboldt Current System: conditions favouring sardine or anchovy. *Marine Ecology Progress Series*, 422, 211-222.
- Ayón, P., G. Swartzman, A. Bertrand, M. Gutiérrez & S. Bertrand. 2008. Zooplankton and forage fish species off Peru: large-scale bottom-up forcing and local scale Perú depletion. *Prog. Oceanogr.*, 79: 208-21
- Bakun, A. 1987. Monthly variability in the ocean habitat off Perú as deduced from maritime observations, 1953 to 1984. In: *The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem: three decades of changes*. D. Pauly y I. Tsukayama (Eds.) ICLARM Studies and Reviews 15: 46-74.
- Bakun A. & R. Parrish. 1982. Turbulence, transport, and pelagic fish in the California and Peru Current System. *CalCOFI. Rep.* 23, 99-112.



- Bakun, A. 1975. Daily and weekly upwelling indices, West Coast of North America, 1967 – 1973. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 693, 113 pp.
- Bakun, A. 1973. Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America, 1946 – 1971. U.S. Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS-SSRF 671, 103 pp.
- Bendschneider, K., & Robinson, R. J. (1952). A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water.
- Bernal, M., Somarakis, S., Witthames, P.R., van Damme, C.J.G., Uriarte, A., Lo, N.C.H., Dickey-Collas, M. 2012. Egg production methods in marine fisheries: An introduction. *Fisheries Research* 117-118: 1-5.
- Bernal, M., Stratoudakis, Y., Coombs, S., Angelico, M., Lago de Lanzos, A., Porteiro, C., Sagarminaga, Y., Santos, M., Uriarte, A., Cunha, E., Valdes, L. and Borchers, D. 2007b. Sardine spawning of the European Atlantic coast: Characterization of and spatio-temporal variability in spawning habitat. *Progress in Oceanography*, 74: 210-227.
- Bernal, M., Ibaibarriaga, L., Lago de Lanzos, A., Lonergan, M., Hernandez, C., Franco, C., Rasines, I., Valdes, L. and Borchers, D. 2007b. Using multinomial models to analyze data from sardine egg incubation experiments; a review of advances in fish egg incubation analysis techniques. *ICES Journal of Marine Science* (advance access). doi:10.1093/icesjms/fsm164
- Bernal, M., Borchers, D.L., Valdéz, L., Lanzós, A.L., Buckland, S.T. 2001. A new ageing method for eggs of fish species with daily spawning synchronicity. *Can. J. Fish and Aquat. Sci.* 58:2330-2340.
- Bernal, P., F. Robles & O. Rojas. 1983. Variabilidad Física y Biológica en la región Meridional del Sistema de Corrientes Chile-Perú. *Monografías Biológicas* 2: 75-102.
- Bernal, R. & Balbontín, F. (1999). Ictioplancton de los fiordos entre el Golfo de Penas y Estrecho de Magallanes y factores ambientales asociados. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 22, 143-154.
- Bez, N. 1997. Statistiques individuelles et géostatistique transitive en écologie halieutique. Thèse de Docteur en Géostatistique, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, France. 276 pp.
- Bez, N., and Rivoirard, J. 2000. Indices of collocation between populations. In Report of a Workshop on the Use of Continuous Underway Fish Egg Sampler (CUFES) for Mapping Spawning Habitat of Pelagic Fish, pp. 48–52. Ed. by D. M. Checkley, J. R. Hunter, L. Motos, and C. D. von der Lingen. GLOBEC Report, 14.



- Blanco, J.L. 1996. Variabilidad térmica y salina en la zona norte de Chile. Informe Interno. Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, Chile.
- Blanco-Moreno J. M., L. Chamorro, F. X. Sanz. 2005. Spatial and temporal patterns of *Lolium rigidum*-*Avena sterellis* mixed populations in a cereal field. *Weed Research* 46: 207-218.
- Blanco, J.L., M. Carr, A. Thomas & P. Strub. 2002. Hydrographic conditions off northern Chile during the 1996-1998 La Niña and El Niño events. *Journal of Geophysical Research. J. Geophys Res.*, 107(C3):1-9.
- Blanco J. L., A. C. Thomas, M. E. Carr & P. T. Strub. 2001. Seasonal climatology of hydrographic conditions in the upwelling region off northern Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 106: 11.451-11.467.
- Blanco, J.L. 1996. Variabilidad térmica y salina en la zona norte de Chile. Informe interno. Inst. Fom. Pesq. Valparaíso, Chile.
- Boltovskoy, E. (1990). Late Pleistocene-Holocene planktic foraminifera of the western equatorial Pacific. *Boreas*, 19(2), 119-125
- Borrego, R. y J.F. Lavado, 2016. Influencia del cambio climático en la distribución de los Cervunales de la península ibérica. En libro: *Tecnologías de la información geográfica en el análisis espacial. Aplicaciones en los Sectores Público, Empresarial y Universitario.*, Edition: Grupo de Investigación en Desarrollo Sostenible y Planificación Territorial de la Universidad de Extremadura, Grupo de Investigación Geo-Ambiental de la Universidad de Extremadura, Editors: Nieto Masot, 11-32 pp.
- Bougis, P. (1974). *Ecologie du plancton marin* (No. 504.42 BOU).
- Braun, M., H. Reyes, E. Pizarro, J. Castillo, J. Saavedra, V. Catasti y V. Valenzuela. 2005. Monitoreo de las condiciones bioceanográficas en las Regiones I y IV, año 2004. Informe Final. Proyecto Fip N° 2004 pp +Figuras.
- Cahuin, S. M., Cubillos, L. A., Niquen, M., & Escribano, R. (2009). Climatic regimes and the recruitment rate of anchoveta, *Engraulis ringens*, off Peru. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84(4), 591-597
- Cañón, J.R. 1986. Variabilidad ambiental en relación con la pesquería nerítica pelágica de la zona norte de Chile. *La Pesca en Chile*, P. Arana (Ed.), Escuela de Ciencias del Mar, Universidad Católica de Valparaíso, 195-205 pp.
- Carpenter, J.H. 1965. The Chesapeake Bay Institute Technique for the Winkler dissolved oxygen method. *Limnol. and Oceanogr.*, 10:141-143.



- Castillo J. y H. Robotham. 2004. Spatial structure and geometry of schools of sardine (*Sardinops sagax*) in relation to abundance, fishing effort, and catch in northern Chile. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 1113-1119.
- Castillo, J. & O. Guzmán. 1985. Variaciones de la distribución espacial de la sardina española y jurel durante El Niño 1982-83. *Inv. Pes. (Chile)* 32: 79-93.
- Castillo, J., M. Barbieri, A. Paillaman, U. Parker, J. L. Blanco, M. Braun, H. Reyes & J. Osses. 1995. Evaluación directa del stock de sardina española, anchoveta y jurel (Regiones I a IV). Informe final proyecto al FIPA, Instituto de Fomento Pesquero, 109 pp. + Anexos.
- Cerna, F. & G. Plaza. 2016. Daily growth patterns of juveniles and adults of the Peruvian anchovy (*Engraulis ringens*) in northern Chile. *Mar. Fresh. Res.*, 67: 899-912.
- Contreras-Reyes, J. E. (2016). Analyzing fish condition factor index through skew-gaussian information theory quantifiers. *Fluctuation and Noise Letters*, 15(02), 1650013.
- Chavez, F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E., & Ñiquen, M. (2003). From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *science*, 299(5604), 217-221.
- Chavez, F. P., Ryan, J., Lluch-Cota, S. E., & Ñiquen, M. (2003). From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *science*, 299(5604), 217-221
- Chester R. 1996. *Marine Geochemistry*. Chapman & Hall, London. 698 pp.
- Cifuentes. U., H. Reyes y C. Grendi. 2015. Condiciones oceanográficas. EN INFORME FINAL Convenio Desempeño 2014 Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2014. SUBSECRETARÍA ECONOMÍA Y EMT / Junio-2015
- Claramunt G., L. Cubillos, L. Castro, C. Hernández & M. Arteaga. 2014. Variation in the spawning periods of *Engraulis ringens* and *Strangomera bentincki* off the coasts of Chile: A quantitative analysis. *Fisheries Research* 160: 96–102.
- Claramunt, G., Castro, L., Cubillos, L., Hirche, JJ, Perez, G and Braun, M. 2012. Inter-annual reproductive trait variation and spawning habitat preferences of *Engraulis ringens* off northern Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 47(2): 227-243.
- Claramunt G., R. Serra, L.R. Castro & L. Cubillos. 2007. Is the spawning frequency dependent on female size? Empirical evidence in *Sardinops sagax* and *Engraulis ringens* off northern Chile. *Fisheries Research* 85: 248-257.



- Claramunt, G., L. Cubillos, M. Braun, R. Serra, M. Canales, J. Sanchez, A. Flores, P. Moreno, K. Riquelme, C. Castillo & C. Valero. 2007. Mejoramiento del método de producción diaria de huevos aplicado en peces pelágicos pequeños. Informe final FIP 2006-38.
- Claramunt, G., G. Herrera, J. Pizarro, P. Pizarro, R. Escribano, M. Oliva, A. Olivares, C. Guerra & A. Zuleta. 1996. Evaluación del stock desovante de anchoveta por el "Método de Producción de Huevos en la I y II Regiones. Informe Final, Proyecto FIP 95-01. Fondo de Investigación Pesquera. Universidad "Arturo Prat" Iquique. 49 p + anexo.
- Claramunt, G., G. Herrera & P. Pizarro. 1994. Producción potencial anual de huevos por tallas de *Sardinops sagax* (Jenyns, 1842) del norte de Chile. *Rev. Biol. Mar.* 29(2): 211-233.
- Clifford P., S. Richardson, D. Hémon. 1989. Assessing the significance of the correlation between two spatial processes. *Biometrics* 45: 123-134.
- Cochran, J. R. (1977). Free-air gravity anomalies in the world's oceans and their relationship to residual elevation. *Geophysical Journal International*, 50(3), 495-552.
- Contreras, J., M. Canalles y P. Rojas. 2016. Influence of climate variability on anchovy reproductive timing off northern Chile. *Journal of Marine Systems* 164:67-75
- Cubillos, L., Castro, L., Oyarzún, C. 2005. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2004. Informe Final FIP 2004-03.
- Córdova, J., M. A. Barbieri y M. Espejo, 2004. Evaluación Hidroacústica de jurel. En: Evaluación hidroacústica de jurel en la ZEE, año 2004. Instituto de Fomento Pesquero, Santiago, Chile.
- Cubillos, L., D. Arcos, D. Bucarey & M. Canales. 2001. Seasonal growth of small pelagic fish off Talcahuano (37°S-73°W), Chile: a consequence of their reproductive strategy to seasonal upwelling?. *Aquatic Living Resources* 14(2): 115-124.
- Cubillos, L. y H. Arancibia. 1993. On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. *Rev. Biol. Mar.*, 28(1): 43-49.
- De Mendiola, B. R. (1974). Food of the Larval Anchoveta *Engraulis ringens* J. In *The Early life history of fish: the proceedings of an international symposium held at the Dunstaffnage Marine Research*
- Díaz, E., M. G. Bohm, C. Hernández & C. Bernal. 2013. Determinación del periodo reproductivo y máxima intensidad de desove (MID) de la anchoveta en la Zona Norte. Convenio "Asesoría Integral para la Pesca y Acuicultura, 2013. Proyecto 1.10. Programa de



Seguimiento de las Pesquerías Pelágicas Zona Norte 2013. Informe Coyuntural.  
SUBSECRETARIA DE ECONOMIA.

- Dobson, A. 2002. "An Introduction to generalized Linear Models 2nd Edition" Chapman y Hall, London.
- Eastman, J. R., 2003. IDRISI Kilimanjaro. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University. Worcester, Massachussets. 01610. USA. 396 pp.
- Escribano R, Fernández M & Aranís A. 2003. Physical-chemical processes and patterns of diversity of the Chilean eastern boundary pelagic and benthic marine ecosystems: an overview. *Gayana* 67, 190–205.
- Escribano R and P.Hidalgo. 2000. Spatial distribution of copepods during coastal upwelling in a northern area of the Eastern Boundary Humboldt Current. *J. Mar. Biol. Ass. UK* 80:283–290.
- Escribano, R. y P. Hidalgo. 2001. Circulación inducida por el viento en Bahía Antofagasta, norte de Chile (23°S). *Rev. Biol. Mar.*, 36(1): 43-60.
- Escribano R., R. Venegas, J. Pizarro y G. Claramunt. 1996. Temperature-dependent development rate of eggs of the anchoveta *Engraulis ringens* from northern Chile. *Estudios Oceanológicos* 15: 39-46
- Espíndola, F., J Angulo, A Bustamante. 2017. Detectando cambios de régimen en el Sistema de Corrientes de Humboldt: Implicancias para el manejo pesquero de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el norte de Chile. . En libro de resúmenes XXXVII congreso de ciencias del mar. Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Espino, M y C. Yamashiro. 2012. La variabilidad climática y las pesquerías en el Pacífico suroriental. En *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 40(3): 705-721, 2012 705. International Conference: "Environment and Resources of the South Pacific". P.M. Arana (Guest Editor).
- Espinoza, P., & Bertrand, A. (2014). Ontogenetic and spatiotemporal variability in anchoveta *Engraulis ringens* diet off Peru. *Journal of fish biology*, 84(2), 422-435.
- Espinoza, P., & Blaskovic, V. (2000). Cambios en la dieta de la anchoveta *Engraulis ringens* y su influencia en la dinámica de alimentación
- Farías L, A Paulmier & M Gallegos. 2007. Nitrous oxide and N-nutrient cycling in the oxygen minimum zone off northern Chile. *Deep-Sea Res. I*, 54: 164-180.



- Fernández, D., R. Escribano & P. Hidalgo. 2002. Distribución de eufáusidos en el sistema de surgencia frente a la península de Mejillones (23 S) asociada a condiciones previas y durante El Niño 1997-98. *Investigaciones marinas*, 30(1), 25-43.
- Fonseca, T. R. y M. Farías. 1987. Estudio del proceso de surgencia en la costa chilena utilizando percepción. *Investigaciones Pesqueras*, 34, 33-46.
- Fréon, P., Cury, P., Shannon, L., & Roy, C. (2005). Sustainable exploitation of small pelagic fish stocks challenged by environmental and ecosystem changes: a review. *Bulletin of Marine Science*, 76(2), 385-462.
- Frontier, S. 1966. Zooplacton de la región de Nosy-Be I. Programa des recortes et techniques d' etude. II) Plancton de Surface aux stations 5 et 10. *Cah Orstom (océanogra.)*, 4(3): 3-37.
- Frontier, S. 1980. Métodos de análisis rápido en muestras pláncctónicas. *Acta Oceanografica Pacífico*, 1(1): 137 – 145.66. Zooplacton de la región de Nosy-Be I) Programa des recortes et techniques d'etude II) Placton de Surface aux strations 5 et 10 *Cah Orstom (oceanogra.)*, 4(3): 3-37.
- García, 1993. Fluctuaciones ambientales y su relación con pesquerías pelágicas del Pacífico suroriental. Tesis para optar al título de Ingeniero Pesquero. Esc. Cs. Del Mar. Valparaíso 104 pp.
- Grasshoff, K. 1964. On the determination of silica in sea water. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* 11(4): 597-604.
- Grendi, C., U. Cifuentes y M. Pizarro. 2016. Condiciones oceanográficas. En INFORME FINAL Convenio Desempeño 2015 Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2015. SUBSECRETARÍA ECONOMÍA Y EMT / Diciembre-2015.
- González, H., M. Sobarzo, D. Figueroa y M. Nothig. 2000. Composition, biomass and potential grazing impact of the crustacean and pelagic tunicates in the northern Humboldt Current area off Chile: differences between El Niño and non-El Niño years. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 195: 201–220.
- Goovaerts P.. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, Oxford, 1997.
- 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.
- Hastie, T. y R. Tibshirani, 1990. *Generalized Aditive Models*. London. Chap. and Hall.



- Herrera L and R Escribano. 2006. Factors structuring the phytoplankton community in the upwelling site off El Loa River in northern Chile. *J. Mar. Syst.*, 61:13–38.
- Herrera L & R Escribano. 2006. Factors structuring the phytoplankton community in the upwelling site off El Loa River in northern Chile. *J. Marine Syst.*, 61:13–38.
- Hernández-Santoro, C., Pérez-Mora, G., Díaz-Ramos, E., & Böhm-Stoffel, G. 2013. Análisis de indicadores macro y microscópicos para establecer el periodo de máxima intensidad de desove de la anchoveta *Engraulis ringens* en la zona norte de Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(3), 451-457.
- Hernroth, L. (1987). Sampling and filtration efficiency of two commonly used plankton nets. A comparative study of the Nansen net and the Unesco WP 2 net. *Journal of plankton research*, 9(4), 719-728.
- Hormazabal S, G Shaffer and O Leth. 2004. The coastal transition zone off Chile, *J. Geophys. Res.*, 109, C01021, doi: 10.1029/2003JC001956.
- Hunter, J.R., N. Lo and R. Leong. 1985. Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern Anchovy, *Engraulis mordax*. R. Lasker (Ed), NOAA-NMFS, Tech. Rep., 36: 67-77.
- Hunter J. R. & S.R. Goldberg. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish Bull.*, U.S. 77:641-652.
- Ibaibarriaga, L.; M. Bernal; L. Motos; A. Uriarte; D. Borchers; M. Lonergan and S. Wood. 2007. Characterization of stage-classified biological processes using multinomial models: a case study of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) eggs in the Bay of Biscay. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Vol. 64, Nº 3 , pp. 539-553.
- IMARPE. 2016. Boletín semanal Oceanográfico y Biológico-Pesquero.  
[http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/ultimo\\_archivo.php?id\\_seccion=boletin\\_semanal\\_oceanografico\\_biologico\\_pesquero](http://www.imarpe.gob.pe/imarpe/ultimo_archivo.php?id_seccion=boletin_semanal_oceanografico_biologico_pesquero).
- IOC, SCOR and IAPSO, 2010: The international thermodynamic equation of seawater - 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides No. 56, UNESCO (English), 196 pp. Available from [the TEOS-10 web site \(http://www.teos-10.org/\)](http://www.teos-10.org/).
- Jeffrey, S.W., R.F.C. Mantoura y S.W. Wright. 1997. Phytoplankton pigments in oceanography: methods. Monographs on Oceanographic Methodology. SCOR and UNESCO.



Laboratory of the Scottish Marine Biological Association at Oban, Scotland, from May 17-23, 1973 (Vol. 1, p. 277). Springer.

Letelier, J., L. Soto-Mardones, S. Salinas, L. Vincenti, R. Pavez, y M. Arriagada. (2012). Influencia de la península de Mejillones en la variabilidad oceanográfica anual e interanual frente al norte de Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*, 47(3), 513-526.

<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572012000300013>

Libes SM. 1992. An Introduction to Marine Biogeochemistry. Wiley & Sons Inc. 733 pp.

Lo, N. 1985. A model for temperature – dependent northern anchovy egg development an automatic procedure for the assignment of egg to staged eggs. NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 43 – 50.

Lohrenz, S.E., D. Wiesenburg, I.P.D.E. Palma, K.S. Jhonson y D.E. Gustafson. 1988. Interrelationships among primary production, chlorophyll, and environmental conditions in frontal regions of the western Mediterranean Sea. *Deep Sea Res. Part A, Oceanog.*, 5(35):793-810

Lowerre-Barbieri S.K. 2009. Reproduction in relation to conservation and exploitation of marine fishes. Pages 371–394 in B. G. M. Jamieson, editor. *Reproductive biology and phylogeny of Fishes (Agnathans and bony fishes)*, Vol. 8B. Science Publishers. Enfield, New Hampshire.

Lowerre-Barbieri S.K., K. Ganas, F. Saborido-Rey, H. Murua & J.R. Hunter. 2011. Reproductive Timing in Marine Fishes: Variability, Temporal Scales, and Methods. *Mar. Coast. Fish.* 3:71-91.

Lluch-Belda, D., Laurs, R. M., Lluch-Cota, D. B., & Lluch-Cota, S. E. (2001). Long-term trends of interannual variability in the California Current System. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 129-144.

Lluch-Belda, D., Lluch-Cota, D. B., & Lluch-Cota, S. E. (2003). Baja California's biological transition zones: refuges for the California sardine. *Journal of Oceanography*, 59(4), 503-513.

McDougall, T.J., D.R. Jackett, D.G. Wright and R. Feistel, 2003. Accurate and computationally efficient algorithms for potential temperature and density of seawater. *J. Atmosph. Ocean. Tech.*, 20, pp. 730-741.

Macewicz, B.J. and J.R.Hunter, 1993. Spawning frequency and fecundity of Jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. *Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep.* 34: 112-121.



- Mamayev, O.I. 1975. Water masses of the south East Pacific Ocean. En: R. Fraser, (ed.). Oceanography of the South Pacific 1972. Papers presented at the International Symposium on the Oceanography of the South Pacific, Wellington, New Zealand, 9-12 February 1972. Wellington, New Zealand National Commission for UNESCO, pp. 71-99.
- Matheron C.. Les Variables Régionalisées et leur Estimation. Masson, Paris, 1965.
- Margalef, R. (1958). Algunos crustaceos de las aguas continentales de Espana y norte de Africa. *Miscel·lània Zoològica*, 1(1), 51-60.
- Massé, J. (1996). Acoustic observations in the Bay of Biscay: schooling, vertical distribution, species assemblages and behaviour. *Scientia Marina*, 60(Suppl. 2), 227-234.
- Millero, F. & A. Poisson. 1981. International one atmosphere equation of state of seawater. *Deep Sea Res.*, 28A:625-629.
- Medina, M., Herrera, L., Castillo, J., Jaque, J., & Pizarro, N. (2015). Alimentación de la anchoveta (*Engraulis ringens*) en el norte de Chile (18° 25'-25° 40'S) en diciembre de 2010. *Latin american journal of aquatic research*, 43(1), 46-58.
- Molina V, L Fariás, Y Eissler, LA Cuevas, CE Morales & R Escribano. 2005. Ammonium cycling under a strong oxygen gradient associated with the Oxygen Minimum Zone off northern Chile (~23° S). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 288: 35-43.
- Montecino V, PT Strub, F Chavez, A Thomas, J Tarazona & T Baumgartner. 2005. Bio-physical interactions off Western South-America. In: A.R. Robinson & K.H. Brink (eds.). *The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses*. The Sea. Harvard Press. 14:329-390.
- Montecinos A., O. Leth and O. Pizarro, 2007: Wind-driven interdecadal variability in the eastern South Pacific. *Journal of Geophysical Research*, 112, C04019, doi:10.1029/2006JC003571.
- Morales, C., S. Hormazábal & J.L. Blanco. 1999. Interannual variability in the mesoscale distribution of the depth of the upper boundary of the oxygen minimum layer off northern Chile (18-24°S): Implications for the pelagic system and biogeochemical cycling. *Journal of Marine Research* 57:909-932.
- Morales C. E., J. L. Blanco, M. Braun, H. Reyes and A. G. Davies. 1996. Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: The effect of low dissolved oxygen concentrations and of a cold-warm sequece (1990-1995). *Invest. Pesq.*, Valparaíso: 24, 77-96.
- Mullin, J. B., & J. P. Riley. 1955. The colorimetric determination of silicate with special reference to sea and natural waters. *Anal. Chim. Acta.*, 12: 162-176.



Murphy, J. A. M. E. S., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica acta*, 27, 31-36.

Morris W. & J. P. Riley, 1963. The determination of nitrate in sea-water. *Analytica chim. acta*, Vol. 29, pp. 272—279.

Newell, P. C., & Tucker, R. G. (1966). The control mechanism of thiamine biosynthesis. A model for the study of control of converging pathways. *Biochemical Journal*, 100(2), 517. NOAA. 2017. El Niño/Oscilación del Sur (ENSO). Recent evolution. Current Status and Predictions. 9 de febrero de 2017.

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)

NOAA. 2016b. El Niño/Oscilación del Sur (ENSO). Recent evolution. Current Status and Predictions. 10 de Noviembre de 2016.

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)

NOAA. 2016. El Niño/Oscilación del Sur (ENSO). Discusión Diagnóstica, 10 de noviembre de 2016.

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/enso\\_advisory/ensodisc\\_Sp.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc_Sp.shtml)

NODC. 1991. Key to Oceanographic Record Documentation N°14. National oceanographic data Center. NOAA. USA.

Ñiquen, M., & Bouchon, M. (2004). Impact of El Niño events on pelagic fisheries in Peruvian waters. *Deep sea research part II: topical studies in oceanography*, 51(6), 563-574.

Ñiquen, M., Bouchon, M., Cahuin, S., & Valdez, J. (1999). Efectos del Fenómeno "El Niño 1997-98" sobre los principales recursos pelágicos en la costa Peruana. *Revista Peruana de Biología*, 6(3), 085-096.

Oliva, J., J. Barañados, Y M. Tirado. 1989. Determinación de la fecundidad y frecuencia del desove de la sardina (*Sardinops sagax*), 1986. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). Rev. Pacífico Sur (Número especial): 341-348.

Oliva, E. (2005). Zooplancton y su relación con eventos El Niño en la zona norte de Chile. Palma González, S., & Kaiser Contreras, K. (1993). Plancton marino de aguas chilenas. *Colección*.

Olivares J. 1989. Aspectos Hidrográficos de la bahía de Coquimbo. *Biología Pesquera*, 18: 97-108.



- Palma S. & P. Apablaza. 2004. Abundancia estacional y distribución vertical del zooplancton gelatinoso carnívoro en una área de surgencia en el norte del Sistema de la Corriente de Humboldt. *Investigaciones marinas*, 32(1), 49-70.
- Palma, S., & Kaiser, K. (1993). Plancton marino de aguas chilenas. Ediciones Universitarias de Valparaíso, Valparaíso.
- Palomera, I. (1991). Vertical distribution of eggs and larvae of *Engraulis encrasicolus* in stratified waters of the western Mediterranean. *Marine Biology*, 111(1), 37-44.
- Parsons TR, Y Maita & CM Lalli. 1984. A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. 173 pp.
- Parker k. 1980. A direct method for estimating northern anchovy, *Engraulis mordax*, spawning biomass. *Fish. Bull.*, u.s. 78: 541-544.
- Parrish, R., Bakum, D. Husby & C. Nelson. 1983. Comparative climatology of selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish reproduction. *FAO Fishery Report* 291 (3): 731-778.
- Pepin, P. 1991. Effect of temperature and size on development, mortality and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 48:503-518.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., Schapire, R.E., 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Model.* 190, 231e259.
- Phillips, S. J. (2008). Transferability, sample selection bias and background data in presence-only modelling: a response to Peterson et al.(2007). *Ecography*, 31(2), 272-278.
- Picquelle, S.J. and G. Stauffer. 1985. Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assesment. In: R. Lasker (ed.), *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, Engraulis mordax*. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 7-15.
- Pizarro, O., Hormazabal, S., S., Gonzalez, A., & Yañez, E. (1994). Variabilidad del viento, nivel del mar y temperatura en la costa norte de Chile. *Investigaciones marinas*, 22, 85-101.
- Purca Cuicapusa, S., Graco, M., Gutiérrez Aguilar, D., Dewitte, B., Tam Málaga, J., Bertrand, A. & Goubanova, K. (2010). Relación entre anchoveta y ambiente a diferentes escalas temporales.
- Pringle M. J., R. M. Lark. Spatial analysis of model error, illustrated by soil carbon dioxide emissions. *Vadose Zone Journal* 5 (2006) 168-183.



- Postel, L., Fock, H., & Hagen, W. (2000). Biomass and abundance. ICES zooplankton methodology manual. Academic Press, London, 684
- Postel, S. L. (2000). Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. *Ecological applications*, 10(4), 941-948.
- Reyes, H. y M. Pizarro. 2014. Condiciones oceanográficas. En Informe Final Evaluación del stock desovante de anchoveta en la XV, I y II Regiones, año 2013. Fip N° 2013-06/ Julio-2014
- Reyes, H., E. Pizarro, L. Herrera, M. Braun y E. Santander. 2010. Distribución espacial y variaciones espacio temporales de las variables oceanográficas físicas y químicas. En Informe Final Monitoreo de las condiciones bio-oceanográficas entre la V y IV Regionres, año 2009. Fio N° 2009-38/Octubre-2010
- Reynolds C. 2006. Ecology of Phytoplankton. First Edition. Cambridge University Press. 535 pp.
- Reynolds, L. F., & Moore, R. (1982). Growth rates of barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch), in Papua new Guinea. *Marine and Freshwater Research*, 33(4), 663-670.
- Rodríguez, L. 1998. Revisión sobre fitoplancton y mareas rojas en masas de agua de la zona de Antofagasta, Chile. Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Facultad de Recursos del Mar, Universidad de Antofagasta ([www.uantof.cl/riben/LRODRIGUEZ.htm](http://www.uantof.cl/riben/LRODRIGUEZ.htm))
- Rojas, R. y N. Silva. 1996. Atlas Oceanográfico de Chile. (18°21'S-50°00'S). Volumen I. S.H.O.A. 234 pp.
- Rojas, O. y J. Oliva. 1993. Evaluación del stock desovante de anchoveta de la zona norte por el método de producción de huevos. Programa evaluación directa de recursos pelágicos de la zona norte. IFOP (Chile), 37 pp. + anexos.
- Rojas, P., M. Landaeta y R. Ulloa. 2011. Eggs and larvae of anchoveta *Engraulis ringens* off northern Chile during the 1997-1998 El Niño event. *Rev. biol. mar. oceanogr.* vol.46, n.3 , pp.405-419.
- Rojas, P. y M. Landaeta. 2014. Fish larvae retention linked to abrupt bathymetry at Mejillones Bay (northern Chile) during coastal upwelling events. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 42(5):989-1008, 2014.
- Roquet, F., G. Madec, T.J. McDougall and P.M. Barker, 2015: Accurate polynomial expressions for the density and specific volume of seawater using the TEOS-10 standard. *Ocean Modelling*, 90, pp. 29-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2015.04.002>--



- Ruppert, E. Y R. Barnes. 1996. Zoología de los invertebrados Sexta Ed. Mexico 114p.
- Ruppert, E. E., & Barnes, R. D. (1995). Sponges and placozoans. Invertebrate Zoology: 6th edn. Saunders College Publishing, New York, 73-94.
- Sameoto, D. D. (1982). Zooplankton and micronekton abundance in acoustic scattering layers on the Nova Scotian slope. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39(5), 760-777.
- Saavedra, J., H. Miranda y Z. Young. 2003. "Métodos de Comparación de distribuciones de frecuencia de tallas y edades" Documento Técnico Comisión Estadística Inst. Fom. Pesq., 10 pp.
- Santander, H., J. Alheit y P. Smith. 1984. Estimación de la biomasa de la población desovante de anchoveta peruana *Engraulis ringens* en 1981 por aplicación del Método de producción de huevos. Bol. IMARPE 8(6): 213-248.
- Sepúlveda, A, L. Cubillos, S. Nuñez, T. Canales, D. Bucarey, A. Rojas, J. Oliva, P. Barria, E. Diaz, V. Baros & H. Miranda. 1999. Antecedentes biológicos del stock desovante de anchoveta y sardina común de la V a IX regiones. Informe Pre-final FIP 97-04.
- Serra, X., & Serra, X. (1989). A system for sound analysis/transformation/synthesis based on a deterministic plus stochastic decomposition.
- Silva, C., I. Andrade, E. Yañez, S. Hormazabal, M.A. Barbieri, A. Aranís & G. Bohm. 2016, Predicting habitat suitability and geographic distribution of anchovy (*Engraulis ringens*) due to climate change in the coastal areas off Chile. *Prog. Oceanogr.* 146: 159-174.
- Silva N, N Rojas & A Fedele. 2009. Water masses in the Humboldt Current System: Properties, distribution, and the nitrate deficit as a chemical water mass tracer for Equatorial Subsurface Water off Chile. *Deep-Sea Research II*, Vol, 56, 1004–1020.
- Silva N. 1987. Contenido de sales nutrientes de las aguas del norte de Chile (Crucero MARCHILE XII-ERFEN III). *Ciencia y Tecnología del Mar*, CONA, 11: 95-117.
- Silva, N, C. Calvete y H Sievers. 1997. Características Oceanográficas Físicas y Químicas de Canales Australes Chilenos entre Puerto Montt y Laguna San Rafael (Crucero CIMAR-Fiordo 1). *Cs. Tec. Mar.*, 20:23-106.
- Simmonds, E, y D. MacLennan. J. 2005. Fish and Fisheries Series, 5: Fisheries acoustics. Chapman and Hall, London. 438 pp.
- Smith P. E. & S. L. Richardson. 1979. Técnicas modelo para prospecciones de huevos y larvas de peces pelágicos. Documento técnico de pesca 175, FAO, 107 pp.



- Stauffer, G.D., Picquelle, S.J. 1980. Estimates of the 1980 spawning biomass of the subpopulation of northern anchovy. Natl. Mar. Fish. Serv., Southwest Fish. Cent., La Jolla, CA, Admin. Rep. LJ-80-09, 41 p.
- Sobarzo, M., L. Bravo, D. Donoso, J. Garcés & W. Schneider. 2007. Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over the continental shelf off central Chile. *Progress in Oceanography* 75 (2007) 363–382.
- Somarakis, S.; I. Palomera; A. García; L. Quintanilla, C. Koutsikopoulos; A. Uriarte and L. Motos. 2004. Daily egg production of anchovy in European waters. *ICES Journal of Marine Sciences*, 61:944-958.
- Soto, S. 2001. Tasa de desarrollo de huevos de *Engraulis ringens* Jenyns en función de la temperatura. Tesis para optar al título de Biólogo Pesquero. Universidad Arturo Prat, Iquique.
- Soto-Mendoza, S., L. Castro y A. Llanos-Rivera. 2010. Variabilidad espacial y temporal de huevos y larvas de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens*, asociados a la desembocadura del río Itata, Chile. *Rev. biol. mar. oceanogr.* vol.45, n.3, pp.471-487
- Sournia A (Ed). 1978. *Phytoplankton Manual*. UNESCO, Monographs on Oceanographic Methodology, Paris. 337 p.
- Stauffer, G.D., Picquelle, S.J. 1980. Estimates of the 1980 spawning biomass of the subpopulation of northern anchovy. Natl. Mar. Fish. Serv., Southwest Fish. Cent., La Jolla, CA, Admin. Rep. LJ-80-09, 41 p.
- Stauffer, G.D. and S.J. Picquelle. 1985. Procedures for sorting, staging, and ageing eggs. In: R. Lasker (ed.), *An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax**. U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Rep. NMFS 36: 33-35.
- Suthers, I. M., & Rissik, D. (Eds.). (2009). *Plankton: A guide to their ecology and monitoring for water quality*. CSIRO publishing.
- Swartzmann, G., C Huang, y S. Kluzny. 1992. Spatial analysis of Bering Sea groundfish survey data using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 1366-1378.
- Tjøstheim D. 1978. A measure of association for spatial variables. *Biometrika* 65: 109-114.
- Thiel M, et al. 2007. The Humboldt Current System of Northern and Central Chile: Oceanographic Processes, Ecological Interactions and Socioeconomic Feedback. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 45, 195-344.



- Troupin, C., A. Barth, D. Sirjacobs, M. Ouberdous, J-M. Brankart, P. Brasseur, M. Rixen, A. AlveraAzcarate, M. Belounis, A. Capet, F. Lenartz, M.-E. Toussaint & J.M. Beckers. 2012. Generation of analysis and consistent error fields using the Data Interpolating Variational Analysis (Diva). *OceanModelling*, 52-53:90-101.
- UNESCO, 1981a. The practical salinity scale 1978 and the international Equation of State of Seawater 1980. *Unesco Tech. Papers in Mar., Sci. N°36*.
- UNESCO, 1981b. Background papers and supporting data on the Practical Salinity Scale 1978. *Unesco Tech. Papers in Mar. Sci. N°37*.
- Vallejos, R., Osorio, F., and Cuevas, F. (2013). SpatialPack - An R package for computing spatial association between two stochastic processes defined on the plane. (En revisión).
- Vallejos R. 2008. Assessing the association between two spatial or temporal sequences. *Journal of Applied Statistics* 35: 1323-1343.
- Vásquez, S., Correa-Ramírez, M., Parada, C., & Sepúlveda, A. (2013). The influence of oceanographic processes on jack mackerel (*Trachurus murphyi*) larval distribution and population structure in the southeastern Pacific Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, 70(6), 1097-1107.
- Vidal, J. 1968. Copépodos calanoideos epipelágicos de la expedición Marchile II. Universidad de Concepción, Instituto Central de Biología.
- 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.
- Woillez, M., Poulard, J-C., Rivoirard, J., Petitgas, P., and Bez, N. 2007. Indices for capturing spatial patterns and their evolution in time, with application to European hake (*Merluccius merluccius*) in the Bay of Biscay. - *ICES Journal of Marine Science*, 64: 537-550.
- Wolter, K., & Timlin, M. S. (1998). Measuring the strength of ENSO events: How does 1997/98 rank?. *Weather*, 53(9), 315-324.
- Wolter, K. & M.S. Timlin. 2011. El Niño/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *Int. J. Clim.*, 31: 1074-1087.
- Wolter, K. & M.S. Timlin. 1998. Measuring the strength of ENSO events – how does 1997/98 rank? *Weather*, 53: 315-324.
- Wolter, K. & M.S. Timlin. 1993. Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index. *Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop*, Norman, OK,



- NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteor., Univ. of Oklahoma, pp. 52-57.
- Wood SM. 2006. Generalized additive models: An Introduction with R. First Edition. Chapman & Hall, London. 392 pp.
- Wood, E. D., Armstrong, F. A. J., & Richards, F. A. (1967). Determination of nitrate in sea water by cadmium-copper reduction to nitrite. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 47(1), 23-31.
- Yáñez, E., A. González & M.A. Barbieri. 1995. Estructura térmica superficial del mar asociada a la distribución espacio-temporal de sardina y anchoveta en la zona norte de Chile, entre 1987 y 1992. *Invest. Mar., Valparaíso*, 23:123-147.
- Yáñez, E., M.A. Barbieri & L. Santillán. 1992. Long term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. *S. Afr. J. mar. Sci.*, 12: 175-188.
- Yáñez, E., M.A. Barbieri & A. Montecinos. 1990. Relaciones entre las variaciones del medio ambiente y las fluctuaciones de los principales recursos pelágicos explotados en la zona de Talcahuano, Chile. En: *Perspectivas de la actividad pesquera en Chile*. M.A Barbieri (Ed.) Esc. de Cs. Mar, P. Univ. Católica de Valparaíso. 49-62 pp.
- Yáñez, E. 1989. Fluctuaciones de los principales recursos pelágicos explotados en la zona norte de Chile y variaciones ambientales asociadas. Memoria del Simposio Internacional de Recursos Vivos y las Pesquerías en el Pacífico Sudeste. Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS). *Rev. Pacífico Sur (Número Especial)*. 509-520.



# **A N E X O 1**

---

## Descriptores y Base de datos

---



## DESCRIPTORES BASE DE DATOS

La estructura de las bases de datos, con toda la información básica que se obtuvo durante la ejecución del crucero correspondiente al proyecto “Evaluación del stock desovante de anchoveta en la III y IV Regiones, año 2016” se encuentra almacenada en registros magnéticos en formato Excel. Los archivos y el formato de grabación de cada una de las componentes de oceanografía del proyecto se detallan a continuación.

### Datos oceanográficos y meteorológicos

La información oceanográfica y meteorológica de cada una de las estaciones oceanográficas realizadas durante el crucero se encuentran en el siguiente archivo: **CRUCE594.XLS**, cuyo formato de codificación de datos meteorológicos corresponde a una modificación del formato NODC. El siguiente formato está compuesto por registros de identificación, meteorológicos y registros de información de profundidad, temperatura, salinidad, densidad (como sigma-t), oxígeno disuelto (de sensor), clorofila-a (de sensor), oxígeno disuelto (discreto Winkler), clorofila-a (discreta) y feopigmentos (discreto):

### Definición de las columnas en el archivo y unidades

Columna	Descripción	Unidades
Crucero	número de crucero de IFOP	
país	país	
buque	nombre del buque	
n° Est	número de la estación	
lat(g)(°S)	latitud	grados Sur
lat(m)	minutos de latitud	
long(g)(°W)	longitud	grados Oeste
long(m)	minutos de longitud	
Año	año	
Mes	mes	
día	día	
Hora	hora local	
Minuto	minuto de la hora	
Profeco	profundidad de ecosonda	metros
Dir Olas	dirección de las olas	grados
Olasalt	altura de olas	ver códigos
Olasper	período olas	ver códigos
Dir Viento	dirección del viento	grados
int Viento	velocidad del viento	nudos
Pres atmof	presión barométrica	milibar

Continuación:



Columna	Descripción	Unidades
T seco	Temp del Aire	°C
% hum. Rel.	Humedad relativa	(%)
Tiempo Pres	tiempo presente	ver código
Tipo nube	tipo de nubes observadas	ver códigos
Cant nube	cantidad de nubes	ver códigos
visibilidad	visibilidad	ver códigos
profundidad	profundidad del dato	metros
Temp.	temperatura del agua	°C
Salinidad	salinidad del agua	psu
Sigma-t	densidad del agua	sigma-t (kg/m <sup>3</sup> )
Oxig sensor	oxígeno disuelto de sensor	mL/L
Cloa sensor	Corofila-a sensor	µg/L
Oxig W	Oxígeno disuelto discreto Winkler	mL/L
Cloa	Clorofila-a discreta	µg/L
Feop	feopigmentos discreto	µg/L



Observaciones:

### Códigos de datos meteorológicos

Los datos meteorológicos se encuentran codificados de acuerdo las normas y códigos del NODC. A continuación, se entregan codificaciones realizadas a los datos meteorológicos.

ALTURA DE LA OLA DOMINANTE			
CODIGO	Altura en metros		
X	X	altura no determinada	
0	0	a	0.25 m
1	0.25	a	0.75 m
2	0.75	a	1.25 m
3	1.25	a	1.75 m
4	1.75	a	2.25 m
5	2.25	a	2.75 m
6	2.75	a	3.25 m
7	3.25	a	3.75 m
8	3.75	a	4.25 m
9	> 4.25		m

PERIODO DE OLA		
CODIGO	periodo	
X	calma o no determinado	
2	5	seg o menos
3	6	seg
4	8	seg
5	10	seg
6	12	seg
7	14	seg
8	16	seg
9	18	seg
0	20	seg
1	> 21	seg

TIPO DE NUBE	
CODIGO	nube
s	sin nubes
X	nube no visible
0	cirrus
1	cirrocumulus
2	cirrostratus
3	altocumulos
4	altostratus
5	nimbostratus
6	stratocúmulos
7	stratus
8	cúmulos
9	cumulonimbus

VISIBILIDAD			
CODIGO	distancia de visibilidad		
0	< 50		m
1	50	a	200 m
2	200	a	500 m
3	500 m	a	1 km
4	1	a	2 km
5	2	a	4 km
6	4	a	10 km
7	10	a	20 km
8	20	a	50 km
9	50	km o más	
x	no observado		

TIEMPO PRESENTE	
CODIGO	CONDICION
0	despejado
1	parcial nublado
2	capas continuas de nubes
3	ráfagas con polvo o nieve
4	neblina o bruma
5	chubascos
6	lluvia
7	nieve o lluvia y nieve
8	lluvia torrencial
9	tormenta
x	no observado

OTROS
<b>Direcciones viento y olas</b> = (en grados verdaderos)
<b>Intensidad del viento</b> = en nudos (calma=0)
<b>Cantidad de nubes</b> = de 0 a 8 partes 9 = no observable o no observado.



**Hoja de Cálculo 1: Datos de abundancia de fitoplancton, correspondiente a la columna integrada (0-50m)**

Columna	INTEGRADOS-50 M NOMBRE_COL	CONTIENE LOS DATOS DE ABUNDANCIA INTEGRADA POR ESTACION ENTRE LOS 0 Y 50 METROS DE PROFUNDIDAD DESCRIPCION
A	Latitud (°)	
B	Longitud (°)	
C	Transecta	
D	distancia a la costa (mn)	
E	Estacion	
F	adiain-50	abundancia integrada de diatomeas en células/mL
G	aflain-50	abundancia integrada de flagelados en células/mL
H	atotin-50	abundancia fitoplanctonica total integrada en células/mL

**Hoja de Cálculo 2: Datos de abundancia de fitoplancton, correspondiente al estrato 0-10 m.**

Columna	INTEGRADOS-10M NOMBRE_COL	CONTIENE LOS DATOS DE ABUNDANCIA INTEGRADA POR ESTACION ENTRE LOS 0 Y 10 METROS DE PROFUNDIDAD DESCRIPCION
A	Latitud (°)	
B	Longitud (°)	
C	Transecta	
D	distancia a la costa (mn)	
E	Estacion	
F	adiain-10	abundancia integrada de diatomeas en células/mL
G	aflain-10	abundancia integrada de flagelados en células/mL
H	atotin-10	abundancia fitoplanctonica total integrada en células/mL



Se adjuntan las tablas con los descriptores correspondiente a la base de datos biol3gica de fitoplancton: archivo NUTRIENTES\_MOBIO-SEP16.xlsx.

**Hoja de C3lculo 1:** Datos de concentraci3n de nutrientes por profundidad y por estaci3n

Columna	MOBIO-NORTE_SEP16 NOMBRE_COL	CONTIENE LOS DATOS DE CONCENTRACION DE NUTRIENTES POR PROFUNDIDAD Y ESTACION DESCRIPCION
A	longitud (°)	
B	latitud (°)	
C	Estacion	
D	Transecta	
E	Distancia a la costa (mn)	
F	Profundidad	
G	NO2 [uM]	concentraci3n de nitrito en uM
H	NO3 [uM]	concentraci3n de nitrato en uM
I	PO4 [uM]	concentraci3n de fosfato en uM
J	SiO4 [uM]	concentraci3n de silicato en uM



Se adjuntan las tablas con los descriptores correspondiente a la base de datos biol3gica de zooplancton, archivo: BASE DE DATOS ZOOPLANCTON MOBIO.xlsx

**Hoja de c3lculo 1:** datos hist3ricos de ictioplancton (1980-2016) y biomasa de zooplancton (1991-2016)

Columna	Descriptor
A	Año
B	Crucero
C	Estaci3n
D	Grados latitud (°S)
E	Minutos latitud
F	Grados longitud (°W)
G	Minutos longitud
H	Transecta (5 transectas hist3ricas)
I	Distancia a la costa (mn)
J	Est. costera 0-20 mn (1)/oce3nica: 40-100 mn (2)
K	Latitud surfer (°)
L	Longitud surfer (°)
M	Huevos sardina (n°h/10m <sup>2</sup> )
N	Huevos anchoveta (n°h/10m <sup>2</sup> )
O	Huevos jurel (n°h/10m <sup>2</sup> )
P	Huevos Vinciguerria (n°h/10m <sup>2</sup> )
Q	Huevos otras especies (n°h/10m <sup>2</sup> )
R	total huevos
S	Larvas sardina (n°l/10m <sup>2</sup> )
T	Larvas anchoveta(n°l/10m <sup>2</sup> )
U	Larvas jurel (n°l/10m <sup>2</sup> )
V	Larvas Vincigerria (n°l/10m <sup>2</sup> )
W	Larvas otras especies
X	total larvas
Y	Biomasa estand (ml zoo/1000 m <sup>3</sup> )

**Hoja de c3lculo 2:** Base de datos de abundancia de zooplancton por grupos, a1o 2016.

Columna	Descriptor
A	Estaci3n
B	Distancia a la costa (mn)
C	Grados latitud (°S)
D	Minutos latitud
E	Grados longitud (°W)
F	Minutos longitud
G	Abundancia copepodos Calanoida (ind/1000 m <sup>3</sup> )
H	Abundancia copepodos Cyclopoida (ind/1000 m <sup>3</sup> )
I	Ab. Copepodos Harpacticoida (ind/1000 m <sup>3</sup> )
J	Ab. EUF3USIDOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
K	Ab. LARVAS EUF3USIDOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
L	Ab. OSTR3CODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
M	Ab. CLAD3CEROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
N	Ab. ANF3PODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
O	Ab. IS3PODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
P	Ab. LARVA CYPRIS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
Q	Ab. ESTOMAT3PODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
R	Ab. NAUPLIS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
S	Ab. LARV. DEC3PODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
T	Ab. MEDUSAS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
U	Ab. SIFON3FOROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
V	Ab. CTEN3FOROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
W	Ab. QUETOGNATOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
X	Ab. POLIQUETOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
Y	Ab. GASTROPODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
Z	Ab. HETER3PODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AA	Ab. PTER3PODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AB	Ab. SALPAS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AC	Ab. DOLI3LIDOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AD	Ab. APENDICULARIAS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AE	Ab. RADIOLARIOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AF	Ab. FORAMIN3FEROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AG	Ab. LARVA CIFONAUTAS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AH	Ab. LARVA BRACHI3PODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AI	Ab. LARVA EQUINODERMOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AJ	Ab. LARVA DE CEFALOPODO(ind/1000 m <sup>3</sup> )
AK	Ab. POLIPOS DE SIFONOFOROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AL	Abundancia total (ind/1000 m <sup>3</sup> )



Se adjunta la base de datos de huevos desde MPH: archivo Huevos\_MPH\_Base de datos 2016.xlsx.

**Hoja 1:** Datos histología de hembras de anchoveta:

Columna	Descriptor
A	BARCO
B	Nº LANCE
C	FECHA
D	HORA
E	LATITUD (°S)
F	LONGITUD (°W)
G	LANCE CORRELATIVO
H	NÚMERO DE MUESTRA
I	Longitud total (cm)
J	Peso total (g)
K	SEXO
L	PESO GÓNADA (G)
M	Estado de madurez
N	DIAGNOSTICO
O	Foliculo post-ovulatorios

**Hoja 2:** Fecundidad de hembras de anchoveta

Columna	Descriptor	
C	LANCE	
D	LANCE CORRELATIVO	
E	NÚMERO DE MUESTRA	
F	Longitud total (cm)	
G	Peso total (g)	
H	Peso gonada (g)	
I	PC (g)	
J	Peso Sub A (g)	Peso submuestra de ovario A
K	Peso Sub B (g)	Peso submuestra de ovario B
L	Peso Sub C (g)	Peso submuestra de ovario C
M	Num A	Número de ovocitos hidratados en submuestra A
N	Num B	Número de ovocitos hidratados en submuestra B
O	Num C	Número de ovocitos hidratados en submuestra C
P	Num/g A	Número de ovocitos hidratados por gramo de ovario A
Q	Num/g B	Número de ovocitos hidratados por gramo de ovario B
R	Num/g C	Número de ovocitos hidratados por gramo de ovario C
S	Fecund	Fecundidad parcial



### Hoja 3: Proporción de sexo de ejemplares de anchoveta

Columna	Descriptor
A	BARCO
B	LANCE N°
C	FECHA
D	HORA
E	LATITUD
F	LONGITUD
G	LANCE CORRELATIVO
H	NUMERO DE MUESTRA
I	Longitud total (cm)
J	Peso total (g)
K	SEXO (1:macho; 2:hembra)

### Hoja 4: Estadios de desarrollo de huevos de anchoveta

Columna	Descriptor
A	Estación
B	Latitud
C	Longitud
D	estadio de desarrollo I
E	estadio de desarrollo II
F	estadio de desarrollo III
G	estadio de desarrollo IV
H	estadio de desarrollo V
I	estadio de desarrollo VI
J	estadio de desarrollo VII
K	estadio de desarrollo VIII
L	estadio de desarrollo IX
M	estadio de desarrollo X
N	estadio de desarrollo XI
O	Total huevos (n°)
P	hora y fracción
Q	Temperatura a 10m (°C)



**Hoja 5:** Datos de ejemplares obtenidos mediante red de arrastre (Abate Molina)

Columna	Descriptor
B	BARCO
C	LANCE N°
D	FECHA
E	HORA
F	LATITUD
G	LONGITUD
H	LANCE CORRELATIVO
I	NÚMERO DE MUESTRA
J	Longitud total (cm)
K	Peso total (g)
L	SEXO
M	PESO GÓNADA (g)
N	Estadio de madurez
O	DIAGNOSTICO
P	FPO

**Hoja 6:** Comparaci3n de datos de longitud total de anchoveta, entre red de cerco y de arrastre

Columna	Descriptor
D	Longitud total (cm) de ejemplares, con red de cerco
E	Longitud total (cm) de ejemplares, con red de arrastre

**Hoja de cálculo 2:** Base de datos de abundancia de zooplancton por grupos, año 2016.

Columna	Descriptor
A	Estación
B	Distancia a la costa (mn)
C	Grados latitud (°S)
D	Minutos latitud
E	Grados longitud (°W)
F	Minutos longitud
G	Abundancia copepodos Calanoida (ind/1000 m <sup>3</sup> )
H	Abundancia copepodos Cyclopoida (ind/1000 m <sup>3</sup> )
I	Ab. Copepodos Harpacticoida (ind/1000 m <sup>3</sup> )
J	Ab. EUFÁUSIDOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
K	Ab. LARVAS EUFÁUSIDOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
L	Ab. OSTRÁCODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
M	Ab. CLADÓCEROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
N	Ab. ANFÍPODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
O	Ab. ISÓPODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
P	Ab. LARVA CYPRIS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
Q	Ab. ESTOMATÓPODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
R	Ab. NAUPLIS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
S	Ab. LARV. DECÁPODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
T	Ab. MEDUSAS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
U	Ab. SIFONÓFOROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
V	Ab. CTENÓFOROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
W	Ab. QUETOGNATOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
X	Ab. POLIQUETOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
Y	Ab. GASTROPODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
Z	Ab. HETERÓPODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AA	Ab. PTERÓPODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AB	Ab. SALPAS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AC	Ab. DOLIÓLIDOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AD	Ab. APENDICULARIAS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AE	Ab. RADIOLARIOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AF	Ab. FORAMINÍFEROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AG	Ab. LARVA CIFONAUTAS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AH	Ab. LARVA BRACHIÓPODOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AI	Ab. LARVA EQUINODERMOS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AJ	Ab. LARVA DE CEFALOPODO(ind/1000 m <sup>3</sup> )
AK	Ab. POLIPOS DE SIFONOFOROS (ind/1000 m <sup>3</sup> )
AL	Abundancia total (ind/1000 m <sup>3</sup> )



---

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**

Almte. Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)

---



[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)