



INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2018
Evaluación del stock desovante de anchoveta y
sardina común entre la V y X Regiones, año 2018
SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT, Octubre 2019



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



INFORME FINAL

Convenio de Desempeño 2018

Evaluación del stock desovante de anchoveta y
sardina común entre la V y
X Regiones, año 2018

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / octubre 2019

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

Subsecretario de Economía y EMT:
Ignacio Guerrero Toro

ORGANISMO RESPONSABLE
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO-IFOP

Director Ejecutivo
Luis Parot Donoso

Jefe (I) División Investigación Pesquera
Sergio Lilio Vega

Investigador Responsable
Juan Carlos Saavedra Nievas
Jessica Bonicelli Proaño

Cita: Bonicelli, J., Angulo, J., Saavedra, J.C., Cubillos, L.A., Castro, L., Soto, S., & Claramunt, G., (2019). *Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2018. Convenio de Desempeño 2018, Instituto de Fomento Pesquero.*



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / octubre 2019

AUTORES

Jessica Bonicelli Proaño
Jorge Angulo Aros
Juan Carlos Saavedra Nievas
Luis Cubillos Santander
Leonardo Castro Cifuentes
Samuel Soto Mendoza
Gabriel Claramunt Quiñones

SECCIÓN REPRODUCCIÓN Y BIOMASA DESOVANTE

Luis Cubillos Santander

Muestreo

Germán Vásquez Vallejos
Roberto Torres Valenzuela

Análisis

Gabriel Claramunt Quiñones
Gustavo Herrera Urzúa
Paola Moreno Gonzalez
María José Cuevas
Daniela Yepsen Durán
Natalia Montecino Figueroa
Blanca Bustos Cid
Tania Ponce López
Nicolás Muñoz Aroca

SECCION OCEANOGRAFÍA-METEOROLOGÍA

Eduardo Navarro Vallejos
Wolfgang Shneider

OBJETIVO INCREMENTAL:

Determinar y analizar la influencia de eventos interanuales “El Niño” y “La Niña” en la cobertura, distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 – 2017.

Jessica Bonicelli Proaño
Jorge Angulo Aros
Ursula Cifuentes Ojeda
Adrián Bustamante Mainos
Juan Carlos Saavedra Nievas



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

I N S T I T U T O D E F O M E N T O P E S Q U E R O



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / octubre 2019

SECCIÓN ICTIOPLANCTON E HIDROGRAFÍA
Leonardo Castro Cifuentes

Muestreos ictioplancton e hidrografía:

Alejandro Ávila Santis

Pamela Barrientos Cereceda

Eduardo Escalona Castillo

Eduardo Flores B.

Daniel Pezo Silva

Tania Ponce López

César Henríquez

Carol González Aspee

Valeria González C.

Fabian Soriano

Pablo Vilugrón

Dixon Villenas

Poliana Strange

Hidrografía y diagramación de Sección ictioplancton

Samuel Soto Mendoza



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

PRESENTACIÓN

En el año 2018, el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) recibió el mandato de parte de la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño de ejecutar el estudio de investigación pesquera y acuícola denominado **“Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X regiones, año 2018”**, el que fue licitado en Concurso Público. Luego de la evaluación experta de IFOP, tanto de las ofertas técnicas y económicas recibidas, este estudio fue adjudicado a la Universidad de Concepción.

Se presenta el informe final que incluye las actividades realizadas durante el desarrollo del estudio y los resultados obtenidos según la programación establecida en los términos técnicos de referencia del estudio.



I. RESUMEN EJECUTIVO

Este documento corresponde al Informe Final del proyecto “Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X regiones, año 2018”, en el que se aplicó el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH) para evaluar el stock desovante de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomeria bentincki*) en la zona centro-sur de Chile (33°S – 41°20'S). El crucero de observación de huevos de ambas especies se desarrolló en tres estratos geográficos: a) Sector norte, sur de Valparaíso – norte de Constitución (33°00'S – 34°00'S), b) Sector centro, entre Constitución y Golfo de Arauco (34°30'S – 37°10'S) y c) Sector sur, entre el sur de Lebu – sur de Punta Galera (37°30'S – 41°20'S).

El crucero ictioplanctónico se realizó entre el 09 de septiembre y 24 de octubre de 2018 en los sectores centro y sur, y desde el 23 al 24 de octubre en el sector norte. El crucero de pesca de adultos se realizó en los estratos centro y sur entre el 27 de agosto y el 07 de octubre de 2018, con lances de pesca que cubrieron el litoral de la Región del Ñuble, Región del Bío-Bío y la Región de Los Ríos.

Del total de 385 estaciones de la grilla regular en 134 estaciones se observó la presencia de huevos de anchoveta (34,8 % del total de estaciones), y 54 estaciones presentaron registros de huevos de sardina común (14 % del total de estaciones). Al analizar la serie de tiempo completa (2002 - 2018) de porcentajes de estaciones con huevos de ambas especies se observa que: i) se mantiene en todo el periodo un mayor número de estaciones positivas de huevos de anchoveta, ii) hubo disminuciones en el número de estaciones con huevos de anchoveta los años 2008 y 2012, iii) ha habido un leve aumento en las estaciones positivas de anchoveta desde el 2012 y, iv) que las estaciones con huevos de sardina común han ido disminuyendo levemente desde el 2013.

En relación con el 2016, la proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta aumentó en las zonas norte y central, pero, se mantuvo relativamente similar en la zona sur. En sardina común, en el 2018 hubo un aumento de estaciones positiva en el sector norte, se mantuvo en el sector central y disminuyó en el sector sur.

La abundancia promedio de huevos de anchoveta por estación en las estaciones positivas fue de 34,7 huevos x 0,05 m⁻² y el de sardina común fue de 13,4 huevos x 0,05 m⁻². Comparado con el año 2016, hubo un aumento de huevos de anchoveta (2016 = 28,3 huevos x 0,05 m⁻²) y una disminución de huevos de sardina común (2016 = 45,8 huevos x 0,05 m⁻²). Al analizar la serie de tiempo completa se observó que desde el año 2007 hubo un cambio en las abundancias relativas entre las especies: desde mayores abundancias de huevos de anchoveta en el periodo 2003 - 2007 a un mayor promedio de huevos de sardina común en el periodo 2008 - 2016, situación que se revierte el 2018. El periodo de cambio (2007 - 2008) de la abundancia coincidió con el periodo de cambio en la proporción de estaciones positivas señalado anteriormente. Comparado con el año 2016, las abundancias promedio de huevos de anchoveta se mantuvieron similares en el sector norte, disminuyeron en el sector centro y aumentaron en el sector sur. Las abundancias promedio de huevos de sardina común en las estaciones positivas de la zona central y sur bajaron notoriamente respecto al 2016.



La anchoveta tuvo una producción diaria de huevos de 145,5 huevos/m²/día en el sector centro y en el sector sur fue un orden de magnitud mayor (1603,6 huevos/m²/día). La sardina común mostró una producción diaria de huevos más alta en la zona centro (1184,4 huevos/m²/día) que en la zona sur (399,8 huevos/m²/día).

El número de lances de pesca se cumplió para la sardina común, con 45 lances de pesca efectivos en la zona centro y 30 lances de pesca en el sector sur. En el caso de la anchoveta se obtuvieron 15 lances en el sector centro y 18 en el sur. En ambas especies la estructura de tallas fue similar entre machos y hembras al interior de cada sector, pero fue diferente entre sectores, debido a que en el sector centro se capturaron los ejemplares más grandes.

El análisis histológico de los ovarios de anchoveta indicó que el 99% de las hembras se encontraban activas. La fecundidad media poblacional fue de 11646 ovocitos, con una varianza de 659031 y un coeficiente de variación de 7,0%. La fecundidad media poblacional por zona fue 12939 (CV = 6,3 %) en la zona centro y 9212,6 (CV = 5,7 %) en la zona sur. El peso promedio por lance del cuerpo de las hembras maduras, fluctuó de 15,2 a 35,2 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 23,2 g, con una varianza de 1,089 y un coeficiente de variación de 4,5 %. En el caso de sardina, se encontró 82 % de las hembras activas en el área total. La fecundidad media poblacional fue de 10531 ovocitos, con una varianza de 463001 y un coeficiente de variación de 6,5%. La fecundidad media poblacional por zona fue 11546 (CV = 8,2%) en la zona centro y 9440 (CV = 5,6%) en la zona sur. La estimación de peso promedio de hembra madura en el área total fue de 21,9 g, de 24,5 g en la zona centro y 19,3 g en la zona sur.

La biomasa desovante en los estratos geográficos centro y sur reflejó las diferencias en producción diaria de huevos. La estimación indica una biomasa desovante de 207 744 toneladas de anchoveta (CV = 25,1%) y de 107 559 toneladas de sardina común (CV = 25,2%).

El análisis integrado de las variables poblacionales y ambientales durante el periodo reproductivo indicó que a partir del 2007 los huevos de anchoveta y sardina común tendieron a desplazarse hacia el norte y que las abundancias promedio de estaciones positivas comenzaron a disminuir. Esta disminución en su abundancia y cambio en su distribución coincidió con el desplazamiento hacia el sur del centro de alta presión del anticiclón del pacífico sur. Así mismo, se observó una relación negativa entre la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común con la anomalía de temperatura interanual, que se usó como indicador de las oscilaciones producidas por eventos ENOS. Estos resultados sugieren que los cambios ambientales de gran escala controlados por forzantes atmosféricas y oceanográficas podrían estar determinando la variabilidad interanual en el desove de estos peces pelágicos.



EXECUTIVE SUMMARY

This document contains the final report of the project entitled “Spawning Stock Assessment of Anchovy and Common Sardine between Regions V and X, year 2018”. The daily egg production method was applied to assess the spawning stocks of anchovy (*Engraulis ringens*) and common sardine (*Strangomeria bentincki*) located in the central southern region of Chile (33°S – 41°20'S). The egg observation survey for both species was performed in three geographic zones: a) north south of Valparaíso – north of Constitución (33°00'S – 34°00'S), b) the central sector between Constitución and Golfo de Arauco (34°30'S – 37°10'S) and c) the southern sector, between south of Lebu – south of Punta Galera (37°30'S – 41°20'S).

An ichthyoplankton survey was performed from September 9th to October 24th, 2018 in the central and southern sector, and on October 23rd and 24th in the northern sector. The adult identification survey was performed in the central and southern sectors from August 27th to October 7th, 2018, and fishing hauls were made across the coast of the Ñuble Region, in the Bío-Bío and Los Ríos Regions.

The presence of anchovy eggs was observed in 134 of a total of 385 stations located on a standard grid (34.8 % of the total number of stations), and 54 stations showed records of occurrence of common sardine eggs (14% of total stations). To assess the complete time series (2002 - 2018) of positive stations for common sardine and anchovy eggs, the following was observed: i) a higher number of positive stations for anchovy eggs occurred throughout the entire period, ii) decreases in the number of positive stations for anchovy eggs were recorded in 2008 and 2012, iii) slight increase in the number of positive stations for anchovy since 2012 and, iv) positive stations for common sardine eggs have slightly decreased since 2013.

With regards to 2016, the proportion of positive stations with anchovy eggs increased in the north and central zones, but remained relatively similar in the southern area. In 2018, positive stations for common sardine in the northern sector increased, remained stable in the central sector, and decreased in the south.

Average abundance of anchovy eggs by station in positive stations was 34.7 eggs x 0.05 m⁻² and common sardine showed 13.4 eggs x 0.05 m⁻². Compared to 2016, an increase of anchovy eggs was observed (2016 = 28.3 eggs x 0.05 m⁻²) and a decrease of common sardine eggs (2016 = 45.8 eggs x 0.05 m⁻²). An assessment of the complete time series showed a change in relative abundances between species in 2007: from higher abundances of anchovy eggs in period 2003 – 2007, to a higher average of common sardine eggs in period 2008 - 2016, situation that is reversed in 2018. The period showing a change in abundance (2007 - 2008) coincided with the period of change in the proportion of positive stations indicated above. Compared to the year 2016, average abundances of anchovy eggs remained similar in the northern sector, decreased in the center and increased in the southern sector. Similarly, the average abundances of common sardine eggs in positive stations in the central and southern sector dropped significantly.



Anchovy recorded a daily egg production of 145.5 eggs/m²/day in the central sector and recorded higher levels in the south (1603.6 eggs/m²/day). Common sardine showed a higher daily egg production in the central sector (1184.4 eggs/m²/day) compared to the southern sector (399.8 eggs/m²/day).

The number of fishing sets was met in the case of common sardine, with 45 fishing sets in the central sector and 30 fishing sets in the southern sector. For anchovy, 15 fishing sets were made in the central sector and 18 in the south. In both species, the length structure was similar between males and females within each sector, but showed differences between sectors, since larger individuals were captured in the central sector.

Histological analysis of anchovy ovaries indicated that 99% of females were active. The average fecundity of the stock was 11646 oocytes, with a variance of 659031 and a variation coefficient of 7.0%. Average stock fecundity by zone was 12939 (VC = 6.3 %) in the central sector, and 9212.6 (VC = 5.7%) in the south. Average body weight by set of mature female ranged from 15.2 to 35.2 grams. The average weight of mature females in the study area was 23.2 g, with a variance of 1.089 and a coefficient variation of 4.5 %. For sardine, 82 % of active females in the total area, the average fecundity of the stock was 10531 oocytes, with a variance of 463001 and a variation coefficient of 6.5%. Average population fecundity by zone was 11546 (VC = 8.2%) in the central sector and 9440 (VC = 5.6%) in the southern sector. Average weight estimations of average mature females in the total area was 21.9 g, in the central zone 24.5 g, and 19.3 g in the southern zone.

Spawning biomass in geographic strata in the central and southern zones displayed differences in daily egg production. The estimations indicate a spawning biomass of 207 744 tons of anchovy (VC = 25.1%) and 107 559 tons of common sardine (VC = 25.2%).

Integrated analysis of population and environmental variables during the reproductive period indicated that from 2007, anchovy and common sardine eggs showed a northward shift and an initial drop in average abundances in positive stations. This decrease in abundance and change in distribution coincided with a shift southward of the South Pacific Anticyclone. Likewise, a negative relation was observed between the abundance of anchovy and common sardine eggs and the interannual temperature anomaly that was used as an indicator of oscillations produced by ENSO events. These results suggest that large scale environmental changes controlled by atmospheric and oceanographic forcings may be determining the interannual variability associated with spawning of these pelagic fish.



II. ÍNDICE GENERAL

I. RESUMEN EJECUTIVO	vi
I. EXECUTIVE SUMMARY	viii
II. ÍNDICE GENERAL.....	x
III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS	xii
IV. ANTECEDENTES	1
V. OBJETIVOS	3
VI. METODOLOGÍA GENERAL.....	4
1. ACTIVIDADES ADMINISTRATIVAS Y OPERACIONALES.....	4
2. ÁREA Y PERÍODO DE ESTUDIO	4
2.1. <i>Grilla de muestreo de huevos</i>	5
2.2. <i>Obtención de la información oceanográfica durante el crucero</i>	5
3. METODOLOGÍA POR OBJETIVO ESPECÍFICO	8
3.1. <i>Objetivo específico 1: Determinar las condiciones oceanográficas y meteorológicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común</i>	8
3.1.1. Secciones horizontales de variables hidrográficas	8
3.1.2. Diagramas temperatura-salinidad (T-S)	9
3.2. <i>Objetivo específico 2: Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común.</i>	10
3.2.1. Distribución espacial de huevos	10
3.2.2. Determinación del área de crucero y de desove	10
3.2.3. Conteo, clasificación y asignación de edad	11
3.2.4. Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos	13
3.2.5. Muestreo a bordo en el crucero de adultos y procedimientos de laboratorio.....	15
3.2.6. Parámetros reproductivos de adultos.....	16
3.2.7. Estadios de madurez y fracción diaria de hembras desovantes	17
3.2.8. Fecundidad parcial	20
3.2.9. Peso promedio y proporción sexual	21
3.2.10. Biomasa desovante	21
3.3. <i>Objetivo específico 3: Actualizar el análisis integrado de las variables poblacionales, bio-oceanográficas y meteorológicas durante el proceso reproductivo en un contexto espacial y temporal, utilizando datos del crucero, bases de datos históricas y otras fuentes de información</i>	22
3.3.1. Contexto espacial	22
3.3.1.1. <i>Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas, mesozooplancton y fitoplancton</i>	22
3.3.1.2. <i>Secciones verticales de clorofila-a y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común</i>	22
3.3.1.3. <i>Modelos aditivos generalizados (GAMs)</i>	23
3.3.2. Contexto temporal	24
3.3.2.1. <i>Mapas horizontales de abundancia promedio de huevos y variables ambientales por zona (2002-2016)</i>	24
3.3.2.2. <i>Serie temporales de las anomalías y anomalías acumuladas de variables oceanográficas y atmosféricas en dos zonas de Pacífico Sur Oriental</i>	24
3.3.2.3. <i>Centros de masa (centroídes) de los huevos de anchoveta y sardina común en cada sector y año</i> . 24	24
3.3.2.4. <i>Cambios espacio-temporales en el área de desove y la abundancia de huevos</i>	25
3.3.2.5. <i>Relación huevo-recluta</i>	28
3.4. <i>Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta. Fase II: Determinar y analizar la influencia de eventos interanuales "El Niño" y "La Niña" en la cobertura, distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 – 2017</i>	29
3.4.1. Obtención de los datos.....	29
3.4.2. Análisis de la información.....	29



VII. RESULTADOS.....	30
1. OBJETIVO ESPECÍFICO 1: DETERMINAR LAS CONDICIONES OCEANOGRÁFICAS Y METEOROLÓGICAS ASOCIADAS AL CRUCERO DE HUEVOS DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN.....	30
1.1. <i>Información satelital periodo agosto-octubre de 2018.....</i>	30
1.2. <i>Secciones horizontales de variables hidrográficas in situ</i>	36
1.3. <i>Diagramas temperatura-salinidad (T-S)</i>	37
1.4. <i>Oxígeno disuelto durante el crucero.....</i>	41
1.5. <i>Nutrientes durante el crucero</i>	41
2. OBJETIVO ESPECÍFICO 2: ESTIMAR EL TAMAÑO DEL STOCK DESOVANTE DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN	42
2.1. <i>Estaciones con presencia de huevos y abundancia de huevos</i>	42
2.2. <i>Distribución espacial de huevos</i>	43
2.3. <i>Ánálisis histórico del porcentaje de estaciones positivas y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común.....</i>	47
2.4. <i>Producción diaria de huevos 2018</i>	52
2.5. <i>Lances de pesca</i>	52
2.6. <i>Composición por tallas</i>	58
2.7. <i>Estados de madurez y fracción diaria de hembras desovantes</i>	61
2.8. <i>Fecundidad</i>	62
2.9. <i>Peso promedio y proporción de hembras</i>	65
2.10. <i>Biomasa desovante</i>	66
3. OBJETIVO ESPECÍFICO 3: ACTUALIZAR EL ANÁLISIS INTEGRADO DE LAS VARIABLES POBLACIONALES, BÍO-OCEANOGRÁFICAS Y METEOROLÓGICAS DURANTE EL PROCESO REPRODUCTIVO EN UN CONTEXTO ESPACIAL Y TEMPORAL, UTILIZANDO DATOS DEL CRUCERO, BASES DE DATOS HISTÓRICAS Y OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN	67
3.1. <i>Contexto espacial</i>	67
3.1.1. <i>Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas, año 2018</i>	67
3.1.2. <i>Distribución horizontal de abundancia de mesozoopláncton e ictioopláncton colectados con red cónica, año 2018</i>	73
3.1.3. <i>Distribución horizontal de concentraciones de grupos de fitopláncton y abundancia de ictioopláncton colectados con red cónica, año 2018</i>	79
3.1.4. <i>Secciones verticales de clorofila-a y huevos colectados con red Cónica, año 2018</i>	86
3.1.5. <i>Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos colectados con red CalVET y data hidrográfica (Prof. 10m)</i>	87
3.1.6. <i>Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos y mesozoopláncton colectados con de red Cónica</i>	90
3.2. <i>Contexto temporal (2002 – 2018)</i>	92
3.2.1. <i>Mapas horizontales de abundancia promedio de huevos y variables ambientales por zona (2002-2016)</i>	92
3.2.2. <i>Series temporales de las anomalías y anomalías acumuladas de variables oceanográficas y atmosféricas en dos zonas de pacífico sur oriental</i>	92
3.2.3. <i>Centros de masa (centroídes) en cada sector y año</i>	97
3.2.4. <i>Cambios espacio-temporales en el área de desove y la abundancia de huevos</i>	99
3.2.5. <i>Relación huevo-recluta</i>	106
4. <i>Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta. Fase II: Determinar y analizar la influencia de eventos interanuales "El Niño" y "La Niña" en la cobertura, distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 – 2017</i>	108
I. DISCUSIÓN.....	113
IX CONCLUSIONES.....	123
X. REFERENCIAS.....	124
ANEXO I: DETERMINACION DE EDAD.....	132
ANEXO II: DESCRIPTORES DE BASE DE DATOS	132



III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

FIGURAS

Figura 1.	Periodo de muestreo en sectores centro y sur, 2010-2018. Periodo marcado del 2015 no incluye muestreo adicional posterior en sector norte de la VII región.	5
Figura 2.	Mapa de la grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur (33°00'S a 41°20'S). Se indica la distribución del veril de los 200 m (línea negra). Estaciones de muestreo con red CalVET (círculo negro), estaciones de muestreo con red CalVET y perfiles de CTD (círculo rojo), estaciones de muestreo con redes CalVET, Cónica y Fito y perfiles de CTD (círculo azul) yestaciones de muestreo con redes CalVET, Cónica y Fito, perfiles de CTD y Botella Niskin (círculo verde).	7
Figura 3.	Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de la producción diaria de huevos y mortalidad diaria de huevos.	11
Figura 4.	Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de los parámetros reproductivos principales del MPDH.	15
Figura 5.	Promedios semanales de temperatura superficial del mar satelital, agosto de 2018.....	31
Figura 6.	Promedios semanales de temperatura superficial del mar satelital, septiembre de 2018.....	31
Figura 7.	Promedios semanales de temperatura superficial del mar satelital, octubre de 2018.....	32
Figura 8.	Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila superficial del mar, agosto 2018.	32
Figura 9.	Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila superficial del mar, septiembre 2018.	33
Figura 10.	Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila superficial del mar, octubre 2018.	33
Figura 11.	Promedios semanales de imágenes satelitales de viento superficial del mar, agosto 2018.	34
Figura 12.	Promedios semanales de imágenes satelitales de viento superficial del mar, septiembre 2018.	35
Figura 13.	Promedios semanales de imágenes satelitales de viento superficial del mar, octubre 2018.	35
Figura 14.	Mapas de distribución de la corriente geostrófica y de la clorofila. El tamaño de la flecha indica la magnitud de la corriente.....	36
Figura 15.	Características hidrográficas (temperatura, salinidad y densidad) registradas a 1 m de profundidad, en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, 2018.....	38
Figura 16.	Características hidrográficas (temperatura, salinidad y densidad) registradas a 10 m de profundidad, en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, 2018.....	39
Figura 17.	Características hidrográficas (temperatura, salinidad y densidad) registradas a 50 m de profundidad, en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, 2018.....	40
Figura 18.	Diagrama TS y porcentaje de participación de las principales masas de agua en los sectores centro (panel izquierdo) y sur (panel derecho).....	41
Figura 19.	Distribución y abundancia de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de anchoveta colectados en los sectores norte, centro y sur (red CalVET).	44
Figura 20.	Distribución de huevos de anchoveta colectados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2015 (panel superior), 2016 (panel central) y 2018 (panel inferior).....	45
Figura 21.	Distribución y abundancia de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de sardina común colectados en los sectores norte, centro y sur (red CalVET).	46
Figura 22.	Distribución de huevos de sardina común colectados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2015 (panel superior), 2016 (panel central) y 2018 (panel inferior).....	47
Figura 23.	Serie temporal del porcentaje de estaciones con huevos en la zona total de muestreo.	48



Figura 24.	Serie temporal de la proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total.....	49
Figura 25.	Serie temporal de la abundancia promedio de huevos de anchoveta (línea azul) y sardina común (línea roja) (estaciones positivas) en el área total.....	50
Figura 26.	Serie temporal de la abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en estaciones positivas por sector. Las líneas segmentadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie en cada zona (verde = centro; rojo = sur) en el periodo 2002-2018... ..	51
Figura 27.	Distribución de los lances de pesca realizados durante el periodo del crucero de adultos en la Región del Biobío, de la Araucanía, y Región de los Ríos y correspondientes a las zonas centro y sur, respectivamente.	57
Figura 28.	Frecuencias de tallas de sardina común en los sectores centro y sur de Chile.	59
Figura 29.	Frecuencias de tallas de anchoveta en los sectores centro y sur....	60
Figura 30.	Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de anchoveta, año 2018.	62
Figura 31.	Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de sardina común, año 2018.	64
Figura 32.	Mapas de distribución de abundancia de huevos de anchoveta, colectados con red CalVET, sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (σ_t) y fluorescencia a 10m de profundidad en los sectores norte (a), centro (b) y sur (c).....	69
Figura 33.	Mapas de distribución de abundancia de larvas de anchoveta, colectadas con red CalVET, sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (σ_t) y fluorescencia a 10m de profundidad en los sectores norte (a), centro (b) y sur (c).....	70
Figura 34.	Mapas de distribución de abundancia de huevos de sardina común, colectados con red CalVET, sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (σ_t) y fluorescencia a 10m de profundidad en los sectores norte (a), centro (b) y sur (c).....	71
Figura 35.	Mapas de distribución de abundancia de larvas de sardina común, colectadas con red CalVET, sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (σ_t) y fluorescencia a 10m de profundidad en los sectores norte (a), centro (b) y sur (c).....	72
Figura 36.	Mapas de distribución de abundancia de huevos de anchoveta, colectados con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas.....	75
Figura 37.	Mapas de distribución de abundancia de huevos de sardina común, colectados con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas.....	76
Figura 38.	Mapas de distribución de abundancia de larvas de anchoveta, colectadas con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas.....	77
Figura 39.	Mapas de distribución de abundancia de larvas de sardina común, colectadas con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas.....	78
Figura 40.	Mapas de distribución de abundancia de huevos de anchoveta, colectados con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, <i>Skeletonema</i> , <i>Thalassionaria</i> y <i>Chaetoceros</i>	82
Figura 41.	Mapas de distribución de abundancia de huevos de sardina común, colectados con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, <i>Skeletonema</i> , <i>Thalassionaria</i> y <i>Chaetoceros</i>	83
Figura 42.	Mapas de distribución de abundancia de larvas de anchoveta, colectadas con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, <i>Skeletonema</i> , <i>Thalassionaria</i> y <i>Chaetoceros</i>	84



Figura 43.	Mapas de distribución de abundancia de larvas de sardina común, colectadas con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, <i>Skeletonema</i> , <i>Thalassionaria</i> y <i>Chaetoceros</i>	85
Figura 44.	Abundancia de huevos de anchoveta y sardina común (ind/m^2), colectados con red Cónica, asociadas a sección vertical de clorofila a ($\mu\text{g}/\text{L}$) de las transectas 25 (panel izquierdo) y 31 (panel derecho), ubicadas en el sector centro	86
Figura 45.	Abundancia de huevos de anchoveta y sardina común (ind/m^2), colectados con red Cónica, asociadas a la sección vertical de la distribución de clorofila-a ($\mu\text{g}/\text{L}$) de las transectas 49 (panel izquierdo) y 61 (panel derecho), ubicadas en el sector sur	87
Figura 46.	Efectos de los predictores apendicularias, sifonóforos, quetognatos y medusas sobre la variable densidad de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b), ajustado un modelo quasipoisson (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta y líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza (red Cónica).	91
Figura 47.	Promedio (panel superior) y desviación estándar (panel inferior) de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común, y las variables temperatura, salinidad y sigma-t (10m de profundidad) obtenidas durante los cruceros del 2002 al 2016.....	93
Figura 48.	Series temporales de la anomalía de la temperatura superficial del mar entre 2003 y 2018.....	94
Figura 49.	Series temporales de la anomalía acumulada de la temperatura superficial del mar entre 2003 y 2018.....	95
Figura 50.	Series temporales de la anomalía de la clorofila-a superficial del mar entre 2003 y 2018.....	95
Figura 51.	Series temporales de la anomalía acumulada de la clorofila-a superficial del mar entre 2003 y 2018.....	96
Figura 52.	Series temporales de transporte Ekman ($\text{m}^3\text{s}^{-1} \times 1000 \text{ m de costa}$) entre 2003 y 2018.....	96
Figura 53.	Series temporales de la posición meridional del centro de alta presión (panel superior) y anomalía acumulada de la posición meridional del centro de alta presión (panel inferior) entre 2003 y 2018.....	97
Figura 54.	Variación latitudinal del centroide ($^\circ$) de distribución de huevos de anchoveta (círculo negro) y sardina común (círculo gris) obtenidos entre los años 2002 y 2018.....	98
Figura 55.	Cambios latitudinales en la densidad de huevos de sardina común (izquierda) y anchoveta (derecha) en la zona centro sur, 2002-2018. La escala está referida a logaritmo neperiano más una constante (0,1). Los puntos blancos son proporcionales a la densidad de huevos y muestran el rango de distribución de las estaciones y las zonas con mayor densidad de huevos.....	100
Figura 56.	Función de diagnóstico para verificar la validez del componente de probabilidad de encuentro del modelo espacio-temporal de huevos de anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha).....	102
Figura 57.	Correlación entre la ubicación s , y la ubicación $s+h$ para los términos espaciales y espacio-temporales de los huevos de anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha).....	102
Figura 58.	Función de distribución de la densidad de huevos de anchoveta estimada $d(s, t)$ para el periodo comprendido entre los años 2002 y 2018, incluyendo la predicción de la densidad de los huevos para los años 2006 y 2017, años en que no se realizó el crucero de evaluación.....	104
Figura 59.	Función de distribución de la densidad de huevos de sardina común estimada $d(s, t)$ para el periodo comprendido entre los años 2002 y 2018, incluyendo la predicción de la densidad de los huevos para los años 2006 y 2017, años en que no se realizó el crucero de evaluación.....	105
Figura 60.	Abundancia total de huevos de sardina común para el área de estudio entre los años 2002 y 2018.....	106
Figura 61.	Relaciones entre la biomasa de huevos y la densidad media de huevos para sardina común y anchoveta, periodo 2002-2017.....	108



Figura 62:	Diagrama de dispersión entre el índice MEIv2 y la anomalía de temperatura interanual. Las líneas punteadas horizontales representan el percentil de 25 % y de 75 % de la distribución de anomalías de temperatura interanual. Las líneas punteadas horizontales marcan los valores del índice MEIv2 de 0.5 (El Niño) y -0.5 (La Niña). Los triángulos representan El Niño 1997-98 (morado) y El Niño 2015-16 (rojo). Los círculos representan La Niña 1998-99 (amarillo), La Niña 2007-08 (turquesa), La Niña 2010 (verde) y La Niña 2017-18 (azul).	109
Figura 63:	Series de tiempo del Índice MEIv2 (panel superior) y la anomalía de temperatura interanual promedio del área entre los 32°S y 42°S y desde la línea de costa hasta las 20mn de distancia de la costa (panel inferior). Las líneas punteadas horizontales del panel superior representan el índice MEIv2 de -0,5 (azul) y 0,5 (rojo). Los círculos plomos del panel inferior representan las fechas de los cruceros MPH de la región centro- sur. Las líneas punteadas horizontales del panel inferior representan el percentil de 25 % (azul) y de 75 % (rojo) de la distribución de anomalías de temperatura interanual.	110
Figura 64.	Distribución latitudinal de la abundancia de huevos de anchoveta (paneles izquierdos) y de sardina común (paneles derechos) durante los cruceros de los años 2007, 2004 y 2015.	111
Figura 65:	Diagrama de dispersión entre la anomalía de temperatura interanual y la abundancia de huevos de anchoveta (A) y sardina común (B), y cobertura de huevos de anchoveta (C) y sardina común (D). Los círculos representan los cruceros de los años 2004 (rojo), 2015 (rojo) y 2007 (azul). .	112
Figura 66.	Comparación de la biomasa desovante de sardina común y anchoveta evaluada con el método de la producción diaria de huevos, 2002-2018.....	118
Figura 67.	Relaciones entre variable reproductivas en las tres zonas en que se aplica el MPH. A) Fecundidad y peso corporal. B) Peso ovario y peso corporal. C) Número de ovocitos por gramo de ovario em función del peso corporal. XV, I y II regiones en azul. III y IV regiones en negro. V a X regiones en rojo. D) Ovocitos por gramo de ovario promedio.....	120
Figura 68.	Mapa de distribución espacial de clocofila satelital del mes de agosto de los años 2007 y 2015.	122



TABLAS

Tabla 1.	Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton en cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.	4
Tabla 2:	Número de estaciones para cada tipo de muestreo y para cada sector.	6
Tabla 3.	Características de las masas de aguas presente en las costas de Chile.	9
Tabla 4.	Las masas de agua y sus índices termohalinos (T, S) para cada uno de los triángulos de mezcla utilizados para calcular la participación de la masa de agua en la mezcla de agua de mar.	9
Tabla 5.	Embarcaciones utilizadas en los muestreos de adultos en cada sector, periodo de muestreo y número de lances por sector.	15
Tabla 6.	Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta.	18
Tabla 7.	Resumen de los parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs).	23
Tabla 8.	Serie de tiempo de biomasa y abundancia acústica de sardina común y anchoveta en los cruceros acústicos de reclutamiento realizados en enero de cada año (Fuente: IFOP).	28
Tabla 9	Número de estaciones totales desarrolladas por sector en el 2018, estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común, y el porcentaje que representan las estaciones con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector.	42
Tabla 10.	Número total de huevos de anchoveta y sardina común por sector, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones y considerando solo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación ($h\ 0,05\ m^{-2}$) en cada sector.	42
Tabla 11.	Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlace log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos/ m^2) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h^{-1}).	53
Tabla 12.	Estimaciones de la producción diaria de huevos (P_0) y tasa de mortalidad diaria (Z) para la anchoveta y sardina común utilizando GLM con familia binomial negativa y enlace log y ponderación con el índice de agregación de Lloyd en el área de desove (A_1) de cada estrato geográfico. Se muestra también la estimación estratificada de la producción de huevos en el área total (P). Los números entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación de los estimados.	54
Tabla 13.	Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2018, sector centro.	55
Tabla 14.	Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2018, sector sur.	56
Tabla 15.	Composición por tallas de sardina común obtenidas durante el crucero de adultos en los sectores centro y sur, año 2018.	58
Tabla 16.	Composición por tallas de anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en los sectores centro y sur, año 2018.	58
Tabla 17.	Estimaciones de fracción diaria de hembras desovantes por zona y área total para sardina común año 2018. t calculado para $H_0: FPO\ 0 = FPO\ 1$	61



Tabla 18.	Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH.....	63
Tabla 19.	Parámetros de las regresiones con intercepto cero entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH.....	63
Tabla 20.	Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común en cada año de aplicación del MPH. LP indica la relación obtenida al combinar todos los años.....	64
Tabla 21.	Parámetros de las regresiones con intercepto cero entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común en cada año de aplicación del MPDH. LP indica la relación obtenida al combinar todos los años.....	65
Tabla 22.	Estimaciones de fecundidad media poblacional por zona y área total, para anchoveta y sardina común año 2018.....	65
Tabla 23.	Estimaciones de peso promedio y proporción de hembra madura por zona y área total para anchoveta y sardina común año 2018.....	66
Tabla 24.	Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común (septiembre - octubre 2018). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa.....	67
Tabla 25.	Abundancia promedio (desviación estándar (DS)) y máxima del zooplancton (individuos/m ²) por sector considerando el número total de estaciones (en negrilla son los grupos graficados) (red Cónica).....	74
Tabla 26.	Abundancia promedio (desviación estándar (DS)) y máxima de diatomea, dinoflagelados, ciliados y silicoflagelados (cel./L) por sector considerando el número total de estaciones.....	79
Tabla 27.	Abundancia promedio (desviación estándar (DS)) y máxima de fitoplancton (cel./L) por sector considerando el número total de estaciones.....	80
Tabla 28.	Resumen de los modelos aditivos generalizados (GAMs) para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S), densidad (sigma-t) (D) y fluorescencia (F) en el 2018 (R ² : Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general). (Red CalVET).....	88
Tabla 29.	Parámetros de los modelos aditivos generalizados seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos 0.05m ⁻²) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S), densidad (sigma-t) (D) y fluorescencia (F) en 2018 (Red CalVET).....	89
Tabla 30.	Rango óptimo (límite inferior y superior) de las variables predictoras a 10m de profundidad obtenidas de los GAM, asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común. (Red CalVET).....	89



Tabla 31.	Parámetros de los modelos aditivos generalizados seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos 0.05m^{-2}) en función de la densidad de apendicularias, sifonóforos, quetognatos, y medusas en 2018 (R ² : Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general) (red Cónica).....	90
Tabla 32.	Rango óptimo (límite inferior y superior) de las variables predictoras obtenidas de los GAM, asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (red Cónica).	91
Tabla 33.	Resultados del ajuste del modelo GAM a datos de densidad de huevos de sardina común y anchoveta en el periodo 2002-2018.....	99
Tabla 34.	Desempeño estadístico de los modelos utilizados para estandarizar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (parámetros=17 coeficientes).	100
Tabla 35.	Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG familia Binomial negativo.....	101
Tabla 36.	Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de sardina común, zona centro-sur (2002-2016).	107
Tabla 37.	Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de anchoveta, zona centro-sur (2002-2016).107	



IV. ANTECEDENTES

La sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) son peces pelágicos pequeños de importancia pesquera para una flota industrial y otra artesanal de cerco que opera en la zona centro-sur de Chile, con Talcahuano y Corral como los principales centros de desembarque. Ambas especies se caracterizan por una distribución costera, por presentar un ciclo de vida de tres a cuatro años de longevidad, rápido crecimiento, elevada tasa de mortalidad natural, por formar cardúmenes densos y por ser especies marcadamente influenciadas por factores ambientales (bióticos y abióticos) en todas las etapas de su ciclo vital (Yáñez *et al.*, 1992; Cubillos & Arancibia, 1993; Cubillos *et al.*, 1998; Cubillos & Arcos, 2001).

La condición ambiental en la región centro-sur de Chile está influenciada por procesos oceanográficos de escala estacional, ligados a la surgencia costera (Letelier *et al.*, 2009, Sobarzo *et al.*, 2007). Durante la primavera-verano, predomina el viento del suroeste que favorece la surgencia costera, el transporte de aguas superficiales hacia fuera de la costa, y el establecimiento de un gradiente térmico horizontal. En otoño-invierno el viento es débil y proviene mayoritariamente del norte, favoreciendo los procesos de hundimiento (Thiel *et al.*, 2007). También está influenciada por procesos de mayor escala, asociados con El Niño Oscilación del Sur (ENOS) (Parada *et al.*, 2013).

La línea de costa en esta región tiene una orientación norte-sur y su topografía es compleja, compuesta por bahías, golfos y puntas que intensifica el desarrollo de sombras de surgencia (Bonicelli *et al.*, 2014; Graham, 1993; Valle-Levinson, 2003), filamentos, meandros y remolinos (Correa-Ramirez *et al.* 2007; Letelier *et al.*, 2009). En sectores costeros que se encuentran a sotavento de centros de surgencia, como por ejemplo el golfo de Arauco (37°S), se conforma una estructura hidrográfica que ha sido denominada “sombra de surgencia” (Bonicelli *et al.*, 2014; Graham, 1993; Valle-Levinson, 2003), donde la productividad biológica presenta valores elevados en relación a zonas más expuestas. Además, en los centros de surgencia, frente a Punta Lavapie (37°S), la corriente que viene desde el polo se separa del borde costero formando un Jet Costero con dirección hacia el noroeste (Aguirre *et al.*, 2012; Renault *et al.*, 2009). Así mismo, es común encontrar remolinos de meso-escala, que concentran nutrientes en zonas alejadas de la costa donde comúnmente la productividad biológica es escasa (Correa-Ramirez *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2012).

La pesquería en la zona centro-sur se desarrolla de manera estacional, con capturas fuertemente dependientes de los pulsos de reclutamiento anual, que tienden a ocurrir entre noviembre y enero de cada año y está representado por peces de cuatro a cinco meses de edad y longitud modal centrada entre los 6 y 7 cm de longitud total (Cubillos *et al.*, 1998, 2001). Se entiende por un pulso de reclutamiento a la extensión temporal en que se manifiesta la presencia de juveniles que se incorporan a la zona de pesca en función de la extensión del ciclo reproductivo. En ambas especies se ha observado una reducción en la duración del ciclo reproductivo desde 2006 al 2011 (Claramunt *et al.*, 2014). No obstante, la evaluación del reclutamiento anual de los stocks de anchoveta y sardina común, que se realiza desde 1999 mediante el método hidroacústico (Castillo *et al.*, 2000, 2001, 2002a, 2004; Saavedra *et al.*, 2017, 2018, 2019) registró un aumento en la magnitud del reclutamiento de sardina común y una disminución en el caso de anchoveta después de 2006 (Saavedra *et al.*, 2018).



El método hidroacústico también es aplicado para evaluar la biomasa del stock desovante (Castillo *et al.*, 2002b), sin embargo, este método no considera los parámetros reproductivos del stock, los cuales son importantes para obtener un mejor conocimiento acerca de la condición reproductiva de las poblaciones de peces pelágicos. El Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH) ha sido uno de los métodos más utilizados para estimar la biomasa del stock desovante de peces con fecundidad indeterminada y parcial como la sardina común y la anchoveta, ya que, considera la dinámica reproductiva del stock, principalmente en términos de la frecuencia del desove y la subsecuente producción de huevos realizada (Lasker, 1985; Hunter & Lo, 1993, 1997; Lo *et al.*, 2001; Somarakis *et al.*, 2004). Mediante este método la biomasa desovante es definida como la razón entre la producción diaria de huevos (huevos por unidad de superficie por día) y la fecundidad específica diaria de la población adulta (huevos por día por tonelada métrica) en el área de desove. La producción diaria de huevos se evalúa a partir de la producción total de huevos en la época reproductiva mediante un crucero ictioplanctónico. La fecundidad específica diaria de la población se determina a partir de muestras de peces adultos obtenidos simultáneamente, y de las cuales se determina la fecundidad media poblacional, peso promedio de hembras, frecuencia del desove y proporción sexual. Estos parámetros reproductivos, así como, la producción diaria, son tasas instantáneas que permiten evaluar la biomasa desovante en un instante determinado, dentro del periodo reproductivo, sin la necesidad de integrar toda la producción de huevos en una estación de desove completa (Hunter & Lo, 1993, 1997). De esta manera, el supuesto principal es que la tasa de producción diaria de huevos se mantiene constante durante toda la estación reproductiva, independiente de su duración.

En el 2002 se aplicó por primera vez el MPDH en anchoveta y sardina común de la zona centro sur de Chile, proyecto FIP 2002-14 (Cubillos *et al.*, 2003), generando información relevante desde el punto de vista de la dinámica reproductiva, como de la distribución, abundancia y producción de huevos (Cubillos *et al.*, 2007). Desde entonces, se ha podido verificar que la expresión espacial del desove de ambas especies en la principal época de desove es costera y no supera las 30 millas náuticas de la costa, tal como se ha observado en los cruceros realizados hasta septiembre-octubre de 2016 (Cubillos *et al.*, 2017) y también en la campaña del 2018.



V. OBJETIVOS

1. Objetivo general

Evaluuar el stock desovante de los recursos anchoveta y sardina común durante el periodo de máxima actividad reproductiva, en el área comprendida entre la V a X Regiones, y las condiciones oceanográficas asociadas a este proceso.

2. Objetivos específicos

- 2.1. Determinar las condiciones oceanográficas y meteorológicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común.
- 2.2. Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común.
- 2.3. Actualizar el análisis integrado de las variables poblacionales, bío-oceanográficas y meteorológicas durante el proceso reproductivo en un contexto espacial y temporal, utilizando datos del crucero, bases de datos históricas y otras fuentes de información.
- 2.4. Objetivo incremental: Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta. Fase II: Determinar y analizar la influencia de eventos interanuales “El Niño” y “La Niña” en la cobertura, distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 – 2017.



VI. METODOLOGÍA GENERAL

1. Actividades administrativas y operacionales

En términos administrativos, IFOP adjudicó el desarrollo del estudio a la Universidad de Concepción mediante Res. Ex. N.º 614 de IFOP el 31 de mayo de 2018. La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura autorizó a la Universidad de Concepción a realizar la pesca de investigación mediante Resolución Exenta N°2810 del 3 de agosto de 2018. En la Res. Ex. N.º 2810 y sus modificaciones autorizaron a embarcaciones artesanales a realizar cruceros de prospección en el área marítima comprendida desde la Región de Valparaíso a la Región de Los Lagos. Las embarcaciones participantes fueron “Don Julián”, “Sebastián II” y “Isaac II” para la evaluación de la condición biológica de los adultos y “Gimar I” y “Kay Kay II” para la evaluación del desove.

2. Área y periodo de estudio

Se desarrollaron cruceros bio-oceanográficos en el área comprendida entre 33°00' S y 41°20' S. El área de estudio se dividió en tres sectores: a) Sector Norte, entre 33°00' y 34°00'S°, b) Sector Centro, entre el norte de Constitución y el Golfo de Arauco (34°30' – 37°10'S) y c) Sector Sur, entre los 38°S y 41°20'S. Los sectores, embarcaciones y fechas son indicados en la **Tabla 1**.

La secuencia temporal de cruceros es la históricamente utilizada en los proyectos del MPDH: fue primero el sector centro, luego el sur y finalmente el norte. Sin embargo, debido a las condiciones climáticas cambiantes, hubo que suspender y reiniciar las actividades en múltiples ocasiones, así como, suspender estaciones (principalmente las más externas) cuando las condiciones del mar no permitieron muestrear. Comparado con los años anteriores, el periodo de muestreo de los sectores con mayor abundancia de huevos (sector centro y sur) ocurrió dentro de la ventana de tiempo llevada a cabo históricamente (**Figura 1**).

Tabla 1. Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton en cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.

Embarcación	Sector	Coordenadas	Período	Nº Estaciones
María Elena II	Norte	33°00'S – 34°00'S	23/10 – 24/10/2018	14
Kay Kay II	Centro	34°30'S – 35°55'S	11/10 – 14/10/2018	77
Gimar I	Centro	36°00'S – 37°10'S	09/09 – 15/09/2018	93
Gimar I	Sur	37°20'S – 41°20'S	01/10 – 03/10/2018 18/10 – 24/10/2018	201
Total				385



Año	SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE	
	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 1	sem 2
2010										
2011										
2012										
2013										
2014										
2015										
2016										
2018										

Figura 1. Período de muestreo en sectores centro y sur, 2010-2018. Período marcado del 2015 no incluye muestreo adicional posterior en sector norte de la VII región.

2.1. Grilla de muestreo de huevos

El área completa de estudio fue muestreada utilizando una grilla de 385 estaciones dispuestas en transectas perpendiculares a la costa (**Tabla 1** y **Figura 2**). El límite occidental de las transectas, y por lo tanto su extensión, varió latitudinalmente a lo largo del área de estudio dependiendo de la ubicación del quiebre de la plataforma continental (200 m), desde la cual se realizó un máximo de dos estaciones más hacia la zona oceánica. A su vez, como límite oriental se consideró una distancia máxima de media milla náutica desde la costa (**Figura 2**).

En el sector norte se realizó un total de 14 estaciones divididas en 4 transectas. En el sector centro se consideró un total de 33 transectas separadas cada 5 mn. En total se realizaron 170 estaciones (de 197 planificadas). En cada transecta, las estaciones estuvieron separadas cada 4 mn, comenzando a partir de la media mn desde la costa. Este año 2018 se incluyeron nuevamente las 10 estaciones adicionales ubicadas en el sector oeste de Isla Santa María. Finalmente, la grilla de estaciones del sector sur tuvo la misma resolución que la del sector centro. En total se realizaron 201 estaciones (de 220 planificadas). Este plan de muestreo incluyó una transecta adicional de 3 estaciones ubicada al sur de Punta Lavapié. El número de estaciones para cada tipo de muestreo y para cada sector se describe en la **Tabla 2** y **Figura 2**.

2.2. Obtención de la información oceanográfica durante el crucero

Ictioplancton: La colecta de huevos y larvas de anchoveta y sardina común en cada estación consistió en un arrastre vertical desde una profundidad máxima de 70 m en zonas profundas, mientras que en aguas someras se realizó considerando un máximo de 5 m sobre el fondo. Para el muestreo se utilizó una red PAIROVET, consistente en dos redes CalVET (California Vertical Egg Tow, Smith *et al.*, 1985) de 0,05 m² de área de boca y 150 µm de trama, equipada con un depresor de 36 kg que mantuvo la red vertical, y cuya velocidad de virado fue 70 metros por minuto. Una vez a bordo, las muestras de zooplancton fueron preservadas en una solución de formalina al 10 % de agua de mar neutralizada con borax (tetraborato de sodio). Posteriormente, en el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL) de la Universidad de Concepción, las muestras de zooplancton fueron analizadas. El



análisis consistió en la separación de la totalidad del ictioplancton y en la identificación y cuantificación de los huevos y larvas de anchoveta y sardina común bajo una lupa estereoscópica. Se utilizó los criterios de Fischer (1958), Einarsson & Rojas (1963), Moser & Ahlstrom (1985), Santander *et al.* (1984), y Herrera *et al.* (1987).

Tabla 2. Número de estaciones para cada tipo de muestreo y para cada sector.

	CalVET	CalVET + CTD	CalVET + CTD + Cónica + Fito	CalVET + CTD + Cónica + Fito + Botella Niskin	Total de estaciones
Norte	3	3	8	0	14
Centro	77	62	18	13	170
Sur	92	79	17	13	201

Mesozooplancton: El muestreo de mesozooplancton se realizó mediante arrastre vertical con una red Cónica (aro de 60 cm de diámetro de boca y red de 300 µm de trama) desde la superficie hasta 70 m de profundidad. Una vez a bordo, las muestras fueron fijadas en formalina 10 %, etiquetadas y almacenadas para un análisis posterior de los grupos funcionales dominantes en el laboratorio.

Fitoplancton y biomasa fitoplanctónica: El muestreo de fitoplancton se llevó a cabo mediante arrastres verticales con una red de fitoplancton (red Fito), de 50 cm de diámetro de boca y 10 µm de trama, desde la superficie hasta 70 m de profundidad. Las muestras, una vez a bordo, fueron fijadas, etiquetadas y posteriormente almacenadas para su análisis en el laboratorio. Adicionalmente, en 26 estaciones dispuestas en 4 transectas, se colectaron muestras de agua de mar con botellas tipo Niskin de 5 litros en 7 profundidades (0, 5, 10, 20, 30, 50 y 70 m) para estimar la biomasa fitoplanctónica. Una vez a bordo, las muestras (200 ml) fueron filtradas en filtros de fibra de vidrio (Whatman, 47 mm de diámetro, 0,7 um poro) y congeladas para la determinación de clorofila-a mediante fluorometría en el laboratorio.

Variables hidrográficas: En las estaciones de la grilla regular (transecta por medio) se realizaron perfiles hidrográficos con CTD (se utilizaron dos modelos: SBE 25 y SBE 19Plus V2) equipado con un sensor de oxígeno. Los lances hidrográficos se realizaron hasta 100 m de profundidad o hasta 10 m arriba del fondo, según la batimetría de las estaciones. Adicionalmente, en todas las estaciones de la grilla, se midió la temperatura superficial del mar con termómetro digital a partir de una muestra de agua de mar obtenida con un balde.

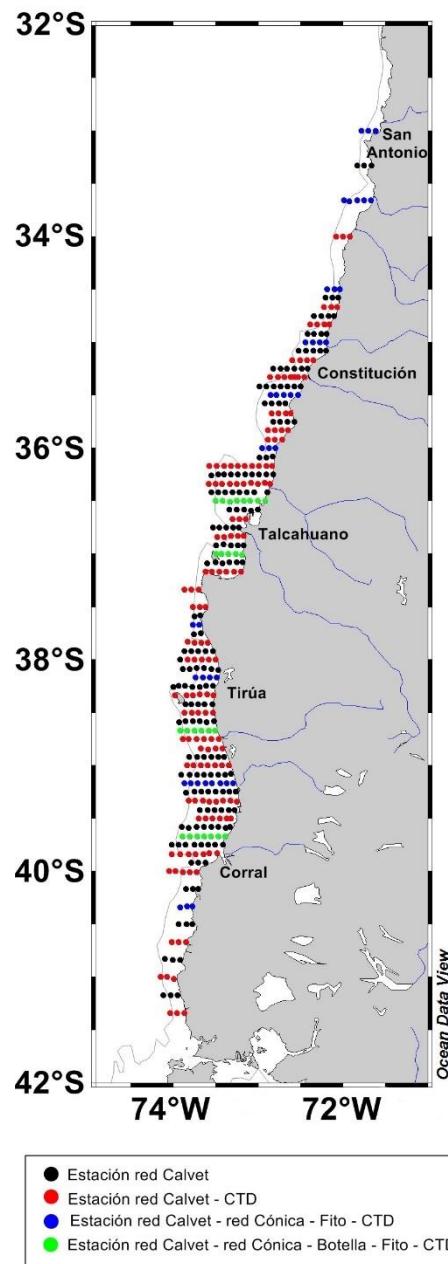


Figura 2. Mapa de la grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur ($33^{\circ}00'S$ a $41^{\circ}20'S$). Se indica la distribución del veril de los 200 m (línea negra). Estaciones de muestreo con red CalVET (círculo negro), estaciones de muestreo con red CalVET y perfiles de CTD (círculo rojo), estaciones de muestreo con redes CalVET, Cónica y Fito y perfiles de CTD (círculo azul) y estaciones de muestreo con redes CalVET, Cónica y Fito, perfiles de CTD y Botella Niskin (círculo verde).



3. Metodología por objetivo específico

3.1. Objetivo específico 1: Determinar las condiciones oceanográficas y meteorológicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común

Durante 2018 se obtuvo imágenes satelitales de temperatura superficial del mar y clorofila MODIS Aqua Globales, con resolución espacial de 4 Km y temporal de 8 días para los meses de agosto, septiembre y octubre. Los datos provinieron del sitio OceanColor Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html>).

Las imágenes satelitales diarias de temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}$) y clorofila-a (mg m^{-3}) cubren el periodo comprendido entre el 1 de agosto y 30 de octubre de 2018. Se destaca que las imágenes fueron promediadas cada siete días corridos, de esta forma las fechas de las imágenes satelitales de TSM y CHL corresponde a días julianos. Estas fueron procesadas, escaladas y corregidas atmosféricamente. Adicionalmente, se procesaron imágenes satelitales de viento provenientes del IFREMER con el producto ASCAT de resolución temporal diaria y espacial de un cuarto de grado.

Con el fin de mejorar la cobertura de datos en las imágenes satelitales diarias de temperatura y clorofila-a, producto de la cobertura nubosa inherente de estos datos, se implementó una metodología de interpolación en tres dimensiones que considera la variabilidad en el espacio y el tiempo de los datos para su interpolación con cokriging (Marcotte, 1991, Navarro *et al.*, 2004) con el propósito de mejorar la cobertura de información sin perder la variabilidad espacial y temporal propia del área de estudio. Para obtener una mejor representación gráfica y para lograr una mejor caracterización en términos de los principales procesos y estructuras distinguibles de la temperatura, clorofila-a y viento se obtuvo promedios semanales para las tres variables, ya que a pesar del cokriging aplicado a las imágenes diarias no se logró solucionar la cobertura de nubes.

Para relacionar las corrientes geostróficas con la distribución espacial de la clorofila se hicieron mapas de distribución de la magnitud y dirección de las corrientes geostróficas superpuestas a imágenes satelitales de clorofila-a durante agosto, septiembre y octubre de 2018. Las imágenes de clorofila-a superficial satelital fueron confeccionadas usando datos del satélite MODIS-Aqua (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), con una resolución espacial de 4x4 km. Los campos superficiales de corrientes geostróficas fueron obtenidos del Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea COPERNICUS (<http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-to-products/>), el cual distribuye el producto procesado de los datos altimétricos de multimisión de DUACS (SEALEVEL_GLO_PHY_L4_NRT_OBSERVATIONS_008_046), con una resolución espacial de $0,25^{\circ}$ ($\sim 27 \text{ km}$).

3.1.1. Secciones horizontales de variables hidrográficas

A partir de la data hidrográfica colectada *in situ*, se procedió a confeccionar mapas de las secciones horizontales de las variables hidrográficas (temperatura, salinidad y densidad) en cada una de las zonas analizadas. Para la diagramación de los mapas horizontales se utilizaron los valores de las variables registradas en superficie (temperatura, salinidad, densidad), a 10 m y 50 m de profundidad. Los mapas fueron realizados a través del algoritmo Data Interpolating Variational Análisis (DIVA) del programa



Ocean Data View (ODV, versión 4.7.8). Este método de interpolación de una grilla regular, considera como parte de los análisis, la línea de costa y características batimétricas de la zona de estudio (Barth *et al.*, 2010; Troupin *et al.*, 2010; Tyberghein *et al.*, 2011).

3.1.2. Diagramas temperatura-salinidad (T-S)

Identificación de masas de agua

Con la data hidrográfica colectada *in situ*, se procedió a identificar las masas de agua presentes y su contribución relativa en cada zona a partir de diagramas T-S. En este caso, se utilizó la data de los sectores centro y sur, debido a que en estas zonas se encontró la mayor abundancia de huevos. Se utilizaron datos de temperatura y salinidad de las estaciones oceanográficas localizadas en áreas oceánicas (> 35 km) de los sectores centro ($35,83^{\circ}$ - $36,84^{\circ}$ S) y sur ($37,34^{\circ}$ - $41,3^{\circ}$ S). Con esta información se trazó un diagrama T-S para cada sector con el fin de determinar las masas de agua presentes durante el crucero del año 2018. Los criterios para identificar las masas de agua en el área de estudio se presentan en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Características de las masas de aguas presente en las costas de Chile.

Masas agua	T (°C)	S	Fuente
Agua Subtropical (AST)	> 18,5	> 34,9	
Agua Subantártica (ASAA)	11,5 - 14,5	33,8 - 34,8	(Bernal <i>et al.</i> , 1982; Silva <i>et al.</i> , 2009; Silva & Konow, 1975; Llanillo <i>et al.</i> , 2012;
Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)	8,5 - 12,5	34,4 - 34,9	Vergara <i>et al.</i> , 2016).
Agua Intermedia Antártica (AIAA)	4 - 8	34,3 - 34,5	
Agua Profunda Pacifico (APP)	1,75	34,68	

Tabla 4. Las masas de agua y sus índices termohalinos (T, S) para cada uno de los triángulos de mezcla utilizados para calcular la participación de la masa de agua en la mezcla de agua de mar.

Triángulos	Masas agua	T (°C)	S	Fuente
AST-ASAA-AESS	Agua Subtropical (AST)	20,0	35,2	
	Agua Subantártica Superficial (ASAA)	11,5	33,8	
	Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)	12,5	34,9	
ASAA-AESS-AIAA	Agua Subantártica Superficial (ASAA)	11,5	33,8	Silva & Konow (1975);
	Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)	12,5	34,9	Millero & Poisson (1981);
	Agua Intermedia Antártica (AIAA)	3,0	34,0	Silva <i>et al.</i> , (2009)
AESS-AIAA-APP	Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESS)	12,5	34,9	
	Agua Intermedia Antártica (AIAA)	3,0	34,0	
	Agua Profunda Pacifico (APP)	1,75	34,68	



Se calculó la participación porcentual de cada masa de agua en los sectores centro y sur mediante el método del triángulo de mezcla, los valores utilizados para los cálculos se señalan en la **Tabla 4**. Los diagramas y análisis, se realizaron mediante el software Matlab (versión R2015a) con la función pwma. Esta función permite obtener la participación porcentual de los tipos de masas de agua presentes en el perfil de salinidad y temperatura, a partir de distancias geométricas al interior de cada triángulo de mezcla (Brown *et al.*, 2001).

3.2. Objetivo específico 2: Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común.

En el Método de la Producción Diaria de Huevos, la secuencia de actividades relacionadas con el crucero de huevos se resume en la **Figura 3**. Cada una de estas actividades involucran un conjunto de métodos y criterios que se describen a continuación.

3.2.1. Distribución espacial de huevos

Con el fin de determinar la distribución horizontal y las zonas de mayor agregación del ictioplancton se procedió a la confección de mapas de distribución horizontal de huevos y larvas de anchoveta y sardina común.

3.2.2. Determinación del área de crucero y de desove

Para delimitar el área de crucero y el área de desove se siguió la metodología disponible en la biblioteca “geofun” para “spatstat” para el lenguaje de programación R (R Core Team 2014). Este método permitió conocer el área exacta representada por una estación de muestreo, ya que es importante que la producción de huevos sea medida en unidades de individuos por m^2 por día. El área de mar superficial representada por cada estación se necesita para obtener una estimación de la producción diaria en el área total del crucero.

La estimación del área representada por cada estación, dentro del área del crucero, considera la distancia desde esa estación a cualquiera de las estaciones que la rodean y a los límites del área del crucero, de tal manera que el área de cada estación no se sobreponga con otras, y la suma del área representada por cada estación es igual al área total del crucero. El programa *geofun*, es el programa que permite modificar los datos espaciales para ser utilizados adecuadamente en la modelación espacial y provee de funciones para representar mapas de distribución y salidas de los modelos. Las principales características son: a) transformar pares de variables (usualmente latitud y longitud) a km^2 , y a lo largo de una línea de referencia (e.g. línea de costa, isóbata) y perpendiculares a ésta; b) encontrar los límites del área del crucero y detectar los puntos que están dentro de dichos límites; c) estimar el área de los puntos de una grilla de muestreo regular o irregular dentro de los límites del crucero mediante Dirichlet Tessellation, d) estimar el área representada por los puntos localizados en el borde del crucero; y e) proveer funciones para graficar los resultados de un modelo espacial (mapeo).



Figura 3. Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de la producción diaria de huevos y mortalidad diaria de huevos.

3.2.3. Conteo, clasificación y asignación de edad

Los huevos de sardina común y anchoveta fueron separados del plancton e identificados bajo un microscopio estereoscópico según las características descritas por Moser & Ahlstrom (1985), Santander *et al.* (1984), y Herrera *et al.* (1987).

Los huevos fueron contados y su abundancia estandarizada a número por $0,05\text{ m}^2$, y asignados en uno de once estados de desarrollo sobre la base de la secuencia de cambios morfológicos que ocurre durante la embriogénesis. Estos cambios morfológicos han sido descritos para la anchoveta por Moser & Ahlstrom (1985) y Santander *et al.* (1984) y en los proyectos del MPDH de anchoveta en el norte de Chile por Oliva *et al.* (2000, 2001), y en la zona centro-sur por Cubillos *et al.* (2003). En el caso de la sardina común se utilizaron los criterios establecidos por Sepúlveda *et al.* (2000) sobre la base de los criterios morfológicos de la sardina (Herrera *et al.*, 1987) y anchoveta. Según la metodología propuesta por Moser & Ahlstrom (1985), los estadios de desarrollo no identificables o desintegrados fueron clasificados como huevos deteriorados. Las características morfológicas de los huevos son las siguientes:

Estadio I: La división celular aún no se inicia, los huevos están recién desovados, sin observarse aún la segmentación. Sólo se conforma el blastodisco, una acumulación de citoplasma en un polo.

Estadio II: Este comienza con la división de la célula en dos células o blastómeros y termina con la formación de la mórlula.



Estadio III: Este estadio se define a partir de la aparición de la cavidad de segmentación, que es el espacio formado entre el blastodisco y la masa de vitelo durante el último clivaje. Este estado marca el comienzo de la gastrulación. El final de este estadio es identificado ya que el anillo germinal está localizado un tercio más abajo que la masa de vitelo y la naturaleza bilateral del embrión ya es observable.

Estadio IV: Este estadio se identifica con el anillo germinal que ha envuelto un tercio de la masa de vitelo y el embrión está comenzando a formarse en la región mediana del escudo o defensa embrional. Al final el anillo germinal envuelve dos tercios del vitelo y la región de la cabeza del embrión comienza a aparecer.

Estadio V: Comienza con el anillo germinal dos tercios bajo el vitelo y finaliza con el cierre del blastoporo.

Estadio VI: Se inicia con el cierre del blastoporo y finaliza cuando la cola comienza a separarse de la masa de vitelo.

Estadio VII: El extremo de la cola está separado del vitelo y comienza a elongarse, la notocorda se extiende hasta el extremo de la cola y la aleta embrional comienza a visibilizarse. Al final de este estado, la longitud de la cola libre es un medio de la longitud de la cabeza.

Estadio VIII: Se observa cuando la cola libre es mayor que un medio de la longitud de la cabeza y finaliza una vez que la longitud de la cola libre es igual a la longitud de la cabeza.

Estadio IX: Se observa cuando la cola se extiende o representa un cuarto de la longitud del saco vitelino y finaliza cuando ésta representa un medio de la longitud del saco vitelino.

Estadio X: Se inicia cuando la longitud de la cola libre representa un medio de la longitud del saco vitelino y finaliza cuando ésta alcanza a tres cuartos de la longitud del saco vitelino.

Estadio XI: Este corresponde al estado final previo a la eclosión y es definido porque la longitud de la cola es más de tres cuartos mayor que la longitud del saco vitelino.

La hora pico de desove ocurre a las 24:00 h en la anchoveta, y a las 23:00 h en la sardina común (Claramunt *et al.*, 2007). La edad de los huevos se calculó mediante el procedimiento automatizado descrito por Lo (1985), sobre la base de los modelos estadio-temperatura dependientes obtenidos según experimentos de incubación de huevos (Claramunt *et al.*, 2007), y a través del modelo multinomial (Bernal *et al.*, 2001), cuyos parámetros fueron estimados para la anchoveta y sardina común por Claramunt *et al.* (2007). En el **Anexo I** se describe la metodología en detalle de los modelos utilizados.



3.2.4. Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos

El número de huevos se asume que declina a una tasa exponencial constante, según:

$$P_t = P_0 \exp(-Zt) \quad (1)$$

Donde P_t es la abundancia de huevos a edad t (huevos por $0,05\text{ m}^2$ por día), P_0 es la producción diaria de huevos por $0,05\text{ m}^2$ por día, y Z es la tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos. La producción diaria de huevos fue calculada solo para el estrato positivo (área de desove) en la zona centro y sur. El área del crucero (de estudio) como el área positiva (de desove) fue delimitada a través de polígonos utilizando el algoritmo 'geofun' disponible para el programa R (R Core Team 2014).

Para la estimación de la producción diaria de huevos es relevante establecer los criterios asociados con las colas de la abundancia de huevos. En el caso de la anchoveta y sardina común se descartó todos los datos con una edad inferior a 4 horas después de la hora del desove para evitar sesgos relacionados con el desove incompleto de huevos al plancton. A su vez, las edades cercanas a la eclosión fueron descartadas, ya que podrían producir sesgo en la estimación de la mortalidad y producción diaria de huevos. Esto se debe a que en el modelo se podría confundir la eclosión con mortalidad. En efecto, los huevos que eclosionan no mueren sino más bien pasan a ser larvas con saco vitelino, y este proceso no está explícito en el modelo de estimación. Por lo tanto, solamente una fracción de la edad máxima esperada para una cohorte de huevos debe estar representada en el modelo de mortalidad. Todas las edades mayores al 95 % de la edad esperada de eclosión fueron excluidas para evitar los probables sesgos causados por la eclosión (Somarakis *et al.*, 2002, 2004). Los criterios aquí establecidos fueron evaluados y acordados en el Proyecto FIP 2006-38 "Mejoramiento del Método de Producción Diaria de Huevos Aplicado en Pelágicos Pequeños" (Claramunt *et al.*, 2007).

En cada zona, el procedimiento de ajuste de la ecuación (1) a los datos observados se realizó con un modelo lineal generalizado (MLG), según:

$$E[P_t] = g^{-1}[\log P_0 + Zt] \quad (2)$$

Donde $E[P_t]$ es el valor esperado de la densidad de huevos de edad t y g^{-1} es el inverso de la función del enlace.

En el procedimiento de ajuste del MLG se utilizó la distribución binomial negativa con enlace logaritmo natural, que resulta ser adecuada para el caso de la variación de la densidad de huevos con la edad (Bernal *et al.*, 2001). La distribución binomial negativa tiene un parámetro extra (de dispersión), el cual se estima iterativamente según los procedimientos de ajuste de Venables & Ripley (2002).

Por otra parte, con el objeto de reducir el error estándar de los estimados se utilizó MLG ponderado por un índice de agregación. Este enfoque se basa en McGurk (1986, 1987), quien sostiene que la agregación espacial explica significativamente la mortalidad natural diaria de organismos pelágicos



marinos, particularmente la mortalidad de los huevos de peces pelágicos y larvas en etapa temprana. Para ello se calculó el índice de agregación de Lloyd para cada cohorte diaria de huevos sobre, i.e.,

$$w_i = 1 + (\sigma^2 m_i^{-1} - 1) m_i^{-1} \quad (3)$$

Donde σ^2 es la varianza de la densidad de huevos y μ es la densidad media de huevos para la i -ésima cohorte diaria. El índice de agregación se utilizó para ponderar el ajuste con GLM, familia binomial negativa y enlace log. Este procedimiento no afecta al estimado de P_0 ni de Z , y solamente permite reducir el error estándar de los parámetros (Cubillos *et al.*, 2015).

Por último, se estimó los parámetros $\log(P_0)$ y Z con un tercer MLG que utilizó la familia binomial negativa y enlace log a la datación con el modelo multinomial.

En cualquiera de los métodos de estimación, los parámetros $\log(P_0)$ y Z se estiman como el intercepto y la pendiente del modelo MLG. La varianza de la tasa de mortalidad de huevos se obtiene directamente del error estándar de la pendiente del MLG. Se utilizó la biblioteca MASS (Venables & Ripley, 2002), escrita para el lenguaje y software R (R Core Team, 2014).

El área de desove quedó delimitada por el área de las estaciones con presencia de al menos 1 huevo por $0,05 \text{ m}^2$ (área positiva). La producción diaria de huevos se estimó para el área de desove en los sectores centro y sur, asumiendo independencia entre los sectores.

Para determinar la producción diaria de huevos en cada zona, se utilizó las recomendaciones de Picquelle & Stauffer (1985) para la post-estratificación al interior de cada zona. De esta manera, el estrato 0 comprende todas las estaciones fuera del área de desove en las cuales la producción de huevos es por definición igual a cero. El área geográfica que incluye a las estaciones positivas, más aquellas negativas al interior del área de desove, fueron consideradas como el área de desove y definen el estrato 1. Según Picquelle & Stauffer (1985), bajo el enfoque de post-estratificación, la producción diaria total (P_0) en cada sector geográfico corresponde a la siguiente expresión:

$$P_0 = \sum_{h=0}^1 P_{0,h} \frac{A_h}{A} \quad (4)$$

Donde: $P_{0,h}$ es la producción diaria de huevos por unidad de superficie para el estrato h , A_h es el área del estrato h ($h=0$ área negativa, $h=1$ es el área de desove), y A es el área total evaluada al interior de cada sector ($A=A_0+A_1$). La varianza de la producción diaria de huevos, puede ser estimada por:

$$\text{Var}(P_0) = (1 + 1/n) \sum_{h=0}^1 \frac{A_h}{A} \text{Var}(P_{0,h}) \quad (5)$$

Donde $\text{Var}(P_{0,h})$ es la varianza del estimador de $P_{0,h}$, siendo cero para el estrato cero por definición.

3.2.5. Muestreo a bordo en el crucero de adultos y procedimientos de laboratorio

En el Método de la Producción Diaria de Huevos, la secuencia de actividades involucradas con la campaña de adultos se resume en la **Figura 4**. Cada una de estas actividades involucra metodologías y criterios que se describen a continuación.

En la **Tabla 5** se presentan las embarcaciones que fueron utilizadas en la campaña de adultos de sardina común y anchoveta, indicando la cobertura espacial y temporal. De esta manera se lograron 30 lances totales en la zona centro y 32 lances en la zona sur.

Se obtuvo una muestra aleatoria de ejemplares adultos de anchoveta y sardina común desde la captura obtenida en cada lance de pesca (120 individuos de cada especie por lance). A bordo, se midió la longitud total (cm) de los peces adultos con el fin de obtener la distribución de frecuencias de longitud de machos y hembras.

Tabla 5. Embarcaciones utilizadas en los muestreos de adultos en cada sector, periodo de muestreo y número de lances por sector.

Embarcación	Zona	Sector	Periodo	Lances
Don Julian	Centro	VIII Norte	27 Ago - 01 Sep/ 15 – 19 Oct	30
Sebastián II	Centro	VIII Sur	06 - 10 Sep	15
Isaac II	Sur	IX-X Región	24 Sep - 07 Oct	30

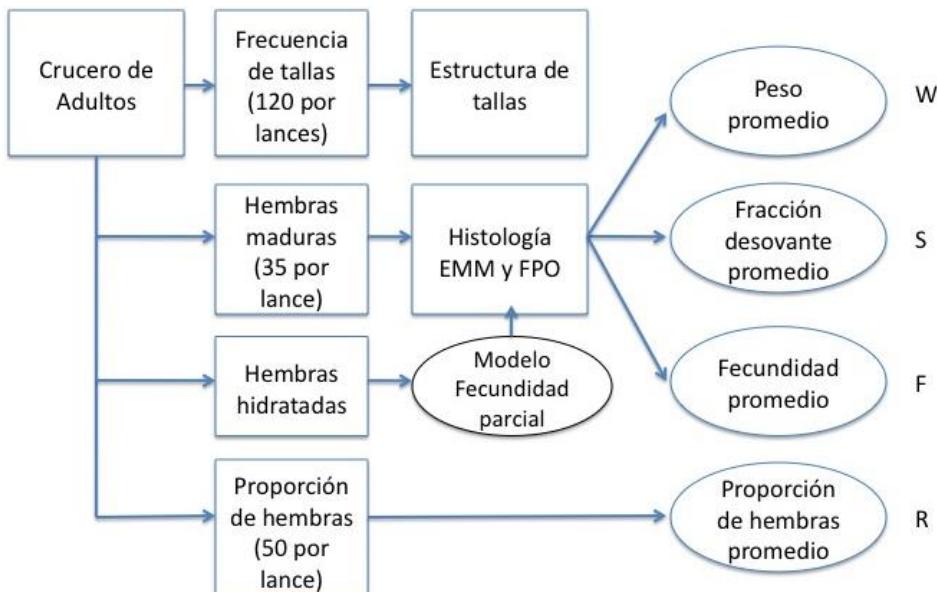


Figura 4. Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de los parámetros reproductivos principales del MPDH.



Se obtuvo una submuestra aleatoria de 40 hembras maduras de cada especie en cada lance. Cada ejemplar fue diseccionado ventralmente, se conservó en una solución de formalina tamponada al 10 % para el posterior análisis histológico del ovario en laboratorio. Además, cualquier hembra extra detectada macroscópicamente con ovarios hidratados se conservó en formalina tamponada al 10 % para el análisis de la fecundidad parcial en el laboratorio. Estas hembras extras no fueron utilizadas en el análisis de parámetros de adultos, dado el carácter selectivo del muestreo, solo fueron utilizadas para establecer el modelo de fecundidad parcial a partir del cual se estimó la fecundidad parcial de las 40 hembras maduras por lance (**Figura 4**).

En el caso de la muestra de adultos la aleatoriedad viene dada por una unidad básica de muestreo consistente en un balde de 5 L, que se llena a partir de la captura del lance. En el caso de la muestra de hembras, para la estimación de la fecundidad, la aleatoriedad está representada por la selección de las primeras 40 hembras desde la muestra de 120 individuos por lances.

Por último, una submuestra al azar de 50 peces fue preservada para determinar la proporción sexual en peso en el laboratorio.

3.2.6. Parámetros reproductivos de adultos

Los parámetros de la población adulta, peso promedio, fracción desovante promedio, fecundidad promedio, y proporción de hembras promedio, serán estimados según Picquelle & Stauffer (1985), i.e.,

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (6)$$

y la varianza dada por:

$$Var(\bar{y}) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i^2 (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{(\bar{m})^2 n(n-1)} \quad (7)$$

Donde \bar{y} es la estimado de los parámetros de la fracción diaria de hembras desovantes (S), fecundidad (F), peso promedio (W), y proporción de hembras en peso (R), n el número de lances de pesca, $\bar{y} = \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij} / m_i$ la media de los lances de pesca i , m_i el número de hembras maduras muestreadas en cada lance de pesca, y_{ij} valor calculado para la hembra j en el lance de pesca i .

La expresión de varianza en la ecuación (7) sólo es válida para la varianza del peso promedio, fracción diaria de hembras desovantes y proporción de hembras en peso, mientras que el estimador de la varianza de la fecundidad parcial, es dada por Hunter *et al.* (1985), i.e.,



$$Var(\bar{F}) = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{(\bar{F}_i - \bar{F})^2}{n-1} + \frac{s_h^2}{n_h} + (\bar{W}_i^* - \bar{W}_h^*) s_b^2 \right]}{\left(\sum_{i=1}^n (m_i / n) \right)^2 n} \quad (8)$$

donde s_h^2 es la varianza de la regresión (Ecuación 11), n_h es el número de hembras hidratadas usada para ajustar la regresión, \bar{W}_i^* es el peso libre de ovario promedio en el lance de pesca i , \bar{W}_h^* es el peso libre de ovarios promedio de las hembras hidratadas n_h y s_b^2 es la varianza de la pendiente de la regresión.

3.2.7. Estadios de madurez y fracción diaria de hembras desovantes

En el laboratorio, cada adulto preservado fue medido en su longitud total (cm), peso total y peso libre de gónadas, como estimador del peso corporal. Además, se determinó el sexo y los ovarios de las hembras fueron pesados (± 0.01 g) y preservados en solución de formalina tamponada al 10 % para el posterior análisis histológico. Los ovarios de las hembras fueron cortados y teñidos con hematoxilina y eosina. El desarrollo y la maduración de ovocitos fue dividido en 9 etapas de acuerdo con las características descritas por Wallace & Selman (1981), Selman & Wallace (1989), y Hunter & Macewicz (1985) (**Tabla 6**). Del mismo modo, los ovarios de las hembras hidratadas disponibles para la estimación de la fecundidad parcial fueron pesados y preservados para el posterior análisis histológico, para confirmar este estado de madurez particular según Hunter *et al.* (1985) y Hunter & Macewicz (1985).

La fracción diaria de hembras desovante (S), es decir, la fracción de hembras maduras que desova por día, se puede calcular considerando la edad de los folículos postovulatorios (FPO). Según los criterios desarrollados por Hunter & Goldberg (1980) y Hunter & Macewicz (1985), los FPO de Día-0 son hembras que desovarán en la noche (0-9 h), de Día-1 se refiere a la noche anterior (9-32 h), y los de Día-2 de 33-56 h después del pico de desove (Alheit *et al.*, 1984). La fracción desovante se puede estimar a partir de la proporción de FPO de Día-0 y de Día-1. Antes del año 2006, para la anchoveta y sardina común de la zona centro-sur se consideró utilizar solamente los FPO de Día-1 debido a que los FPO de Día 2 podrían demorar más tiempo en degenerar. En la zona, la temperatura es de 10-12 °C y podría determinar una tasa de degeneración más baja para estos pelágicos (Fitzhugh & Hettler 1995; Galias *et al.*, 2003). Esto es sólo una inexactitud en la asignación de la edad de los FPO viejos, y no un procedimiento que deba ser ajustado o corregido. De esta manera, en Cubillos *et al.* (2007) se mencionó que no fue necesario aplicar corrección al número de hembras maduras, y la fracción desovante podría ser estimada como la proporción entre el número de hembras con FPO de Día-1 y el total de hembras maduras.

**Tabla 6. Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta.**

ESTADIO OVÁRICO	CITOLOGIA E HISTOMORFOLOGIA OVÁRICA
Estadio I: Virginal	Ovario con numerosos nidos ovogonales 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 de posición central, con prominentes nucléolos esféricos, próximos a la membrana nuclear. El citoplasma es escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos previtelogénicos tardíos se observan pequeñas vesículas periféricas.
Estadio III: Parcialmente vitelado	Predominio de ovocitos en estado temprano de depositación de vitelo, abarcando no más de las ¾ partes del citoplasma. Vesícula germinativa grande, central, con numerosos nucléolos periféricos. Se destaca la presencia de vesículas periféricas. La zona radiata es delgada, subyacente a células foliculares de poca altura.
Estadio IV: Vitelado	Ovocitos cargados de glóbulos de vitelo, desde la periferia a la región perinuclear. Vesícula germinativa mantiene su posición central permaneciendo los nucléolos en la periferia. La zona radiata bien desarrollada. Células foliculares rectangulares en sentido transversal con núcleo esférico, central y citoplasma ligeramente basófilo.
Estadio V: Próximo a la hidratación	Ovocitos cuyo citoplasma presenta grandes glóbulos de vitelo (término de la depositación de vitelo). Vesícula germinativa excéntrica migrante hacia el polo animal. Células foliculares altas claramente distinguibles, con núcleo ovoide desplazado a la base y citoplasma claro de aspecto espumoso.
Estadio VI: Hidratado	Ovocitos con o sin vesícula germinativa en el polo animal, según se haya iniciado la maduración, los cuales se han expandido incrementando considerablemente de tamaño por incorporación de fluidos. Los glóbulos de vitelo se fusionan formando placas de vitelo por ingreso de líquido al citoplasma. La granulosa y la zona radiata se adelgazan.
Estadio VII: En desove	Coexistencia 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; eventualmente ovocitos próximos a la hidratación.
Estadio IX: Desovado	Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia atresia folicular. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente folículos postovulatorios.

Sin embargo, Claramunt *et al.* (2007) plantearon la necesidad de conseguir una mayor resolución del proceso de degeneración de los FPO. Por esta razón, los autores ampliaron la escala de clasificación de los estadios según el grado de degeneración de éstos en base al trabajo de Alday *et al.* (2008). La escala permitió subdividir el proceso de reabsorción de los FPO en varios estadios de degeneración, y 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. Estos criterios morfohistológicos de clasificación permitieron mejorar la asignación de edad a los FPO, tanto de anchoveta como de sardina común (Claramunt *et al.*, 2007), y se describe a continuación:

Estadio I: No están presentes en la colección.

Estadio II: Los folículos son numerosos, lumen estrecho, se presentan pliegues. Las células foliculares evidencian el inicio del proceso degenerativo, presencia de vacuolas de tamaño menor al tamaño de los núcleos, aún se conserva estructura lineal con núcleos en distintos grados de picnosis, menos numerosos que los núcleos sanos. Células tecales se presenta adheridas al tejido folicular, en algunos casos hay desprendimiento de la envoltura folicular, pero no de manera extensa, también existe presencia de capilares entre la teca y las células foliculares.

Estadio III: Los folículos aún conservan tamaño similar al Estado II, se incrementa el número de núcleos picnoticos, las vacuolas de igual o mayor tamaño de los núcleos sanos, se observa ruptura celular, presencia de capilares sanguíneos, aun se observa ordenamiento de la lámina folicular, y la lámina tecal aún se adhiere a la lámina folicular.

Estadio IV: Considerable reducción del tamaño del folículo y del lumen, envoltura folicular constituida principalmente por células vacuoladas y en algunos casos células rotas, presencia de núcleos picnóticos muy numerosos y algunos hipertrofiados, aun se presenta cierto ordenamiento de las células foliculares.

Estadio V: El folículo es pequeño y carece de lumen, con forma de poliedro, dominancia de núcleos picnóticos y células vacuoladas en la estructura folicular, desorden masivo de la envoltura folicular.

Estadio VI: Folículos pequeños con forma poliédrica, se observan vestigios de las células foliculares, principalmente y algunos núcleos, con dominancia absoluta de picnosis y presencia de vacuolas.

Estadio VII: Folículos de muy reducido tamaño, de forma triangular o poliédrica, ubicados entre los ovocitos, no es posible encontrar vestigios de células foliculares ni núcleos, solo se reconoce el remanente tecal.

Dependiendo de las características morfohistológicas de los FPO es factible determinar su incidencia en ciclos diarios de 24 horas, es decir, si la hembra presentará un desove durante la presente noche, la noche anterior o dos noches antes de la captura (Cubillos *et al.*, 2005), permitiendo estimar con mayor precisión la fracción desovante. Además, la incidencia de algunos estadios ováricos también fue considerada para la estimación de la frecuencia de desove, según los criterios de Macewicz & Hunter (1993), estos son las gónadas que presentaron ovocitos con núcleo en migración e hidratados y que permiten definir si la hembra estaba en condiciones de desovar en el mismo día de la captura.

Para dilucidar la distribución horaria de los siete estadios FPO, así como, de los estadios de madurez microscópicos (EMM) que indican el proceso de hidratación (núcleo migrante) e hidratado, se utilizó la información de la totalidad de las hembras que han sido procesadas histológicamente desde el año



2004 al 2012. A la distribución horaria de las hembras en hidratación e hidratadas (NM+HH), y de los FPO, se les ajustó una función de distribución probabilística utilizando la hora acumulada a partir del mediodía (12:00 AM), con el objeto de detectar las noches de desove y el desplazamiento de los estadios ováricos y de los FPO.

Por otra parte, al considerar que el muestreo de hembras hidratadas, o de hembras de Día-1 (0 a 24 h) ó de Día-2 (24-48 h) no es sesgado, entonces la fracción de hembras desovantes para el lance i se puede estimar por:

$$S_i = \frac{m_{h,i}}{m_i} \quad \text{o} \quad \frac{m_{1,i}}{m_i} \quad \text{o} \quad \frac{m_{2,i}}{m_i} \quad (9)$$

donde:

$$m_i = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i} \quad (10)$$

donde m_{hi} es el número de hembras hidratadas en el lance i. m_{1i} es el número de hembras de día 1 en el lance i, m_{2i} es el número de hembras de día 2 en el lance i, m_{ai} es el número de hembras que no han desovado entre las 9 y 56 horas (incluidas las hembras con FPO con una edad menor de 9 horas, FPO nuevos), m_i es el número de hembras maduras en el lance i, S_i es la fracción desovante en el lance i.

Para los fines de estimación, y dada la duración de los estadios Núcleo Migrante, Hidratación, Estadios 1 al 4 de los FPO, para los fines de este proyecto sólo fue factible una estimación de la fracción desovante de las hembras que van a desovar (Día-0) y de Día-1, que corresponden a las que desovaron la noche anterior (ver resultados).

3.2.8. Fecundidad parcial

La fecundidad parcial (F , numero de huevos desovados por tanda) de las hembras con ovocitos hidratados será estimada usando el método gravimétrico sugerido por Hunter *et al.* (1985). Sólo los ovarios con ovocitos hidratados (hidratación temprana, hidratado totalmente) fueron usados, descartándose aquellos con FPO que fueron detectados previamente mediante el análisis histológico del ovario. Tres subsecciones fueron cortadas de un ovario, pesadas, y se cuantificó el número de ovocitos hidratados en cada una de ellas.

El número total de huevos por lote se calculó multiplicando el número medio de ovocitos por gramo de ovario de la subsección por el peso total de los ovarios. La fecundidad parcial fue relacionada con el peso libre de ovario de las hembras considerando un modelo lineal, es decir,

$$F_j = a + bW_j^* \quad (11)$$



donde W_j^* es el peso libre de ovario de la hembra j , a y b son parámetros estimados de la regresión lineal. La fecundidad media de hembras maduras de cada lance fue estimada por:

$$\bar{F}_i = (1/m_i) \sum_{j=1}^{m_i} \hat{F}_{ij} \quad (12)$$

donde \hat{F}_{ij} es la fecundidad estimada de la hembra j en el lance de pesca i .

3.2.9. Peso promedio y proporción sexual

El peso promedio (W) de las hembras maduras en el lance de pesca se calculó y corrigió por el factor asociado a la preservación en formalina, así como el peso total de las hembras hidratadas fue corregido para evitar el aumento del peso que se produce por la hidratación de los ovarios.

La proporción de sexos (R) en el lance de la pesca i se calculó a partir del peso de las hembras dividido por la suma total del peso de hembras y machos. El peso de los machos se corrigió por el factor asociado a la conservación en formalina.

3.2.10. Biomasa desovante

El modelo de producción diaria de huevos es usado para estimar la biomasa del stock desovante, de acuerdo con Stauffer & Picquelle (1980) es expresado por:

$$B = \frac{P_0 A W}{RSF} k \quad (13)$$

Donde B es la biomasa del stock desovante (t), P_0 es la producción diaria de huevos, A es el área total crucero, W es el peso promedio de hembras maduras (g), k es el factor de conversión de gramos a toneladas, R es la fracción de hembras maduras por peso, S es la fracción de hembras maduras desovantes por día, y F es la fecundidad parcial (número promedio de huevos por hembras maduras por desove). El estimador de la varianza de la biomasa desovante se calcula por:

$$Var(B) \approx \hat{B}^2 \cdot (CV(P_0)^2 + CV(W)^2 + CV(F)^2 + CV(S)^2 + CV(R)^2 + 2COVS) \quad (14)$$

donde CV representa el coeficiente de variación del parámetro estimado, y $COVS$ corresponde a la suma de términos que incorpora las respectivas covarianzas. La fórmula de covarianza es estándar, y es expresada por:

$$COVS = \sum_{i < j} sign \frac{COV(x_i, x_j)}{x_i x_j} \quad (15)$$



donde x representa los parámetros adultos, y los sub-índices i y j se refieren a diferentes parámetros, por ejemplo: $x_i = F$ (fecundidad) y $x_j = W$ (peso promedio). El término sing representa el signo, positivo cuando ambos parámetros están en el numerador o en el denominador, y negativo en otro caso.

La función de correlación es la matriz de varianza-covarianza, por ejemplo, la correlación entre la fecundidad (F) y peso (W) está dado por:

$$r(\bar{\bar{F}}, \bar{\bar{W}}) = \frac{\sum_i m_i (\bar{F}_i - \bar{\bar{F}}) k_i (\bar{W}_i - \bar{\bar{W}})}{\{\bar{m} \bar{k} n(n-1)\} \sigma_F \sigma_W} \quad (16)$$

donde m_i y k_i se refieren al número de hembras maduras en el i -ésimo lance para cada parámetro, y σ se refiere al error estándar de cada parámetro. Sin considerar el producto entre los errores estándar en el denominador, la ecuación se transforma en la ecuación de covarianza.

3.3. Objetivo específico 3: Actualizar el análisis integrado de las variables poblacionales, bío-oceanográficas y meteorológicas durante el proceso reproductivo en un contexto espacial y temporal, utilizando datos del crucero, bases de datos históricas y otras fuentes de información

3.3.1. Contexto espacial

Con el objetivo de relacionar la distribución de huevos de ambas especies con las condiciones oceanográficas, distribución de mesozooplancton y fitoplancton durante el periodo de estudio, se llevó a cabo tres tipos de aproximaciones: elaboración de mapas de distribución horizontal y vertical, diagramas T-S y modelos aditivos generalizados (GAMs).

3.3.1.1. Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas. mesozooplancton y fitoplancton

La distribución y abundancia horizontal de huevos y larvas con saco vitelino de anchoveta y sardina común, colectados con red CalVET, fue representada en mapas (círculos de tamaños escalados de acuerdo a abundancia) y se sobrepuso sobre mapas con variables ambientales (e.i., temperatura, salinidad, densidad y fluorescencia). También, la distribución y abundancia de huevos y larvas de ambas especies, colectadas con red Cónica, representada por círculos de tamaños escalados de acuerdo a su abundancia, se sobrepuso sobre mapas de distribución de grupos funcionales dominantes del mesozooplancton y mapas con los grupos de fitoplancton.

3.3.1.2. Secciones verticales de clorofila-a y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común

Se realizaron secciones verticales de la clorofila-a a lo largo de 4 transectas, de las cuales 2 se localizaron en el sector centro (T- 25; T-31) y 2 en el sector sur (T- 49; T-61), con un total de 26 estaciones oceanográficas muestradas a profundidades estándares (0, 10, 20, 30, 50 y 70 m). Para la elaboración de las secciones se utilizó el Software Ocean Data View (ODV, versión 4.7.8). Como información adicional, se graficó la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común, colectados



con red Cónica, a lo largo de cada transecta para visualizar si las abundancias de huevos coincidían con frentes o zonas de mayor concentración de clorofila-a.

3.3.1.3. Modelos aditivos generalizados (GAMs)

Los GAMs nos permitieron evaluar potenciales asociaciones entre la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común con las variables hidrográficas y con la abundancia de los grupos más importantes del mesozooplancton y fitoplancton obtenidas en el crucero del año 2018. Las variables hidrográficas predictoras que se incorporaron al modelo fueron latitud, longitud, temperatura, salinidad, densidad y fluorescencia a 10 m de profundidad (**Tabla 7**). Las variables predictoras del mesozooplancton y fitoplancton se especifican en la **Tabla 7**. Los modelos aditivos generalizados fueron desarrollados mediante el software R (Copyright (C) 2007 The R Foundation for Statistical Computing, versión 2.6.1, <http://www.r-project.org>). Para la selección del modelo, se utilizó el Método de Validación Cruzada General (GCV) o Método de Akaike (AIC), además de los suavizadores multidimensionales (Wood, 2003) contenidos en las librerías “mgcv” y “mass”. Los criterios metodológicos que se utilizaron se basaron en lo reportado por Cubillos *et al.* (2011). Finalmente, a través de las salidas de los modelos, se obtuvieron los rangos de las variables que presentan un efecto positivo en la abundancia de huevos de ambas especies.

Tabla 7. Resumen de los parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs).

Tipo	Variable
Respuesta	Densidad de huevos
Predictor hidrográfico	Latitud Longitud Temperatura Salinidad Fluorescencia
Predictor mesozooplancton	Apendiculares Sifonoforos Quetognatos Medusas



3.3.2. Contexto temporal

3.3.2.1. Mapas horizontales de abundancia promedio de huevos y variables ambientales por zona (2002-2016).

En base a la información de las estaciones geo-referenciadas de los cruceros (2002-2016) y utilizando el software Matlab (versión R2025a), se construyó una grilla estandarizada (función meshgrid) con una resolución de 0.05°, posteriormente, los datos de abundancia y variables ambientales fueron “grillados” (función griddata). Con la grilla estandarizada se obtuvo la abundancia promedio de huevos (anchoveta y sardina común) y las variables ambientales (temperatura, salinidad, densidad) para cada punto.

La distribución horizontal de huevos de anchoveta y sardina común fue representada a través de mapas donde la abundancia de huevos se simboliza con burbujas de diferente tamaño. Los mapas se realizaron en el programa Surfer (versión 10). Las variables ambientales, fueron graficadas mediante mapas horizontales utilizando el programa Ocean Data View (ODV, versión 4.7.8). La profundidad de las variables oceanográficas que se utilizó en la representación gráfica fue de 10m.

3.3.2.2. Series temporales de las anomalías y anomalías acumuladas de variables oceanográficas y atmosféricas en dos zonas de pacifico sur oriental.

Con el objeto de realizar una caracterización de las condiciones oceanográficas y meteorológicas históricas del área costera del área de estudio, a partir de las imágenes de viento, temperatura superficial del mar y clorofila-a, se construyó series temporales considerando dos zonas: centro-norte (34° a 37°S) y centro-sur (37° a 41°S), y para la presión atmosférica se determinó la posición latitudinal del centro de altas presión del Pacífico Sur. Además, para el viento, se calculó el transporte de Ekman según la metodología de Arcos (1987). Con estas series temporales se calcularon las anomalías y se realizó un análisis de la frecuencia acumulada de las anomalías para las series de temperatura superficial del mar, clorofila-a y presión atmosférica. La anomalía de cada serie fue definida como la diferencia entre cada valor de la serie y su media y para el cálculo de la anomalía acumulada se realizó una suma acumulada de los valores de anomalía de cada serie (unidad adimensional).

3.3.2.3. Centros de masa (centroides) de los huevos de anchoveta y sardina común en cada sector y año.

Se calcularon centros de masa (centroides) en cada sector y año. La variación latitudinal de la distribución de huevos de anchoveta y sardina común por sectores (norte, centro y sur) y años, se obtuvo a través de estimaciones de los centros de masa (centroides) a lo largo de la serie completa de datos obtenidos en el marco de los proyectos MPDH. Para el cálculo del centroide (C_{lat}) se consideró la posición geográfica (latitud) de los huevos en cada zona y año:

$$C_{lat_i} = \frac{\sum(lat_i w_i)}{\sum w_i} \quad (17)$$



donde lat_i es la latitud de estación i y w_i es la abundancia de los organismos encontrados en la estación i .

3.3.2.4. Cambios espacio-temporales en el área de desove y la abundancia de huevos

Con el objeto de evaluar cambios espacio-temporales en la presencia de huevos, como un proxy de cambios en el área de desove se utilizó GAM con familia binomial utilizando como predictores la latitud y años. Las mismas variables fueron utilizadas para evaluar las tendencia espacio-temporal de los datos de densidad de huevos con GAM y familia binomial negativa. Este análisis fue exploratorio con el objeto de comparar visualmente cambios latitudinales en los centros de desove en un contexto histórico.

Por otra parte, la densidad de huevos depende del grado de agregación/dispersión del desove, y por lo tanto, en algunos años no es factible cumplir con criterios de precisión deseable para medir la producción diaria de huevos con coeficientes de variación bajos (con precisión). Aumentar el tamaño de muestra (número de estaciones) no es una estrategia que pueda resolver esta situación, tal y como se ha demostrado para el caso de la anchoveta de la zona norte de Chile. Sin embargo, en el caso de la zona centro-sur de Chile, se puede tomar ventaja del muestreo estratificado del desove. En efecto, en el sector sur ocurre una zona de desove recurrente entre los 38°30'S y 39°30'S, y que se extiende hasta el veril de los 100 m. En esta zona de desove la producción de huevos se ha medido con mayor precisión que en el estrato central (34°20'S-37°00'S), comprendido entre Constitución y el Golfo de Arauco, donde el desove se expresa con una variabilidad interanual alta.

Se estima un índice de abundancia de huevos mediante un análisis espacio-temporal, incluyendo covariables como la latitud y la batimetría. Para ello, se usó un Modelo Lineal Generalizado (MLG), cuya estructura básica se representa por:

$$H_{i,j,k} = \text{offset}(-\log(a))_{i,j,k} + \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \epsilon_{i,j,k} \quad (18)$$

donde $H_{i,j,k}$ es el número de huevos en el año i , estrato geográfico j , y profundidad k , $\text{offset}(-\log(a))_{i,j,k}$ es el área efectiva de la red, μ es el intercepto que representa una estimación de la densidad de huevos en el primer año, en el primer estrato geográfico, y en la primera profundidad, α representan los coeficientes asociados a los años como desviaciones de μ , β representan los coeficientes asociados a los estratos geográficos, y γ los coeficientes asociados con la factorización de la profundidad de fondo, mientras que $\epsilon_{i,j,k}$ es el error aleatorio con media igual a cero y varianza constante. Este índice de abundancia de huevos es un proxy del potencial reproductivo, y se puede evaluar su desempeño en términos retrospectivos en los modelos de evaluación de stock disponibles para ambos recursos.

La varianza puede ser tratada como una función de la media, y proporcional a μ^p para algún valor de p entre 1 y 2. Se utilizó MLG con familia Binomial Negativa para ajustar a los datos de densidad de huevos, y se comparó con Poisson y Tweedie.

Una de las desventajas del modelo descrito por la ecuación 18, es que si bien recoge variaciones espaciales y temporales, no recoge la correlación. En este contexto, se utilizó un modelo espacio-



temporal vectorial autorregresivo (VAST, por su sigla en inglés), con el paquete VAST (Thorson y Barnett, 2017) disponible para el software R (<https://github.com/James-Thorson-NOAA/VAST>).

VAST es un modelo que puede predecir la variación en la densidad en múltiples ubicaciones (s), intervalos de tiempo (t), para múltiples categorías (c), las cuales pueden ser especies, talla, edad, sexo, entre otras. Si solo hay una categoría, el modelo se reduce a un modelo espacio-temporal monoespecífico, y si solo existe un año de datos, el modelo se reduce a un modelo espacial ya sea mono o multi específico. Para el caso de la evaluación la abundancia y la distribución de los huevos de anchoveta y sardina común, se trabajó con un modelo espacio-temporal monoespecífico para cada especie.

Los modelos desarrollados con VAST han presentado mejores desempeños predictivos en determinar la distribución de especies, en conjunto con su abundancia que los modelos clásicos de evaluación (Grüss et al., 2018; Thorson et al., 2016; Thorson y Barnett, 2017). Por lo tanto, acá se está incorporando una nueva metodología la cual no ha sido utilizada anteriormente en Chile para las evaluaciones de recursos pesqueros.

En cuanto al dominio espacial, VAST utiliza el algoritmo k-medias para identificar la ubicación de los nudos y, así minimizar la distancia total entre la ubicación de los datos y la ubicación del nudo más cercado. Luego, utiliza la aproximación de ecuación diferencial parcial estocástica (SPDE, sigla en inglés) a la función de densidad de probabilidad para la variación espacial y espacio-temporal, lo cual implica generar una malla triangulada y, VAST genera esta malla utilizando el paquete R-INLA (Lindgren, 2012). Además, como la correlación espacial entre la ubicación s y s+h disminuye a medida que aumenta la distancia es que internamente VAST especifica una función de covarianza de Matérn.

Dentro de las ventajas de utilizar VAST se encuentran cuatro características principales:

- a) Ponderación del área: esto porque predice la densidad en todas las ubicaciones dentro del dominio espacial requerido y, luego puede predecir las cantidades derivadas, tales como, abundancia, biomasa, entre otras.
- b) Diferenciación entre las covariables de capturabilidad y hábitat: VAST hace una distinción explícita entre las covariables de capturabilidad y las covariables del hábitat. Ambos tipos de covariables contribuyen a la variación en las tasas de captura esperadas, pero VAST utiliza solo covariables de hábitat cuando predice la densidad de población dentro del dominio espacial. Por lo tanto, controla el efecto de las covariables de capturabilidad y, condiciona el efecto de las covariables de hábitat.
- c) Condiciona las covariables faltantes: esto porque aproxima el efecto de los procesos que no se miden (como variables no observadas) para que pueden ser utilizados al momento de predecir las cantidades derivadas.
- d) Es un puente entre las aplicaciones monoespecíficas y multiespecíficas: esto porque, en general, los modelos se han centrado en aplicaciones de una sola especie. Sin embargo, es necesario modelar múltiples especies para interpretar las transiciones en la composición de la comunidad (Hovel et al., 2017), o múltiples tallas y edades para interpretar los cambios de hábitat ontogénicos (Kai et al., 2017; Kristensen et al., 2014), entre otros. VAST permite



explorar modelos simplificados para una especie, pero también incorporar múltiples categorías cuando es necesario.

Para ambas especies se utilizó un modelo espacio-temporal delta que modela la probabilidad de encuentro de una especie, en este caso de los huevos. La probabilidad que una muestra contenga al menos un huevo de la especie objetivo (captura $C > 0$), se aproxima mediante el primer componente del modelo:

$$\Pr[C > 0] = p, \quad (19)$$

donde p es la probabilidad de encuentro. Mientras que las capturas positivas, se aproximan a través de un segundo componente:

$$\Pr[C = c | C > 0] = \text{Gamma}(c, \sigma^{-2}, \lambda\sigma^{-2}), \quad (20)$$

donde $\text{Gamma}(c, x, y)$ es el valor de una función de probabilidad de densidad para c , dada una distribución gamma con forma x y escala y , respectivamente. Se utilizó la distribución gamma debido a su flexibilidad y a la naturaleza de los datos. En estos modelos utilizaron procesos random-walk para los interceptos anuales:

$$\beta_n(t + 1) \sim \text{Normal}(\beta_n(t), \sigma_n^2) \quad (21)$$

donde la varianza de este proceso random-walk, σ_n^2 es estimada.

Este modelo también utiliza una función Poisson-link. Sin embargo, el modelo espacio-temporal implica modificar el predictor lineal para estimar densidad en log-número $n(s, t)$:

$$\log(n(s, t)) = \beta_n(t) + \omega_n(s) + \varepsilon_n(s, t) + \gamma_{n1}C(s, t) + \gamma_{n2}C(s, t)^2 \quad (22)$$

donde $\omega_n(s)$ representa la variación espacial, y $\varepsilon_n(s, t)$ representa la variación espacio-temporal en n . Los errores espaciales siguen un campo aleatorio gaussiano y se tratan como efectos aleatorios:

$$\omega_n \sim MVN(0, \sigma_{\omega n}^2 \mathbf{R}_n) \quad (23)$$

donde la correlación espacial \mathbf{R}_n , sigue una función de correlación Matérn en la que se calcula una anisotropía geométrica y una relación de decorrelación por separado. La variación espacio-temporal se especificó de manera similar, pero sigue un proceso autorregresivo a través de los años:

$$\varepsilon_n(t + 1) \sim MVN(\rho_n \varepsilon_n(t), \sigma_{\varepsilon n}^2 \mathbf{R}_n) \quad (24)$$

donde ρ_n son parámetros estimados que gobiernan la velocidad a la que las áreas con una densidad mayor / menor que la esperada vuelven a la distribución espacial promedio durante el período estimado.

VAST utiliza Template Model Builder para implementar la aproximación de Laplace a la probabilidad marginal de efectos fijos (Kristensen et al., 2016), y un optimizador no lineal basado en gradientes para



identificar el valor de los efectos fijos que maximizan este valor. Después de que el optimizador no lineal haya convergido, se utiliza optimizador de Newton para garantizar que el gradiente de la probabilidad de registro marginal aproximada con respecto a cada efecto fijo sea $<10^{-6}$. Este último paso se implementa para garantizar que el maximizador de la función sea convergente. Luego se verifica que los parámetros son estimables, mediante la confirmación de que la matriz de Hessiana es positiva definida en las estimaciones de máxima verosimilitud.

3.3.2.5. Relación huevo-recluta

Con el objeto de buscar indicadores del reclutamiento a partir del índice de abundancia de huevos se establecerá mediante una relación funcional entre el reclutamiento y el índice de densidad de huevos se utilizará modelos aditivos generalizados y lineal generalizados, considerando tres modelos. Uno de ellos fue el modelo potencial y otro fue el modelo de Ricker, y generalizado de Shepherd. Se utilizó las estimaciones directas de reclutamiento que dicen relación con la evaluación acústica de reclutamiento de los cruceros RECLAS (**Tabla 8**).

Tabla 8. Serie de tiempo de biomasa y abundancia acústica de sardina común y anchoveta en los cruceros acústicos de reclutamiento realizados en enero de cada año (Fuente: IFOP). Abund. = Abundancia

Años	Crucero	Sardina común				Anchoveta			
		Biomasa Total (10 ³ t)	Biomasa Reclutas (10 ³ t)	Abund. Total (10 ⁶ n°)	Reclutas (10 ⁶ n°)	Biomasa Total (10 ³ t)	Biomasa Reclutas (10 ³ t)	Abund. Total (10 ⁶ n°)	Reclutas (10 ⁶ n°)
1995	9512	205	205	62	62	53	44	11	10
2000	9912	264	264	177	177	370	163	60	50
2001	0101	568	563	175	175	412	210	77	65
2002	0201	845	580	154	144	1494	130	96	38
2003	0301	482	174	43	27	250	152	46	42
2004	0401	360	327	72	71	1290	170	92	37
2005	0501	633	133	43	25	931	311	101	76
2006	0601	2178	1365	516	484	786	297	100	78
2007	0701	2134	249	123	33	898	275	77	42
2008	0801	4813	1888	544	441	1040	105	62	24
2009	0901	1556	1296	320	304	185	143	43	42
2010	1001	2624	2066	972	941	18	14	7	7
2011	1101	3247	3232	1098	1098	26	7	3	2
2012	1201	3844	3088	1777	1736	100	64	13	11
2013	1301	1134	213	87	37	74	14	5	3
2014	1401	3079	2306	769	741	117	42	10	6
2015	1501	1972	317	516	442	121	15	6	2
2016	1601	2033	545	212	132	218	29	45	38
2017	1701	2015	904	260	215	84	19	6	3
2018	1801	2424	1201	525	471	347	38	27.4	12.8



3.4. Objetivo específico 4: Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta. Fase II: Determinar y analizar la influencia de eventos interanuales “El Niño” y “La Niña” en la cobertura, distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 – 2017.

3.4.1. Obtención de los datos

Se obtuvieron datos diarios de SST, con resolución espacial de 0,25 grados, nivel L4 de la NOAA, Interpolación Óptima de la Temperatura Superficial del Mar (OISST, <https://www.ncdc.noaa.gov/oisst>) para el periodo comprendido entre el 1 de enero del 1990 al 31 de diciembre del 2018 y el área comprendida entre los 26°S y 32°S de latitud hasta las 20 mn de distancia a la costa. Este producto está construido mediante la combinación de observaciones de diferentes plataformas (satélites, barcos, boyas) en una red global regular. Además, se obtuvieron series de tiempo mensuales del índice MEI, que abarcaron el periodo entre el 1 de enero del 1990 al 31 de diciembre del 2018.

3.4.2. Análisis de la información

Se realizó una transformación de wavelet continua en el espacio de Fourier usando el método descrito por Torrence y Compo (1998). Para una serie de tiempo discreta X_n normalizada y sin brechas, con un espaciamiento constante Δt y un índice de tiempo $n = 0, \dots, N - 1$. Con el propósito de separar las señales de la serie de tiempo en el espacio del tiempo y de la frecuencia, se seleccionó la wavelet madre Morlet. Esta función se caracteriza por ser no-ortogonal y compleja, útil para analizar series de tiempo con variaciones suaves y continuas en la amplitud del wavelet, además, por entregar información sobre la fase wavelet y capturar mejor el comportamiento oscilatorio. De igual forma, la función wavelet Morlet tiene la ventaja adicional de alcanzar un buen balance entre la amplitud en el espacio real y la amplitud en el espacio de Fourier, es decir, la escala wavelet es casi igual al periodo de Fourier, lo que permite una mejor descripción de la variabilidad local en el tiempo para las frecuencias dominantes de cada serie.

La obtención del espectro de potencia wavelet permitió reconstruir dos señales; la señal anual (182-547 días), la cual se extrajo de la serie original. Luego, con el residuo se llevó a cabo un análisis wavelet y se reconstruyó la señal interanual (547 - 2922 días), la que representa a las oscilaciones de eventos ENOS y que de ahora en adelante se le denominará anomalía de temperatura interanual. Con el objetivo de buscar una relación entre el ENOS y la temperatura de la región centro-sur de Chile, se hicieron diagramas de dispersión y se calculó la correlación de Pearson entre el índice MEIv2 y la anomalía de temperatura interanual. Para determinar los periodos con condiciones cálidas y frías de la región centro-sur relacionadas con eventos ENOS, primero, se calculó el percentil de 25% y de 75% de la distribución de las anomalías de temperatura interanual. Luego, periodos con al menos tres meses consecutivos con anomalía mayor (menor) al percentil de 75% (25%) e índice MEIv2 mayor (menor) a 0,5 (-0,5) fueron denominados como condición cálida (fría). Se evaluó la relación, mediante diagramas de dispersión, entre la anomalía de temperatura interanual y la abundancia y cobertura (número de estaciones positivas/ número de estaciones totales) promedio de huevos de anchoveta y sardina común en el área entre los 38°S y 40°S, que es considerada una zona recurrente en el desove de estas especies.



VII. RESULTADOS

1. **Objetivo específico 1: Determinar las condiciones oceanográficas y meteorológicas asociadas al crucero de huevos de anchoveta y sardina común**

1.1. Información satelital periodo agosto-octubre de 2018

Temperatura superficial

Las imágenes de temperatura superficial del mar para el mes de agosto (**Figura 5**), muestran aguas levemente más cálidas ($> 15^{\circ}\text{C}$) en el sector noroeste extendiéndose hacia el sector costero entre las latitudes 33°S y 36°S en la última semana del mes. El resto del área presentó temperaturas entre 9°C y 14°C sin variaciones en el borde costero. Situación similar se evidenció en las imágenes del mes de septiembre (**Figura 6**), con avance de aguas más cálidas hacia el sur ($13\text{-}15^{\circ}\text{C}$) acercándose a la costa entre los $33^{\circ}\text{-}36^{\circ}\text{S}$. Durante octubre (**Figura 7**), aguas cálidas se registran en el sector costero hasta los 39°S , con un núcleo cálido en torno a los 17°C en el sector noroeste del área de estudio.

Clorofila-a

La imagen de clorofila-a de la primera semana de agosto (**Figura 8**) presenta bajos valores en gran parte del área de interés ($< 2,5 \text{ mg m}^{-3}$). Posteriormente, la segunda semana de agosto las concentraciones de clorofila se incrementaron y se observaron focos importantes de clorofila-a cerca de la costa, de los cuales se desprendieron filamentos que alcanzaron la zona oceánica. Además, se observó que en el mar interior de Chiloé se registró los más altos valores de clorofila en agosto.

En septiembre (**Figura 9**) hubo un incremento en las concentraciones de clorofila-a en el Golfo de Arauco, y se observó un nuevo foco de valores altos de clorofila-a en el norte del área de estudio ($\sim 33,5^{\circ}\text{S}$). También, se presentaron filamentos al noroeste de Pta. Lavapie en las primeras dos semanas de septiembre. Las últimas tres semanas de septiembre se registró una leve disminución de los valores de clorofila-a en la banda costera.

Durante octubre las concentraciones de clorofila-a se incrementaron en la banda costera alcanzando los 10 mg m^{-3} , con desarrollo de filamentos que se extendieron costa afuera con valores en torno a los 7 mg m^{-3} (**Figura 10**).

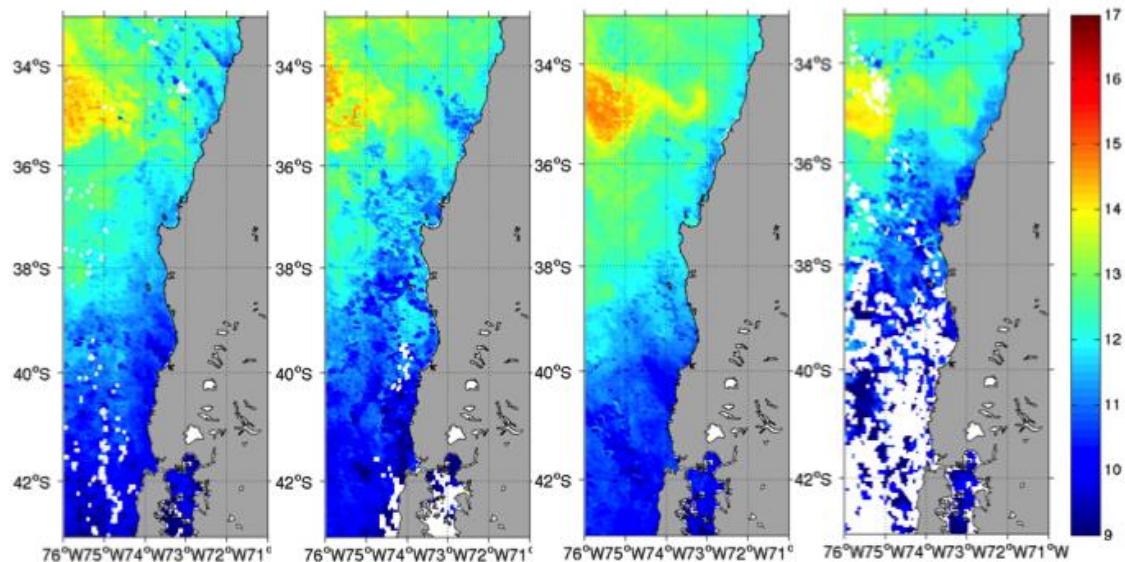


Figura 5. Promedios semanales de temperatura superficial del mar satelital, agosto de 2018.

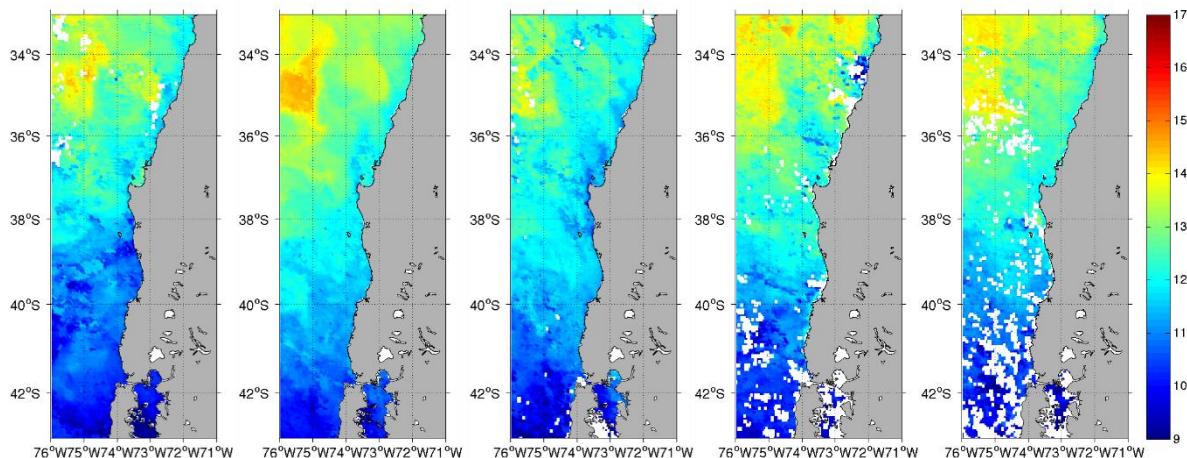


Figura 6. Promedios semanales de temperatura superficial del mar satelital, septiembre de 2018.

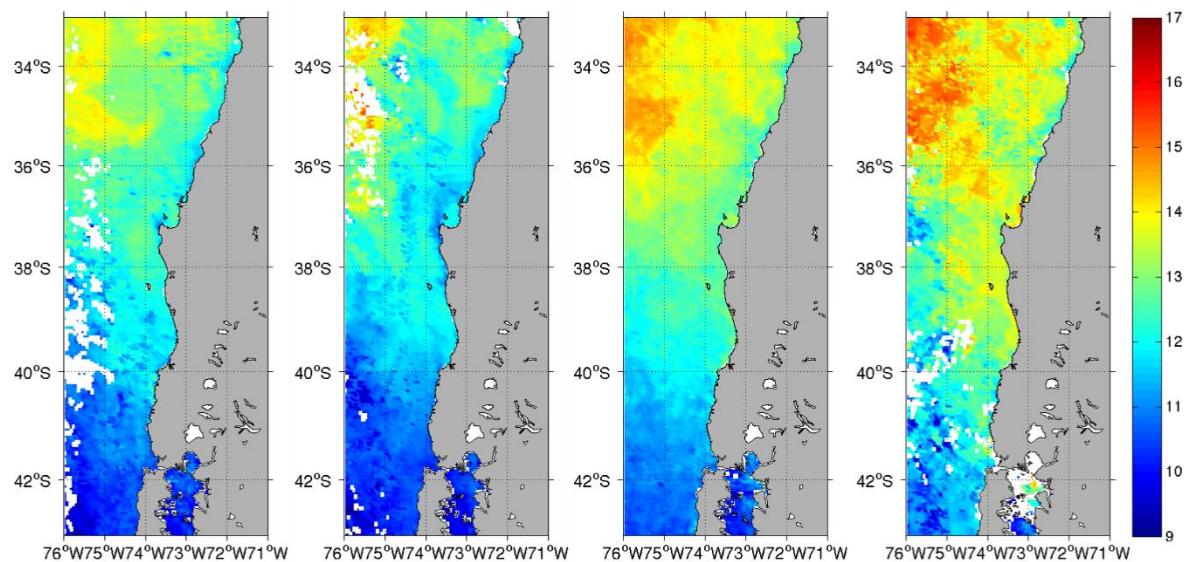


Figura 7. Promedios semanales de temperatura superficial del mar satelital, octubre de 2018.

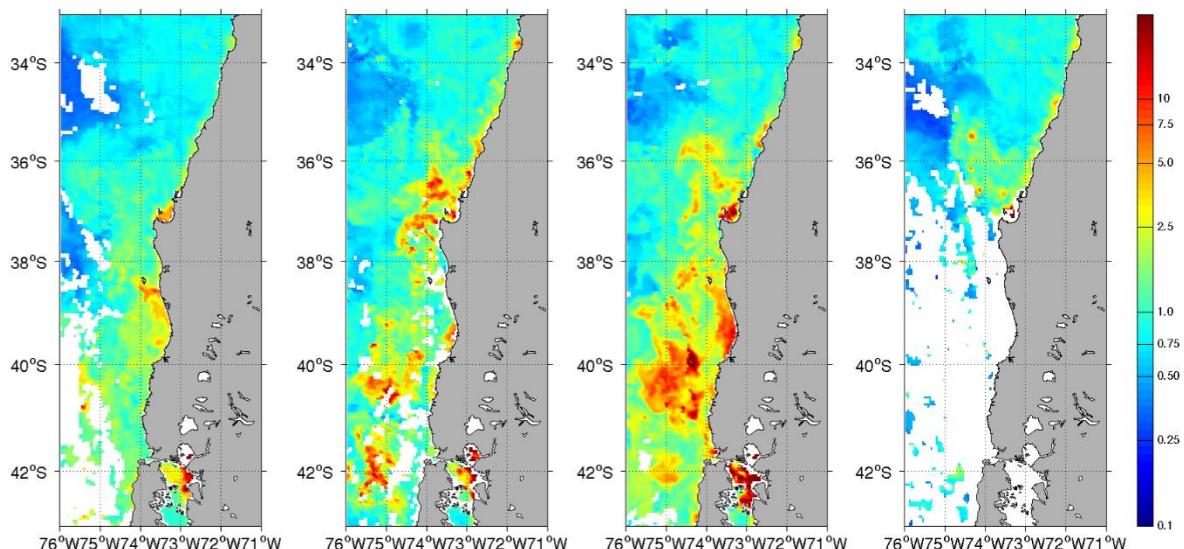


Figura 8. Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila superficial del mar, agosto 2018.

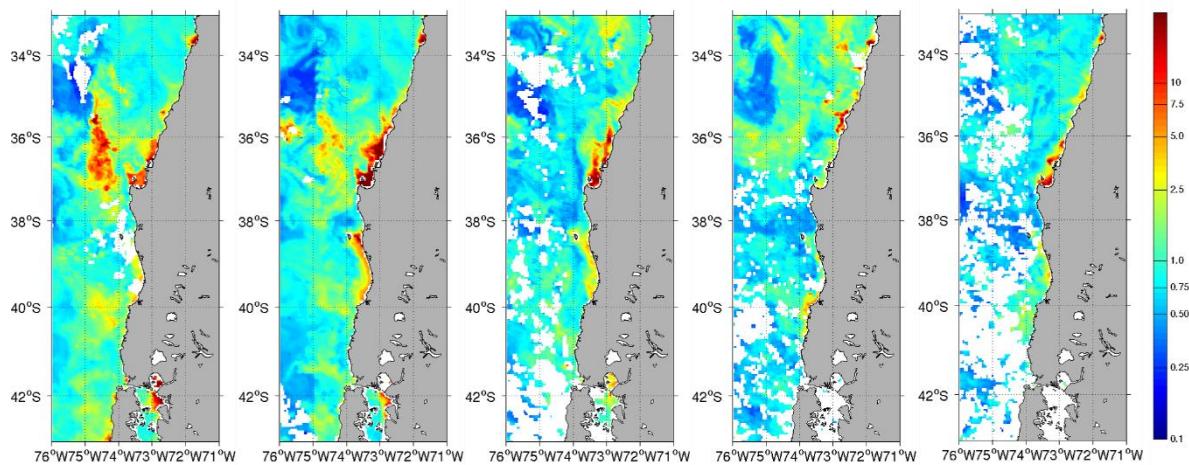


Figura 9. Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila superficial del mar, septiembre 2018.

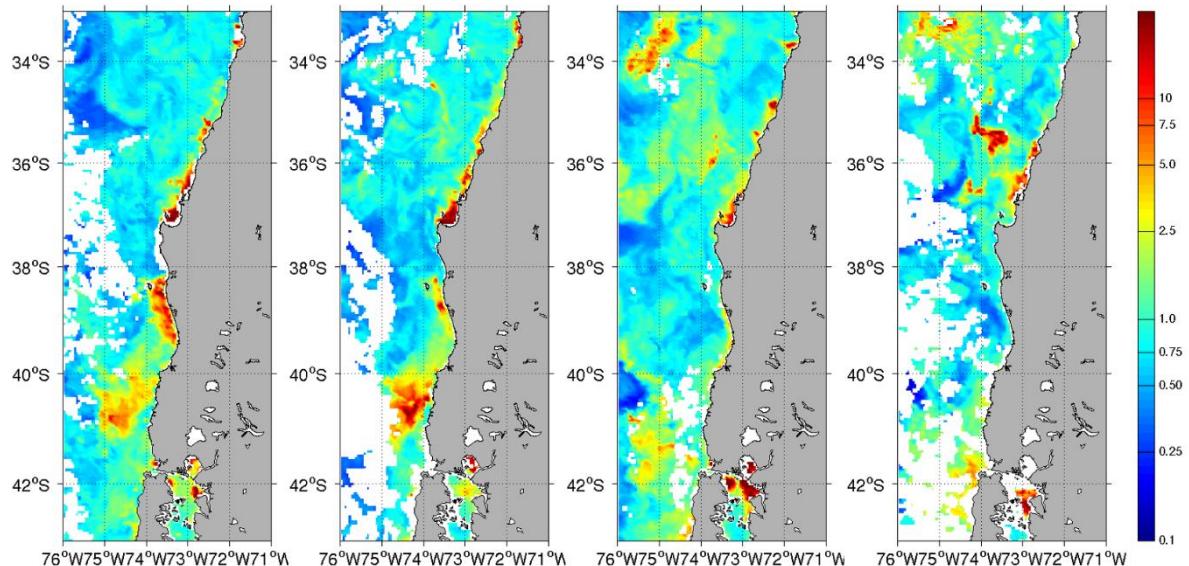


Figura 10. Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila superficial del mar, octubre 2018.

Viento

Desde los 33°S a los 36°S se observó que los vientos permanecieron en dirección hacia el Ecuador durante todo el periodo de estudio.

Durante la primera semana de agosto se observó una zona de divergencia a la altura de los 36°S, la semana siguiente esta zona presentó un leve desplazamiento hacia el sur, hacia los 36,5°S, la tercera semana se presentó a los 41°S, y finalmente, en la cuarta semana hubo un desplazamiento hacia los 38°S. Hacia el norte de esta zona predominó el viento sur y suroeste, que corresponde a viento favorable a la surgencia, mientras que al sur de esta zona el viento fue principalmente norte y noroeste (**Figura 11**).

En la primera semana de septiembre se registró una zona de transición entre los 38°S y 40°S, con vientos principalmente sureste, que dividió el área de estudio con viento favorable a la surgencia al norte de los 38°S y viento con dirección noreste al sur de los 40°S. Durante la segunda y tercera semanas la zona de divergencia se ubicó en los 40°S, y la cuarta semana se desplazó hacia el norte (36°S). En la quinta semana se presentó una zona de transición con vientos perpendiculares a la costa entre los 36,5°S y los 40°S. Al norte de esta zona de transición predominaron los vientos del suroeste, mientras que entre los 40°S y 42°S predominó el viento noroeste. Además, al sur de los 42°S el viento fue del suroeste. (**Figura 12**)

En la primera semana de octubre toda el área de estudio presentó vientos favorables a la surgencia. En la segunda semana de octubre se formó una zona de transición entre los 38,5°S y los 39,5°S, con vientos perpendiculares a la costa. Al norte de esta zona el viento fue favorable a la surgencia, y al sur fue principalmente noroeste. En la tercera semana se presentó una zona de divergencia los 38,2°S mientras que en la cuarta semana se ubicó a los 36,5°S. Al norte de estas latitudes predominó el viento sur y suroeste, mientras que al sur el viento fue principalmente norte y noroeste. También, la intensidad del viento disminuyó en las últimas dos semanas de octubre (**Figura 13**).

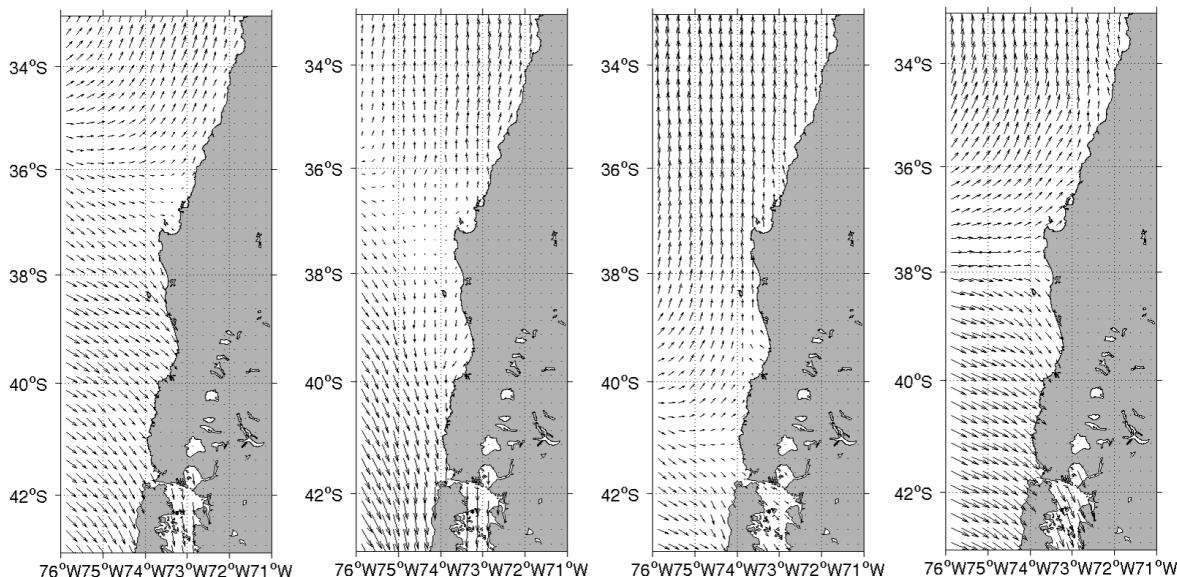


Figura 11. Promedios semanales de imágenes satelitales de viento superficial del mar, agosto 2018.

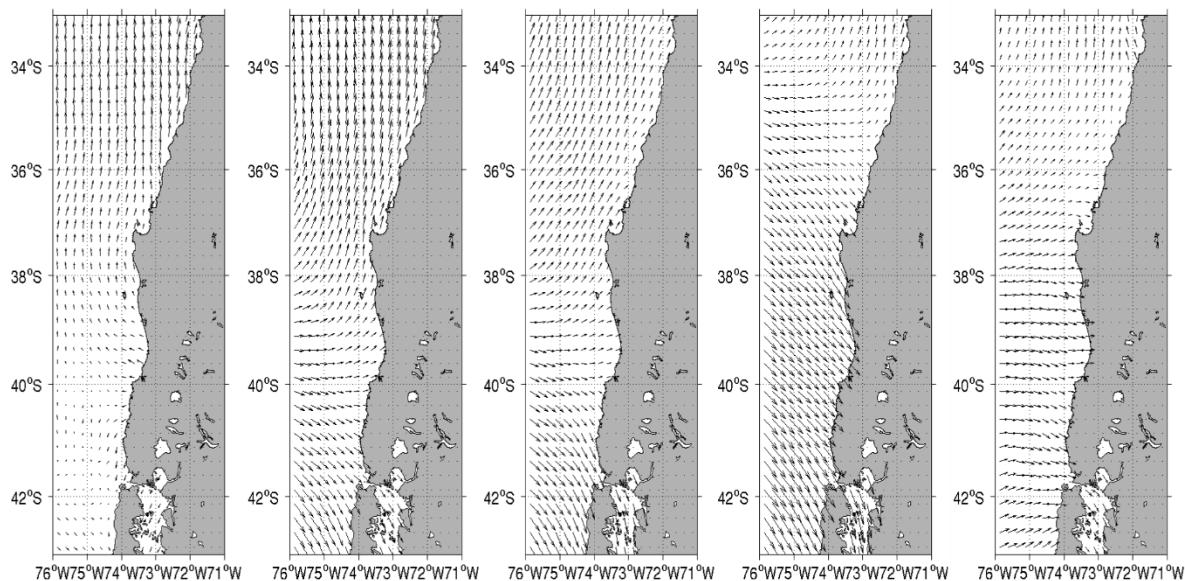


Figura 12. Promedios semanales de imágenes satelitales de viento superficial del mar, septiembre 2018.

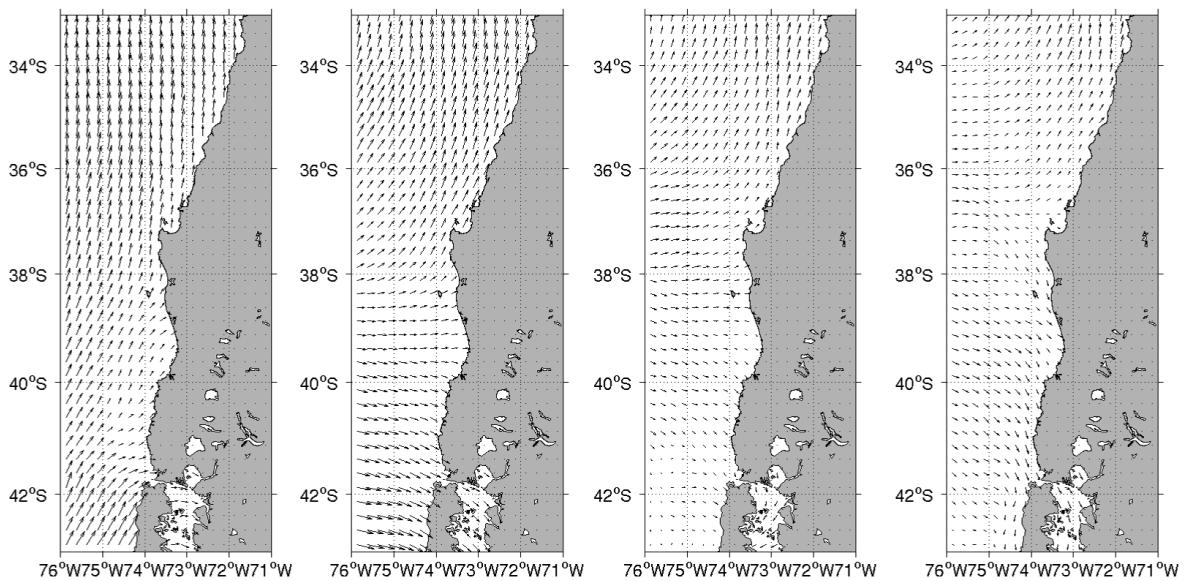


Figura 13. Promedios semanales de imágenes satelitales de viento superficial del mar, octubre 2018.

Corrientes geostróficas y clorofila-a

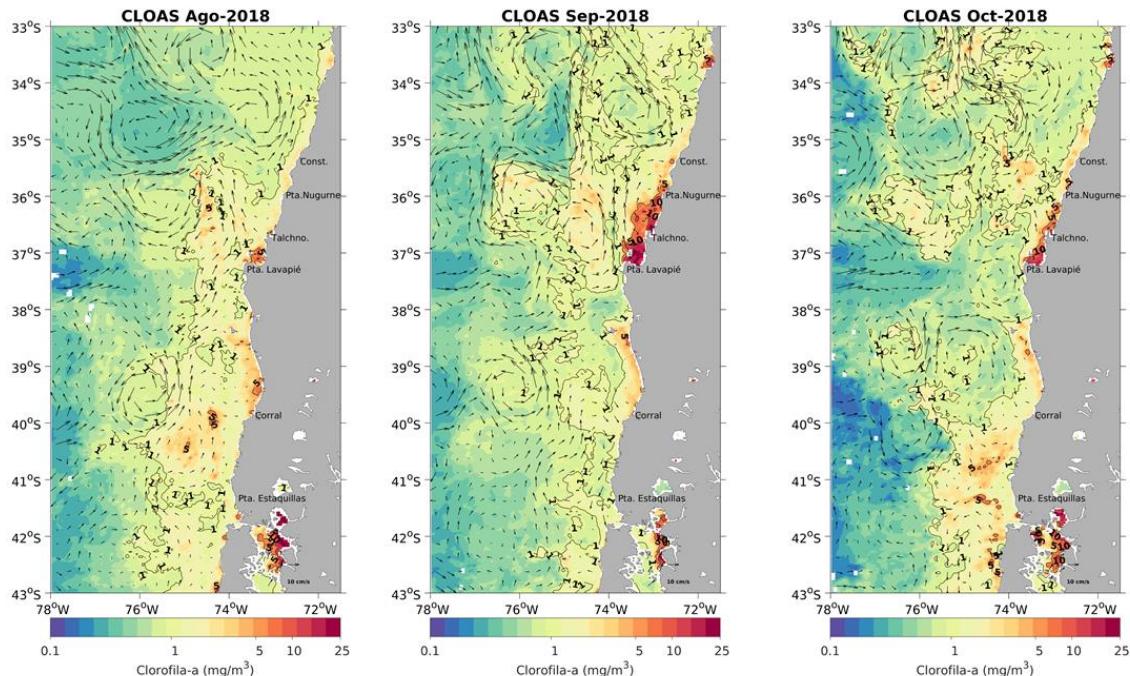


Figura 14. Mapas de distribución de la corriente geostrófica y de la clorofila. El tamaño de la flecha indica la magnitud de la corriente.

Durante septiembre y octubre se destacaron las concentraciones más altas de clorofila-a (superiores a 5 µg/L) en el sector costero entre Pta. Nugurne y Pta. Lavapié. También, se observaron concentraciones de clorofila > a 1 ug/L entre el borde costero frente a Corral y la isla Mocha durante agosto, septiembre y octubre (**Figura 14**).

En el sector oceánico, concentraciones de clorofila-a > a 1 µg/L se registraron junto con la presencia de giros de mesoescala con corrientes geostróficas de alta magnitud al noroeste de Pta. Lavapie. En cambio, al sur de Pta. Lavapie, las corrientes geostróficas fueron relativamente menos intensas y hubo menos giros de mesoescala que al sur de esta punta. Sin embargo, se observó un giro recurrente al noroeste de Corral en los tres meses, asociado a concentraciones de clorofila > a 1 ug/L (**Figura 14**).

1.2. Secciones horizontales de variables hidrográficas in situ

Las secciones horizontales de variables oceanográficas obtenidas con CTD permitieron determinar las variaciones latitudinales de salinidad, temperatura y densidad a 1, 10 y 50 m de profundidad. A un metro de profundidad, las secciones horizontales de temperatura revelaron valores semejantes a los observados con la temperatura de balde y, junto con los valores de salinidad, permitieron identificar



zonas con características hidrográficas influenciadas por la descarga de los ríos Maipo y Rapel en el sector norte, Maule, Itata y Bío-Bío en sector central, e Imperial, Toltén y Valdivia en el sector sur.

En el sector norte, los valores de temperatura, salinidad y densidad (σ_t) a 1 m de profundidad mostraron pequeñas variaciones (temperatura: 13°C - 14°C; salinidad: 33,5 – 34,5; densidad: 25 - 26) (**Figuras 15**). A 10 m, la temperatura fluctuó entre 11°C y 13°C, registrándose bajos valores en la zona costera (33,8°S a 34,5°S). La salinidad y densidad presentaron leves fluctuaciones (salinidad: 34 a 34,5; densidad: 25 a 26,5) (**Figura 16**). A 50 m de profundidad, se registraron aguas de baja temperatura (< 12°C), alta salinidad (~34,5) y densidad (~27) (**Figura 17**).

En el sector centro a 1 m de profundidad la temperatura fluctuó entre 11°C y 13°C, con salinidad mayor a 31,25 y densidad entre 24 y 27. En la zona adyacente a la desembocadura del río Itata y el Golfo de Arauco la salinidad (< 33,5) fue baja y la densidad disminuyó (< 25) (**Figura 15**). A 10 m de profundidad, la temperatura, salinidad y densidad presentaron leves variaciones (temperatura: 11°C -12°C; salinidad: 32,5 -34,5; densidad: 26 - 27) (**Figura 16**). A 50 m de profundidad la temperatura, la temperatura fue menor a 11°C, la salinidad > 34 y la densidad > 26 a lo largo de la costa (**Figura 17**).

En el sector sur, la temperatura a 1 m de profundidad exhibió una variación entre 12°C y 14°C, con altos valores al sur de la Isla Mocha (> 37°S) hasta 40°S, principalmente en la banda costera. La salinidad y densidad presentaron valores que oscilaron entre 28,75 – 32,5 y entre 21 - 26 respectivamente, con fuertes gradientes asociados a las desembocaduras de los ríos Imperial (~38,7°S), Toltén (~39,4°S), Valdivia (~40°S), Rebullaqueún y Lefcahue (~40,5°S) (**Figura 15**). A 10 m, los valores de temperatura, salinidad y densidad fueron homogéneos en todo el sector de estudio, excepto al norte de las desembocaduras de los ríos Imperial, Toltén y Valdivia, donde la temperatura fue menor a 12°C, salinidad de 32,5 y densidad > 25 (**Figura 16**). A 50 m de profundidad, hacia el sur del área de estudio se posicionó en una franja costera, agua de baja temperatura (< 11°C), alta salinidad (> 34) y densidad > 26 (**Figura 17**).

1.3. Diagramas temperatura-salinidad (T-S)

Las masas de agua principales observadas en los sectores centro y sur fueron ASAA (Agua Subantártica superficial) y AEES (Agua Ecuatorial Subsuperficial), además del aporte de agua de baja salinidad proveniente de la desembocadura de los ríos en la banda costera (**Figura 18**). En el sector centro, se observó que, entre 15 y 35 metros de profundidad, la ASAA presentó valores altos, oscilando entre 80 % a 90 %. El porcentaje de participación de esta masa de agua disminuyó con la profundidad alcanzando valores menores a 5 % en 100 m. En cambio, el porcentaje de AEES fue bajo en la capa superficial (< 5 %), aumentando aproximadamente a 80 % a 100 m de profundidad. En el sector sur, se observó que los mayores porcentajes de ASAA (> 85 %) se presentaron entre 30 y 50 m, disminuyendo hasta alcanzar valores menores a 20 % en 110 m. El AEES entre 30 y 50 m presentó bajos porcentajes (< 5 %), sin embargo, a profundidades mayores (entre 100 y 110 m) esta masa de agua fue altamente representada con valores entre 60 % y 70 %.

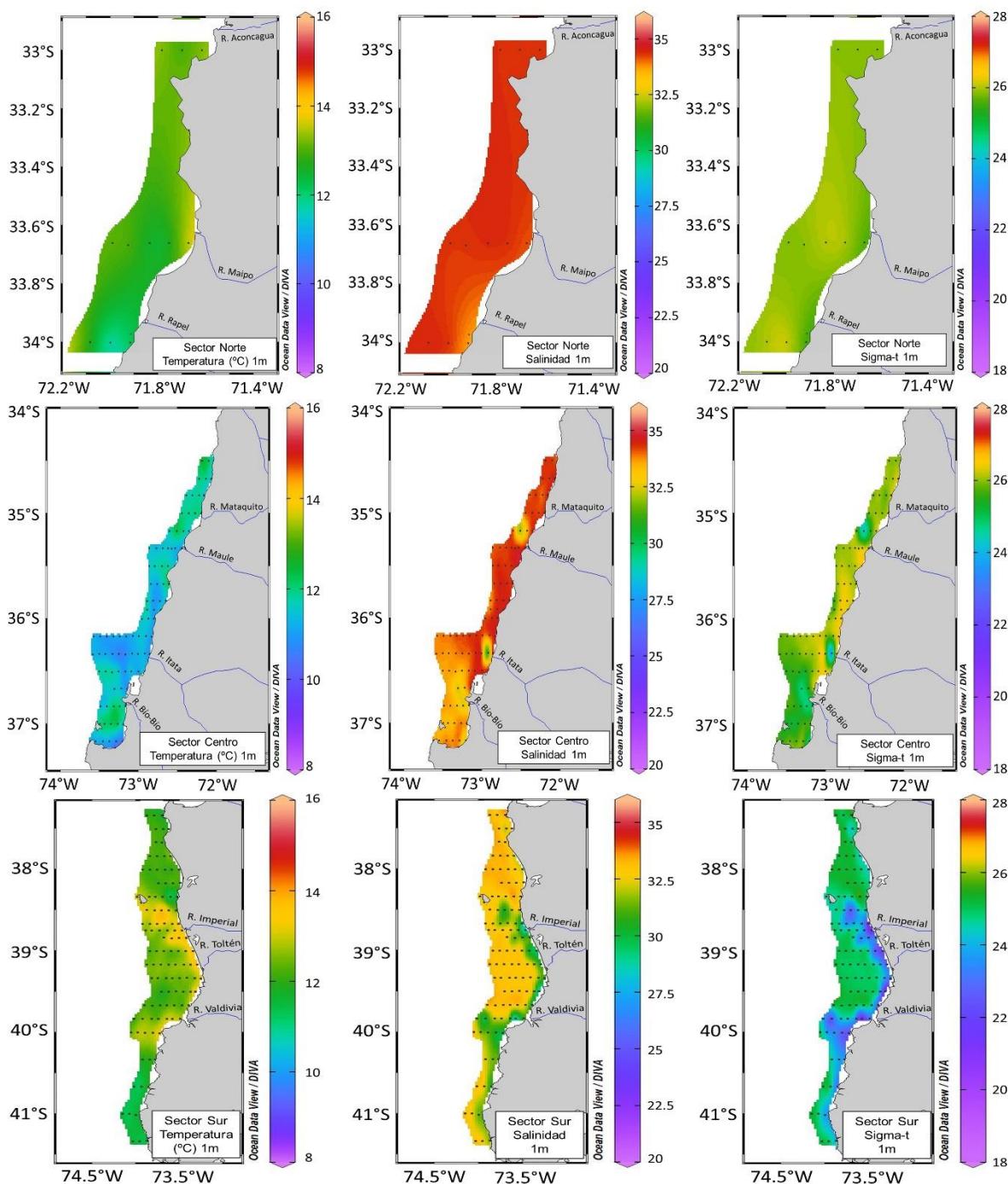


Figura 15. Características hidrográficas (temperatura, salinidad y densidad) registradas a 1 m de profundidad, en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, 2018.

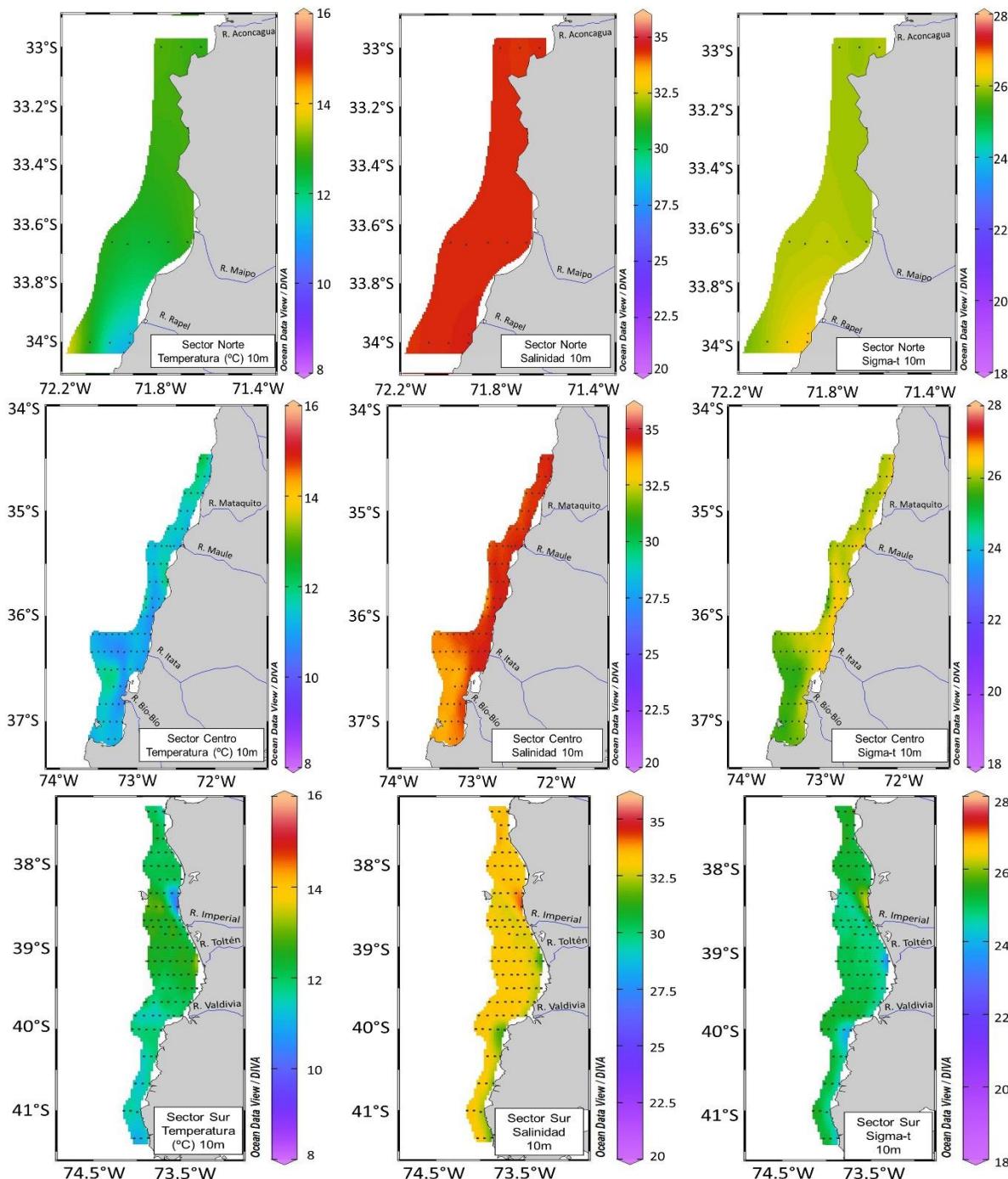


Figura 16. Características hidrográficas (temperatura, salinidad y densidad) registradas a 10 m de profundidad, en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, 2018.

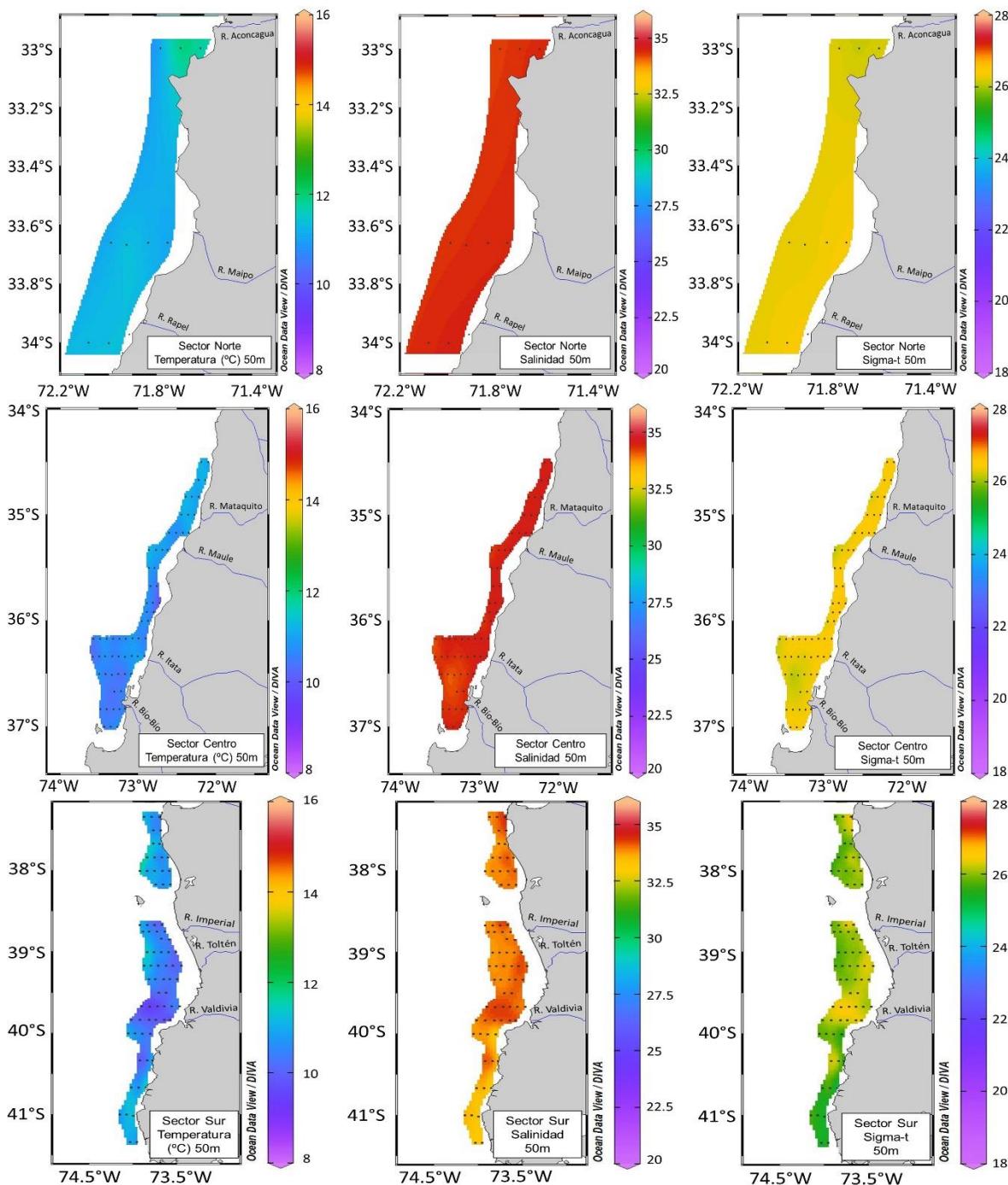


Figura 17. Características hidrográficas (temperatura, salinidad y densidad) registradas a 50 m de profundidad, en el sector norte, centro y sur de la zona de estudio, 2018.

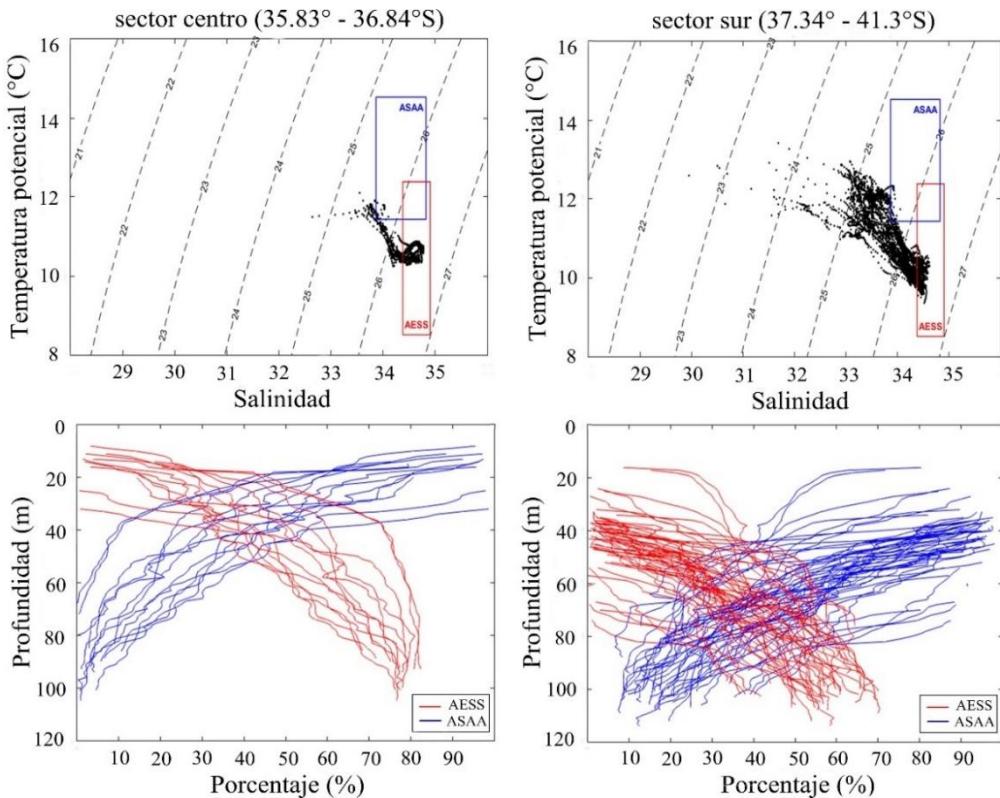


Figura 18. Diagrama TS y porcentaje de participación de las principales masas de agua en los sectores centro (panel izquierdo) y sur (panel derecho).

1.4. Oxígeno disuelto durante el crucero

Los sensores de oxígeno SBE43 del CTD SBE-25 (mayo de 2016: certificado Sea-Bird Electronics Inc.) y el SBE 43 del CTD SBE-19v2 (febrero de 2016 certificado Sea-Bird Electronics Inc.) fueron calibrados y validados de tal manera que no se calibró con muestras independientes. No obstante, al momento de descarga y análisis de los datos colectados se observaron mediciones de oxígeno erráticas, probablemente por algún golpe no detectado a tiempo en el sensor de oxígeno en la zona sur, razón por la cual dichos datos no se incorporaron en este informe.

1.5. Nutrientes durante el crucero

Una de las limitantes al utilizar embarcaciones artesanales para los muestreos de nutrientes radica en que muchas veces las condiciones no fueron óptimas, dado que éste muestreo de nutrientes implica la colecta de agua con botellas, filtrado, congelamiento, y transporte rápido a puerto para análisis en tierra. El jefe de crucero evaluó a bordo las condiciones en que se desarrolló cada muestreo, y en las estaciones en que estaba contemplado obtener muestras de aguas para nutrientes no se dieron las condiciones, dado principalmente por lo errático del sistema de frío a bordo ni posibilidad de transporte rápido a laboratorio.

**2. Objetivo específico 2: Estimar el tamaño del stock desovante de anchoveta y sardina común****2.1. Estaciones con presencia de huevos y abundancia de huevos**

Del total de 385 estaciones de la grilla regular del 2018, 134 estaciones presentaron huevos de anchoveta, lo que representa un 34,8 % del total de estaciones, y 54 estaciones presentaron huevos de sardina común que corresponden a un 14 % del total de estaciones (**Tabla 9**). La abundancia promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas fue de 44,2 huevos por 0,05 m² en el sector norte, 8,7 huevos por 0,05 m² en el sector central y 70,1 huevos por 0,05 m² en el sector sur (**Tabla 10**). La abundancia promedio de huevos de sardina común en las estaciones positivas fue de 15 huevos por 0,05 m² en el sector norte, 18,1 huevos en 0,05 m² en el sector central y 6,2 huevos por 0,05 m² en el sector sur (**Tabla 10**).

Tabla 9 Número de estaciones totales desarrolladas por sector en el 2018, estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común, y el porcentaje que representan las estaciones con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector.

Sector	Anchoveta			Sardina común	
	Estaciones totales (n)	Estaciones positivas (n)	%	Estaciones positivas (n)	%
Norte	14	5	35,7	2	14,2
Centro	170	75	44,1	31	18,2
Sur	201	54	26,9	21	10,4
Total	385	134	34,8	54	14

Tabla 10. Número total de huevos de anchoveta y sardina común por sector, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones y considerando solo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos por 0,05 m²) en cada sector.

ANCHOVETA						
	Promedio Total estaciones	DE Total, estaciones	Promedio Estaciones Positivas	DE Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	221	15,8	52,9	44,2	86,8	199
Centro	649	3,8	11,7	8,7	16,5	113
Sur	3789	18,9	126	70,1	237,14	1673
Total	4659	12,1	92,1	34,7	153,9	1673

SARDINA COMÚN						
	Promedio Total estaciones	DE Total, estaciones	Promedio Estaciones Positivas	DE Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	30	2,1	6,7	15	14,1	25
Centro	560	3,3	24,5	18,1	55,8	302
Sur	131	0,7	4,2	6,2	11,9	55
Total	721	1,9	16,6	13,4	43	302



2.2. Distribución espacial de huevos y larvas

En el sector norte, los huevos de anchoveta fueron recolectados principalmente en estaciones costeras y con baja abundancia, asociados a las desembocaduras de los ríos Aconcagua y Maipo. Los huevos de anchoveta en el sector central se distribuyeron a lo largo de toda la franja costera, principalmente frente a Punta Nugurne ($35^{\circ}30'S$), al sur de la desembocadura del río Itata y en el Golfo de Arauco. En el sector sur, altas concentraciones de huevos ocurrieron desde Isla Mocha a Corral ($39^{\circ}30'S$). Las abundancias de larvas de anchoveta fueron bajas en toda el área de estudio, no observándose agregaciones en la zona central y solo algunas estaciones positivas cercanas entre sí en la zona sur, en las mismas zonas donde hubo mayor abundancia de huevos (cercanías de isla Mocha y zona intermedia entre isla Mocha y Corral ($39^{\circ}30'S$) (**Figura 19**).

Comparando con los dos años anteriores, la distribución de huevos de anchoveta durante el año 2018 fue más homogénea y más dispersa con ausencia de grandes agregaciones en el Golfo de Arauco y al sur de la desembocadura del río Itata. En el sector sur, y a diferencia de la zona central y del año 2016, hubo zonas de altas concentraciones de huevos desde Isla Mocha a Corral, estando las áreas de mayor concentración cercanas a la costa continental frente a isla Mocha pero separadas de la costa frente a la zona de Corral (desembocadura del río Valdivia), distribución relativamente similar a la del año 2015, sin embargo, a diferencia del año 2015, se colectaron huevos alrededor de la isla Mocha (**Figura 20**).

En el sector norte las abundancias de huevos de sardina común fueron bajas. En el sector central, las mayores agregaciones se observaron en una las tres zonas típicas de agregación de huevos, entre el sur de la desembocadura del río Itata y el Golfo de Arauco; y al igual que los huevos de anchoveta, las abundancias fueron bajas en el Golfo de Arauco (**Figura 21**). En el sector sur, se observó dos zonas con mayor frecuencia de estaciones con huevos de sardina común (frente a isla Mocha y al norte de Corral) pero, solo en unas pocas estaciones costeras frente a la desembocadura del río Imperial (sur de Isla Mocha) hubo una alta abundancia de huevos. La abundancia de larvas de sardina común fue baja en toda la zona de estudio, presentándose en unas pocas estaciones dispersas en la zona central y pequeñas agregaciones al sur y norte de isla Mocha (**Figura 21**).

Comparado con los dos años previos, las mayores agregaciones se distribuyeron al norte del Golfo de Arauco, y frente a Corral. Además, se aprecia que la extensión latitudinal de presencia de huevos se redujo el año 2018, llegando hasta alrededor de los $40^{\circ}S$ de latitud (**Figura 22**).

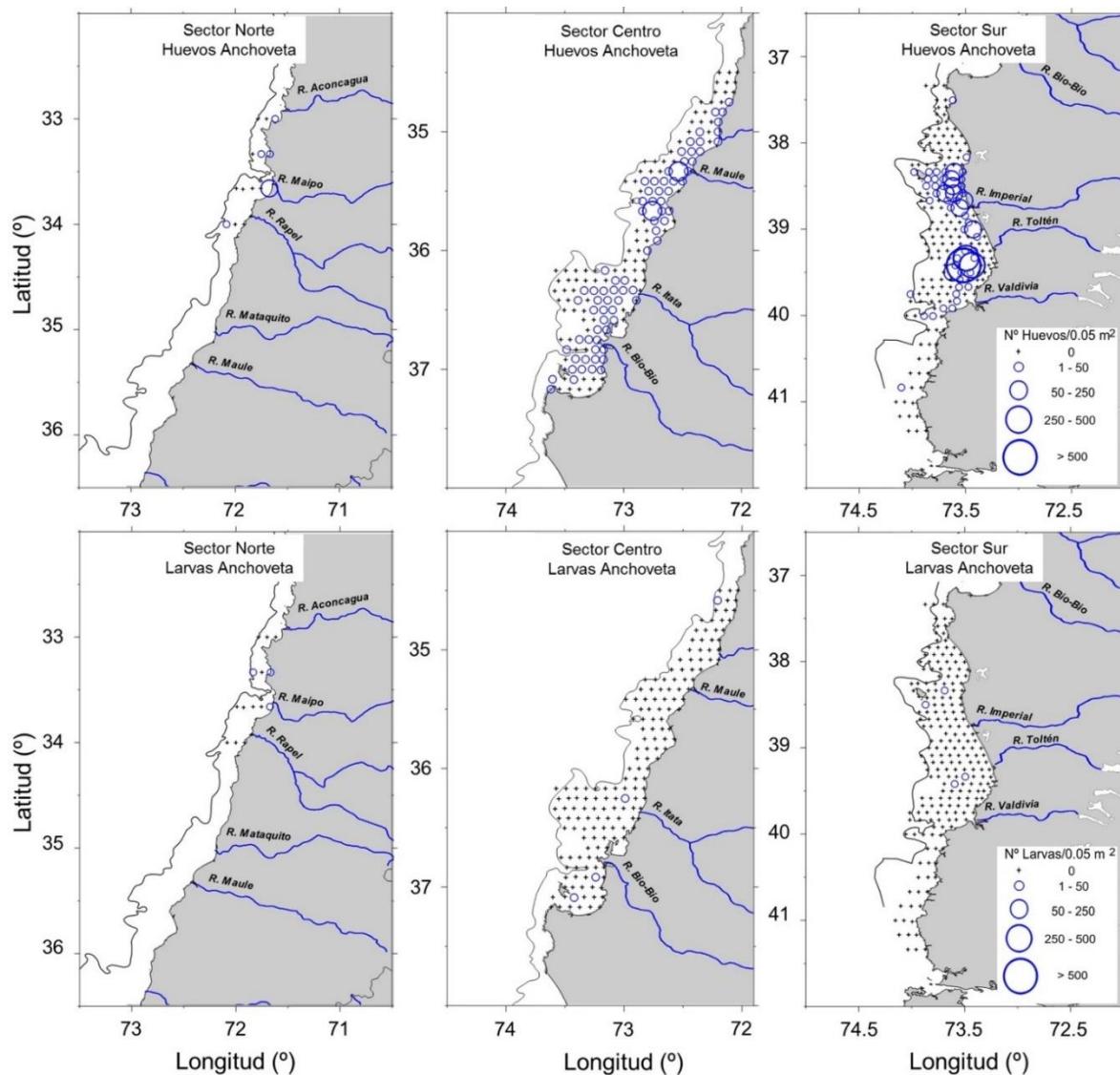


Figura 19. Distribución y abundancia de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de anchoveta colectados en los sectores norte, centro y sur (red CalVET).

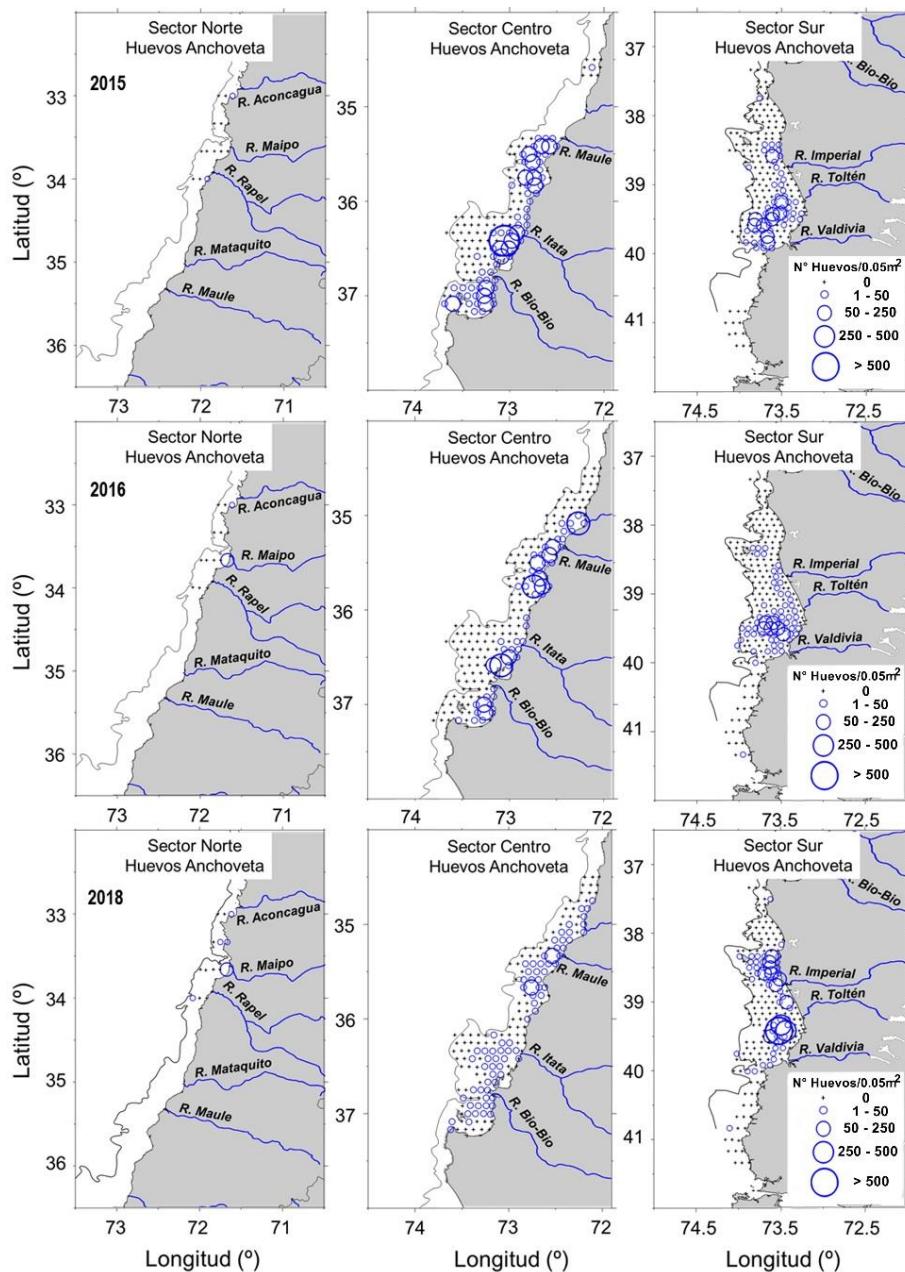


Figura 20. Distribución de huevos de anchoveta colectados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2015 (panel superior), 2016 (panel central) y 2018 (panel inferior).

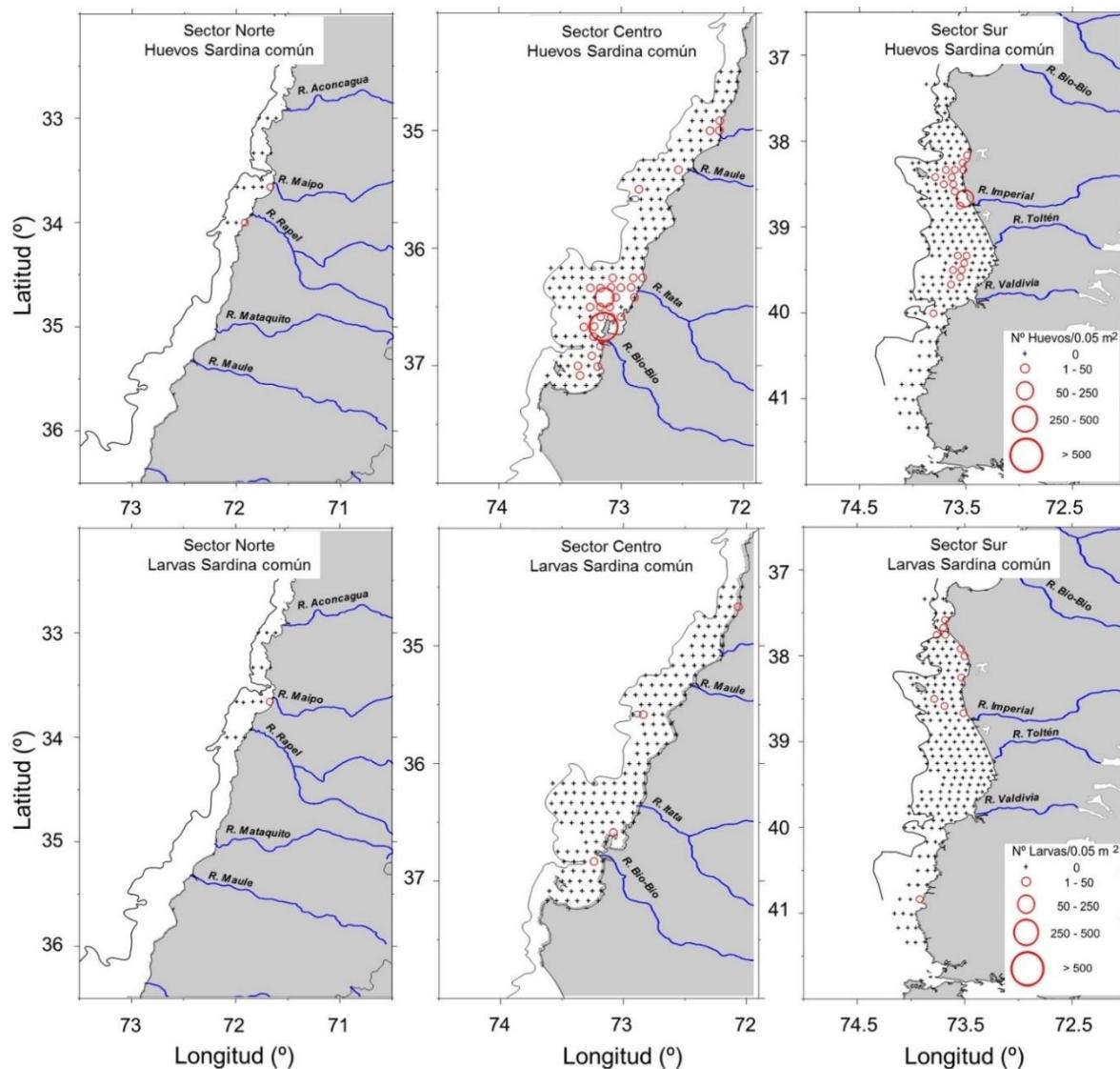


Figura 21. Distribución y abundancia de huevos (panel superior) y larvas (panel inferior) de sardina común colectados en los sectores norte, centro y sur (red CalVET).

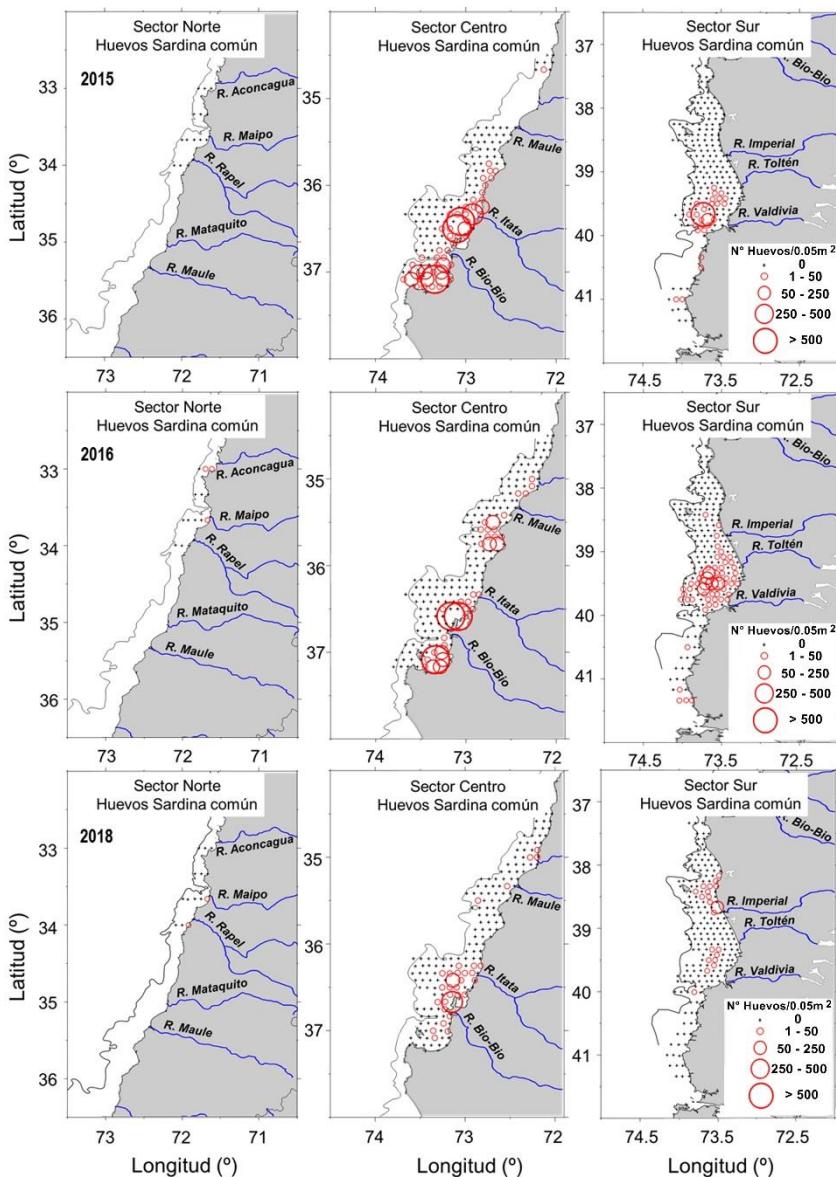


Figura 22. Distribución de huevos de sardina común colectados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2015 (panel superior), 2016 (panel central) y 2018 (panel inferior).

2.3. Análisis histórico del porcentaje de estaciones positivas y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común

Al analizar la serie de tiempo de porcentajes de estaciones positivas de ambas especies se observó que para la anchoveta hubo un mayor número de estaciones positivas de huevos en casi todo el periodo de estudio. Para el caso de la sardina común las estaciones con presencia de huevos han ido disminuyendo levemente desde el 2013 (Figura 23).

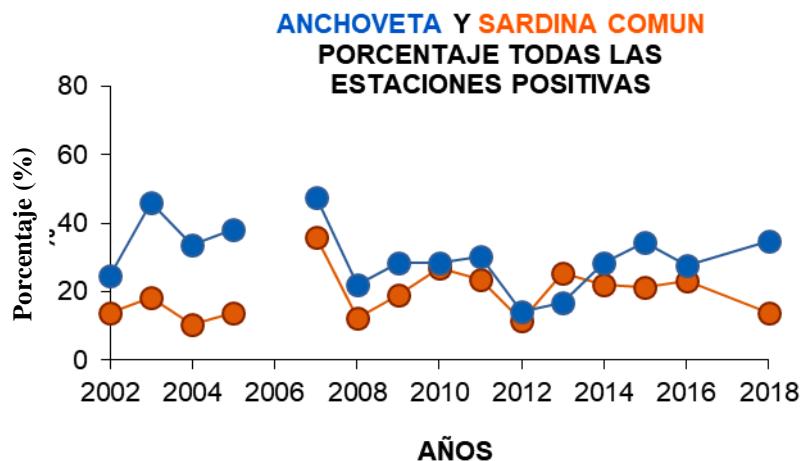


Figura 23. Serie temporal del porcentaje de estaciones con huevos en la zona total de muestreo.

El número y porcentaje de estaciones positivas con huevos de anchoveta en el sector norte (36 %) y central (44 %) durante la campaña del 2018 fue mayor al promedio histórico (promedio histórico norte: 10 % y centro: 29 %), mientras que en el sector sur se mantuvo (27 %) bajo el promedio histórico (promedio histórico sur: 33 %) (Figura 24). En el 2018, en relación al 2016, se apreció un aumento de la proporción de estaciones positivas en las zonas norte y central, y valores relativamente similares en la zona sur.

La proporción de estaciones con huevos de sardina común en el sector norte (14 %) se presentó sobre el promedio histórico (promedio histórico norte: 5 %), cercano al promedio en el sector centro (18 %) (promedio histórico centro: 16 %) y bajo el promedio en el sector sur (10 %) (promedio histórico sur: 23 %) (Figura 25). En el 2018, con respecto al 2016, hubo un aumento en el sector norte, se mantuvo similar en el sector central y disminuyó en el sector sur.

El año 2018 hubo un aumento de huevos de anchoveta en relación con el año 2016 (año 2016: 28,3 h 0,05 m⁻²) y una drástica disminución de huevos de sardina común (año 2016: 45,8 h 0,05 m⁻²). Entre el 2007 y el 2008 hubo un cambio en las abundancias relativas entre ambas especies. En el periodo 2003-2007 se observaron mayores abundancias de huevos de anchoveta, mientras que en el periodo 2008-2016 hubo mayores abundancias de huevos de sardina común, situación que se revirtió el año 2018 (Figura 25).

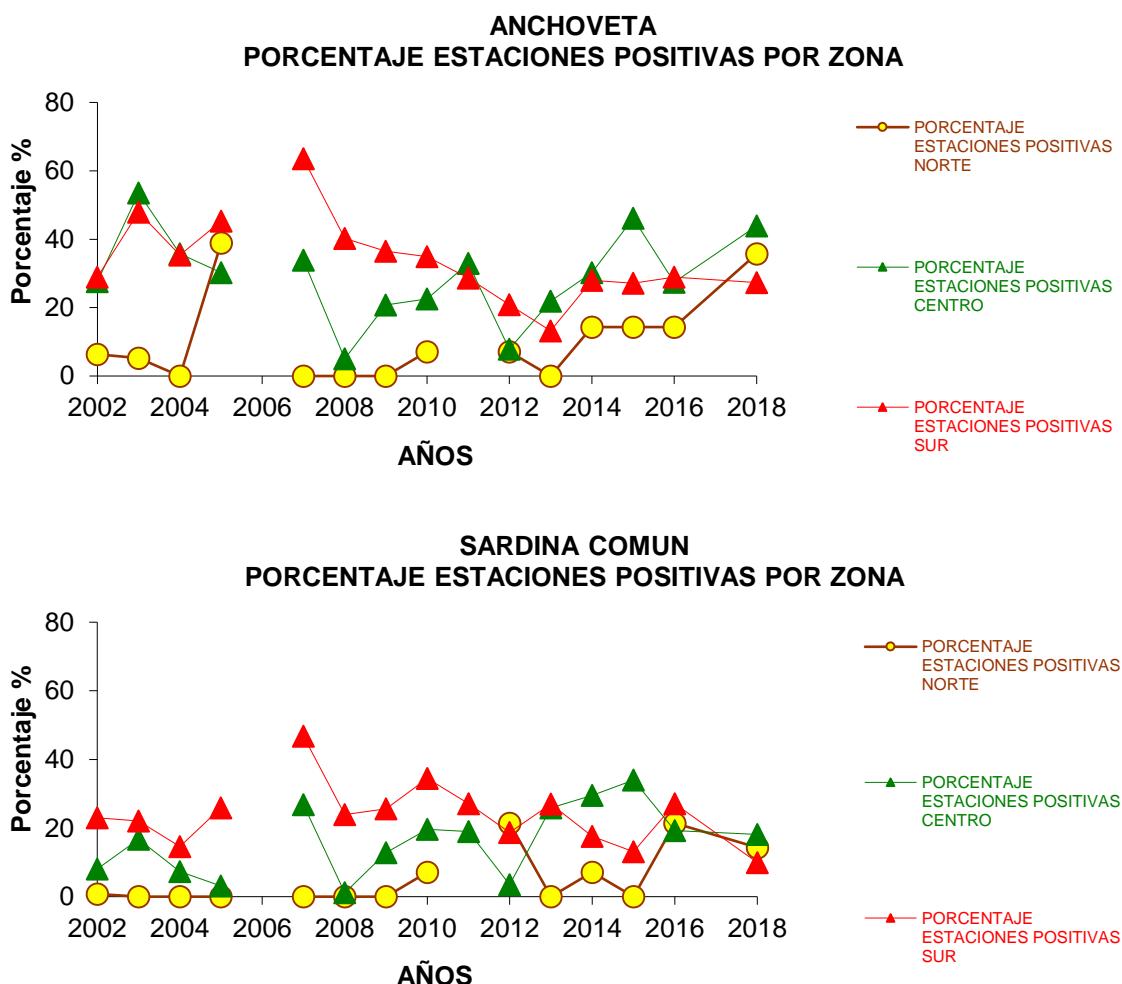


Figura 24. Serie temporal de la proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total.

El año 2018, comparado con el año 2016, las abundancias promedio de huevos de anchoveta se mantuvieron similares en el sector norte (abundancia norte 2016: 40,5 huevos por $0,05\text{ m}^2$), disminuyeron en el sector centro (abundancia centro 2016: 41,3 huevos por $0,05\text{ m}^2$) y aumentaron en el sector sur (abundancia sur 2016: 16,8 huevos por $0,05\text{ m}^2$). Considerando la serie completa 2002-2018 (**Figura 26**), el promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas de la zona central durante el 2018 (9 huevos por $0,05\text{ m}^2$) fue inferior al promedio histórico (27,2 huevos por $0,05\text{ m}^2$), y superior al promedio histórico en la zona sur (47,6 huevos por $0,05\text{ m}^2$) con 69 huevos por $0,05\text{ m}^2$, revirtiendo la tendencia de los últimos 8 años de la zona sur, que ha sido bajo el promedio histórico.

En el 2018, la abundancia promedio de huevos de sardina común, considerando las estaciones positivas de la zona central (19 huevos por 0,05m²), bajaron notoriamente respecto al 2016 (centro 2016: 85,8 huevos por 0,05m²), lo cual revierte la tendencia al alza en abundancia de los últimos 4 años. En cambio, en el sector sur se siguió observando una tendencia a la baja de las abundancias que inició el 2013 (**Figura 26**).

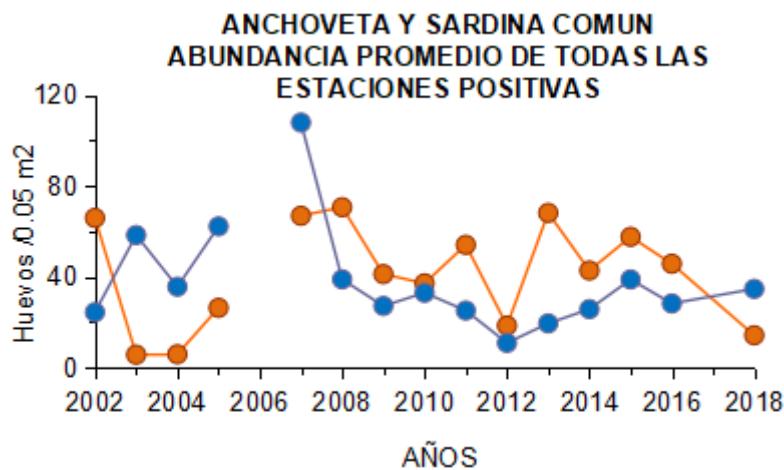


Figura 25. Serie temporal de la abundancia promedio de huevos de anchoveta (línea azul) y sardina común (línea roja) (estaciones positivas) en el área total.

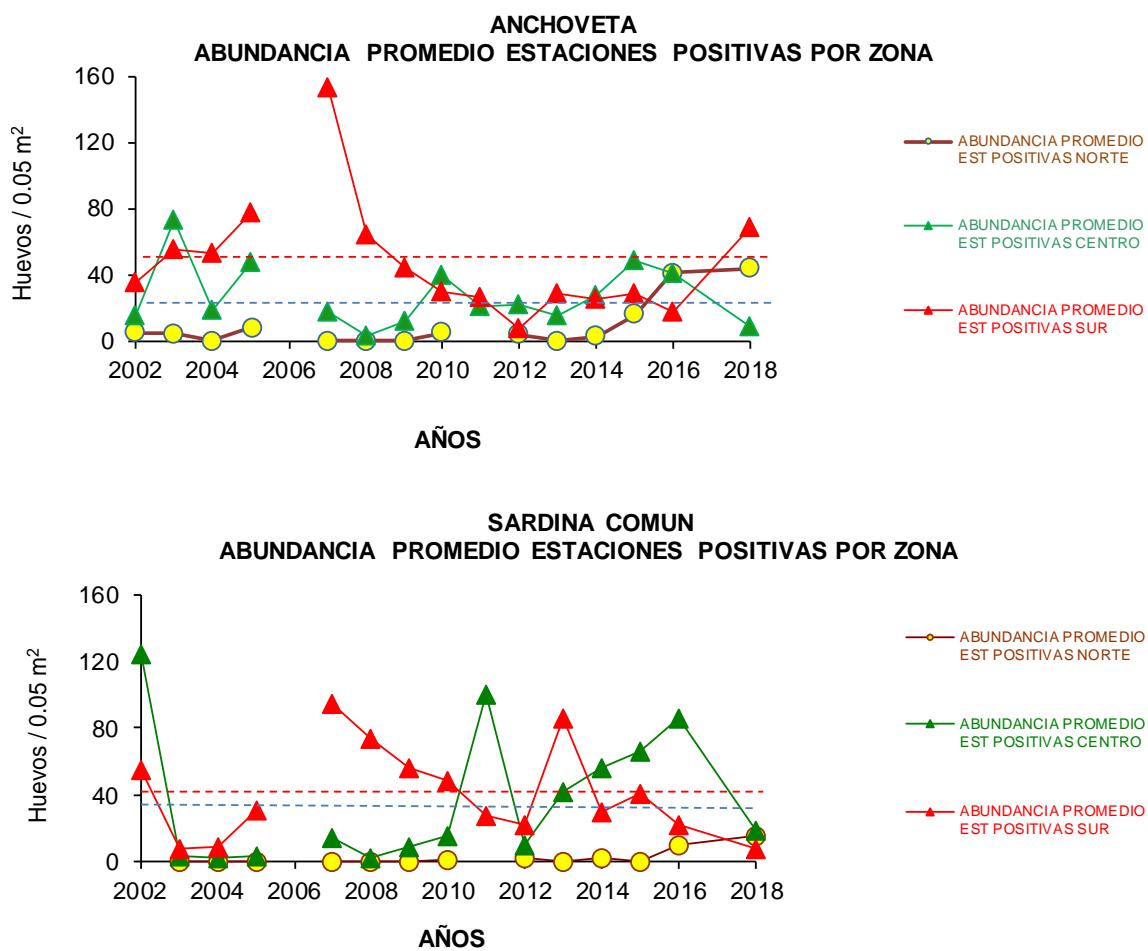


Figura 26. Serie temporal de la abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en estaciones positivas por sector. Las líneas segmentadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie en cada zona (verde = centro; rojo = sur) en el periodo 2002-2018.



2.4. Producción diaria de huevos 2018

La producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad diaria provienen de los coeficientes estimados mediante MLG que se resumen en la **Tabla 11**, según dos procedimientos de determinación de la edad. Los coeficientes fueron todos significativos, tanto con la datación convencional (modelo de Lo) como multinomial, y la pendiente asociada a la edad fue negativa para ambas especies, tanto en la zona centro como sur.

La estimación de los coeficientes basados en la asignación de la edad con el modelo multinomial fue menos preciso para ambas especies, tal como se observó en el error estándar del logaritmo de P_0 y Z, los cuales fueron mayores que aquellos basados en la asignación de la edad con el modelo de Lo.

Así mismo, los estimados ponderados por el índice de agregación fueron más precisos, ya que se observó una reducción importante en el error estándar de los parámetros.

Los coeficientes de la **Tabla 11**, ponderados por el índice de agregación, permitieron estimar la producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos, resultados presentados en la **Tabla 12**. Dichas estimaciones están referidas al área de desove (A_1), mientras que la estimación estratificada considera el total del área de estudio, que incluye tanto el área positiva como negativa (P), lo que implica una corrección para la varianza ponderada por $(1+1/n)$, donde n es el número total de estaciones (Piquelle & Staufer, 1985) y permitió ajustar el coeficiente de variación de la producción de huevos CV(P). La mayor producción diaria de huevos se debió a la anchoveta en la zona sur, con 80,18 huevo/0,05 m²/día, y la menor producción de huevos fue también de anchoveta en la zona centro con 7,27 huevo/0,05 m²/día. Sin embargo, en términos absolutos, la menor producción de huevos fue de sardina común en la zona centro con $6,18 \times 10^{11}$ huevos/día ya que el desove cubrió una menor área.

La tasa de mortalidad diaria de los huevos de anchoveta fluctuó entre 0,88 d⁻¹ (sector centro) y 1,18 d⁻¹ en la anchoveta, mientras que en el caso de la sardina común la tasa de mortalidad diaria fue similar entre las zonas centro y sur (**Tabla 12**).

2.5. Lances de pesca

Durante la campaña 2018, los lances de pesca de sardina común y anchoveta se distribuyeron desde el norte de Dichato hasta el Golfo de Arauco, con la disponibilidad de anchoveta localizada desde Talcahuano hacia el norte (**Figura 27**). En el sector sur, solo se capturó sardina común frente al litoral de Corral hasta el litoral del límite sur de la IX Región (**Figura 27**).

En la zona centro del área de estudio, la campaña de adultos comenzó el 27 de agosto de 2018, considerando la región norte del Biobío, con el buque Don Julian; seguido del sector del Golfo de Arauco por la nave Sebastian II desde el 6 al 15 de septiembre, capturándose 15 lances puros de sardina común. Al respecto, se logró 30 lances de pesca efectivos de sardina común, y sólo 15 lances



de pesca con anchoveta. Esto implicó volver a pescar con el buque Don Julian desde el 15 al 19 de octubre, completándose 45 lances de sardina común y 30 lances de anchoveta (**Tabla 13**).

En el sector sur, la campaña de adultos se desarrolló desde el 24 de septiembre al 7 de octubre de 2018, frente a la IX y XIV Región. No obstante, la totalidad de los lances de pesca exitosos se lograron frente al litoral de la XIV Región, a bordo de la embarcación L/M Isaac II. Obteniéndose 30 lances de pesca efectivos para sardina común y 18 de anchoveta (**Tabla 14**).

Tabla 11. Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlace log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos/m²) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h⁻¹).

a) Anchoveta						
Modelo Edad: Lo	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std,	Valor z	Pr(> z)
MLG 1: Bin, Neg,	Centro	Log(P0)	4,994	0,311	15,875	0,000
		Z	-0,035	0,007	-4,692	0,000
	Sur	Log(P0)	7,282	0,432	16,841	0,000
		Z	-0,045	0,010	-4,690	0,000
MLG 2: Bin, Neg, ponderada con índice de agregación	Centro	Log(P0)	4,980	0,103	48,314	0,000
		Z	-0,037	0,003	-13,713	0,000
	Sur	Log(P0)	7,380	0,111	66,481	0,000
		Z	-0,049	0,003	-16,503	0,000
Modelo Edad: Multinomial	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std,	Valor z	Pr(> z)
MLG 1: Bin, Neg,	Centro	Log(P0)	6,523	0,487	13,380	0,000
		Z	-0,030	0,011	-2,730	0,007
	Sur	Log(P0)	6,523	0,487	13,380	0,000
		Z	-0,030	0,011	-2,730	0,007
b) Sardina común:						
Modelo: Lo	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std,	Valor z	Pr(> z)
MLG 1: Bin, Neg,	Centro	Log(P0)	7,070	0,608	11,630	0,000
		Z	-0,065	0,013	-4,949	0,000
	Sur	Log(P0)	6,461	0,821	7,873	0,000
		Z	-0,078	0,020	-3,905	0,000
GLM 2: Bin, Neg, ponderada con índice de agregación	Centro	Log(P0)	7,077	0,154	45,854	0,000
		Z	-0,066	0,003	-19,045	0,000
	Sur	Log(P0)	5,991	0,341	17,588	0,000
		Z	-0,065	0,010	-6,648	0,000
Modelo: Multinomial	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std,	Valor z	Pr(> z)
MLG 1: Bin, Neg,	Centro	Intercepto	6,244	0,925	6,748	0,000
		Pendiente	-0,046	0,019	-2,474	0,015
	Sur	Intercepto	5,542	0,760	7,294	0,000
		Pendiente	-0,049	0,018	-2,712	0,009



Tabla 12. Estimaciones de la producción diaria de huevos (P_0) y tasa de mortalidad diaria (Z) para la anchoveta y sardina común utilizando GLM con familia binomial negativa y enlace log y ponderación con el índice de agregación de Lloyd en el área de desove (A_1) de cada estrato geográfico. Se muestra también la estimación estratificada de la producción de huevos en el área total (P). Los números entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación de los estimados.

	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Área de estudio (A, km ²)	11643	16681	11643	16681
Área de desove, A ₁ (km ²)	5364	3787	2264	1546
Número de estaciones	170	201	170	201
Número de estaciones positivas	75	54	31	21
a) Datación con Lo:				
P_0 (huevo/0,05 m ² /día)	7,27 (0,103)	80,18 (0,111)	59,22 (0,154)	19,99 (0,341)
Z (día ⁻¹)	-0,88 (0,081)	-1,18 (0,061)	-1,58 (0,045)	-1,56 (0,153)
P_0 (huevo/m ² /día)	145,47 (0,103)	1603,59 (0,111)	1184,41 (0,154)	399,81 (0,341)
P (10 ¹¹ huevos/día)	7,803 (0,070)	60,72 (0,053)	26,81 (0,068)	6,18 (0,104)

**Tabla 13. Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2018, sector centro.**

Barco	Periodo	Región	Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Captura (kg)	PROPORCIÓN ESP. (%)	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Viento Estado	Dirección
Don Julian	Agosto	8	1	27-08-18	13:50	36°14.390	72°49.793	1	30 Anchoveta	70 Sardina	35	12.5	Calma
Don Julian	Agosto	8	2	27-08-18	19:08	36°24.021	72°54.467	1	50	50	30	12.0	Calma
Don Julian	Agosto	8	3	28-08-18	10:36	36°22.267	72°57.085	1	70	30	25	12.0	Calma
Don Julian	Agosto	8	4	28-08-18	14:50	36°25.181	72°55.344	1	70	30	25	13.0	1 S
Don Julian	Agosto	8	5	28-08-18	17:10	36°27.198	72°55.258	1	50	50	15	13.0	1 SW
Don Julian	Agosto	8	6	29-08-18	09:48	36°28.857	72°59.039	1	60	40	30	12.0	Calma
Don Julian	Agosto	8	7	29-08-18	12:20	36°24.888	72°56.989	1	70	30	35	12.0	Calma
Don Julian	Agosto	8	8	29-08-18	14:30	36°23.685	72°57.293	1	60	40	30	13.0	Calma
Don Julian	Agosto	8	9	29-08-18	17:10	36°21.623	72°59.370	1	50	50	20	12.5	1 S
Don Julian	Agosto	8	10	30-08-18	09:57	36°32.189	73°00.176	1	60	40	18	13.0	1 S
Don Julian	Agosto	8	11	30-08-18	12:36	36°24.326	73°00.631	1	50	50	23	12.5	2 SW
Don Julian	Agosto	8	12	30-08-18	18:05	36°25.863	72°54.769	1	50	50	27	12.0	2 SW
Don Julian	Agosto	8	13	31-08-18	10:40	36°25.986	72°56.821	1	70	30	32	12.0	2 N
Don Julian	Agosto	8	14	31-08-18	13:10	36°26.801	72°59.370	1	70	30	35	12.0	2 N
Don Julian	Septiembre	8	15	01-09-18	08:05	36°32.198	73°03.423	1	80	20	45	12.0	Calma
Sebastian II	Septiembre	8	1	06-09-18	09:52	37°00.231	73°12.547	1	0	100	37	12.0	2 S
Sebastian II	Septiembre	8	2	06-09-18	12:07	37°03.841	73°11.065	1	0	100	26	12.0	3 S
Sebastian II	Septiembre	8	3	06-09-18	17:23	37°13.024	73°19.444	1	0	100	16	12.5	3 S
Sebastian II	Septiembre	8	4	07-09-18	09:53	37°13.176	73°16.280	1	0	100	10	12.0	4 S
Sebastian II	Septiembre	8	5	07-09-18	18:45	37°13.118	73°16.760	1	0	100	12	12.5	4 S
Sebastian II	Septiembre	8	6	08-09-18	09:10	37°06.310	73°26.058	1	0	100	14	12.0	5 S
Sebastian II	Septiembre	8	7	08-09-18	11:20	37°03.960	73°23.600	1	0	100	23	12.0	3 S
Sebastian II	Septiembre	8	8	08-09-18	13:10	37°03.836	73°28.594	1	0	100	46	12.5	2 S
Sebastian II	Septiembre	8	9	08-09-18	17:15	37°01.705	73°20.595	1	0	100	10	12.5	3 S
Sebastian II	Septiembre	8	10	08-09-18	19:05	37°05.396	73°13.157	1	0	100	56	12.0	3 S
Sebastian II	Septiembre	8	11	09-09-18	09:01	37°12.465	73°15.555	1	0	100	32	12.0	2 S
Sebastian II	Septiembre	8	12	09-09-18	11:23	37°12.869	73°16.077	1	0	100	10	13.0	1 S
Sebastian II	Septiembre	8	13	09-09-18	14:15	37°10.673	73°15.449	1	0	100	14	13.0	1 S
Sebastian II	Septiembre	8	14	10-09-18	08:50	37°06.350	73°24.883	1	0	100	15	12.0	2 S
Sebastian II	Septiembre	8	15	10-09-18	10:20	37°07.043	73°25.276	1	0	100	25	12.0	2 S
Don Julian	Octubre	8	1	15-10-18	09:12	36°32.433	73°05.140	1	40	60	60	13.0	3 SW
Don Julian	Octubre	8	2	15-10-18	10:55	36°32.603	73°03.837	1	40	60	50	13.0	3 SW
Don Julian	Octubre	8	3	15-10-18	13:25	36°28.205	73°00.080	1	40	60	50	13.5	3 SW
Don Julian	Octubre	8	4	16-10-18	07:10	36°23.226	72°57.983	1	40	60	43	12.5	2 N
Don Julian	Octubre	8	5	16-10-18	09:14	36°22.815	72°57.783	1	40	60	35	12.5	2 N
Don Julian	Octubre	8	6	18-10-18	08:11	36°30.901	73°00.691	1	40	60	37	12.5	3 SW
Don Julian	Octubre	8	7	18-10-18	10:37	36°21.411	72°56.245	1	40	60	40	12.0	3 SW
Don Julian	Octubre	8	8	18-10-18	12:18	36°20.082	72°56.930	1	50	50	43	12.0	2 S
Don Julian	Octubre	8	9	18-10-18	17:56	36°22.173	72°53.493	1	50	50	43	12.2	2 S



Don Julian	Octubre	8	10	18-10-18	19:11	36°23.421	72°55.843	1	50	50	45	12.5	2	S
Don Julian	Octubre	8	11	19-10-18	07:49	36°19.812	72°55.621	1	50	50	47	13.0	2	SW
Don Julian	Octubre	8	12	19-10-18	09:17	36°19.001	72°57.060	1	50	50	45	13.2	2	S
Don Julian	Octubre	8	13	19-10-18	10:31	36°23.860	72°56.731	1	70	30	45	12.5	2	S
Don Julian	Octubre	8	14	19-10-18	12:03	36°25.680	72°55.965	1	70	30	47	13.0	2	S
Don Julian	Octubre	8	15	19-10-18	14:18	36°26.600	72°58.822	1	70	30	42	12.2	3	S

Tabla 14. Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2018, sector sur.

Barco	Periodo	Región	Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Captura (kg)	PROPORCIÓN ESP. (%)	Profundidad	Temperatura	Viento	Estado	Dirección
								Anchoveta	Sardina	(m)	(°C)			
Isaac II	Septiembre	14	1	24-09-18	08:12	39°44.919	73°27.252	1	90	10	30	11.0	SW	4
Isaac II	Septiembre	14	2	24-09-18	11:58	39°40.255	73°24.175	1	40	60	30	11.0	SW	3
Isaac II	Septiembre	14	3	24-09-18	17:20	39°25.100	73°15.550	1	0	100	35	11.2	S	2
Isaac II	Septiembre	14	4	24-09-18	18:23	39°28.870	73°18.030	1	0	100	30	11.1	S	2
Isaac II	Septiembre	14	5	25-09-18	12:05	39°34.816	73°19.957	1	40	60	30	11.1	SW	3
Isaac II	Septiembre	14	6	25-09-18	17:07	39°44.875	73°25.451	1	40	60	30	11.5	SW	3
Isaac II	Septiembre	14	7	26-09-18	11:27	39°45.316	73°25.341	1	40	60	35	11.8	N	3
Isaac II	Septiembre	14	8	26-09-18	13:40	39°53.124	73°30.842	1	40	60	35	11.5	N	4
Isaac II	Septiembre	14	9	26-09-18	15:24	39°50.695	73°30.148	1	40	60	35	11.2	N	4
Isaac II	Septiembre	14	10	26-09-18	17:10	39°51.794	73°29.903	1	40	60	25	11.4	N	4
Isaac II	Octubre	14	11	01-10-18	13:32	39°46.174	73°25.182	1	40	60	30	11.0	SW	5
Isaac II	Octubre	9	12	02-10-18	10:43	39°17.093	73°22.158	1	50	50	35	11.5	S	3
Isaac II	Octubre	9	13	02-10-18	13:10	39°18.182	73°21.255	1	50	50	35	11.2	S	3
Isaac II	Octubre	9	14	02-10-18	15:20	39°19.088	73°21.416	1	50	50	35	11.2	S	3
Isaac II	Octubre	9	15	03-10-18	08:10	39°17.741	73°22.461	1	50	50	30	11.5	S	3
Isaac II	Octubre	9	16	03-10-18	10:18	39°18.059	73°20.574	1	50	50	30	11.0	S	2
Isaac II	Octubre	9	17	03-10-18	11:30	39°19.297	73°20.696	1	50	50	35	11.2	S	3
Isaac II	Octubre	9	18	03-10-18	13:41	39°21.158	73°17.502	1	50	50	30	11.8	S	3
Isaac II	Octubre	9	19	04-10-18	11:41	39°23.011	73°21.840	1	50	50	30	12.0	S	2
Isaac II	Octubre	14	20	04-10-18	12:58	39°27.984	73°22.204	1	50	50	30	11.5	S	2
Isaac II	Octubre	14	21	05-10-18	15:24	39°52.739	73°31.533	1	0	100	30	12.0	S	2
Isaac II	Octubre	14	22	05-10-18	16:58	39°52.650	73°31.559	1	0	100	30	12.0	S	3
Isaac II	Octubre	14	23	05-10-18	18:22	39°52.616	73°31.579	1	0	100	30	11.5	NE	3
Isaac II	Octubre	14	24	06-10-18	10:45	39°36.479	73°20.539	1	0	100	30	11.5	NE	3
Isaac II	Octubre	14	25	06-10-18	12:14	39°35.700	73°21.739	1	0	100	30	11.3	NE	3
Isaac II	Octubre	14	26	06-10-18	14:23	39°34.700	73°20.900	1	0	100	25	12.0	N	2
Isaac II	Octubre	14	27	06-10-18	16:11	39°38.453	73°23.735	1	0	100	25	12.0	N	2
Isaac II	Octubre	14	28	07-10-18	08:40	39°39.767	73°25.288	1	0	100	25	11.8	N	3
Isaac II	Octubre	14	29	07-10-18	10:15	39°44.542	73°28.535	1	0	100	25	11.5	N	3
Isaac II	Octubre	14	30	07-10-18	11:10	39°44.878	73°27.930	1	0	100	25	12.0	N	3

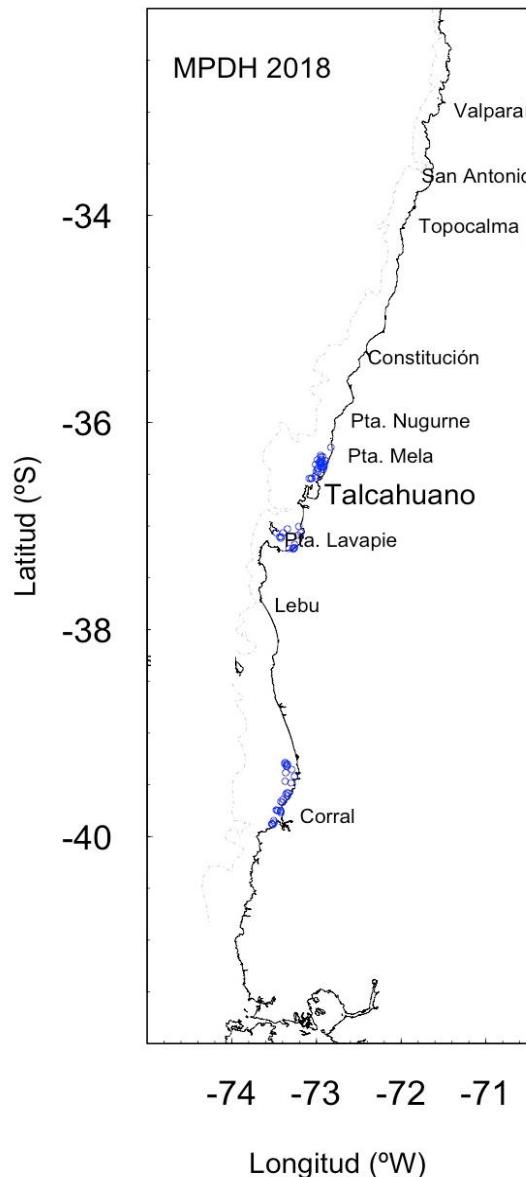


Figura 27. Distribución de los lances de pesca realizados durante el periodo del crucero de adultos en la Región del Biobío, de la Araucanía, y Región de los Ríos y correspondientes a las zonas centro y sur, respectivamente.



2.6. Composición por tallas

En la zona centro se muestrearon 3976 individuos de sardina común. De estos ejemplares, 52,7 % fueron machos y 47,2 % hembras (**Tabla 15**). Para el caso de la anchoveta, se registraron 2128 individuos, con una proporción de 51,5 % de machos y 48,5 % de hembras (**Tabla 16**). En la zona sur, se muestrearon 3822 individuos de sardina común, de los cuales 55,7 % fueron machos y 44,2 % fueron hembras (**Tabla 15**). Para el caso de la anchoveta se muestreó un total de 2380 individuos, de los cuales 56,7 % fueron machos y 43,2 % fueron hembras (**Tabla 16**).

De acuerdo a los resultados de frecuencias de tallas de sardina común se identificaron dos modas de aproximadamente 12 y 15 cm en el sector centro y una moda de 12,5 cm en el sector sur (**Figura 28**). Para el caso de la anchoveta, también se presentaron dos modas en el sector centro de aproximadamente 15 y 17 cm, y una moda en el sector sur de tallas más chicas que en el centro (**Figura 29**).

Tabla 15. Composición por tallas de sardina común obtenidas durante el crucero de adultos en los sectores centro y sur, año 2018.

Zonas	Centro			Sur			
	Sex	Macho	Hembra	Total	Macho	Hembra	Total
n		2099	1877	3976	2129	1714	3822
\bar{L} (cm)		13,0	13,0	13,0	13,1	13,3	13,2
σ^2 (cm ²)		3,39	3,26	3,33	1,78	1,28	1,56
σ (cm)		1,84	1,81	1,82	1,34	1,13	1,25
CV (%)		14,15	13,88	14,03	10,21	8,54	9,42

Tabla 16. Composición por tallas de anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en los sectores centro y sur, año 2018.

Zonas	Centro			Sur			
	Sex	Macho	Hembra	Total	Macho	Hembra	Total
n		1096	1032	2128	1350	1030	2380
\bar{L} (cm)		15,7	15,8	15,7	14,4	14,5	14,5
σ^2 (cm ²)		2,54	2,58	2,56	1,24	1,15	1,24
σ (cm)		1,59	1,61	1,60	1,12	1,07	1,11
CV (%)		10,14	10,18	10,13	7,73	7,39	7,72

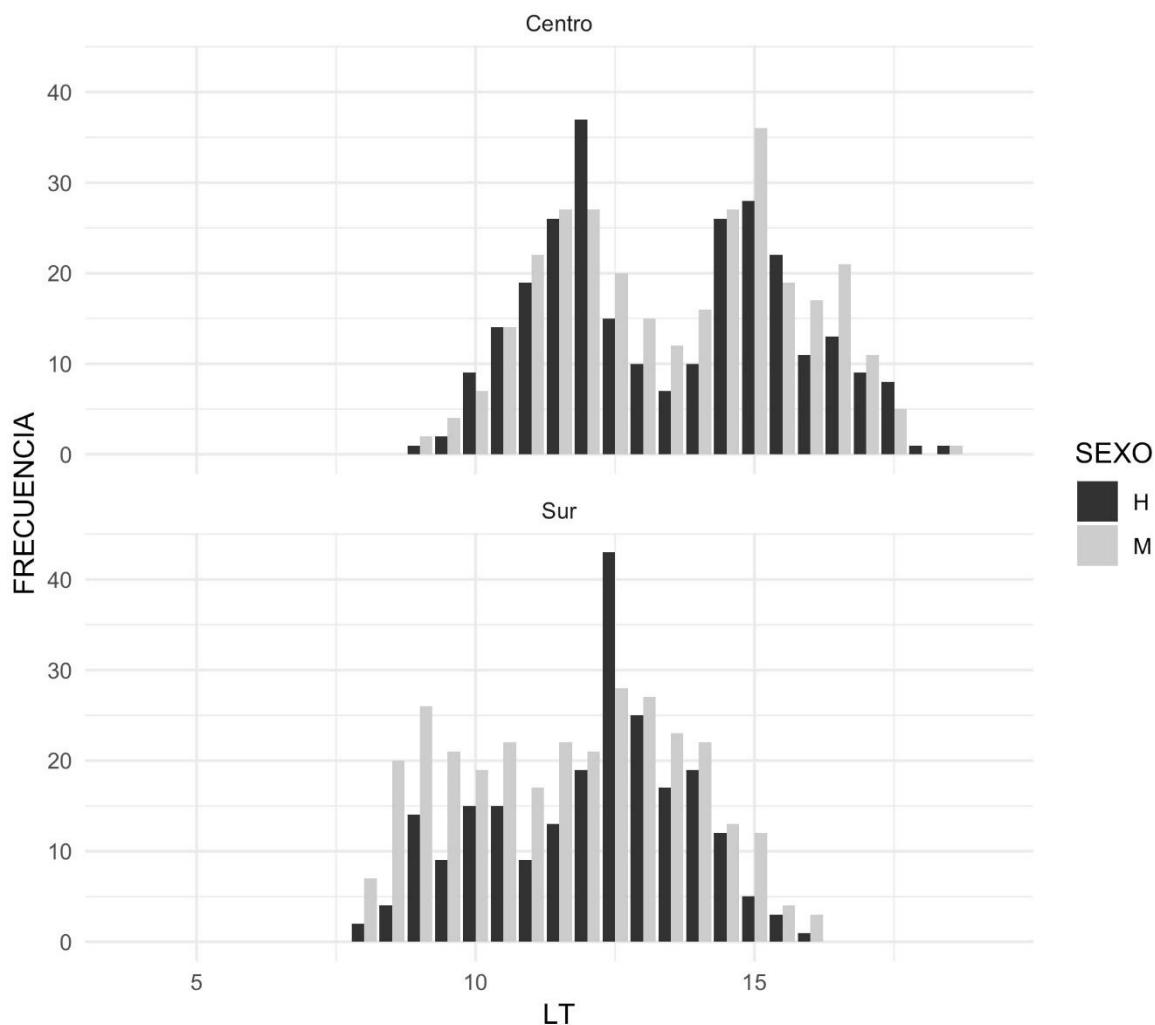


Figura 28. Frecuencias de tallas de sardina común en los sectores centro y sur.

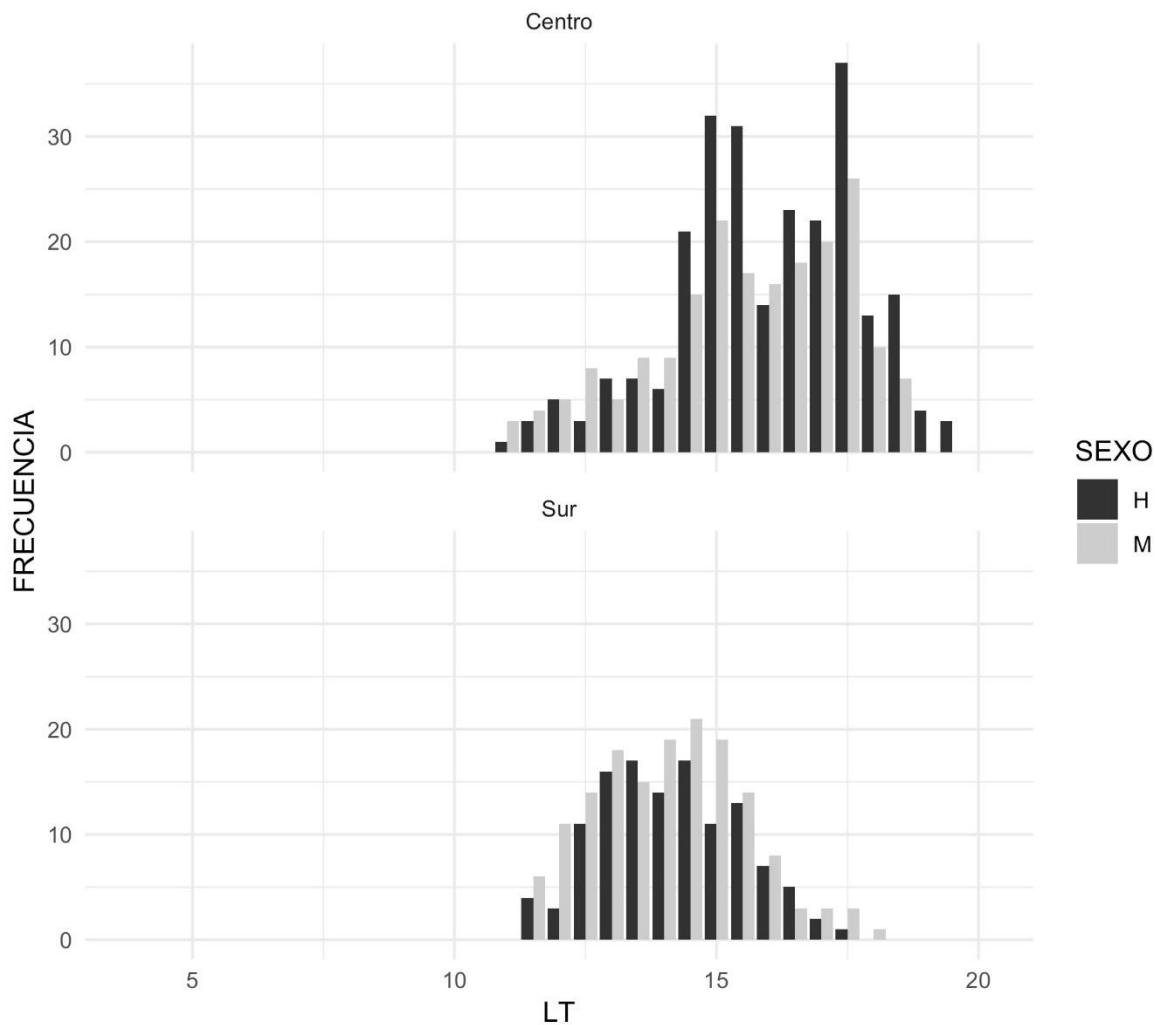


Figura 29. Frecuencias de tallas de anchoveta en los sectores centro y sur.



2.7. Estados de madurez y fracción diaria de hembras desovantes

Estados de madurez

El análisis histológico de los ovarios de anchoveta consideró 1025 hembras provenientes de 26 lances de pesca, mostró que 99 % de las hembras de anchoveta se encontraban activas (EMM 3 al 7). En el caso de sardina común, se analizaron 1320 hembras correspondientes a 39 lances en el área total. De estos, 19 lances provinieron de la zona centro y 20 lances de la zona sur. El análisis histológico de los ovarios de las hembras de sardina común indicó que el 89 % de las hembras se encontraban activas (EMM 3 al 7) en el área total. Para la zona centro se encontró un 100 % y en la zona sur un 76 % de hembras activas.

Fracción diaria de hembras desovante

Al considerar a los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5), Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM 7) como pertenecientes al grupo de desove que desovará dentro de las próximas 24 horas, la fracción desovante de anchoveta se estimó en 0,174, con una varianza de 0,00076 y un coeficiente de variación de 15,8 %. Los FPO de I al IV (Excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 AM) corresponden a hembras que desovaron la noche anterior, es decir con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estimó en 0,108 con una varianza de 0,00053 (CV=21,5 %). No existieron diferencias entre ambas estimaciones ($t_{\text{calc}} = 2,02$, $t_{\text{tabla}} = 2,06$). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estimó una fracción diaria de hembras desovantes de 0,141, una varianza de 0,00038 y un coeficiente de variación de 13,9 %.

Las estimaciones de fracción desovante para los marcadores de desove de sardina común, por zona, se entregan en **Tabla 17**. Para el área total existen diferencias significativas entre las estimaciones efectuadas con estadios Núcleo Migrante e Hidratadas (FPO 0) y las provenientes de los FPO.

Tabla 17. Estimaciones de fracción diaria de hembras desovantes por zona y área total para sardina común año 2018. t calculado para $H_0: FPO\ 0 = FPO\ 1$.

Zona	Estimado	Varianza	CV	t calculado $FPO\ 0 = FPO\ 1$
Centro	FPO 0	0,135	0,00096	0,229
	FPO 1	0,009	0,00002	0,488
	FPO 0+1	0,072	0,00027	0,228 3,978*
Sur	FPO 0	0,120	0,00231	0,400
	FPO 1	0,034	0,00014	0,350
	FPO 0+1	0,077	0,00081	0,368 2,074
Área total	FPO 0	0,128	0,00078	0,218
	FPO 1	0,021	0,00004	0,309
	FPO 0+1	0,075	0,00026	0,214 4,1163 *



2.8. Fecundidad

Anchoveta

La relación entre fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras de anchoveta se muestra en **Figura 30**. El intercepto para el 2018 (**Tabla 18 y 19**) es significativamente distinto de cero por lo que la fecundidad se estimó a través de un modelo lineal que considera intercepto (i.e. $Y=a + b^*X$).

La fecundidad parcial promedio por lance, utilizando el ajuste correspondiente al año 2018 varió de 6146 a 19445 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional resulta en 11646 ovocitos, con una varianza de 659031 y un coeficiente de variación de 7,0 %. La fecundidad media poblacional por zona fue 12939 (CV=6,3 %) para la zona centro y 9213 (CV=5,7 %) para la zona sur (**Tabla 22**).

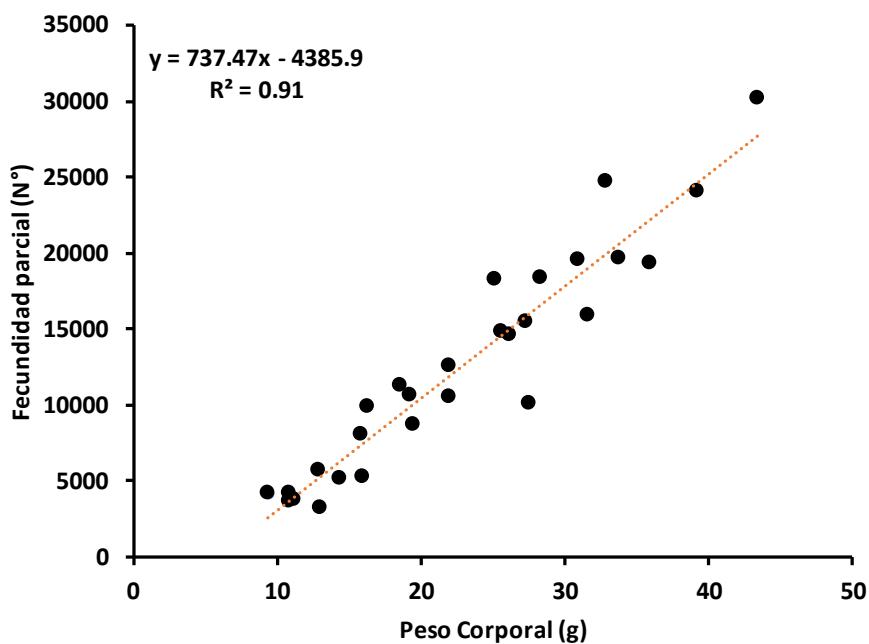


Figura 30. Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de anchoveta, año 2018.

**Tabla 18. Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH.**

Años	Intercesto (a)	DS(a)	Pr(a=0)	Pendiente (b)	DS(b)	Pr(b=0)	Error Estándar	R ²	n
2002	-613,4	824,669	0,458	422,38	44,285	<0,001	2156,15	0,37	158
2003	122,0	580,495	0,834	395,12	34,071	<0,001	1877,71	0,58	100
2004	600,21	864,321	0,490	360,86	39,082	<0,001	1787,19	0,56	68
2005	-311,16	677,321	0,651	331,17	40,183	<0,001	1138,15	0,76	23
2007	-574,21	734,85	0,44	445,11	33,36	<0,001	1807,76	0,66	92
2009	896,29	717,11	0,23	266,90	38,98	<0,001	1419,77	0,69	23
2010	925,94	1033,82	0,38	415,17	56,69	<0,001	1406,68	0,71	24
2012	-1735,73	2892,33	0,55	660,96	130,60	<0,001	2418,68	0,50	28
2014	-2186,58	1937,27	0,27	660,72	78,49	<0,001	3210,50	0,70	32
2015	-5204,58	1692,66	0,01	840,20	100,63	<0,001	1747,91	0,75	25
2016	3278,32	1866,70	0,09	452,23	57,01	<0,001	3402,02	0,59	34
2018	-4385,93	1134,76	0,00	737,47	45,98	<0,001	2244,56	0,91	28

Tabla 19. Parámetros de las regresiones con intercepto cero entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH.

Años	Pendiente (b)	DE(b)	Pr(b=0)	Error Estándar	R ²	n	IC inf. 95 %	IC sup. 95 %
2002	390,16	9,199	<0,001	2153,078	0,37	158	372,0	408,3
2003	401,89	10,968	<0,001	1958,621	0,58	100	360,1	423,7
2004	387,13	9,752	<0,001	1780,270	0,56	68	367,6	406,6
2005	313,89	13,815	<0,001	1117,552	0,76	23	285,2	342,5
2007	419,91	8,54	<0,001	1803,89	0,66	92	403,0	436,9
2009	311,27	16,30	<0,001	1437,79	0,69	23	277,5	345,1
2010	463,94	15,70	<0,001	1402,81	0,71	24	431,46	495,42
2012	583,57	20,39	<0,001	2389,85	0,50	28	541,73	525,12
2014	576,01	23,10	<0,001	3224,65	0,70	32	528,91	523,12
2015	537,49	24,17	<0,001	2032,56	0,75	25	487,61	587,36
2016	554,03	21,60	<0,001	3507,82	0,59	34	520,09	607,96
2018	572,64	21,16	<0,001	2763,86	0,91	28	529,21	616,06

Sardina común

La relación entre fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras se muestra en **Figura 31**, siendo muy similar a la estimada de largo plazo utilizando toda la base de datos. Dado que el intercepto no es significativo ($P>0,05$), se utilizó el modelo sin intercepto (**Tabla 20 y 21**).

La fecundidad media poblacional, utilizando el ajuste correspondiente al año 2018 fue 11545,6 (CV=8,2 %) para la zona centro y 9439,6 (CV=5,6 %) para la zona sur (**Tabla 22**).

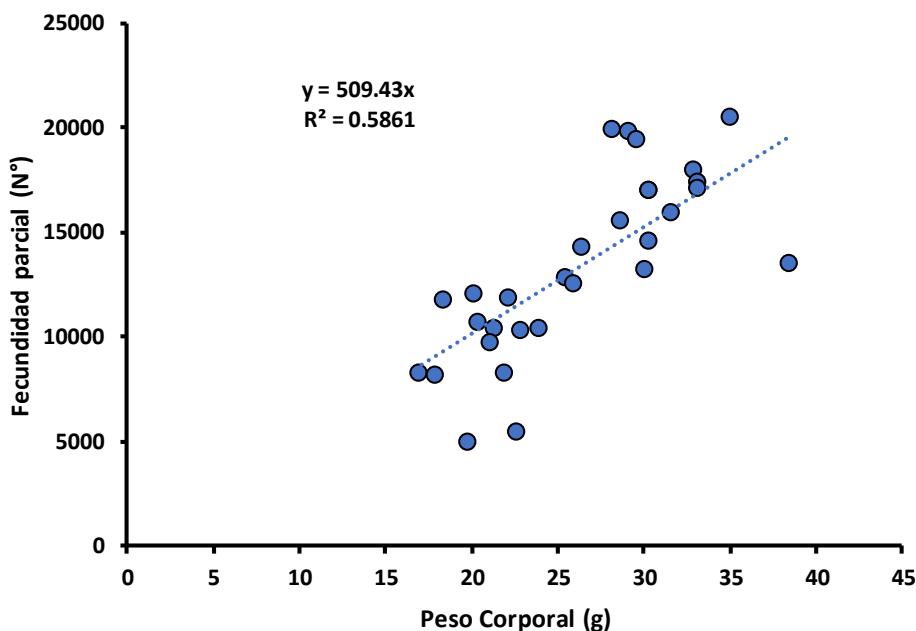


Figura 31. Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de sardina común, año 2018.

Tabla 20. Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común en cada año de aplicación del MPH. LP indica la relación obtenida al combinar todos los años.

Años	Intercepto (a)	DE(a)	Pr(a=0)	Pendiente (b)	DE(b)	Pr(b=0)	Error Estándar	R ²	n
2009	-629,76	568,76	0,27	460,13	25,83	<0,01	1601,33	0,86	54
2010	552,32	1021,54	0,59	343,46	48,89	<0,01	1972,78	0,58	38
2011	447,82	2305,40	0,85	474,20	108,20	<0,01	2051,32	0,37	35
2013	-2793,88	1580,82	0,09	619,16	82,88	<0,01	1784,05	0,62	35
2014	-5655,36	2534,70	0,03	791,71	107,71	<0,01	2546,53	0,62	35
2015	-148,95	3814,94	0,97	494,45	494,45	<0,01	2669,81	0,29	30
2016	-455,35	1706,99	0,79	503,17	503,17	<0,01	2021,29	0,64	35
2018	-1985,56	2438,71	0,42	581,53	90,54	<0,01	2774,99	0,60	30
LP	-883,06	603,06	0,15	503,60	28,12	<0,01	2392,73	0,62	197



Tabla 21. Parámetros de las regresiones con intercepto cero entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común en cada año de aplicación del MPDH. LP indica la relación obtenida al combinar todos los años.

Años	Intercepto (a)	Pendiente (b)	DE(b)	Pr(b=0)	Error Estándar	R ²	n
2009	0	433,72	9,92	<0,01	1604,73	0,86	54
2010	0	368,56	15,17	<0,01	1953,82	0,57	38
2011	0	494,97	16,04	<0,01	2022,08	0,37	35
2013	0	475,37	16,30	<0,01	1838,92	0,96	35
2014	0	554,58	19,36	<0,01	2691,39	0,96	35
2015	0	488,80	18,31	<0,01	2623,45	0,96	30
2016	0	485,89	13,05	<0,01	1993,49	0,98	35
2018	0	509,43	18,70	<0,01	2758,82	0,96	30
LP	0	464,13	7,97	<0,01	2399,68	0,95	197

Tabla 22. Estimaciones de fecundidad media poblacional por zona y área total, para anchoveta y sardina común año 2018.

Especie	Zona	Estimado	Varianza	CV
Anchoveta	Centro	12939	654186,7	0,063
	Sur	9213	275676,4	0,057
	Total	11646	659031	0,070
Sardina	Centro	11546	896959	0,082
	Sur	9440	277633	0,056
	Total	10531	463001	0,065

2.9. Peso promedio y proporción de hembras

Anchoveta

El peso total del cuerpo de hembras hidratadas, estadio que se caracteriza por el incremento temporal del peso producido por la retención de agua en el ovario, se calculó de acuerdo al ajuste obtenido de una ecuación lineal estimada con aquellas hembras maduras de cada lance y que histológicamente no clasificaron como hembras hidratadas, siendo esta:

$$PT = -0,446 + 1,0822 \cdot (PT-PG)$$

R² = 0,994

N = 908

El peso promedio por lance del cuerpo de las hembras maduras fluctuó de 15,2 a 35,2 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 23,2 gramos, con una varianza de



1,089 y un coeficiente de variación de 4,5 %. Las estimaciones de peso promedio de hembra madura por zona se entregan en la **Tabla 23**.

Sardina común

El peso total del cuerpo de hembras hidratadas, estadio que se caracteriza por el incremento temporal del peso producido por la retención de agua en el ovario, se corrigió de acuerdo al ajuste obtenido de una ecuación lineal estimada con aquellas hembras maduras de cada lance y que histológicamente no clasificaron como hembras hidratadas. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 21,9 gramos, con una varianza de 1,047 y un coeficiente de variación de 4,6 %. Las estimaciones de peso promedio de hembra madura por zona se entregan en la **Tabla 23**.

2.10. Biomasa desovante

La biomasa del stock desovante se sustenta en la producción diaria de huevos de cada estrato geográfico, los cuales se consideran independientes. En el caso de la anchoveta, la biomasa desovante fue estimada en 18769 toneladas (CV=25,1 %) en la zona centro: mientras que en la zona sur fue de 188975 (CV=27,5 %) (**Tabla 24**). La sardina común denota una biomasa desovante mayor que la anchoveta en la zona centro con 82806 toneladas (CV=28 %) y menor en la zona sur con 24753 toneladas (CV=56,7 %).

Al considerar la suma de las biomassas por estratos geográficos, la biomasa desovante de anchoveta se estima en 207744 toneladas (CV=25,1 %), y 107559 toneladas (25,2 %) para la sardina común (**Tabla 24**).

Tabla 23. Estimaciones de peso promedio (g) y proporción de hembra madura por zona para anchoveta y sardina común año 2018.

Parámetro	Especie	Zona	Estimado	Varianza	CV
(W)	Anchoveta	Centro	19,6	0,212	0,024
		Sur	25,1	1,110	0,042
	Sardina Común	Centro	24,5	3,153	0,072
		Sur	19,28	0,118	0,018
(R)	Anchoveta	Centro	0,512	0,0034	0,113
		Sur	0,425	0,0092	0,225
	Sardina común	Centro	0,509	0,0015	0,076
		Sur	0,457	0,0051	0,157



Tabla 24. Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común (septiembre - octubre 2018). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa.

Parámetros	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Fracción desovante, S	0,123 (0,208)	0,206 (0,096)	0,135 (0,224)	0,120 (0,400)
Peso promedio, W (g)	19,6 (0,024)	25,1 (0,042)	24,5 (0,072)	19,28 (0,018)
Proporción de hembras, R	0,512 (0,113)	0,425 (0,225)	0,509 (0,001)	0,425 (0,225)
Fecundidad media, F	12939 (0,063)	9213 (0,070)	11546 (0,082)	9440 (0,056)
Fecundidad relativa, RF (huevo g ⁻¹)				489,6
Área de estudio, A (km ²)	11643	16618	11643	16681
P ₀ (huevo/m ² /día)	145,5 (0,103)	1603,6 (0,111)	1184,4 (0,154)	399,8 (0,341)
Biomasa desovante, B (t)	18769 (0,214)	188975 (0,275)	82806 (0,280)	24753 (0,567)
Biomasa total, B (t)	207744 (0,251)		107559 (0,252)	

3. **Objetivo específico 3: Actualizar el análisis integrado de las variables poblacionales, bío-oceanográficas y meteorológicas durante el proceso reproductivo en un contexto espacial y temporal, utilizando datos del crucero, bases de datos históricas y otras fuentes de información**

3.1. Contexto espacial

3.1.1. Distribución horizontal de huevos y larvas sobre variables hidrográficas, año 2018

La distribución las variables ambientales (e.i., temperatura, salinidad, densidad y fluorescencia) registradas a 10 m de profundidad se representan mediante mapas horizontales en los cuales se sobrepuso la abundancia de huevos (burbujas de diferente tamaño) colectados con red CalVET (**Figuras 32 - 35**)

Anchoveta

En el sector norte, se encontraron las más bajas concentraciones de huevos y larvas de anchoveta de toda el área de estudio, y estuvieron ubicadas entre las desembocaduras de los ríos Aconcagua (33°S) y Maipo (33,6°S). asociadas a temperaturas cercanas a 13°C, salinidades cercanas a 34 y densidad >25 (**Figura 32a y 33a**).



En el sector centro, las principales agrupaciones de huevos de anchoveta se presentaron entre los 35°S y 36°S, asociados a temperaturas alrededor de 12°C y altos valores de salinidad y densidad (salinidad: > 34; densidad: > 26). En cambio, las larvas se presentaron en bajas concentraciones dentro del Golfo de Arauco y frente a la desembocadura del río Itata, donde las temperaturas oscilaron alrededor de 12°C y los valores de salinidad oscilaron entre 32,5 y 34 y la densidad entre 25 y 26 (**Figuras 32b y 33b**).

En el sector sur, se observaron huevos de anchoveta desde 38,5°S a 40°S, con dos núcleos principales frente a la Isla Mocha y al norte de la desembocadura del río Valdivia. Las larvas de anchoveta presentaron dos grandes agrupaciones, una frente a la Isla Mocha y la otra en la desembocadura del río Toltén. La mayor densidad de huevos coincide con bajos valores de temperatura (11° a 13°C), y con altos valores de salinidad (32,5 a 34,5) y densidad (25 a 27) (**Figura 32c**). Los mayores valores de larvas se asociaron a rangos más estrechos de temperatura, salinidad y densidad (temperatura: 12° a 12,5°C; salinidad: 34 a 34,5; densidad: 24,5 a 25) (**Figura 33c**).

Sardina común

Respecto a sardina común, en el sector norte del área de estudio, la presencia de huevos y larvas se localizó principalmente en la desembocadura del río Maipo. En el sector centro, las principales agrupaciones de huevos y larvas de sardina común se presentaron al sur de los 36°S (**Figuras 34b y 35b**). Principalmente en el Golfo de Arauco (~37°S) y frente a la Bahía Concepción (36,5°S). En el sector sur, se observó un núcleo principal de huevos y larvas de sardina común en la zona adyacente a la Isla Mocha (37,7°S a 38,7°S) y un núcleo secundario (solamente de huevos) al norte de la desembocadura del río Valdivia. En general los huevos y las larvas estuvieron distribuidos en un amplio rango de valores de temperatura, densidad y salinidad.

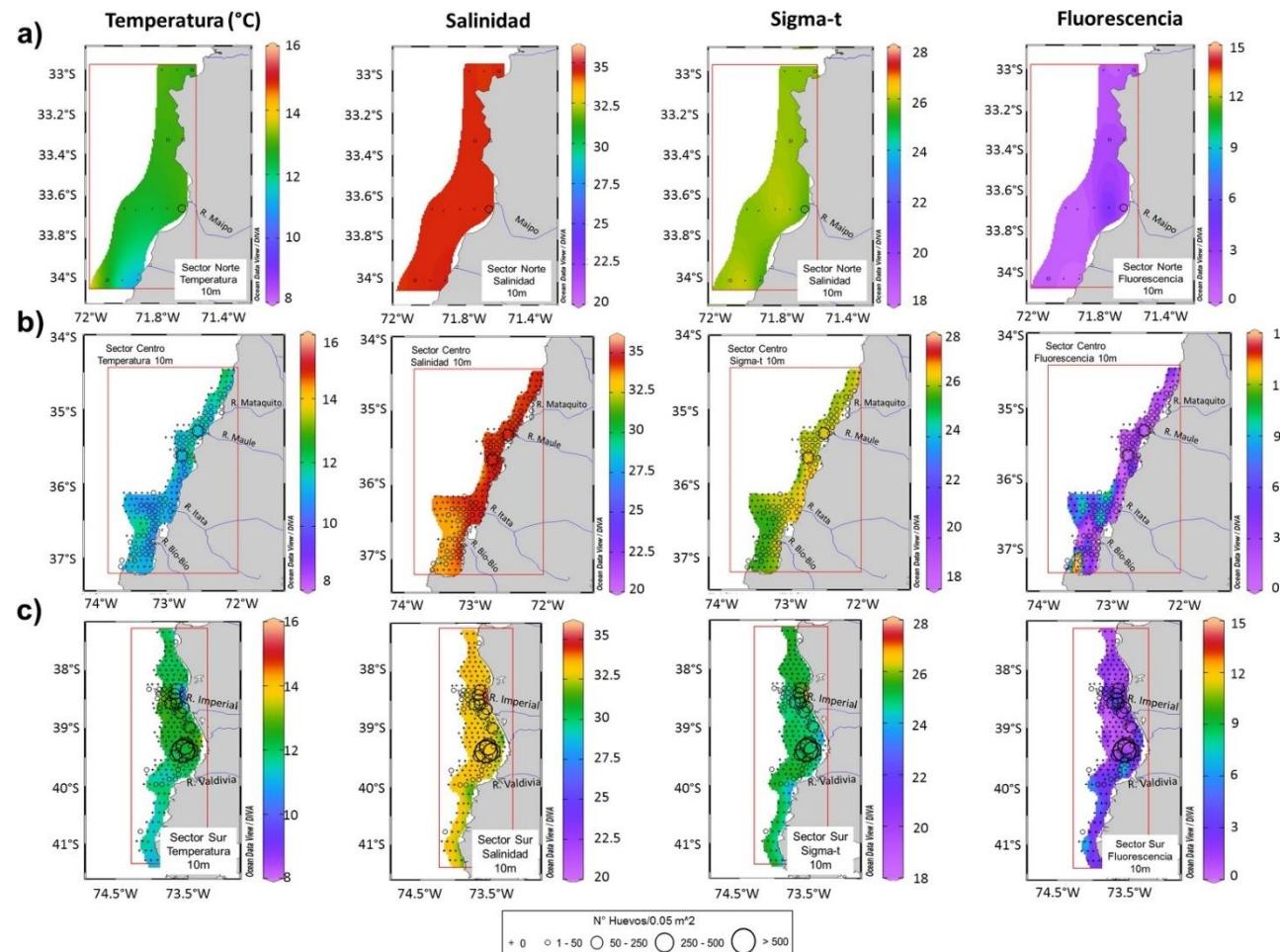


Figura 32. Mapas de distribución de abundancia de huevos de anchoveta, colectados con red CalVET, sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y fluorescencia a 10m de profundidad en los sectores norte (a), centro (b) y sur (c).

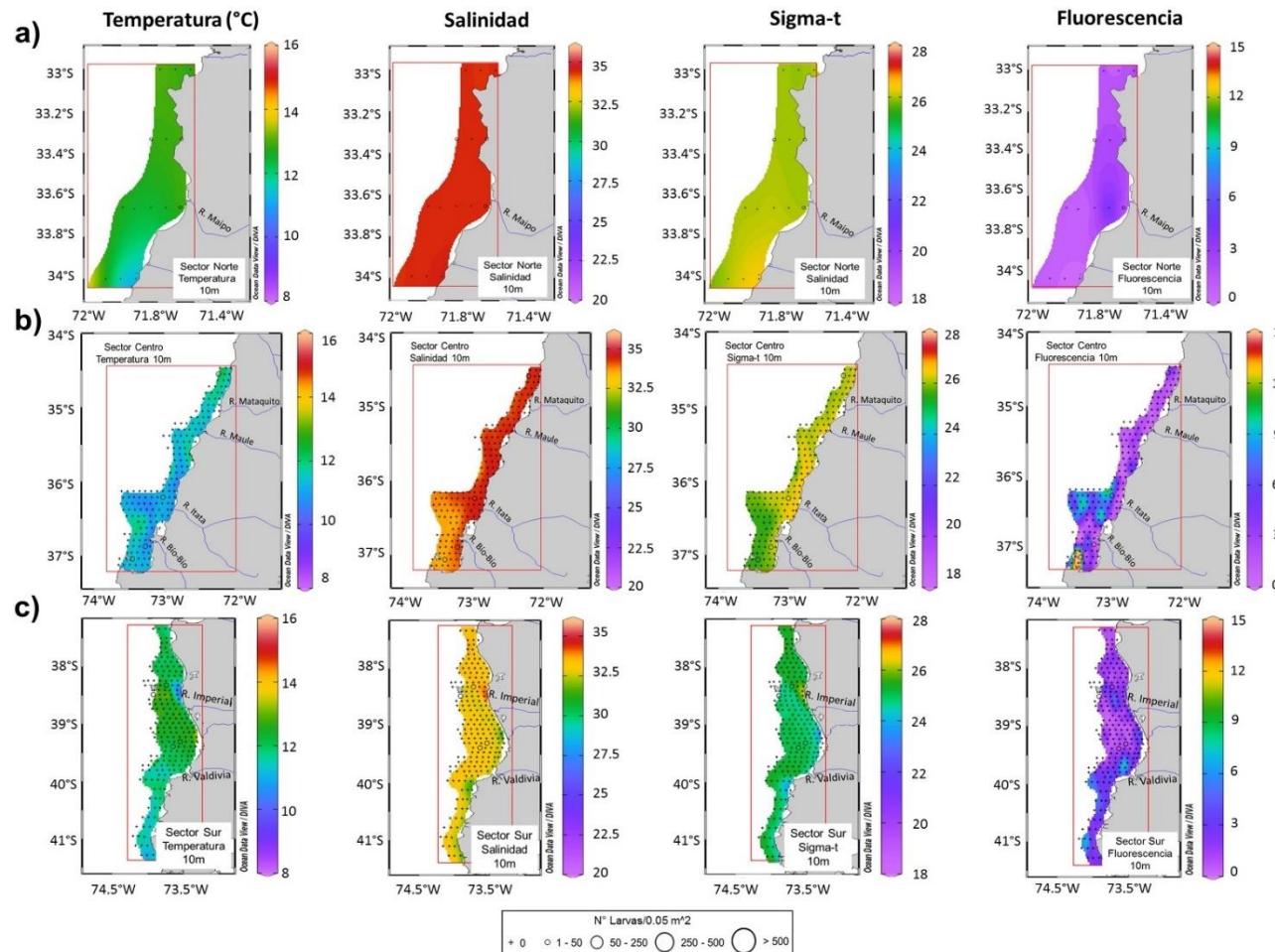


Figura 33. Mapas de distribución de abundancia de larvas de anchoveta, colectadas con red CalVET, sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y fluorescencia a 10m de profundidad en los sectores norte (a), centro (b) y sur (c).

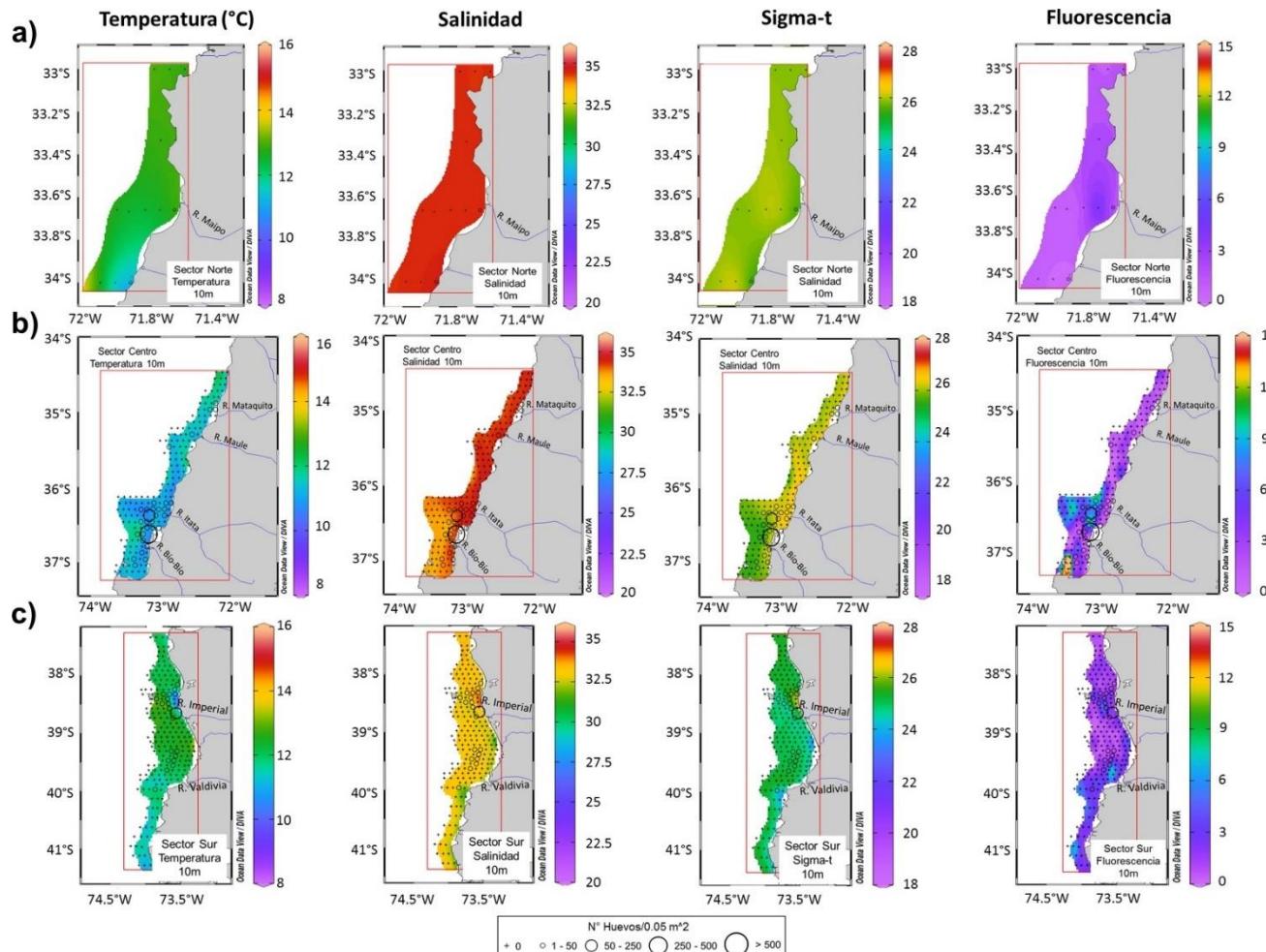


Figura 34. Mapas de distribución de abundancia de huevos de sardina común, colectados con red CalVET, sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y fluorescencia a 10m de profundidad en los sectores norte (a), centro (b) y sur (c).

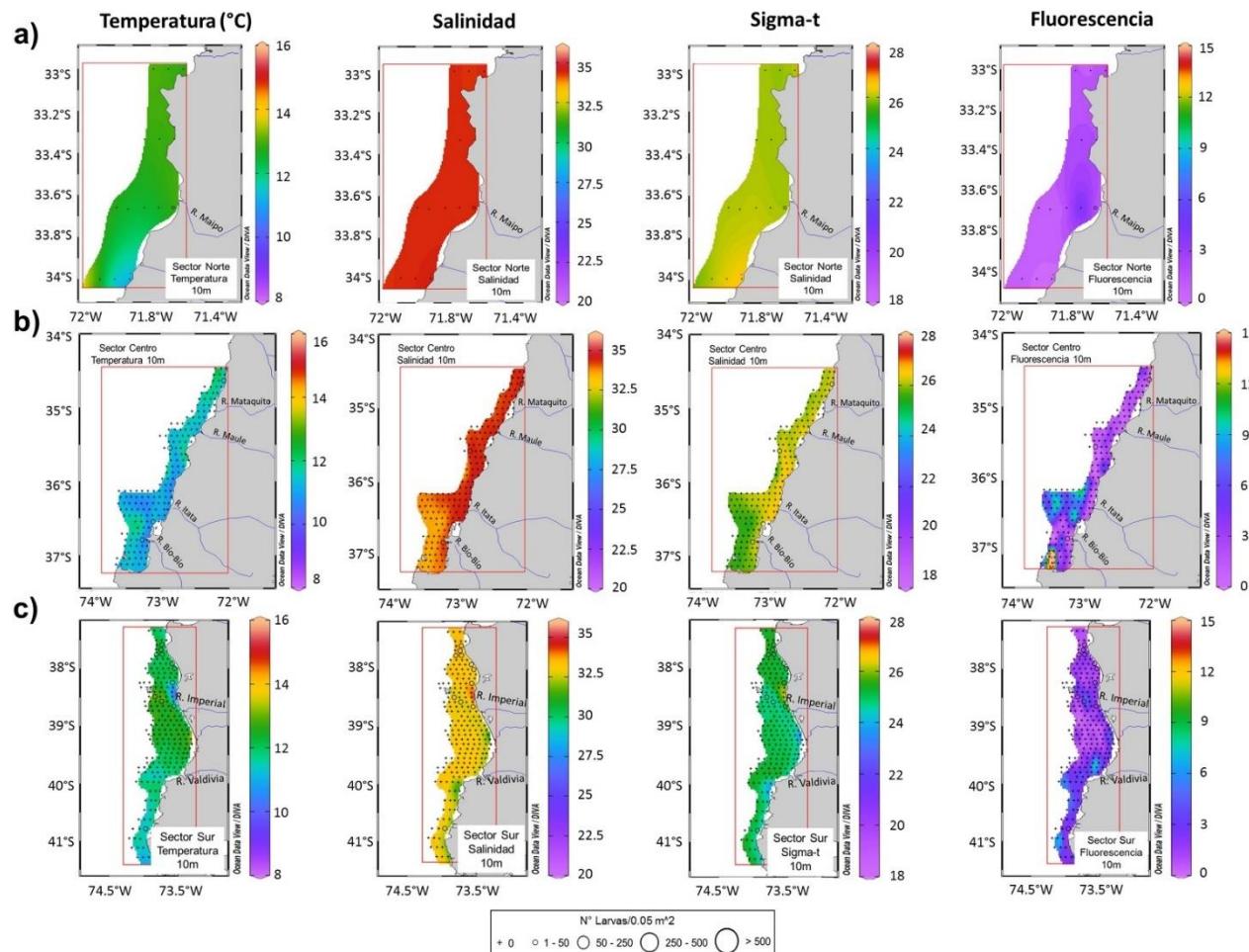


Figura 35. Mapas de distribución de abundancia de larvas de sardina común, colectadas con red CalVET, sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y fluorescencia a 10m de profundidad en los sectores norte (a), centro (b) y sur (c).



3.1.2. Distribución horizontal de abundancia de mesozoopláncton e ictioplanctón colectados con red cónica, año 2018

La distribución de huevos y larvas de anchoveta y sardina común obtenidas en el año 2018, se representó mediante burbujas de diferente tamaño, las que se sobrepusieron a los mapas de distribución de grupos funcionales de zooplanctón que potencialmente podrían representar alimento larval (apendicularias y copépodos), predadores quitinosos (eufáusidos), predadores gelatinosos (medusas, quetognatos y sifonóforos); y salpas.

El grupo zooplanctónico más abundante en todas las zonas fueron los copépodos (chicos y grandes), seguido de zoeas y sifonóforos (**Tabla 25**). Las zonas de mayor abundancia de huevos de anchoveta coincidieron con las de mayor abundancia de copépodos en los sectores centro y sur, así como con las mayores abundancias de apendicularias en el sector central. Los eufáusidos presentaron bajas abundancias y los quetognatos se distribuyeron en ambientes alejados de la costa, por lo que la sobreposición de ambos grupos con el ictioplanctón fue relativamente baja. Los sifonóforos, sin embargo, coincidieron con las mayores abundancias de huevos y larvas en el sector sur pero no en el sector central (**Figuras 36-39**).



Tabla 25. Abundancia promedio (desviación estándar (DS)) y máxima del zooplancton (individuos/m²) por sector considerando el número total de estaciones (en negrilla son los grupos graficados) (red Cónica).

ABUNDANCIA (individuos/m ²)																	
	Grupos	Sector norte				Sector centro				Sector sur							
				Nº Estaciones				Nº Estaciones				Nº Estaciones					
		Ȑ	DS	Max	Total	Ȑ	DS	Max	Total	Ȑ	DS	Max	Total	Positiva			
ZOPLANCTON	Eufáusidos	Calíptopis	7	15,6	42	7	3	2	6,5	30	28	5	9	19,9	86	26	8
		Furcilias	15	14,0	38	7	6	9	16,5	62	28	16	24	41,2	204	26	23
		Juveniles	1	3,4	9	7	2	1	1,8	6	28	8	5	9,8	34	26	9
		Adultos	2	3,5	9	7	2	0,2	1,1	6	28	1	0,4	1,6	8	26	3
		Copépodos chico	2236	1693,8	5032	7	7	1884	2272,3	10304	28	28	2195	2867,0	9634	26	26
		Copépodos	403	459,4	1143	7	7	184	254,7	926	28	24	224	250,8	679	26	25
		Copépodo total	1320	1525,0	5032	7	7	1034	1817,2	10304	28	28	1210	2247,3	9634	26	26
		Nauplius	0	0	0	7	0	64	171,3	741	28	6	0	0	0	26	0
		Zoeas	150	112,3	331	7	7	124	142,2	513	28	28	41	80,1	344	26	24
		Megalopas	3	3,1	8	7	5	1	3,9	20	28	5	9	14,5	54	26	16
		Poliquetos	12	7,5	23	7	7	9	11,7	54	28	25	5	8,0	38	26	17
		Mysis	1	1,9	5	7	1	0,1	0,4	2	28	1	11	33,8	136	26	8
		Cladóceros	7	9,1	27	7	6	22	110,0	583	28	8	0,5	1,4	6	26	4
		Ostrácodos	1	0,9	2	7	5	0,3	0,6	2	28	4	0,1	0,4	2	26	2
		Gastropodos	0	0,0	0	7	0	1	4,5	24	28	1	0	0,0	0	26	0
		Estomatópodos	19	18,9	52	7	7	3	4,4	19	28	16	6	7,1	29	26	19
		Anfípodos	1	1,2	3	7	3	4	18,1	96	28	11	14	17,3	67	26	25
		Cefalópodos	0	0	0	7	0	0	0	0	28	0	0,04	0,2	1	26	1
		Quetognatos	17	8,1	31	7	7	22	32,7	149	28	23	33	38,7	153	26	24
		Sifonóforos	84	47,6	146	7	7	16	21,3	85	28	23	98	301,7	1554	26	20
		Medusas	15	8,4	32	7	7	19	31,0	157	28	27	6	10,0	41	26	19
		Ctenóforos	1	1,2	3	7	3	1	1,6	6	28	7	4	16,2	83	26	9
		Apendiculares	15	23,0	55	7	5	29	56,8	209	28	15	18	47,7	236	26	15
		Salpas	1	1,8	5	7	4	3	9,2	37	28	5	558	1549,1	7327	26	23

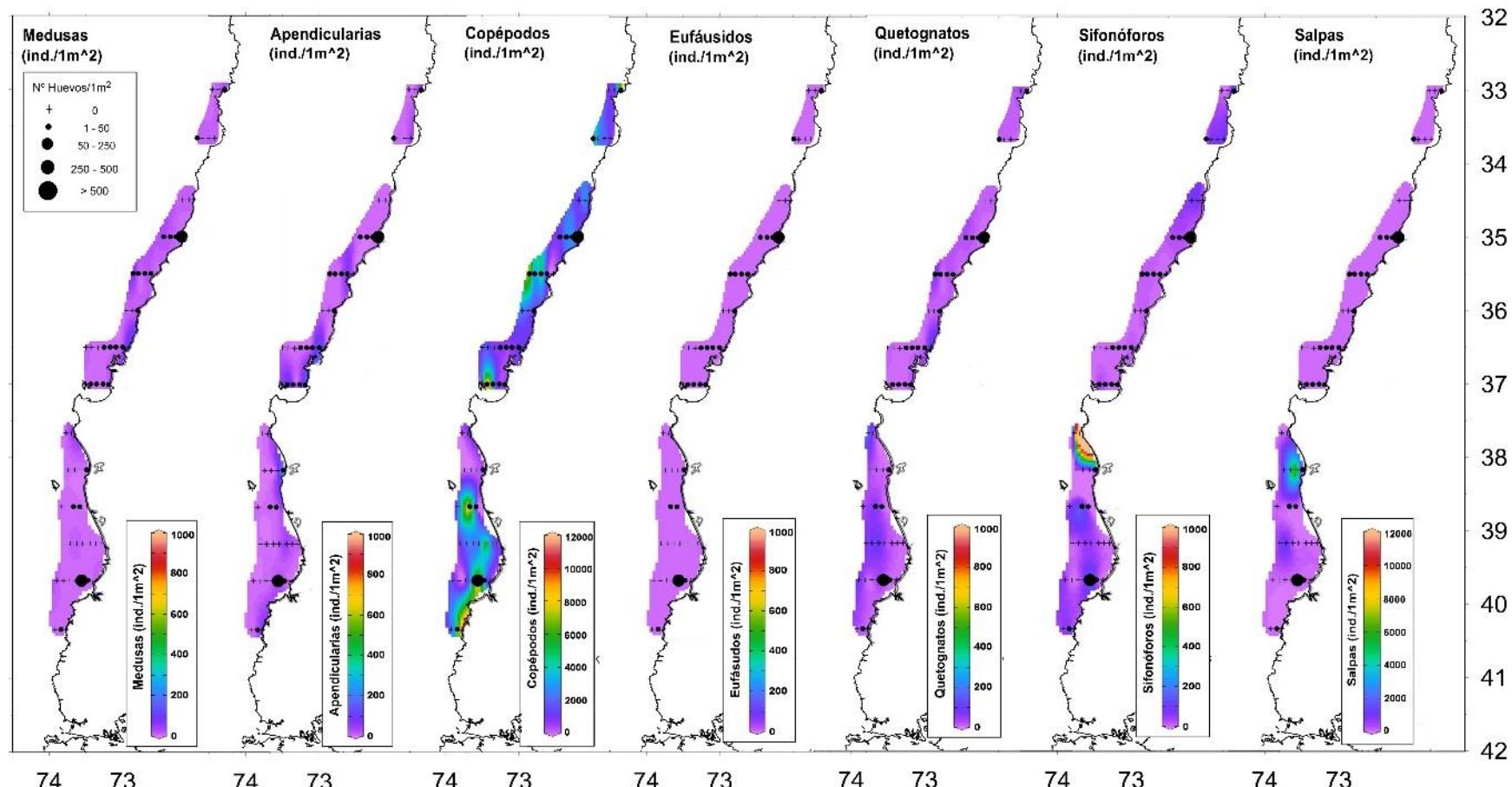


Figura 36. Mapas de distribución de abundancia de huevos de anchoveta, colectados con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas.

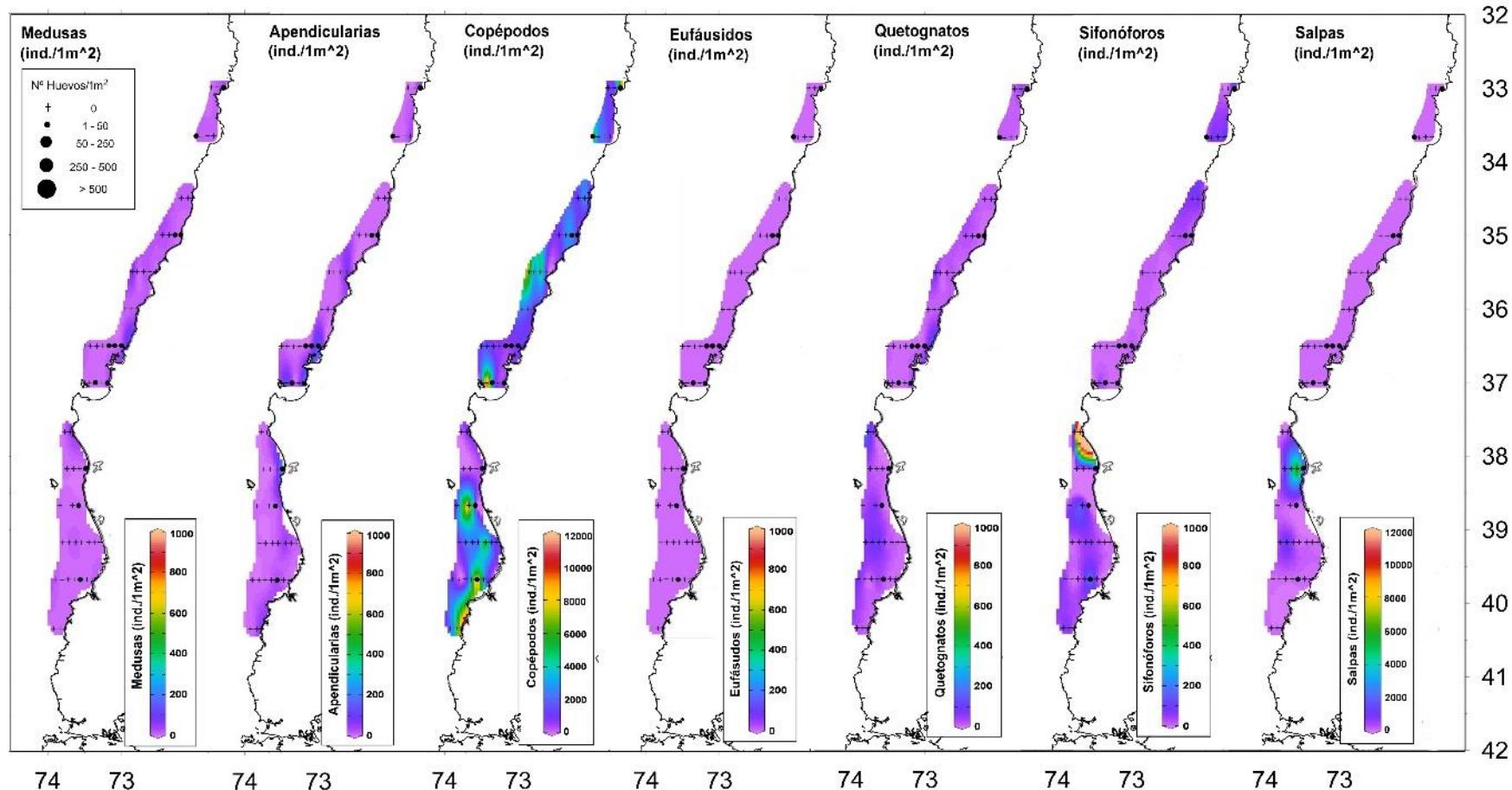


Figura 37. Mapas de distribución de abundancia de huevos de sardina común, colectados con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas.

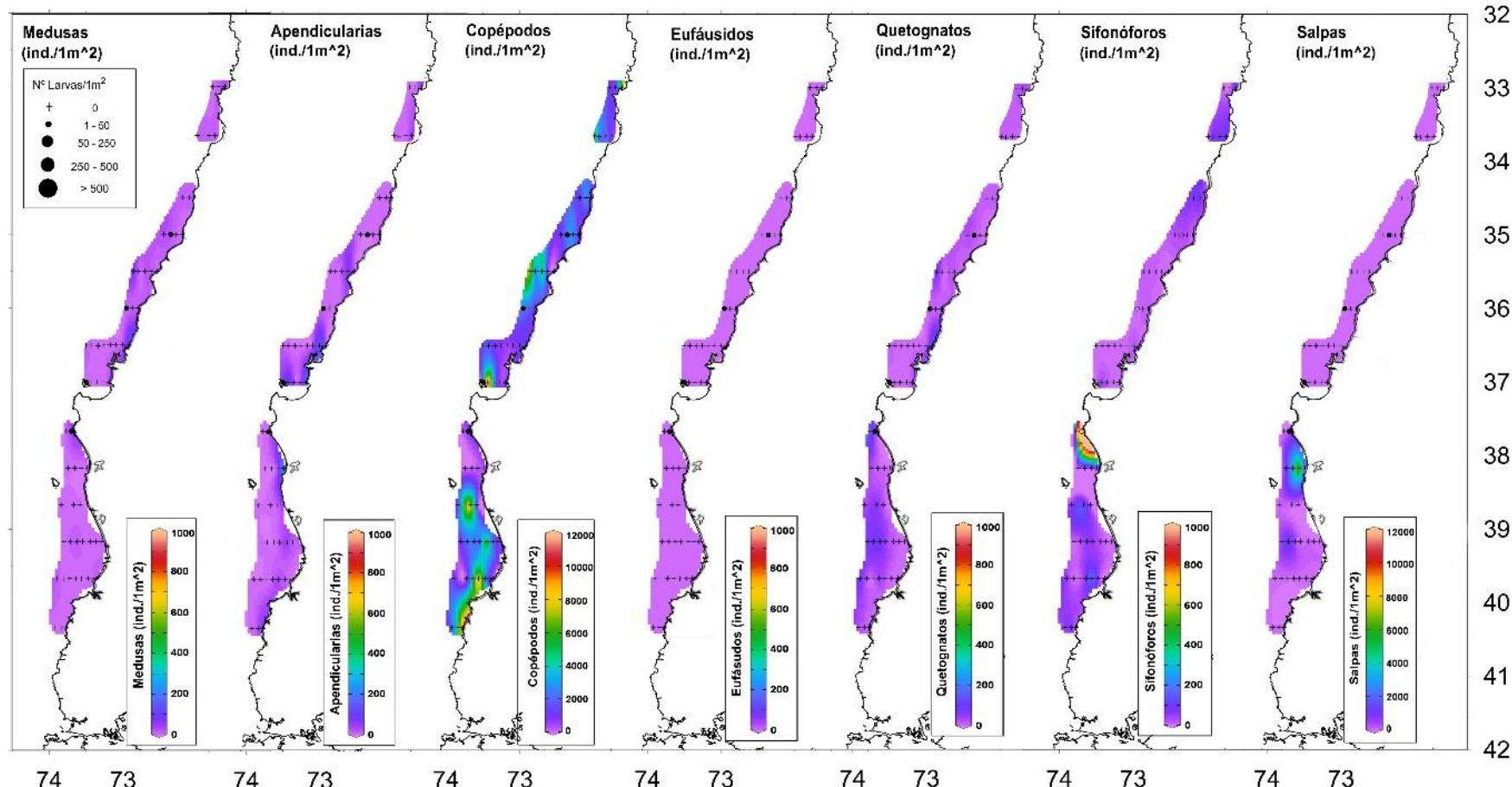


Figura 38. Mapas de distribución de abundancia de larvas de anchoveta, colectadas con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas.

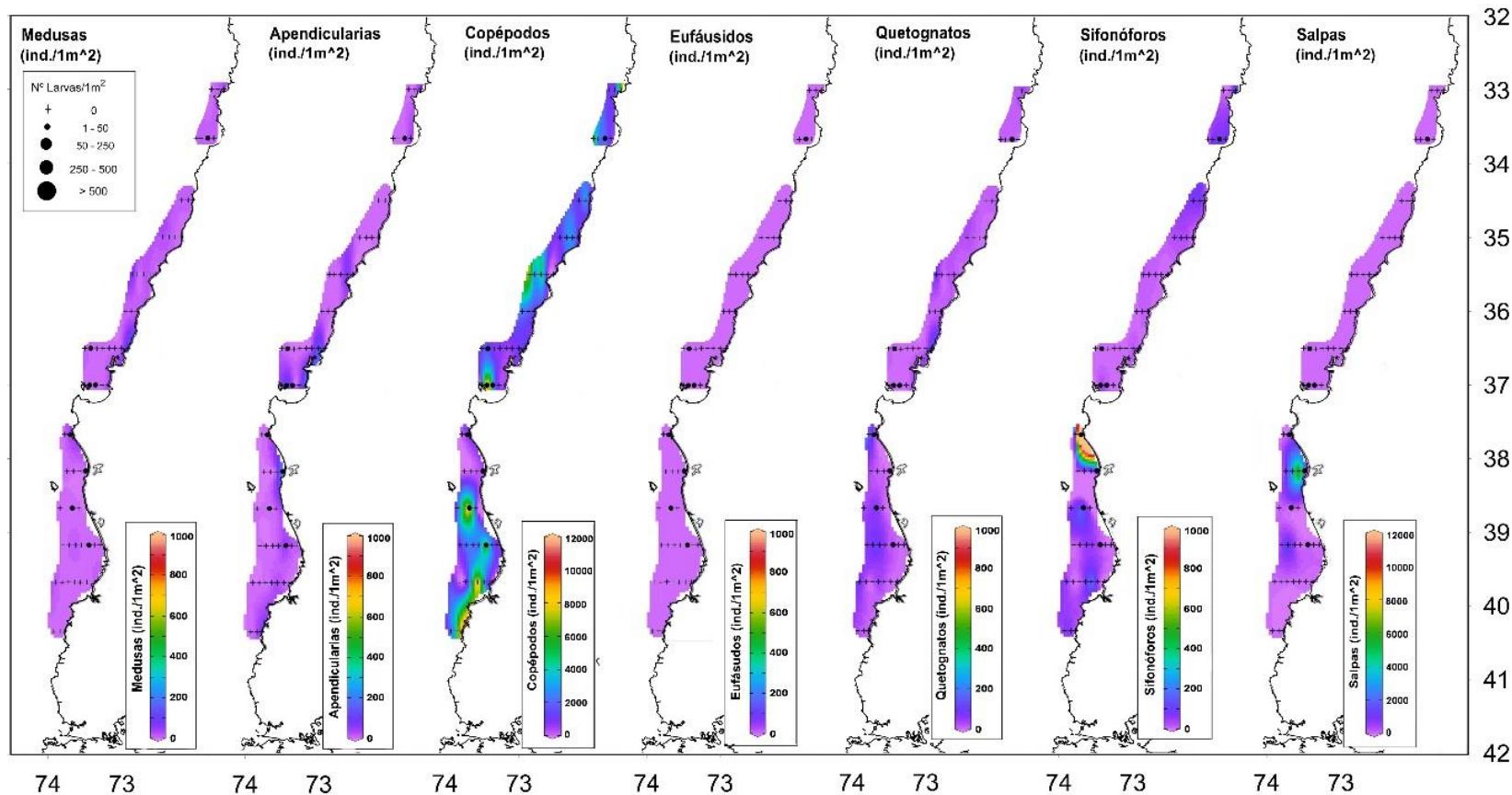


Figura 39. Mapas de distribución de abundancia de larvas de sardina común, colectadas con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de medusas, apendicularia, copépodos, eufáusidos, quetognatos, sifonóforos y salpas.



3.1.3. Distribución horizontal de concentraciones de grupos de fitoplancton y abundancia de ictioplancton colectados con red cónica, año 2018

La distribución de grupos de fitoplancton como diatomeas (*Skeletonema*, *Thalassionaria* y *Chaetoceros*), dinoflagelados, ciliados, silicoflagelados se representaron mediante mapas horizontales en los cuales se sobrepuso la abundancia de huevos y larvas (burbujas de diferente tamaño).

El grupo más abundante fue el de las diatomeas (promedio: 14753 cel/L), seguido por el grupo de los ciliados (promedio: 16 cel/L) y dinoflagelados (promedio: 13 cel/L). Se observaron silicoflagelados, pero su abundancia fue menor en comparación a los otros grupos (promedio: 0.1 cel/L) (**Tabla 26**).

Tabla 26. Abundancia promedio (desviación estándar (DS)) y máxima de diatomea, dinoflagelados, ciliados y silicoflagelados (cel./L) por sector considerando el número total de estaciones.

Grupo	ABUNDANCIA ESTANDARIZADA (cel/L)									Total		
	Zona Norte			Zona Centro			Zona Sur			Total		
	\bar{x}	DS	Max	\bar{x}	DS	Max	\bar{x}	DS	Max	\bar{x}	DS	Max
Diatomeas	1804	2555,33	7266	14753	25631,23	119740	263	535,87	2269	6597	17992	119740
Dinoflagelados	4	5,67	17	8	13,15	67	13	29,82	145	10	22	145
Ciliado	7	11,31	34	7	25,21	135	16	69,80	383	11	50	383
Silicoflagelados	0,1	0,11	0,3	0	0,02	0	0,001	0,002	0,01	0,01	0,05	0,3

La mayor abundancia de diatomeas se registró entre 35°S y 37°S (sector centro), destacando los géneros *Skeletonema* y *Thalassionaria*, los cuales presentaron la misma distribución. El género *Chaetoceros*, en cambio, presentó una mayor abundancia al norte de los 36°S. La distribución de huevos y larvas de anchoveta y sardina común coincidió con altas abundancias de *Skeletonema* y *Thalassionaria* (**Tabla 27; Figuras 40-43**).

La abundancia de ciliados fue alta frente a la desembocadura del río Valdivia (~39,5°S) (sector sur) y al norte de 35°S (sector centro), donde se encontraron huevos de anchoveta y sardina común. Frente a la desembocadura del río Valdivia (~39,5°S) la máxima concentración de ciliados se asoció a la presencia de larvas de anchoveta, no registrándose larvas de sardina en este núcleo (**Tabla 27; Figuras 40-43**).

Los dinoflagelados presentaron dos núcleos de alta abundancia, uno frente a la desembocadura del río Imperial (~ 38,5°S) y otro frente a la desembocadura del río Valdivia (~39,5°S) (sector sur), donde se observaron huevos de anchoveta y sardina común. Las larvas solo se observaron frente a la desembocadura del río Valdivia (~39,5°S) (**Tabla 27; Figuras 40-43**). La mayor abundancia de silicoflagelados se observó entre 33° y 33,4°S (sector norte) donde también hubo huevos y larvas de anchoveta y huevos de sardina común.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Ciliados	<i>Undella</i>	0,02	0,03	0,1	0,02	0,06	0,3	0,00	0,00	0,0	0,01	0,04	0,3
Ciliados	<i>Parundella</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Ciliados	<i>Mesodinium</i>	0,03	0,08	0,2	0,12	0,33	1,4	0,13	0,31	1,2	0,11	0,30	1,4
Ciliados	<i>Codonellopsis</i>	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,00	0,0
Ciliados	<i>Strobilidium</i>	0,01	0,01	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,01	0,0	0,00	0,01	0,0
Ciliados	<i>Strombidium</i>	0,02	0,07	0,2	0,001	0,003	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,02	0,2
Ciliados	<i>Laboea</i>	0,04	0,11	0,3	0,003	0,01	0,0	0,00	0,01	0,1	0,01	0,04	0,3
Ciliados	<i>Salpingella</i>	0,02	0,04	0,1	0,003	0,01	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,02	0,1
Ciliados	<i>Ciliophora</i>	0,00	0,00	0,0	0,01	0,02	0,1	0,00	0,00	0,0	0,00	0,01	0,1
Silicoflagela	<i>Dictyocha</i>	0,00	0,00	0,0	0,004	0,02	0,1	0,00	0,00	0,0	0,00	0,01	0,1
Silicoflagela	<i>Distephanus</i>	0,08	0,11	0,3	0,002	0,01	0,0	0,00	0,00	0,0	0,01	0,04	0,3

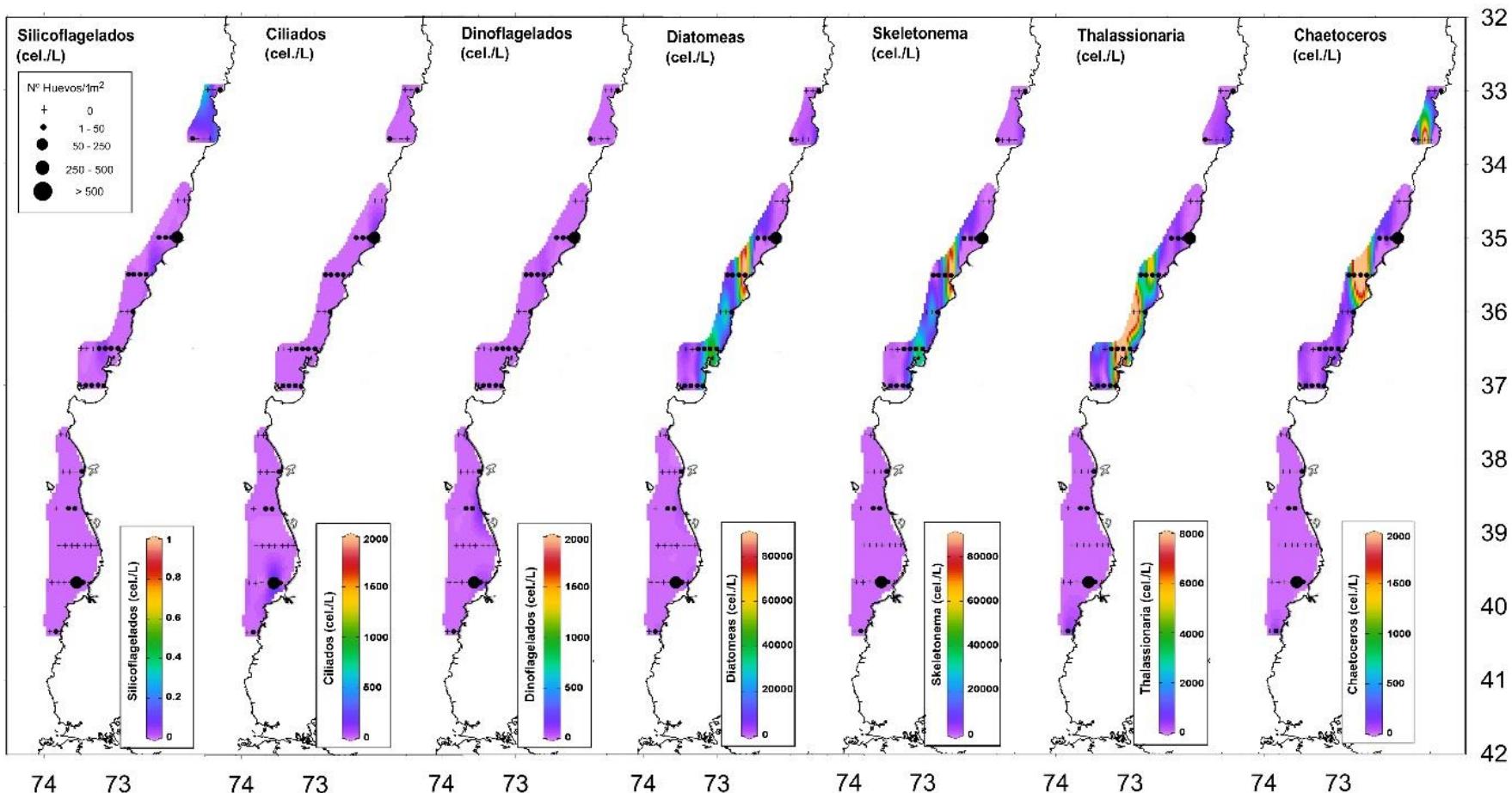


Figura 40. Mapas de distribución de abundancia de huevos de anchoveta, colectados con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, *Skeletonema*, *Thalassionaria* y *Chaetoceros*.

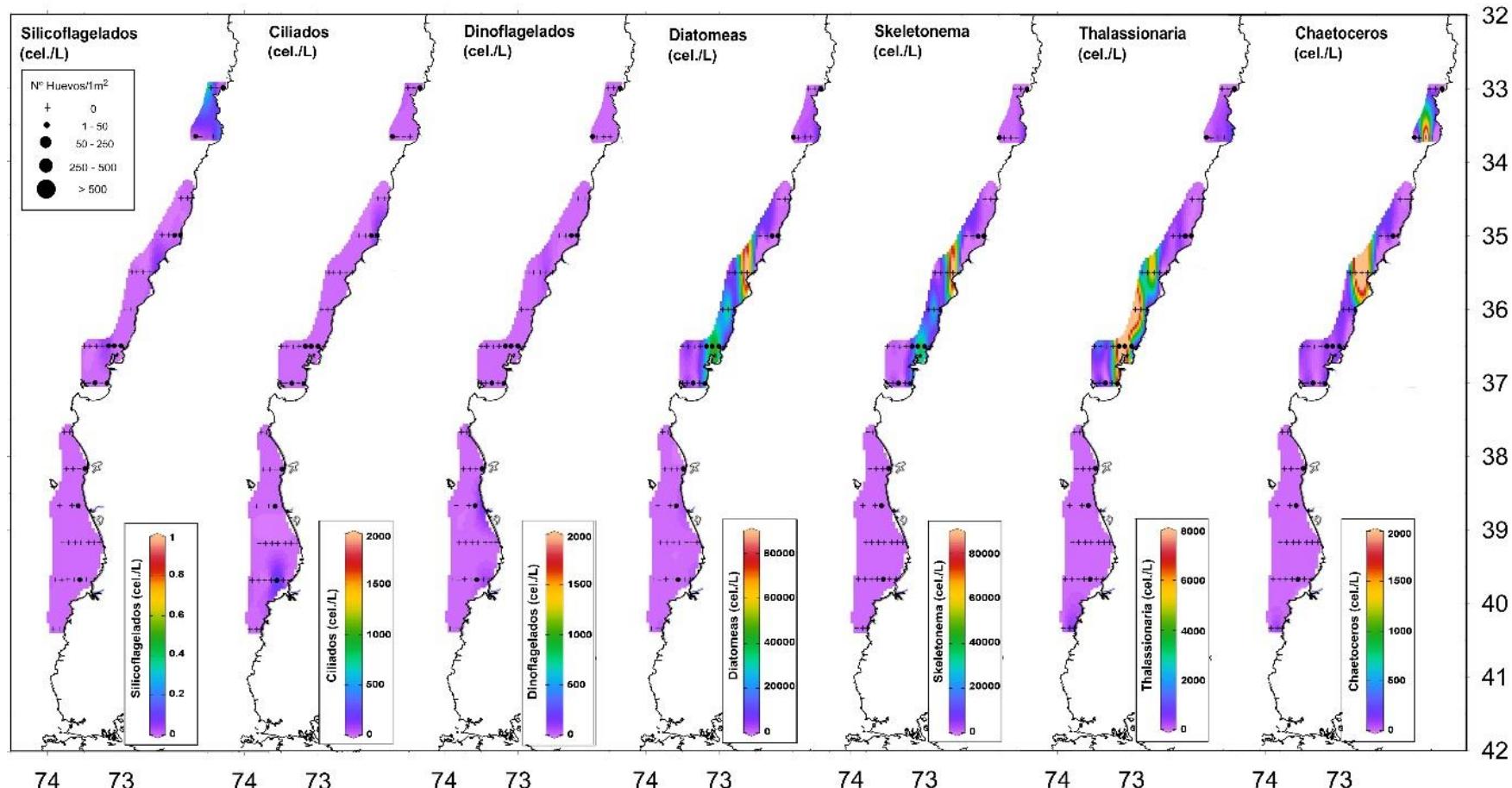


Figura 41. Mapas de distribución de abundancia de huevos de sardina común, colectados con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, *Skeletonema*, *Thalassionaria* y *Chaetoceros*.

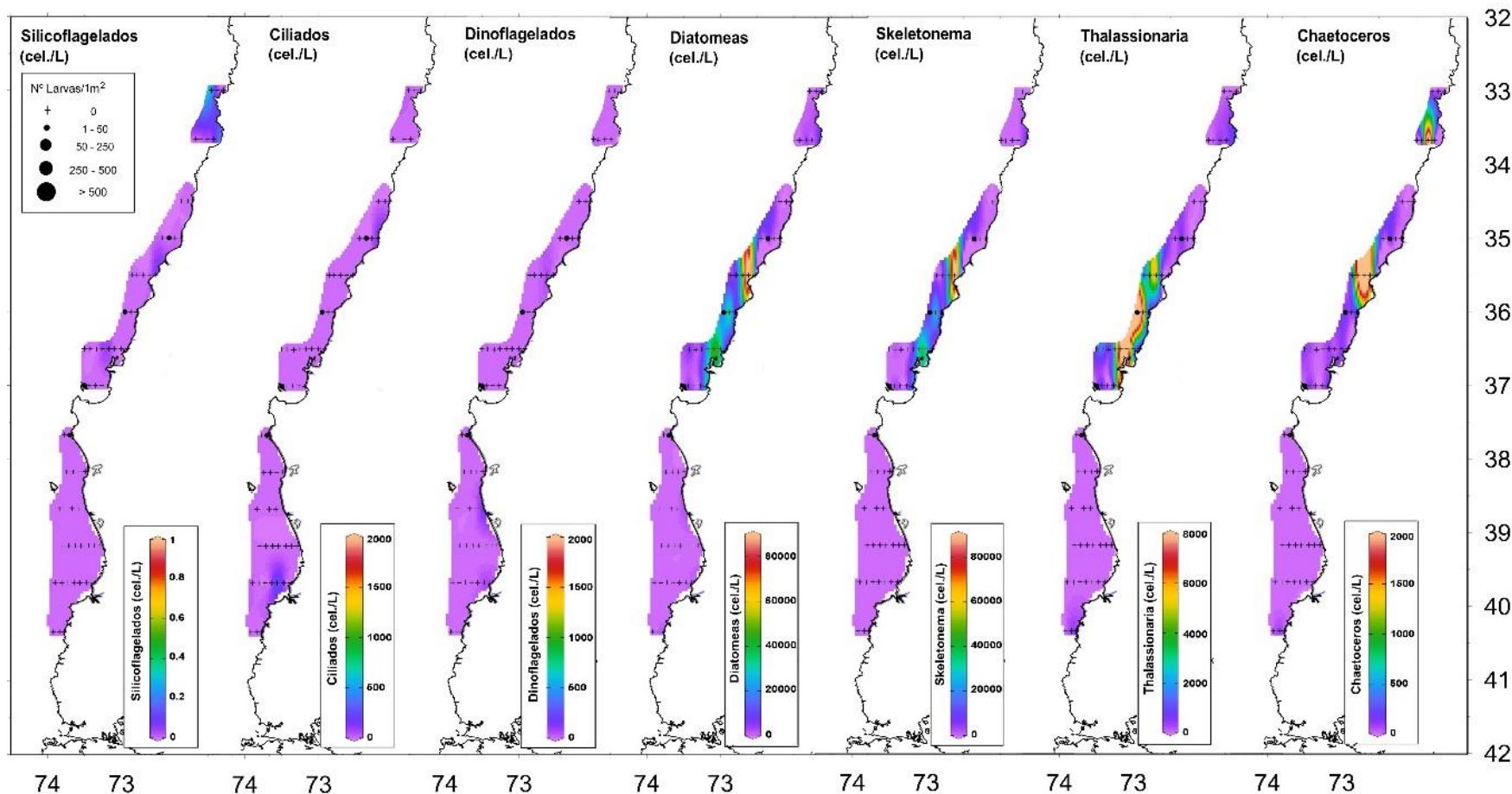


Figura 42. Mapas de distribución de abundancia de larvas de anchoveta, colectadas con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, Skeletonema, Thalassionaria y Chaetoceros.

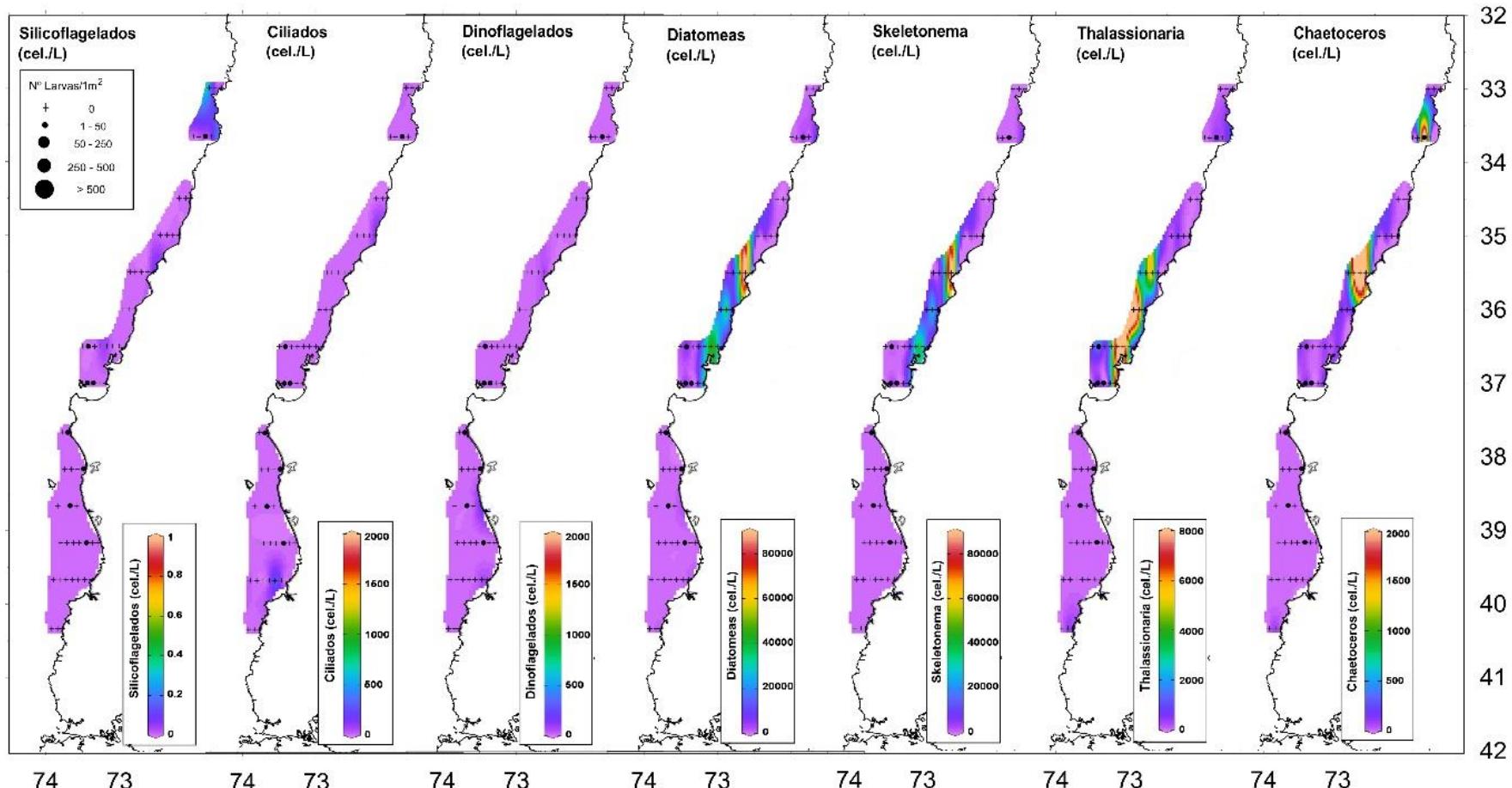


Figura 43. Mapas de distribución de abundancia de larvas de sardina común, colectadas con red Cónica, sobre secciones horizontales de abundancia de silicoflagelados, ciliados, dinoflagelados, diatomeas, *Skeletonema*, *Thalassionaria* y *Chaetoceros*.

3.1.4. Secciones verticales de clorofila-a y huevos colectados con red Cónica, año 2018

En el sector centro, en dos transectas se colectó muestras de agua de mar en forma estratificada para la obtención de clorofila-a y la estimación de la biomasa fitoplanctónica. En la transecta 25 ($36,5^{\circ}\text{S}$), la clorofila-a presentó concentraciones relativamente altas entre 0 y 20 m de profundidad con un máximo aproximado de $6 \mu\text{g/L}$. En profundidades mayores a 30 m se presentaron concentraciones menores a $1 \mu\text{g/L}$. En el sentido costa-océano, se observó un extenso núcleo ($> 4 \mu\text{g/L}$) localizado fuera de la costa desde los 8 km hasta los 35 km y luego otro desde los 45 km a los 55 km de la costa. Junto a este extenso primer núcleo de clorofila-a, se detectó alta abundancia de huevos de anchoveta y sardina común (2 a 10 ind/m^2) (**Figura 44**). En la transecta 31 ($37,0^{\circ}\text{S}$), es posible notar una evidente estratificación de la clorofila-a en la columna de agua con valores elevados ($> 4 \mu\text{g/L}$) en los primeros 15 m de profundidad y valores menores a $1 \mu\text{g/L}$ en profundidades mayores a 25 m. En la dirección costa-océano, se observaron altas concentraciones de clorofila-a (4 a $6 \mu\text{g/L}$) junto a la presencia de huevos de anchoveta y sardina común a lo largo de toda la transecta con mayores abundancias de huevos de ambas especies en los primeros 5 km (**Figura 44**).

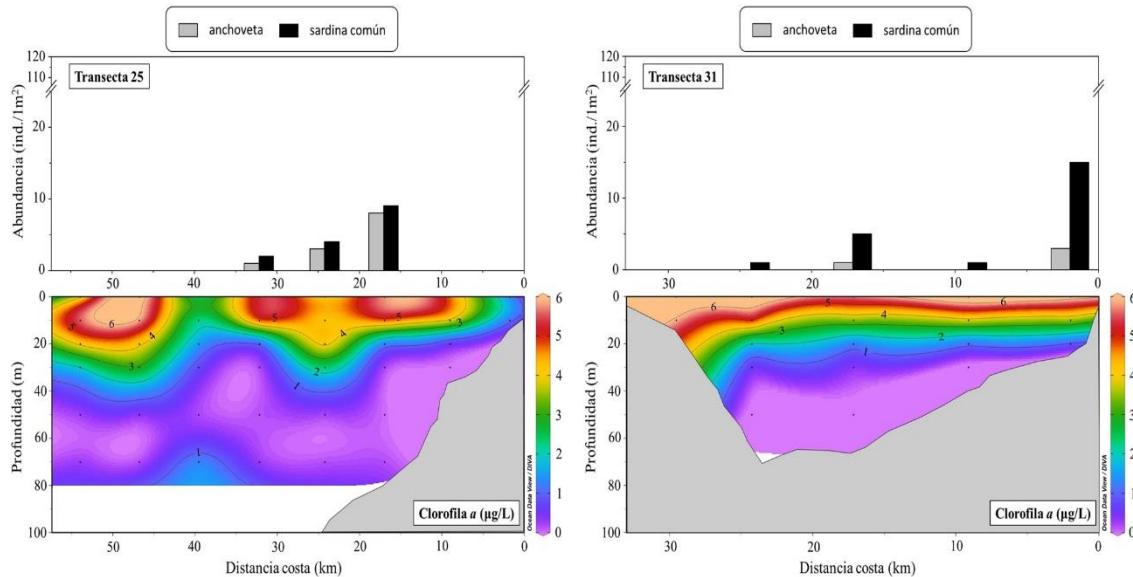


Figura 44. Abundancia de huevos de anchoveta y sardina común (ind/m^2), colectados con red Cónica, asociadas a sección vertical de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) de las transectas 25 (panel izquierdo) y 31 (panel derecho), ubicadas en el sector centro.

En el sector sur, dos transectas fueron muestreadas para la elaboración de secciones verticales de clorofila-a. En la transecta 49 ($38,67^{\circ}\text{S}$), se observó un núcleo con alta concentración en la banda costera (primeros 15 km) desde la superficie hasta 25 m de profundidad, con valores que fluctuaron entre 4 y $6 \mu\text{g/L}$. Una alta abundancia de huevos de anchoveta y sardina común (2 a 110 ind/m^2) se asoció al núcleo anteriormente descrito. Sobre 20 km de distancia, se detectaron bajas concentraciones de clorofila-a, con valores menores a $1 \mu\text{g/L}$, y baja presencia de huevos de anchoveta (**Figura 45**). En la transecta 61 ($39,67^{\circ}\text{S}$) se destacó un núcleo con altas concentraciones

de clorofila-a, oscilando entre 2 a 6 $\mu\text{g/L}$, entre 15 y 25 m de profundidad a una distancia de la costa mayor a 40 km. En este núcleo, no se encontraron huevos de anchoveta ni de sardina común. A la misma profundidad, pero con una distribución más costera (15 a 30 km), se observó un núcleo de menor concentración de clorofila-a (2 a 2,7 $\mu\text{g/L}$), donde se registraron abundancias relativamente altas de huevos de sardina común y secundariamente de anchoveta (**Figura 45**).

En resumen, las mayores abundancias de huevos de anchoveta y sardina común en los sectores centro y sur, aparecen relacionadas con altas concentraciones de clorofila-a en zonas costeras (< 30 km) pero, no con núcleos de alta clorofila-a en zonas alejadas de la costa.

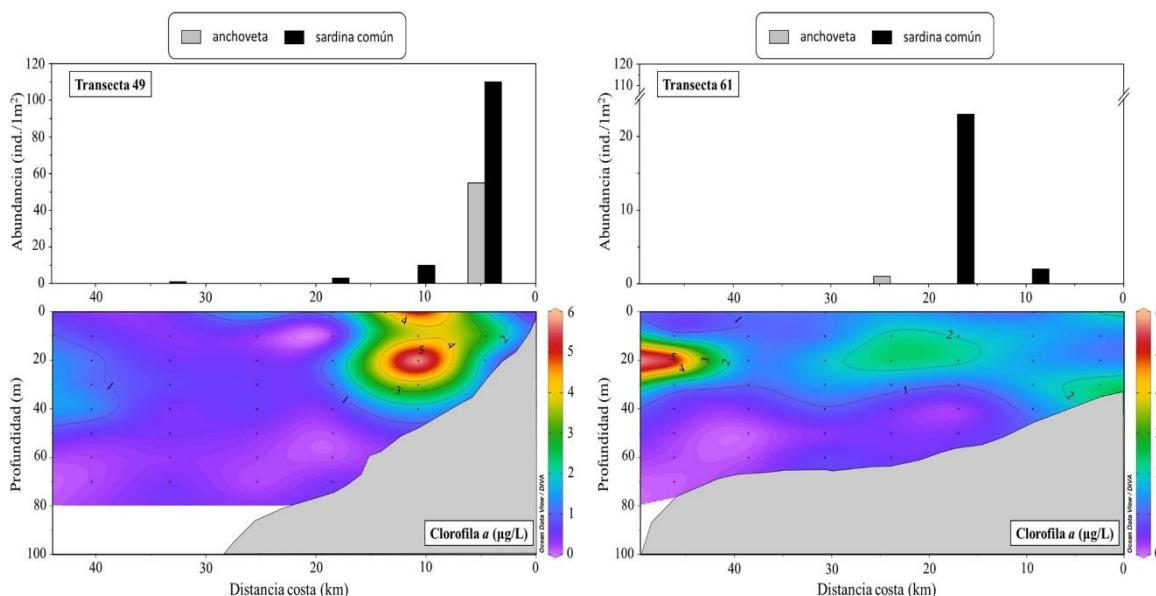


Figura 45. Abundancia de huevos de anchoveta y sardina común (ind/m^2), colectados con red Cónica, asociadas a la sección vertical de la distribución de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) de las transectas 49 (panel izquierdo) y 61 (panel derecho), ubicadas en el sector sur.

3.1.5. Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos colectados con red CalVET y data hidrográfica (Prof. 10m)

Los resultados de la modelación utilizados para explorar posibles relaciones de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común con las variables predictoras (longitud y latitud, temperatura, salinidad, densidad y fluorescencia) en 10 m de profundidad, se resumen en la **Tabla 28**. En general, no se observó un claro proceso isotrópico respecto a la interacción longitud-latitud. Para anchoveta y sardina común, se encontró que el modelo 5, el cual incluye todas las variables predictoras en conjunto, entrega los mejores resultados, presentando un coeficiente de determinación $> 0,8$ y de desvianza explicada $> 80\%$; así como, los valores de la validación cruzada general (GCV). Los valores de los parámetros estimados del modelo 5 para ambas especies, se resumen en la **Tabla 29**. Se observó que los coeficientes de los distintos modelos (entre la variable respuesta y predictora) fueron significativos ($p < 0,05$) para las abundancias de huevos de anchoveta y sardina común.



Tabla 28. Resumen de los modelos aditivos generalizados (GAMs) para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S), densidad (sigma-t) (D) y fluorescencia (F) en el 2018 (R^2 : Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general). (Red CalVET).

Especie	Modelo	Formula	Profundidad (10m)		
			R^2	VE (%)	GVC
anchoveta	1	$s(x, y)$	0,47	69,1	15,07
	2	$s(x, y) + s(T)$	0,71	77,3	12,38
	3	$s(x, y) + s(T) + s(S)$	0,80	80,3	9,89
	4	$s(x, y) + s(T) + s(S) + s(D)$	0,86	84	8,77
	5	$s(x, y) + s(T) + s(S) + s(D) + s(F)$	0,89	86,2	5,14
sardina común	1	$s(x, y)$	0,64	69,9	8,49
	2	$s(x, y) + s(T)$	0,75	74,5	5,74
	3	$s(x, y) + s(T) + s(S)$	0,77	77,1	5,10
	4	$s(x, y) + s(T) + s(S) + s(D)$	0,82	80	4,15
	5	$s(x, y) + s(T) + s(S) + s(D) + s(F)$	0,85	84,1	3,06

Análisis de los valores de las variables predictoras a 10m de profundidad

Los rangos óptimos (límite inferior y superior) de las variables evaluadas en relación a las mayores densidades de huevos de anchoveta y sardina común se muestran en la **Tabla 30**. En anchoveta, se observó que la temperatura con valores entre 11,6° y 13,4°C, salinidad entre 33,5 y 34,6, y densidad entre 25,5 y 26,5 presentaron un efecto positivo en la abundancia de huevos. En cuanto a la fluorescencia los valores entre 0,5 a 1,8, y 5,4 a 6,7 mg/m³ mostraron una relación positiva en la densidad de huevos de anchoveta (**Tabla 30**).

Se detectó un efecto positivo en huevos de sardina común a rangos de temperatura, salinidad y densidad más bajos a lo encontrado en anchoveta. Los valores de fluorescencia que tuvieron un efecto positivo con la densidad de huevos presentaron un rango más amplio, con valores que fluctuaron entre 0,2 a 1,8 y 4,13 a 8,35 mg/m³.



Tabla 29. Parámetros de los modelos aditivos generalizados seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos 0,05m⁻²) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S), densidad (sigma-t) (D) y fluorescencia (F) en 2018 (Red CalVET).

Especie	Modelo	Parámetros	Profundidad (10m)				
			Estimado	Valor F	Error Estandar	Valor t	p-valor
Anchoveta	5	a	-38,24	-	8,27	-4,63	8,15e-6
		s(x, y)	28,80	10,57	-	-	2,00e-16
		s(T)	8,50	12,82	-	-	4,07e-16
		s(S)	1,18	3,47	-	-	0,043
		s(D)	5,46	4,87	-	-	9,11e-5
		s(F)	8,76	14,01	-	-	2,00e-16
sardina común	5	a	-6,64	-	2,08	-3,19	0,0017
		s(x, y)	10,48	15,65	-	-	2,00e-16
		s(T)	4,86	17,64	-	-	1,11e-14
		s(S)	3,42	16,64	-	-	3,39e-11
		s(D)	4,00	19,11	-	-	1,74e-13
		s(F)	3,64	18,34	-	-	1,74e-12

Tabla 30. Rango óptimo (límite inferior y superior) de las variables predictoras a 10m de profundidad obtenidas de los GAM, asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común. (Red CalVET).

Especie	10m			
	Temperatura (°C)	Salinidad	Densidad (sigma-t)	Fluorescencia
anchoveta	11,6 - 13,41	33,52 – 34,62	25,53 - 26,49	0,55-1,79 5,39-6,97
sardina común	10,31 - 11,70	31,26 - 33,60	23,42 - 25,56	0,2 - 1,80 4,13 - 8,35



3.1.6. Modelos aditivos generalizados (GAMs) de huevos y mesozooplacton colectados con de red Cónica

Los resultados de la modelación utilizada para relacionar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común con las variables predictoras (apendicularias, sifonóforos, quetognatos y medusa), se resumen en la **Tabla 31**. La presencia de copépodos y euphausidos (predictores) no tuvo una relación significativa con la densidad de huevos para ambas especies, por eso no se incluyeron en el modelo final. En general, para la anchoveta, se encontró que el modelo, el cual incluye todos los grupos de zooplancton (variables predictoras), entregó un coeficiente de determinación de 0,6 con una desvianza explicada y validación cruzada general (GCV) de 60 % y 16,8 respectivamente (**Tabla 31**). Las variaciones en la densidad de huevos de sardina común, se ajustaron con el modelo que presentó como variable predictora las apendicularias, sifonóforos y quetognatos, presentando un coeficiente de determinación de 0,5, una desvianza explicada y validación cruzada general (GCV) de un 55 % y 5,9 respectivamente. Los valores de los parámetros estimados para ambas especies, se resumen en la **Tabla 31**.

Tabla 31. Parámetros de los modelos aditivos generalizados seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos 0.05m^{-2}) en función de la densidad de apendicularias, sifonóforos, quetognatos, y medusas en 2018 (R^2 : Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general) (red Cónica).

Especie	Parámetros	Estimado	Valor F	Error Estandar	Valor t	p-valor	R^2	VE (%)	GVC
Anchoveta	α	1,47	-	0,43	3,41	1,36e-3	0,59	60	16,76
	s(apendicularias)	1,50	1,72	-	-	3,61e-2			
	s(sifonóforos)	3,13	3,57	-	-	3,29e-2			
	s(quetognatos)	1,02	1,07	-	-	5,31e-2			
	s(medusas)	1,40	1,68	-	-	4,90e-2			
sardina común	α	-1,36	-	2,24	-0,61	5,05e-2	0,46	55	5,94
	s(apendicularias)	5,24	6,28	-	-	4,70e-2			
	s(sifonóforos)	1,25	1,44	-	-	4,78e-2			
	s(quetognatos)	2,24	2,78	-	-	4,81e-2			

Análisis de los valores de las variables predictoras (grupos de zooplancton)

Los rangos óptimos (límite inferior y superior) de las variables evaluadas en relación a las mayores densidades de huevos de anchoveta y sardina común, se muestran en la **Tabla 32**. En anchoveta, se observó que valores de densidad de apendicularias entre 1 a 39 ind/ m^2 y 176 a 236 ind/ m^2 , bajas densidades de sifonóforos (< 64 ind/ m^2), quetognatos (0 a 27 ind/ m^2) y medusas (0 a 36 ind/ m^2) presentaron un efecto positivo sobre la presencia de huevos (**Tabla 32; Figura 46**). Se detectó un efecto positivo de la presencia de apendicularias en rangos de 1 a 39 ind/ m^2 y 149 a 236 ind/ m^2 sobre huevos de sardina común. Paralelamente, bajas densidades de sifonóforos (< 34 ind/ m^2) y

quetognatos (< 38 ind/m²) generaron un efecto positivo sobre la presencia de huevos de sardina común (**Tabla 32; Figura 46**).

Tabla 32. Rango óptimo (límite inferior y superior) de las variables predictoras obtenidas de los GAM, asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (red Cónica).

Especie	Apendicularias	Sifonóforos	Quetognatos	Medusas
anchoveta	1 - 39 176 - 236*	0 - 64	0 - 27	0 - 36
sardina común	1 - 39 176 - 236*	0 - 34	0 - 38	-

(* Rango de las variables predictoras que presenta una banda confianza amplia (pocos datos))

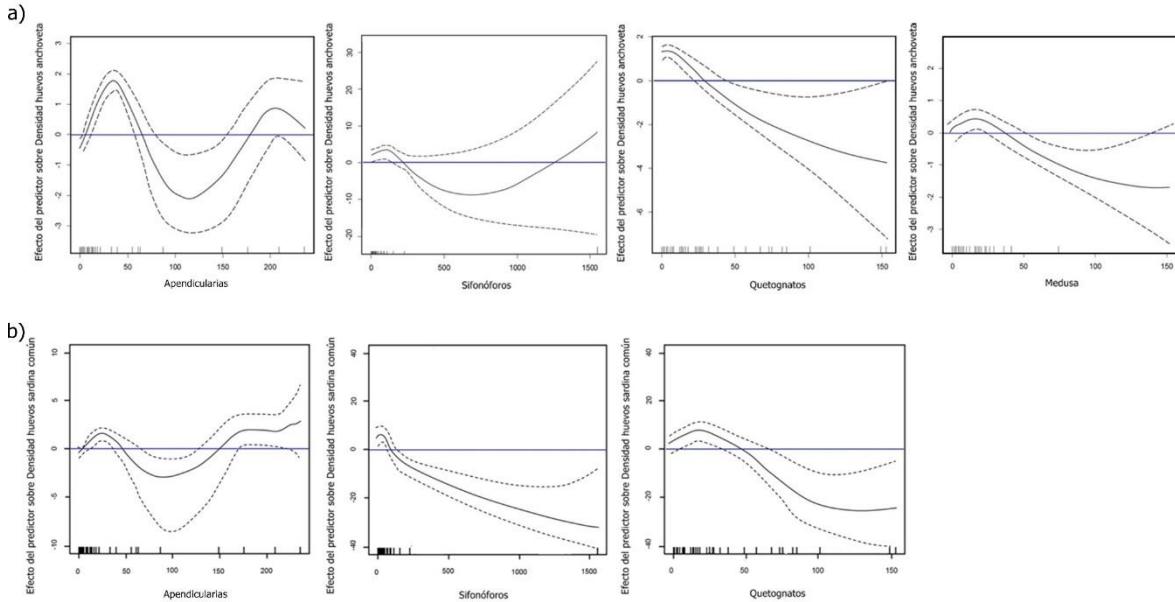


Figura 46. Efectos de los predictores apendicularias, sifonóforos, quetognatos y medusas sobre la variable densidad de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b), ajustado un modelo quasipoisson (GAM). El cero en el eje vertical indica que no existe efecto del predictor sobre la variable respuesta y líneas segmentadas corresponden a las bandas de confianza (red Cónica).



3.2. Contexto temporal (2002 – 2018)

3.2.1. Mapas horizontales de abundancia promedio de huevos y variables ambientales por zona (2002-2016)

En términos generales, la distribución de huevos de anchoveta y sardina común presentó características semejantes: menores abundancias en el sector norte, entre Pta. Lavapié y los 38°S de latitud y al sur de los 40°S de latitud, y mayores abundancias entre los 38°S y los 40°S y entre los 35°S y Pta. Lavapié. En las áreas con altas abundancias de huevos, también, se observó una alta variabilidad temporal en la abundancia de huevos (**Figura 47**).

La distribución espacial de la temperatura mostró una mayor temperatura al norte de los 35°S y en áreas alejadas de la costa. Las más bajas temperaturas se detectaron en áreas cercanas al borde costero. Para el caso de la salinidad se observó una variabilidad latitudinal en su concentración. Hacia el norte los valores de salinidad fueron más elevados que hacia el sur. Este mismo patrón también se apreció en el mapa de distribución de la densidad, densidades más altas hacia el norte y más bajas hacia el sur del área de estudio (**Figura 47**).

Las mayores concentraciones de huevos coincidieron con temperaturas por debajo de los 13°S, y hubo altas concentraciones de huevos tanto en ambientes con baja salinidad como con alta salinidad (**Figura 47**).

3.2.2. Series temporales de las anomalías y anomalías acumuladas de variables oceanográficas y atmosféricas en dos zonas de pacífico sur oriental.

Temperatura superficial del mar

En términos generales el patrón de comportamiento de la anomalía acumulada a lo largo de la serie es bastante similar entre ambos sectores. En ellos se observó un aumento de las anomalías acumuladas hasta llegar a su valor máximo en el 2007, seguido por un rápido descenso entre el 2008 hasta el 2015 y un aumento hasta el 2017. (**Figura 48 y 49**).

Clorofila superficial

En el caso de la clorofila, la variabilidad temporal de la anomalía acumulado fue diferente entre ambos sectores. En el sector centro-norte se observó una tendencia positiva entre el 2003 hasta el 2012, luego, la anomalía acumulada decayó hasta llegar a un mínimo en el 2014 y se volvió a incrementar hasta llegar a un máximo en el 2016, seguido por un declive hasta el final de la serie. En el sector Centro-Sur se observaron valores bajo cero desde el año 2003 hasta inicios del 2017. A partir del 2017 se observa un incremento con anomalías positivas hasta el final de la serie (**Figura 50 y 51**).

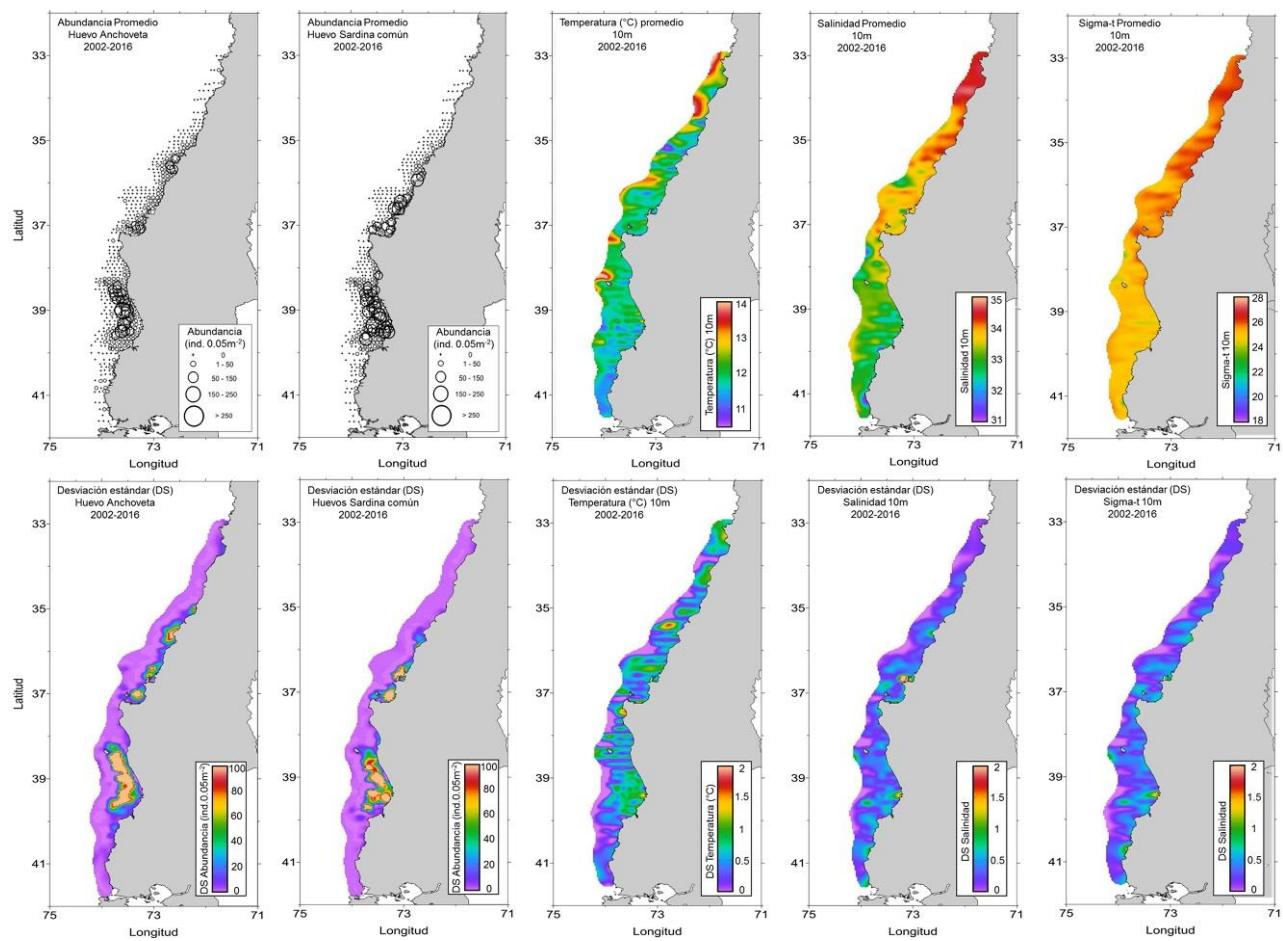


Figura 47. Promedio (panel superior) y desviación estándar (panel inferior) de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común, y las variables temperatura, salinidad y sigma-t (10m de profundidad) obtenidas durante los cruceros del 2002 al 2016.

Transporte de Ekman

En el sector centro-norte se presentó valores de transporte de Ekman más intenso que en el sector centro-sur, alcanzando valores $> 1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ($\times 1000 \text{ m}$ de costa) y $> 500 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en el sector centro-norte y centro-sur respectivamente. Además, en la serie centro-norte, se observó que el transporte de Ekman fue persistente costa afuera, no así en el sector centro-sur, donde durante el período de invierno este cambió de dirección en sentido hacia la costa, pero, en términos generales siguió cobrando mayor importancia el transporte costa afuera (**Figura 52**).

Posición del centro de alta presión del Pacífico Sur.

En el Océano Pacífico sur se detectó un ciclo estacional de la posición meridional del centro de alta presión (SPH, siglas en inglés de “South Pacific High”), esto es, un desplazamiento hacia latitudes altas durante la primavera-verano y hacia latitudes bajas durante el otoño-invierno, sin embargo, el análisis de la anomalía acumulada (Figura 15, panel inferior) mostró, como tendencia general, un desplazamiento hacia latitudes alta entre los años 2003-2006, hacia latitudes bajas entre los años 2007 y mediados del 2016 y se desplazó hacia el latitudes altas hasta fin de 2018. Estas observaciones muestran que independiente del ciclo estacional del SPH, existe un desplazamiento hacia latitudes bajas a partir del año 2007 (**Figura 53**).

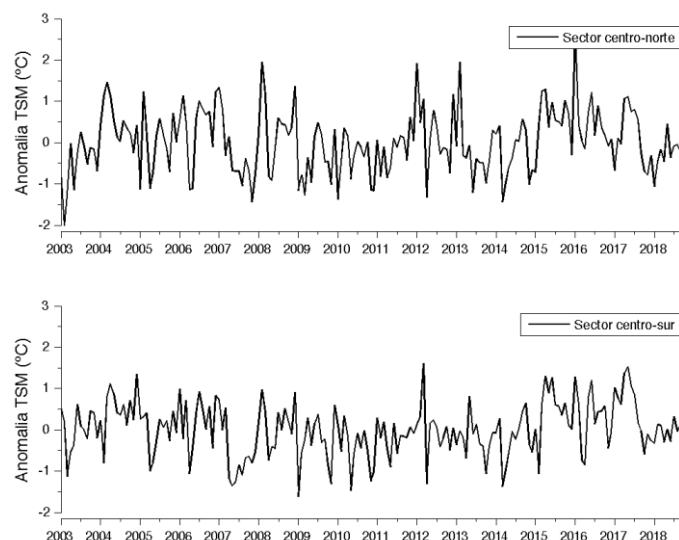


Figura 48. Series temporales de la anomalía de la temperatura superficial del mar entre 2003 y 2018.



Figura 49. Series temporales de la anomalía acumulada de la temperatura superficial del mar entre 2003 y 2018.

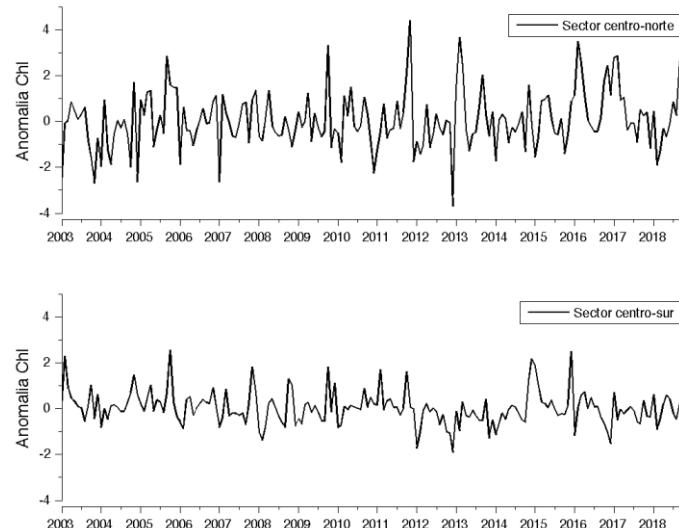


Figura 50. Series temporales de la anomalía de la clorofila-a superficial del mar entre 2003 y 2018.

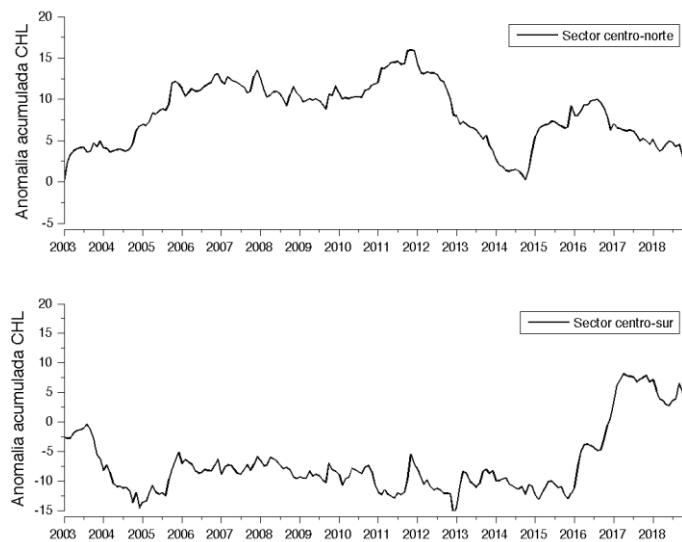


Figura 51. Series temporales de la anomalía acumulada de la clorofila-a superficial del mar entre 2003 y 2018.

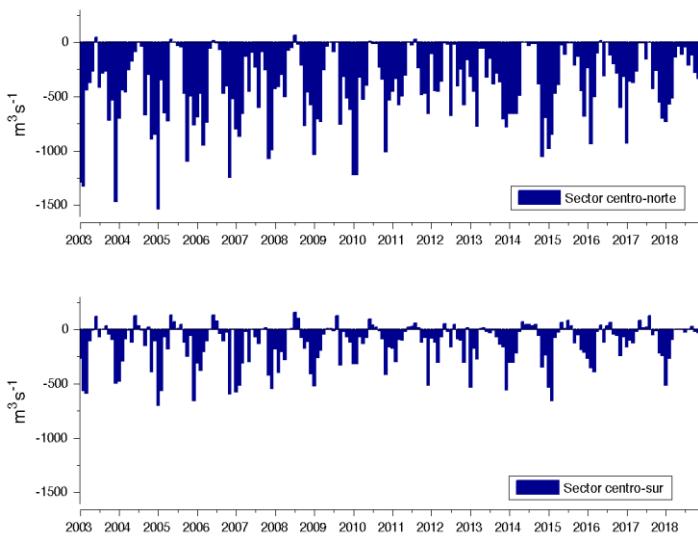


Figura 52. Series temporales de transporte Ekman ($m^3/s \times 1000\text{ m de costa}$) entre 2003 y 2018.

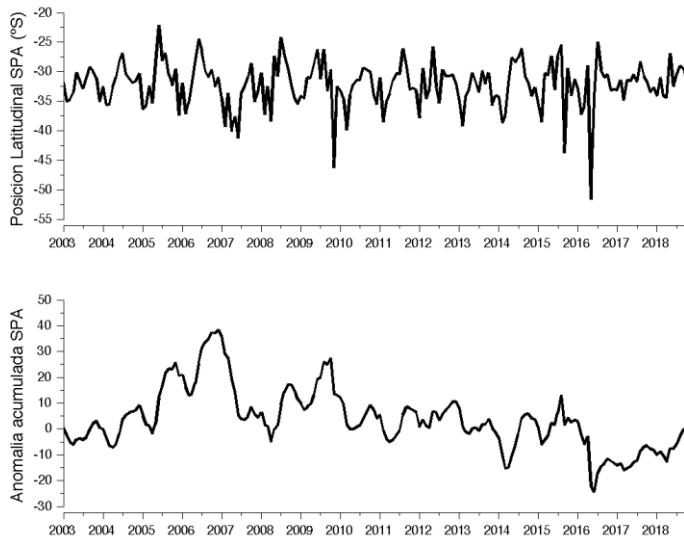


Figura 53. Series temporales de la posición meridional del centro de alta presión (panel superior) y anomalía acumulada de la posición meridional del centro de alta presión (panel inferior) entre 2003 y 2018.

3.2.3. Centros de masa (centroides) en cada sector y año.

Como un método alternativo para visualizar potenciales desplazamientos de las zonas de desove en el tiempo, en esta sección se muestran las variaciones desde el año 2002 al 2018 en los centros de masas de las distribuciones de los huevos de ambas especies a lo largo de toda la zona centro-sur de Chile, así como, por sectores muestreados.

En el sector norte, la posición del centroide de distribución de huevos de anchoveta permaneció entre 33,5°S y 34°S. Para el caso de la sardina común, los centroides de distribución de huevos mostraron una distribución al norte de los 33,75°S (**Figuras 54**).

En el sector centro, se presentaron importantes fluctuaciones latitudinales de los centroides de distribución de huevos de ambas especies (35,75°S a 37,25°S). Durante casi toda la serie de tiempo los centros de masa de la distribución presentaron fluctuaciones similares entre ambas especies, sin embargo, la distribución de la anchoveta estuvo al norte que la de sardina común en casi todos los años de la serie. En sardina común se observó que la distribución es predominantemente hacia el sur (**Figuras 54**).

En el sector sur se observó que los centroides de huevos de ambas especies tuvieron una distribución muy similar alrededor de los 39°S dentro del periodo 2002-2007. A partir del 2010 hasta 2015 los centroides de ambas especies mostraron un desplazamiento hacia el sur. Luego, a partir del 2016 al 2018 los centroides de sardina común y anchoveta mostraron un desplazamiento hacia el norte (**Figura 54**).

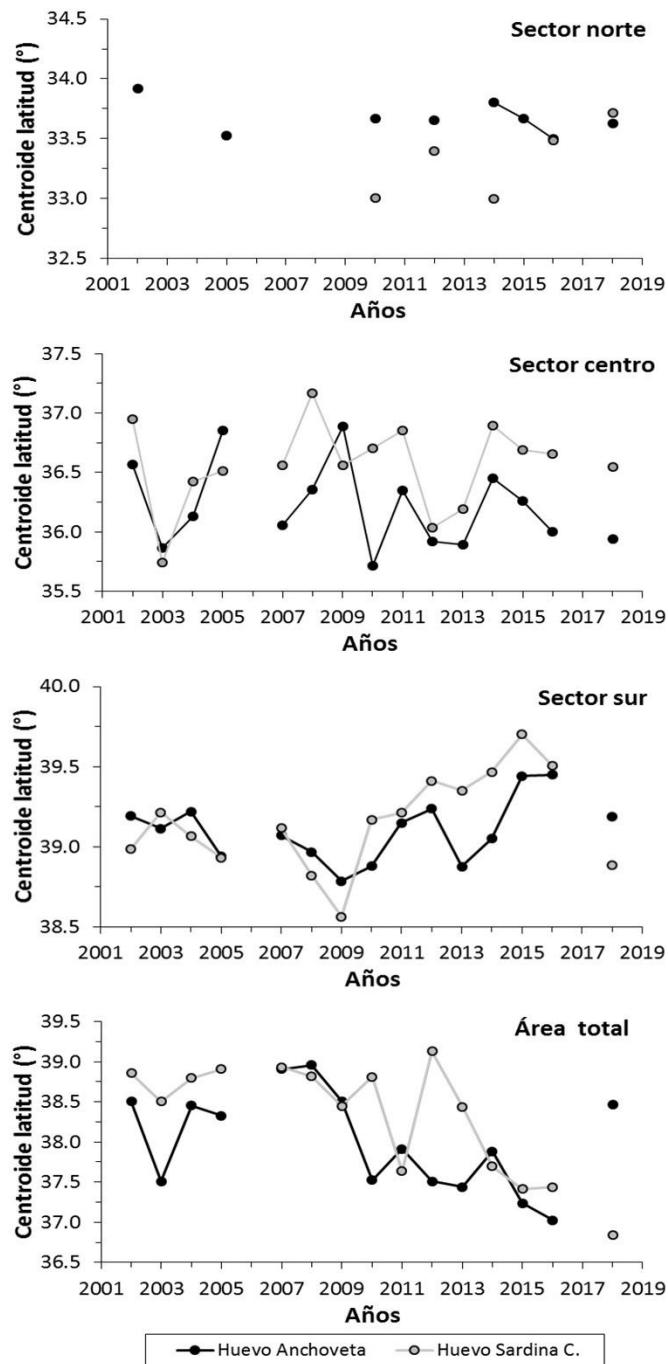


Figura 54. Variación latitudinal del centroide (°) de distribución de huevos de anchoveta (círculo negro) y sardina común (círculo gris) obtenidos entre los años 2002 y 2018.



Finalmente, al considerar toda el área de estudio, se observó que los centroides de huevos de ambas especies tuvieron una distribución entre 38,5° y 39°S dentro del periodo 2002-2009, con excepción de los huevos de anchoveta en el 2003, que se distribuyeron en latitudes menores (37,5°S). Entre el 2009 al 2016 los centroides de ambas especies mostraron un desplazamiento hacia el norte. El año 2018 el centroide de sardina común siguió desplazándose hacia el norte, mientras que el de anchoveta se desplazó aproximadamente 1,5° hacia el sur (**Figura 54**).

3.2.4. Cambios espacio-temporales en el área de desove y la abundancia de huevos

El ajuste de un modelo GAM (familia binomial, enlace logit) a los datos de presencia-ausencia de huevos de sardina común y anchoveta, en el periodo 2002-2018, mostró que los cambios en el área del desove son explicados entre un 9 y 8 % por la interacción entre los años y la latitud (**Tabla 33**).

Tabla 33. Resultados del ajuste del modelo GAM a datos de densidad de huevos de sardina común y anchoveta en el periodo 2002-2018.

Especie	Dato	Modelo	edf	n	Dev. Exp.
Sardina	Presencia	Binomial	28,69	6017	0,09
	Densidad	Bin. Neg.	28,97	6017	0,26
Anchoveta	Presencia	Binomial	28,62	6014	0,08
	Densidad	Bin. Neg.	28,93	6014	0,21

En la zona de estudio, la densidad de huevos de sardina común fue alta entre los años 2006-2010, disminuyendo el año 2012 para luego presentar un incremento a partir del año 2013 con dos focos de desove importantes, uno ubicado en el Golfo de Arauco y otro al sur de los 40°S, patrón que se mantuvo los siguientes años 2014-2016. El año 2018, a diferencia del patrón presentado en años anteriores, presentó una baja densidad de huevos con un foco de desove en el Golfo de Arauco (**Figura 55**). Para el caso de la anchoveta, las mayores abundancias de huevos abarcaron una mayor extensión latitudinal. Hubieron dos años, 2008 y 2012 en que las abundancias decayeron y las mayores densidades se distribuyeron al sur de los 38°S. Durante los años 2015 y 2016 un foco de desove importante se localizó entre los 35°S y 37°S, y en el año 2018 se desplazó hacia el sur, alrededor de los 40°S de latitud (**Figura 55**).

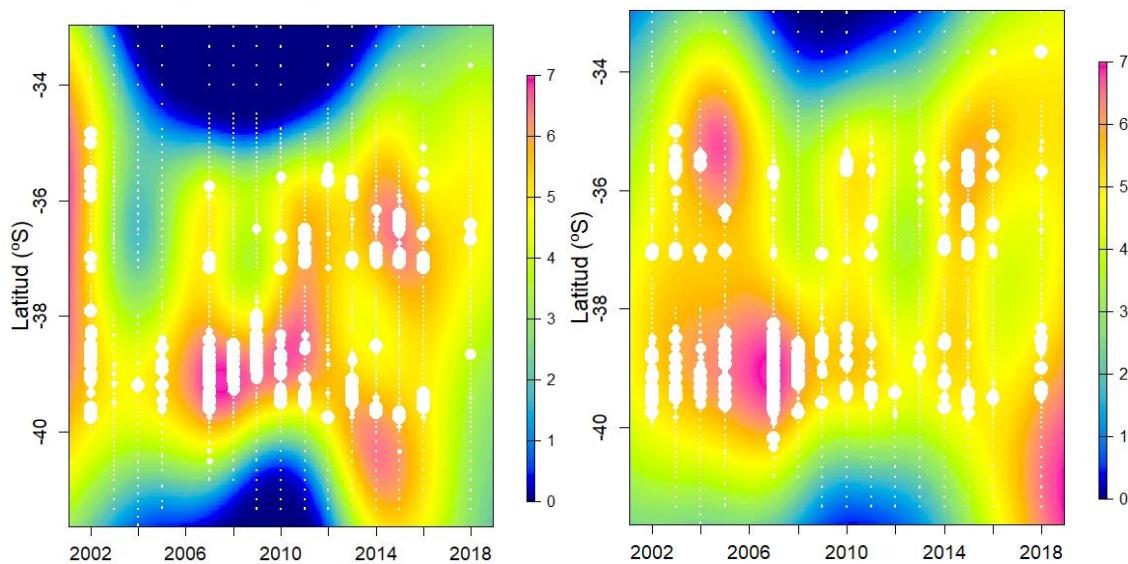


Figura 55. Cambios latitudinales en la densidad de huevos de sardina común (izquierda) y anchoveta (derecha) en la zona centro sur, 2002-2018. La escala está referida a logaritmo neperiano más una constante (0,1). Los puntos blancos son proporcionales a la densidad de huevos y muestran el rango de distribución de las estaciones y las zonas con mayor densidad de huevos.

El índice de abundancia de huevos fue analizado según tres núcleos de desove históricamente identificados, tanto para sardina común como para anchoveta; y en función de tres estratos de profundidad. De esta manera, los factores fijos fueron los años (2002 al 2018, excepto 2006 y 2017), tres estratos geográficos (A: norte de 35°S; B: centro, 35°S - 37°10'S, y C: sur de 37°30'S), y tres estratos de profundidad (A: 0 a 100 m, B: 100 a 200 m; y C: mayor a 200 m). Los modelos que se ajustaron incluyeron los tres factores y se diferenciaron entre sí en la condición elegida para el error aleatorio. El criterio de información Akaike (AIC) (Akaike, 1974) favorece al modelo con estructura de error Binomial Negativa (**Tabla 34**), y en la **Tabla 35** se resume el índice de huevos estandarizado, según el modelo Binomial negativo para el estrato de profundidad somero y zona sur.

Tabla 34. Desempeño estadístico de los modelos utilizados para estandarizar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (parámetros=17 coeficientes).

Modelo	Especie	g.l.	Dev. Nula	Dev. Res.	Dev.Expl (%)	AIC
Bin. Neg.	Anchoveta	5682	4906	3607	26.47	19669
	Sardina	5685	3081	2269	26.35	12989
Poisson	Anchoveta	5682	419954	312933	25.48	319785
	Sardina	5685	324245	258166	20.37	262264
Tweedie	Anchoveta	62587	86484	62587	27.63	21143
	Sardina	5685	83551	61388	26.52	15074

*presencia-ausencia



Tabla 35. Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG familia Binomial negativo.

Años	Anchoveta			Sardina común		
	Abundancia (huevo/m ²)	Error Estándar	CV	Abundancia (huevo/m ²)	Error Estándar	CV
2002	128.1	33.6	0.262	241.2	44.6	0.185
2003	569.6	179.8	0.316	16.8	4.1	0.246
2004	265.3	103.3	0.389	11.6	3.9	0.338
2005	568.6	220.3	0.387	60.5	18.1	0.299
2007	3892.0	1286.5	0.331	3093.2	731.1	0.236
2008	618.0	210.5	0.341	188.0	46.6	0.248
2009	119.5	42.0	0.352	106.2	26.6	0.250
2010	339.7	223.7	0.658	42.9	23.3	0.543
2011	221.9	79.1	0.356	622.3	155.6	0.250
2012	37.6	14.6	0.388	40.5	10.9	0.270
2013	79.1	29.0	0.367	269.6	67.3	0.249
2014	419.3	145.0	0.346	569.6	140.4	0.246
2015	768.9	263.1	0.342	349.2	86.4	0.247
2016	281.2	92.4	0.329	598.5	138.8	0.232
2018	197.7	63.7	0.322	46.5	10.8	0.232

Modelo VAST

El modelo VAST generado para la anchoveta fue capaz de predecir correctamente la presencia de huevos, verificando la probabilidad de encuentro pronosticada contra la frecuencia de encuentro observada en el modelo espacio-temporal de anchoveta y sardina común (**Figura 56**). La anisotropía geométrica para los huevos de anchoveta y sardina común, presentó una mayor correlación a lo largo de la costa en comparación a la correlación este-oeste, superando estos 200 km en ambas especies (**Figura 57**). La correlación este-oeste fue menor para anchoveta que sardina común, con valores aproximados en un rango de 130 km en anchoveta y de 150 km en sardina común (**Figura 57**).

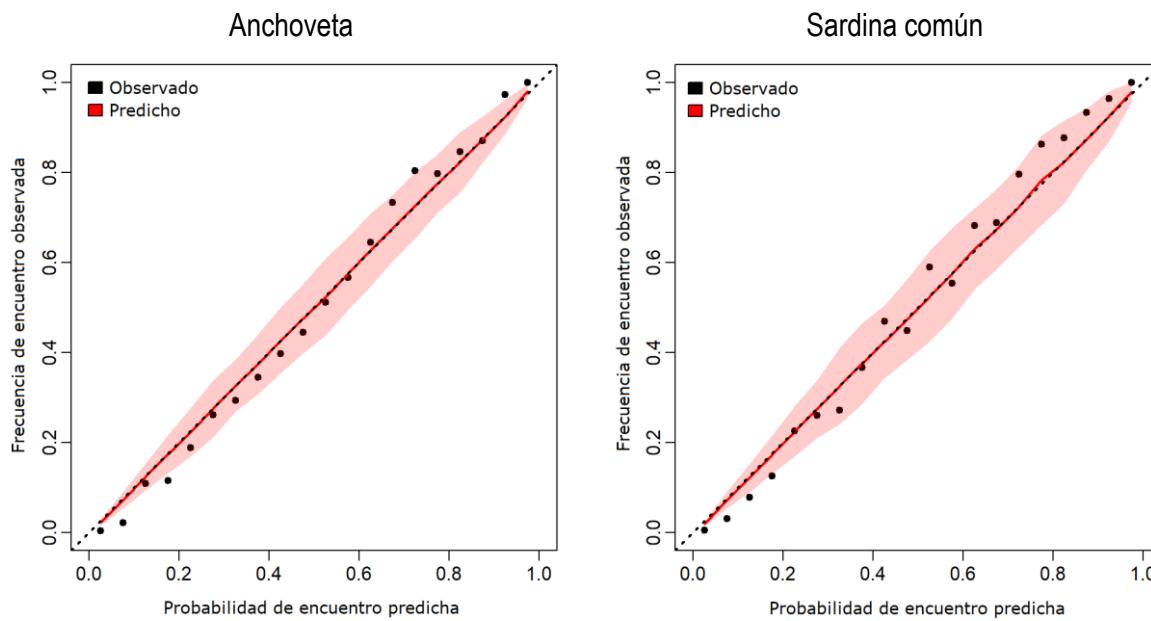


Figura 56. Función de diagnóstico para verificar la validez del componente de probabilidad de encuentro del modelo espacio-temporal de huevos de anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha).

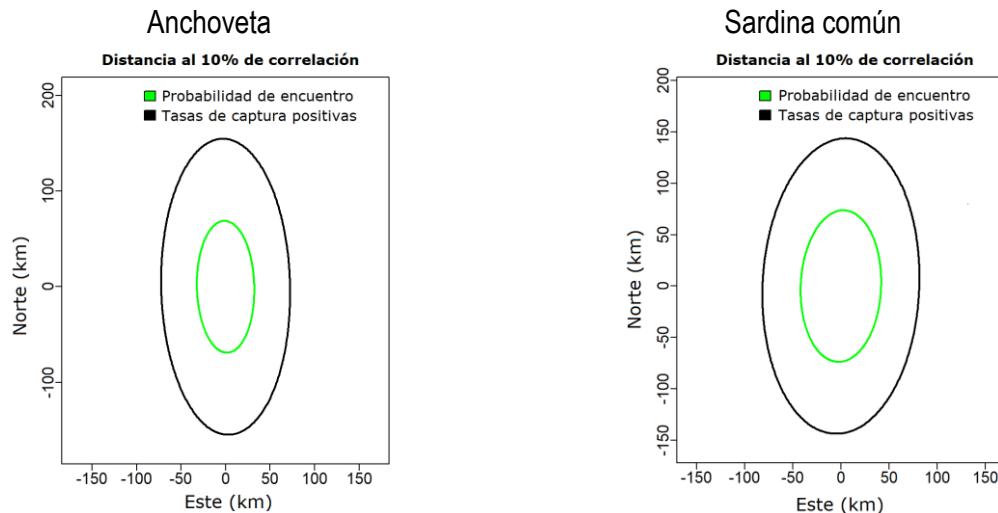


Figura 57. Correlación entre la ubicación s, y la ubicación s+h para los términos espaciales y espacio-temporales de los huevos de anchoveta (izquierda) y sardina común (derecha).

Anchoveta: La función de distribución de la abundancia de huevos de anchoveta, mostró períodos de alta y baja expansión en su distribución espacial (**Figura 58**). Se observaron tres períodos, uno entre el 2002 y 2007, caracterizado por una amplia distribución en la densidad de huevos, observándose dos grandes focos. El primero ubicado entre Constitución y Talcahuano, y el segundo entre Tirúa y



Niebla. En el segundo periodo, comprendido entre el 2008 y 2013, se observó una disminución de la densidad de huevos de anchoveta en el foco ubicado entre Constitución y Talcahuano, y bajas densidades de huevos en las zonas norte y sur del estudio. Finalmente, en el tercer periodo, entre el 2014 y 2018, se observó un aumento en la densidad de huevos en el foco entre Constitución y Talcahuano, una expansión en su distribución espacial y un aumento en la cobertura espacial de huevos en los sectores norte y sur del área de estudio.

Sardina común: La función de distribución de la abundancia de huevos de sardina común mostró periodos de alta y baja expansión en su distribución espacial (**Figura 59**). Se observó que el área de desove de sardina común fue más restringida que la de anchoveta, con una mayor contracción observada en el año 2008 entre los 38°S y 40°S. La extensión del área de desove de la sardina común fue mayor entre los años 2010 y 2016 y se localizó alrededor de los 35°S y 40°S, con dos focos importantes con altas densidades de huevos; uno entre los 35°S y 36°S y otro entre los 38°S y 39°S. Posteriormente, a partir del año 2017, ocurrió una disminución en la abundancia de huevos en ambos focos, así como, una contracción del área de distribución de huevos (**Figura 59**).

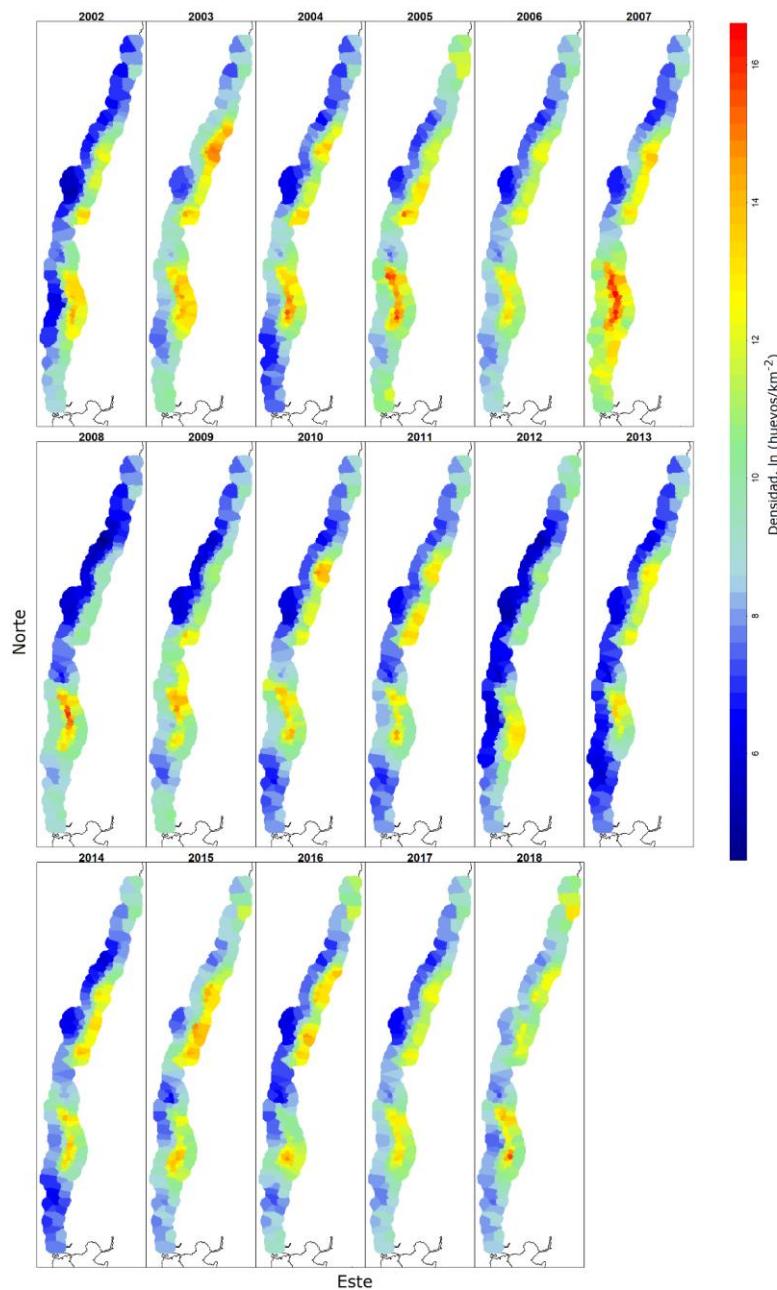


Figura 58. Función de distribución de la densidad de huevos de anchoveta estimada $d(s, t)$ para el periodo comprendido entre los años 2002 y 2018, incluyendo la predicción de la densidad de los huevos para los años 2006 y 2017, años en que no se realizó el crucero de evaluación.

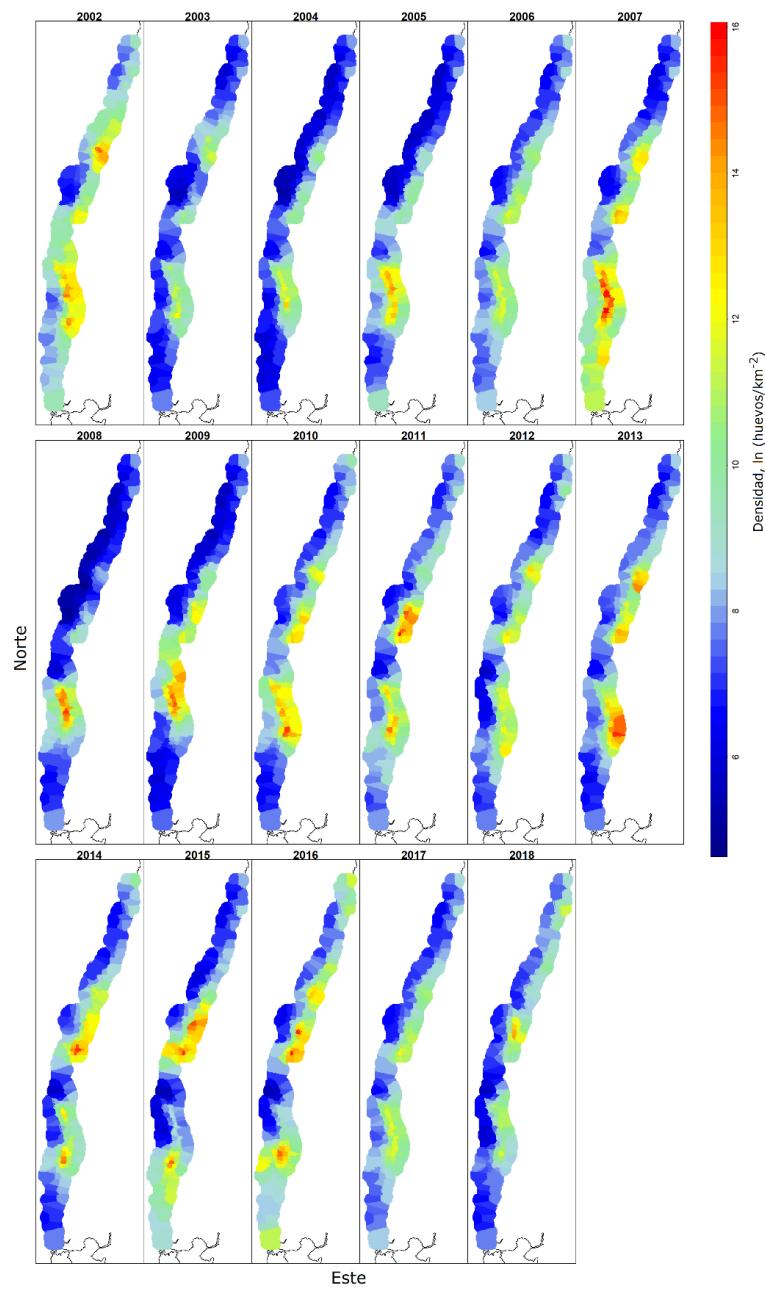


Figura 59. Función de distribución de la densidad de huevos de sardina común estimada $d(s, t)$ para el periodo comprendido entre los años 2002 y 2018, incluyendo la predicción de la densidad de los huevos para los años 2006 y 2017, años en que no se realizó el crucero de evaluación.

La abundancia de huevos de anchoveta pasó por un periodo altamente fluctuante y abundante entre el 2002 y el 2007. Luego, vino una drástica disminución de la abundancia de huevos y llegó a un valor mínimo en el 2012. Posterior a este año la abundancia de huevos comenzó a aumentar, y se mantuvo estable entre el 2016 y 2018 (**Figura 60**). La abundancia total de huevos de sardina común mostró las mayores abundancias durante los años 2002, 2007 y 2013, seguidos por períodos de 3 o 4 años con menores abundancias (**Figura 60**). A partir del año 2016 la abundancia de huevos de sardina común disminuyó manteniéndose en bajas abundancias en el año 2018.

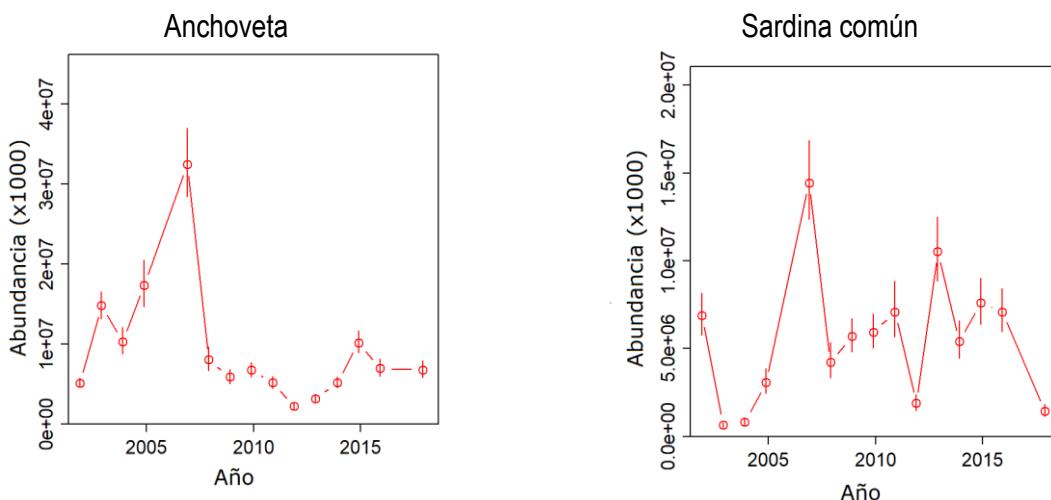


Figura 60. Abundancia total de huevos de sardina común para el área de estudio entre los años 2002 y 2018.

3.2.5. Relación huevo-recluta

Para el análisis de la relación huevo-recluta se utilizó el índice de densidad de huevos de un año dado (**Tabla 35**), con la biomasa y el número de reclutas de sardina común y anchoveta, evaluadas mediante acústica en enero del año siguiente (**Tabla 8**), exceptuando el 2006 y 2017 ya que en esos años no se realizó crucero MPH.

La relación entre reclutas y huevos se evaluó con dos modelos. Uno de ellos fue el modelo potencial y otro el modelo de Ricker. Se utilizó regresión lineal y, el desempeño estadístico de los parámetros estimados se resume en la **Tabla 36** para sardina común y en la **Tabla 37** para anchoveta.

El ajuste de los modelos reveló relaciones no lineales, dadas principalmente por la presencia de un punto influyente en la densidad de huevos (año 2007). En el caso de la sardina común, el modelo potencial entre la biomasa de reclutas y huevos logró un coeficiente de determinación de 15,3 % ($F=2,169$; $P=0,167$) y el modelo de Ricker explicó 31,3 % de la tasa de reclutamiento ($F=5,458$, $P=0,0376$). La relación entre el número de reclutas y la densidad de huevos tuvo un menor desempeño, tanto del modelo potencial ($r^2= 18,7 \%$, $F=2,754$; $P=0,123$) como de Ricker ($r^2=27,9 \%$,



F=4,657; P=0,0519). Por esta razón, la relación huevo-recluta se muestra en términos de biomasa de reclutas y el índice de huevos (**Figura 61**).

Tabla 36. Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de sardina común, zona centro-sur (2002-2016).

Sardina comun		Biomasa de reclutas (t)		
Potencial	Estimado.	Error Estándar	t valor	Pr(> t)
a	5,264	1,001	5,256	0,000*
b	0,279	0,189	1,473	0,167
Ricker		Numero de Reclutas		
a	2,091	0,406	5,146	0,000*
b	-0,0011	0,00045	-2,336	0,037*
Potencial		Numero de Reclutas		
a	3,498	1,242	2,817	0,0155*
b	0,390	0,235	1,659	0,123
Ricker		Numero de Reclutas		
a	0,881	0,434	2,029	0,0652
b	-0,001	0,000	-2,158	0,0519

En la anchoveta, el modelo potencial entre la biomasa de reclutas y huevos logró un coeficiente de determinación de 12,27 % (F=1,54, P=0,2383) y el modelo de Ricker explicó 20,0 % de la tasa de reclutamiento (F=3,007, P=0,1085). La relación entre el número de reclutas y la densidad de huevos tuvo mejor desempeño, tanto del modelo potencial ($r^2= 17,5 \%$, F=2,547; P=0,1365) como de Ricker ($r^2= 10,4 \%$, F=1,399; P=0,2598), sin llegar a ser significativos. Aquí destaca la relación entre el número de reclutas y el índice de abundancia de huevos (**Figura 61**).

Tabla 37. Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de anchoveta, zona centro-sur (2002-2016).

Anchoveta		Biomasa de reclutas (t)		
Potencial	Estimado.	Error Estándar	t valor	Pr(> t)
a	1,800	1,767	1,019	0,328
b	0,3761	0,303	1,241	0,238
Ricker		Numero de reclutas		
a	-1,394	0,407	-3,425	0,005*
b	-0,0006352	0,000366	-1,734	0,1084
Potencial		Numero de reclutas		
a	-0,135	1,852	-0,073	0,943
b	0,4765	0,318	1,500	0,159
Ricker		Numero de reclutas		
a	-2,772	0,411	-6,751	0,000*
b	-0,00061	0,00037	-1,639	0,127

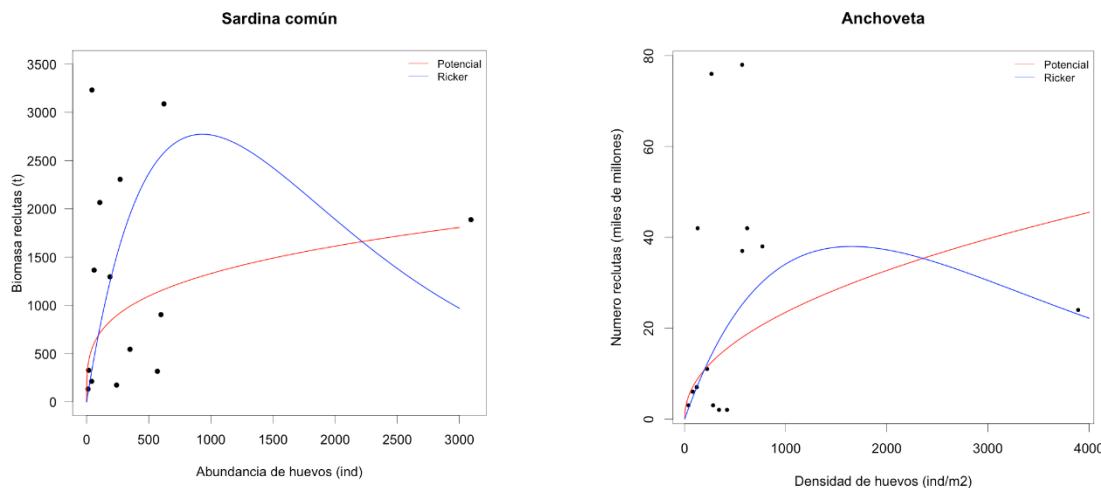


Figura 61. Relaciones entre la biomasa de huevos y la densidad media de huevos para sardina común y anchoveta, periodo 2002-2017.

4. **Objetivo específico 4:** Determinar la influencia de los cambios ambientales en la distribución espacial y abundancia de la sardina común y anchoveta. Fase II: Determinar y analizar la influencia de eventos interanuales “El Niño” y “La Niña” en la cobertura, distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 – 2017.

Se utilizó la serie de tiempo de TSM reconstruida con períodos entre 1,5 y 8 años (i.e. anomalía de temperatura interanual) para los análisis, ya que esta señal contiene las oscilaciones de temperatura asociadas con el ENOS (El Niño Oscilación del Sur) y descarta otras (por ejemplo, la señal anual) que podrían enmascarar la influencia que tiene el ENOS sobre la distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común en el área de estudio.

El diagrama de dispersión entre el índice MElv2 y las anomalías de temperatura interanual muestra una relación positiva entre ambas variables ($r = 0,48$; $p < 0,01$). Tanto El Niño 1997-98 como El Niño 2015-16, considerados de categoría fuerte, tuvieron un efecto positivo en las anomalías de temperatura del área de estudio. Por otro lado, de los tres eventos La Niña, considerados de categoría fuerte, solo los que se desarrollaron en el 1998-99 y 2007-08 tuvieron un efecto sobre la temperatura local (**Figura 62**).

Mediante las series de tiempo del índice MElv2 y de anomalías de temperatura filtrada se identificaron los cruceros oceanográficos que se desarrollaron durante eventos El Niño o La Niña y que tuvieron un efecto sobre las anomalías de temperatura en el área de estudio. De todas las prospecciones realizadas desde el 2002 al 2018, solo los cruceros del 2007 y del 2015 fueron desarrollados bajo una condición fría, asociada con un evento La Niña, y cálida, asociada con un evento El Niño, respectivamente (**Figura 63**). Luego se evaluó la distribución latitudinal de los huevos de ambas especies durante estos dos eventos. De estos dos años, el año 2007 mostró la mayor abundancia de

huevos de sardina común y anchoveta, que fueron concentradas principalmente entre las latitudes 38°S y 40°S, en cambio, durante el 2015, la abundancia promedio no superó los 1000 huevos/0,05 m² en ninguna de las latitudes (**Figura 64**).

Los diagramas de dispersión entre la anomalía de temperatura interanual y la abundancia promedio de huevos de sardina común en un área de desove recurrente (38°S-40°S) mostró una relación inversamente proporcional (**Figura 65B**). Para la anchoveta esta relación fue menos clara (**Figura 65A**). Sin embargo, en ambos casos la abundancia de huevos durante La Niña 2007 fue la más alta de la serie y durante el evento El Niño del 2015 fue relativamente baja (**Figura 65A, B**). Los diagramas de dispersión entre la anomalía de temperatura interanual y la cobertura de huevos de sardina común dentro de una zona de desove recurrente mostraron una relación directamente proporcional entre ambas variables (**Figura 65D**). Para el caso de la anchoveta (**Figura 65C**) no hubo una relación clara entre ambas variables. En ambos casos la mayor cobertura de huevos se observó durante La Niña 2007, pero, solo para la sardina la cobertura de huevos durante El Niño 2015 fue relativamente baja (**Figura 65C, D**).

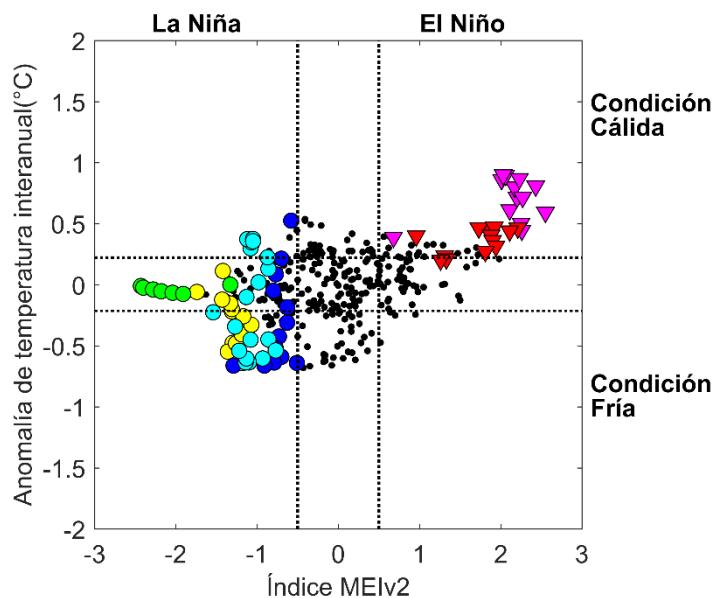


Figura 62. Diagrama de dispersión entre el índice MEIv2 y la anomalía de temperatura interanual. Las líneas punteadas horizontales representan el percentil de 25 % y de 75 % de la distribución de anomalías de temperatura interanual. Las líneas punteadas horizontales marcan los valores del índice MEIv2 de 0.5 (El Niño) y -0.5 (La Niña). Los triángulos representan El Niño 1997-98 (morado) y El Niño 2015-16 (rojo). Los círculos representan La Niña 1998-99 (amarillo), La Niña 2007-08 (turquesa), La Niña 2010 (verde) y La Niña 2017-18 (azul).

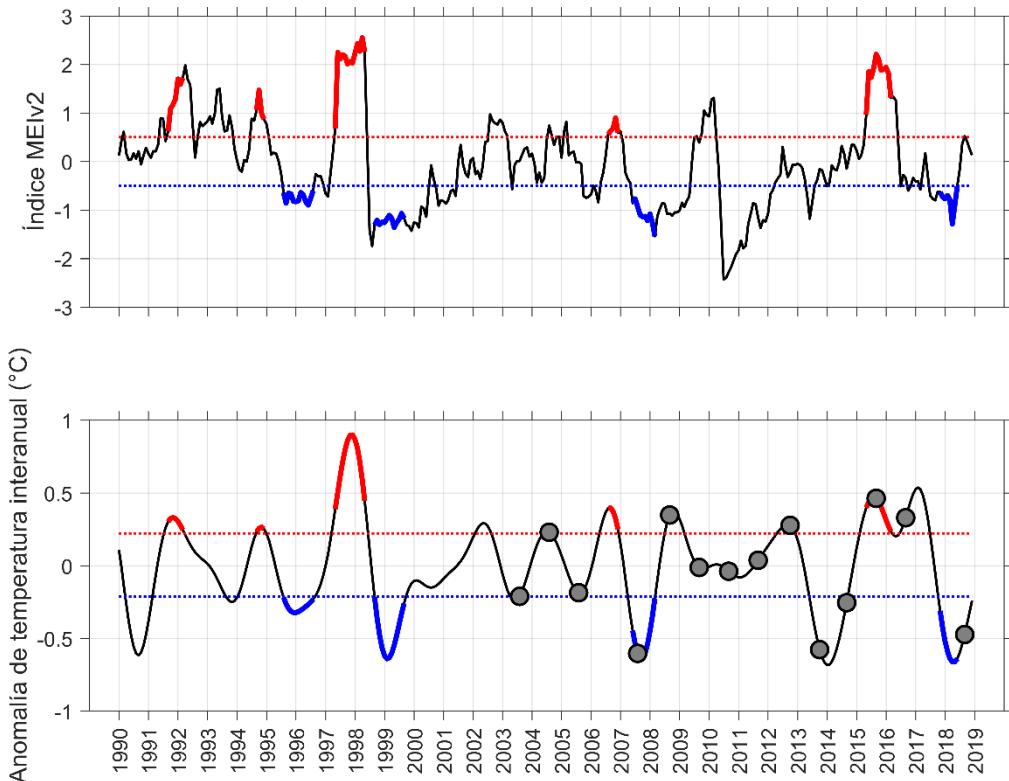


Figura 63. Series de tiempo del Índice MElv2 (panel superior) y la anomalía de temperatura interanual promedio del área entre los 32°S y 42°S y desde la línea de costa hasta las 20mn de distancia de la costa (panel inferior). Las líneas punteadas horizontales del panel superior representan el índice MElv2 de -0,5 (azul) y 0,5 (rojo). Los círculos plomos del panel inferior representan las fechas de los cruceros MPH de la región centro- sur. Las líneas punteadas horizontales del panel inferior representan el percentil de 25 % (azul) y de 75 % (rojo) de la distribución de anomalías de temperatura interanual. Las líneas sólidas representan los períodos con más de tres meses consecutivos con índice MElv2 > 0,5 y anomalía > 0,24°C (rojo) y con índice MElv2 < -0,5 y anomalía < -0,29°C (azul).

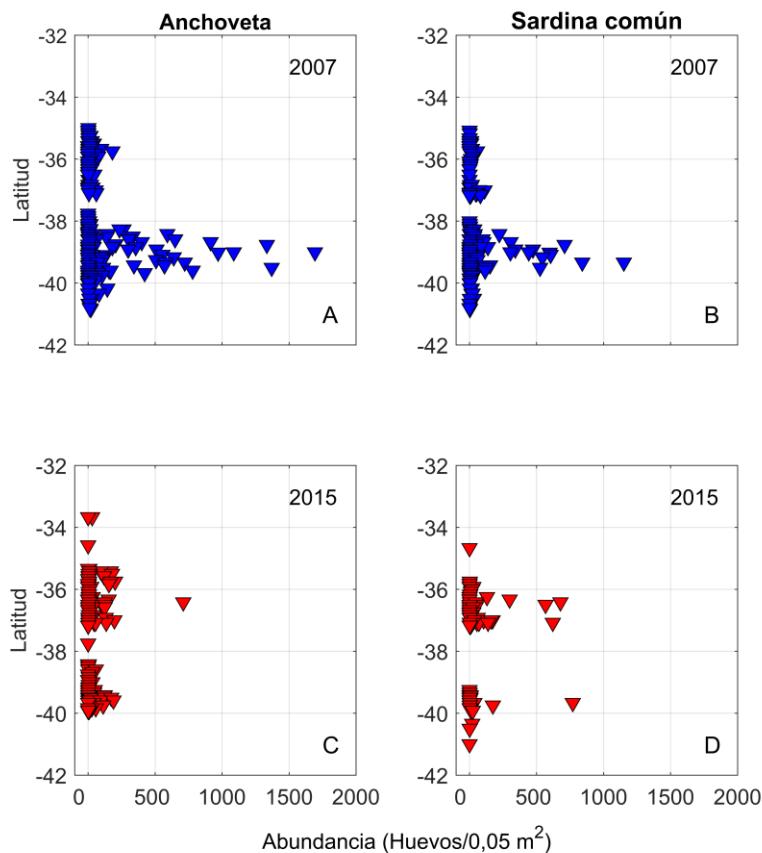


Figura 64. Distribución latitudinal de la abundancia de huevos de anchoveta (paneles izquierdos) y de sardina común (paneles derechos) durante los cruceros de los años 2007 y 2015.

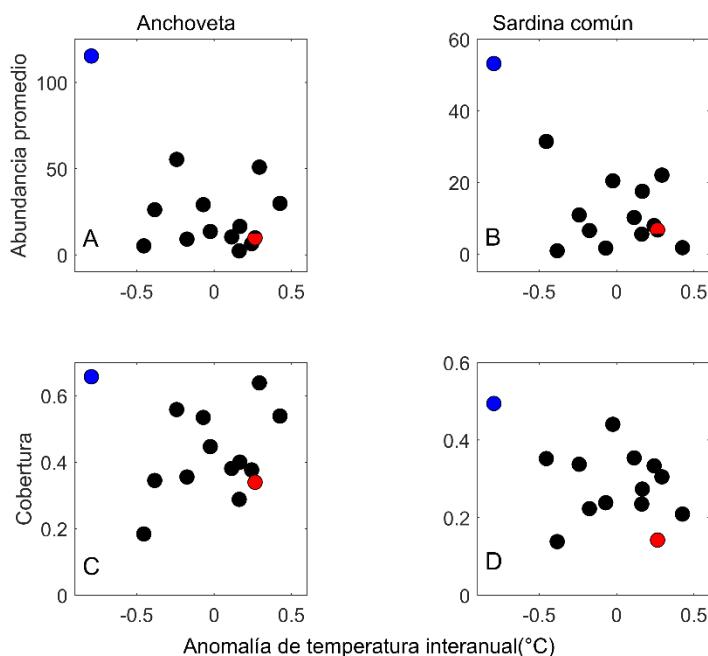


Figura 65. Diagrama de dispersión entre la anomalía de temperatura interanual y la abundancia de huevos de anchoveta (A) y sardina común (B), y cobertura de huevos de anchoveta (C) y sardina común (D). Los círculos representan los cruceros de los años 2015 (rojo) y 2007 (azul).



I. DISCUSIÓN

El crucero de evaluación del stock desovante se desarrolló entre los meses de septiembre y octubre de 2018, durante el periodo de máxima actividad reproductiva y similar al periodo de estudio de los últimos 5 años, la cual también han incluido la grilla exploratoria de la zona norte. Durante este periodo el Pacífico ecuatorial se encontró en un proceso de desarrollo hacia una condición cálida El Niño, sin embargo, la condición fue normal en la zona centro-sur de Chile.

El desove fue cubierto por el crucero, durante el periodo de estudio, observándose un aumento en la intensidad del desove de anchoveta en el sector centro y sur. En la sardina común, en cambio, se registró una disminución en la intensidad del desove, tanto en términos de presencia como de abundancia. En el sector sur, y a diferencia de la zona central y del año 2016, hubo zonas de altas concentraciones de huevos de anchoveta desde Isla Mocha a Corral, estando las áreas de mayor concentración cercanas a la costa frente a Isla Mocha pero separadas de la costa frente a la zona de Corral (desembocadura del río Valdivia), distribución relativamente similar a la observada el año 2015. En el caso de la sardina común, y en el sector sur, se observó dos zonas con mayor frecuencia de estaciones con huevos de sardina común (frente a Isla Mocha y al norte de Corral) pero solo en unas pocas estaciones costeras frente a la desembocadura del río Imperial (sur de Isla Mocha) hubo mayores concentraciones de huevos.

El número de lances de pesca se cumplió para la sardina común, con 45 lances de pesca efectivos en la zona centro y 30 lances de pesca en el sector sur. Sin embargo, la menor disponibilidad de anchoveta a la pesca al interior del Golfo de Arauco, obligó a salir una vez más con la nave Don Julián hasta completar 30 lances de pesca en la zona centro. En la zona sur, se logró sólo 18 lances de pesca de anchoveta. No obstante, el número de lances se considera satisfactorio respecto de la estimación de los parámetros reproductivos.

La estructura de tallas de la sardina común se caracterizó por ser similar entre machos y hembras al interior de cada zona, pero fue diferente entre zonas. En la zona centro se registraron ejemplares más grandes que en la zona sur. Resultados similares se encontraron para el caso de la anchoveta, recurso que mostró una estructura de tallas caracterizada por ejemplares grandes con talla media cercana a los 15 cm.

A pesar que espacialmente se observó una falta de correspondencia entre la distribución de los huevos y los adultos, el método asume que los adultos están en plena actividad reproductiva en el área; por lo tanto, en cualquier localidad se deberían expresar la misma condición. En el caso de la sardina, los huevos de la zona sur se concentraron al norte de río Imperial y los lances de pesca se hicieron entre la desembocadura del río Toltén y Punta Galera. Los adultos en esta zona mostraron 76% de hembras activas, lo que podría implicar que la zona donde se capturaron pudiese ser una zona de recuperación postdesove. Sin embargo en la zona centro, la sardina común mostró 89% de hembras activas, por lo que la condición reproductiva más bien se debe a la presencia de ejemplares inmaduros juveniles dada la estructura de tallas más que la hipótesis previa. La proporción de estadios de madurez están



dentro de los rangos de la serie histórica de aplicaciones del MPDH en la zona centro sur. En los 14 años el promedio de largo plazo en la proporción de FPO totales es de 37%. Sin embargo, las fluctuaciones en la proporción de FPO totales y de fracción desovante son explicadas mayoritariamente por las variaciones en el peso (tamaño) medio de las hembras.

La distribución de huevos de anchoveta fue más homogénea y más dispersa en la zona central comparado con otros años, con ausencia de grandes agregaciones en el Golfo de Arauco y al sur de la desembocadura del río Itata. En el sector sur, sin embargo, hubo zonas de altas concentraciones de huevos desde Isla Mocha a Corral.

Para el caso de sardina común, se registró una disminución en la intensidad del desove, tanto en términos de presencia como de abundancia. En el sector centro solo se observaron altas abundancias en una de las tres zonas típicas de agregación de huevos, entre el sur de la desembocadura del río Itata y el extremo norte del Golfo de Arauco. En el sector sur, hubo relativamente altas abundancias de huevos de sardina común solo en unas pocas estaciones costeras frente a la desembocadura del río Imperial (sur de Isla Mocha) presentando abundancias bajas frente a Corral, la cual ha sido considerada como una zona histórica de agregación de huevos (Soto-Mendoza *et al.*, 2012).

Los modelos lineales generalizados (GAMs) mostraron que la temperatura con valores entre 11.6° y 12.8°C, y salinidad entre 33.5 a 34.6, presentaron un efecto positivo en la abundancia de huevos de anchoveta. Se detectó un efecto positivo en huevos de sardina común a rangos inferiores de temperatura (< 11.7°C), salinidad (< 33.6) a lo encontrado en anchoveta. Estas diferencias en características ambientales entre zonas de mayor agregación de huevos de cada especie así como las variaciones latitudinales en las ubicaciones de las mayores zonas de huevos de cada especie no son extrañas en la zona centro-sur. Históricamente ha habido años en que los centros de desove de la anchoveta migran hacia la zona sur para luego retornar a la zona central o incluso ha habido años los límites de distribución se han extendido en algunos años mientras que se han reducido en otros. Lo observado en anchoveta este año 2018, por lo tanto no es excepcional. Sin embargo, el aparente desplazamiento de los mayores centros de desove desde la zona sur a la central en sardina común este año 2018 es menos frecuente y puede responder a dos procesos: hubo una disminución del desove en la zona sur dado por bajo estado reproductivo de las hembras desovantes y/o por una disminución del número de hembras desovantes en el sector sur. Dadas las bajas abundancias de huevos en el sector central, es poco probable que haya habido una migración importante de las hembras desovantes desde el sur hacia el sector central ya que se habría notado un aumento de las abundancias de huevos en este último sector, lo que no ocurrió (de hecho, tanto el porcentaje de estaciones positivas como la abundancia de huevos de sardina común disminuyeron en la zona central en el 2018).

El análisis de mesozoopláncton indicó que las zonas de mayor abundancia de huevos de anchoveta tendieron a coincidir con las de mayor abundancia de alimento potencial larval como copépodos en los sectores centro y sur, así como también con las mayores abundancias de apendicularias en el sector central. Los eufáusidos ocurrieron en muy baja abundancia y los quetognatos tendieron a ocurrir alejados de la costa por lo que la sobreposición de ambos grupos de predadores con el



ictioplancton fue bajo. Este patrón de no-sobreposición de huevos y predadores gelatinosos ya había sido observado previamente en la zona central de Chile durante el periodo de desove de la anchoveta cuando los predadores gelatinosos tienden a presentarse en zonas más oceánicas y el ictioplancton en las zonas más costeras (Castro et al. 2000), patrón que no es concordante con observaciones de las zonas de desove en el norte de Chile donde los eufáusidos co-ocurren con los huevos y larvas de anchoveta en zonas más alejadas de la costa, pudiendo consumir hasta un 25% del stock de huevos presentes en la zona de desove (Krautz et al. 2007). Los sifonóforos, sin embargo, coincidieron con las mayores abundancias de huevos y larvas en el sector sur pero no en el sector central. Los GAMs utilizando grupos de mesozooplancton, paralelamente, tienden a ser coincidentes con las observaciones de sobreposición espacial (mapas) antes señalada. Los GAMs mostraron un efecto positivo de las mayores abundancias de apendicularias (alimento larval) y de las menores abundancias predadores invertebrados (sifonóforos, quetognatos y medusas). Por otro lado, las diatomeas fueron el grupo fitoplancótico más abundante, secundariamente los ciliados y los dinoflagelados. Las mayores abundancias de diatomeas se presentaron en el sector centro y las mayores abundancias de ciliados y dinoflagelados se localizaron en el sector sur. Los núcleos de más alta abundancia de huevos y larvas de anchoveta y sardina común, se vincularon principalmente con altas concentraciones de diatomeas de los géneros *Skeletonema* y *Thalassionaria*. Las mayores abundancias de ciliados y dinoflagelados, se asociaron a zona de abundantes huevos de anchoveta y sardina común.

La información sobre la distribución de huevos de ambas especies durante el año 2018 tiende a ajustarse a la hipótesis de que muchas especies de peces tienden a reproducirse y dejar su descendencia en sitios seguros para la progenie, es decir, zonas de condiciones oceanográficas apropiadas para el crecimiento y sobrevivencia, dado por bajo número de potenciales predadores y altas abundancias de alimento larval (Frank & Legget 1982). Por otro lado, la información generada en este año 2018, sugiere que, si bien los huevos de ambas especies comparten gran parte sus distribuciones, existirían algunas diferencias entre ambas especies en términos de las características del ambiente donde se desarrollan las mayores abundancias de huevos de cada especie. Por ejemplo, en el caso de los huevos de anchoveta, las mayores abundancias tendieron a ocurrir en zonas donde las temperaturas del agua de mar fueron levemente superiores, al igual que la salinidad, las abundancias de copépodos, de apendicularias y de diatomeas, habiendo escasos predadores potenciales. Por otro lado, las sardinas comunes tendieron a ser más abundantes en zonas de aguas de salinidades y temperaturas levemente menores y donde los dinoflagelados fueron más abundantes pero con más sifonóforos, uno de los pocos grupos de potenciales predadores presentes en la zona (Méndez 2007).

Los mapas horizontales de abundancia promedio de huevos entre los años 2002-2016, en términos generales, mostraron que las distribuciones de huevos de anchoveta y sardina común presentaron características semejantes: menores abundancias en el sector norte, altas concentraciones en la banda costera de la zona central pero en que los huevos de sardina común se presentaría en altas abundancias a lo largo de toda este sector, a diferencia de anchoveta que ocurriría en 2 núcleos más marcados. En el sector sur las altas concentraciones de huevos ocurrieron en el mismo rango



latitudinal pero los huevos de sardina común se presentarían más cercanos a la costa que los huevos de anchoveta.

El diagrama Hovmöller para representar la evolución temporal y espacial de la abundancia promedio de huevos. Desde el año 2002 al 2016, en la banda costera, la distribución de huevos de anchoveta fue más amplia espacialmente (desde 33° a 39.5°S) que la de huevos de sardina común (desde 35.5° a 39.5°S), particularmente en los primeros 5 años. En el año 2007 se observó que la distribución se amplió en ambas especies. Las mayores abundancias promedio de huevos de anchoveta desde el año 2002 al 2007 en la banda costera, se localizaron en dos zonas (35°-37°S y 39°S), luego, se concentran en la zona sur (39°S) y finalmente vuelven a separarse hacia las dos zonas originales, llegando la zona central a alcanzar mayores abundancias que la zona sur. Los huevos de sardina común, en cambio, se ubicaron durante todo el período en la zona sur (39°S) pero, posterior al 2007, comenzaron un agregarse también en la zona central, llegando a presentar sus mayores abundancias en esa zona en los últimos años.

El análisis de desplazamientos latitudinales de los centros de masas (centroides) de las distribuciones de huevos de ambas especies mostró en la zona toral de muestreo indicó que: i) que los centros de masa de todos los huevos ambas especies se presentaron siempre en la zona sur (al sur de 37°S); que habría habido un desplazamiento general hacia menores latitudes, ocurriendo este desplazamiento primero en anchoveta que en sardina común, iii) un patrón temporal diferente entre las secciones: en la zona central las ubicación fue altamente variable entre años y entre especies mientras que en la zona sur mostraron ambas especies un patrón de movimiento latitudinal aparentemente alternante norte-sur.

El análisis de los resultados de estos tres tipos de métodos (mapas de distribución, diagramas Hovmöller y desplazamiento de centros de masas), sugieren que: i) ha habido años en que modificaron simultáneamente las distribuciones ambas especies (2007), ii) que en una escala espacial mayor (toda la zona-centro sur) ambas especies variaron desplazándose en una misma dirección (centros de masa hacia el norte) los años sucesivos y, por otro lado, iii) que las respuestas de cada especie variaron en cada sector no fueron necesariamente las mismas simultáneamente. Los dos primeros casos es probable que correspondan a respuestas a forzantes atmosféricos-oceanográficos de mayor escala tales como variaciones en la posición del giro central del Pacífico sur u otros procesos de gran envergadura como intensificación de la Corriente de Deriva del Oeste (Medellín-Mora et al. 2016). Por otro lado, las variaciones individuales a nivel de sectores (norte, centro sur) de nuestro estudio parece responder a procesos de menor escala que no necesariamente se dan con una misma intensidad en cada sector dada las diferentes características batinétricas, morfología de costa, presencia de bahías, desembocadura de ríos con distintos caudales, entre otros. Cada uno de estos procesos de menor escala es posible que gatille respuestas también diferentes entre las especies ya que los requerimientos de cada una e ellas pueden ser diferentes, tal como ha sido observado entre anchovetas y sardinas a nivel trófico que cohabitan otros sistemas de surgencia costera (van der Lingen et al 2006).



Finalmente, el análisis entre las series de tiempo de pluviosidad, caudales de ríos y abundancia de huevos en las plumas de los principales ríos (BioBo, Itata, Toltén, Valdivia) señalaron correlaciones positivas entre la abundancia de huevos de sardina común con los ríos y pluviosidad de ambas zonas (excepto Toltén) mientras que solo con los ríos y pluviosidad de la zona central en el caso de los huevos de anchoveta. Las mayores abundancias de huevos de anchoveta y sardina común estuvieron vinculadas a valores de caudales y precipitaciones cercanos al promedio histórico. La presencia de huevos de ambas especies en las zonas adyacentes a los ríos Itata, Biobío, Toltén y Valdivia concuerda con lo reportado por Sepúlveda et al. (2000) y Soto-Mendoza et al. (2010). La gran abundancia presentada en zonas costeras adyacentes a ríos, se puede atribuir a la generación de plumas y estructuras de mesoesacala como frentes hialinos capaces de retener o transportar organismos planctónicos fuera de la zona costera (Drinkwater & Frank 1994). Finalmente, los cambios en la abundancia de huevos podrían estar asociados por una parte a que los organismos están expuestos a fuertes oscilaciones térmicas y salinas presentes en estas zonas y por otro lado, a variaciones en la descarga de los ríos por condiciones anómalas como sequías o grandes lluvias asociadas a procesos atmosféricos de escala regional, o a aumentos/disminuciones desmedidas de caudal por causas antropogénicas (represas), que en la zona costera puede generar además de transporte en el borde de las plumas de los ríos, causar importantes cambios en la estratificación vertical y boyantez de los huevos (Armstrong et al. 2003; Garcés-Vargas et al. 2013; Giesecke et al. 2017).

En relación con la estimación de la biomasa desovante de los pelágicos pequeños, se destaca que la fracción diaria de hembras desovantes y la producción diaria de huevos como aquellos parámetros que más están incidiendo en las estimaciones de biomasa desovante de ambas especies. Al respecto, y como se introdujo en estudios previos, las estimaciones de producción diaria de huevos incorporan una ponderación por el índice de agregación de Lloyd de las cohortes de huevos diarias. El procedimiento no afecta al valor esperado de las estimaciones, más bien pondera la distribución de la varianza de las cohortes diarias que en parte se explica por los procesos de dispersión-agregación y por la abundancia de huevos. Las bases teóricas se basan en MacGurk (1986, 1987), quien demuestra que la mortalidad de huevos puede ser explicada por el índice de agregación de Lloyd.

La biomasa desovante de la anchoveta (207744 t) fue 7,36 veces la biomasa estimada en la campaña del 2016 (28197 t) (**Figura 66**, Cubillos et al., 2017), lo cual coincidió con la tendencia creciente de la estimación hidroacústica de biomasa de reclutas observada en las prospecciones de verano (enero) de los años 2017 al 2019 (Saavedra et al., 2017, 2019). El incremento de la biomasa total que se observó en el 2018 se debió principalmente al incremento de la producción diaria de huevos en el sector sur, ya que el área de desove de la anchoveta en ese sector se mantuvo muy similar entre las campañas del 2016 (3906 Km²) y 2018 (3787 Km²), mientras que la producción diaria de huevos aumentó considerablemente en el 2018 (1603,6 huevo/m²/día) con respecto al 2016 (205,67 huevo/m²/día).

En el caso de la sardina, la biomasa del 2018 (107559 ton) aumentó con respecto al año 2016 (70296 ton) (**Figura 66**, Cubillos et al., 2017). Este aumento coincidió con la estimación hidroacústica de biomasa de reclutas, la cual se incrementó levemente (12 %) con respecto a enero del 2017 (Saavedra et al., 2017, 2019). Este aumento en biomasa observado en sardina, al igual que la anchoveta, se

debió al aumento de la producción diaria de huevos, sin embargo, en esta especie el incremento fue más notorio en el sector centro.

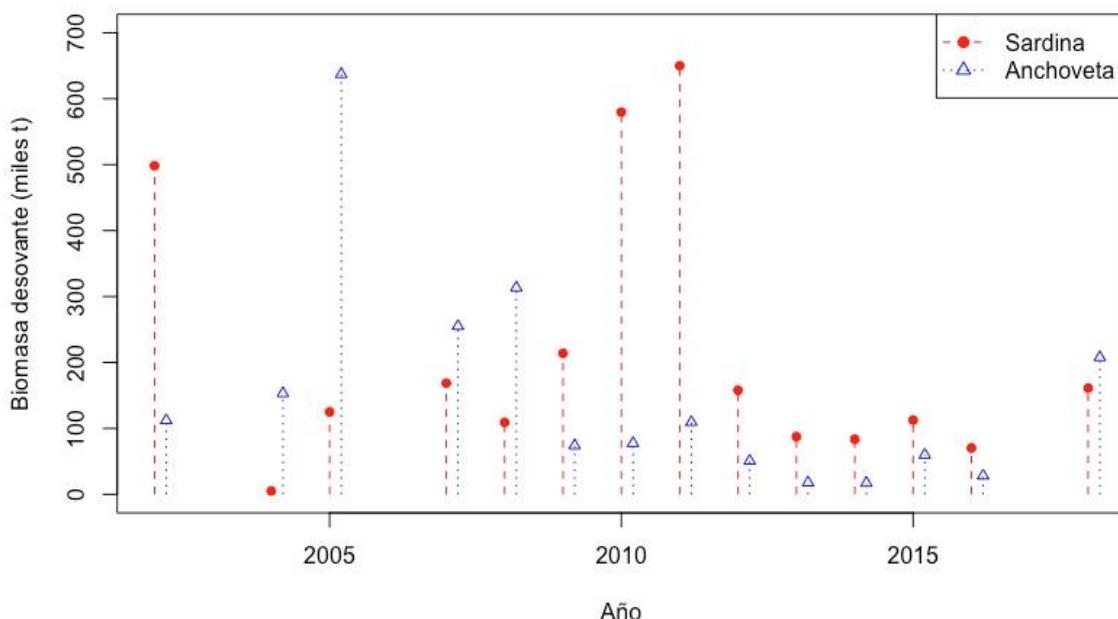


Figura 66. Comparación de la biomasa desovante de sardina común y anchoveta evaluada con el método de la producción diaria de huevos, 2002-2018.

Respecto de un índice de abundancia de huevos, la estructura del error es fundamental. Para el conteo de huevos, la distribución binomial negativa explicó la densidad de huevos más que Poisson o Tweedie. Por otra parte, dada la alta presencia de ceros, éstos pueden ser tratados para modelar una probabilidad de encuentro de huevos, y utilizar un modelo separado para la densidad de huevos. En este contexto, surge un modelo Gamma para el condicionamiento a valores positivos de conteo. Lo anterior, en presencia de un proceso espacial autocorrelacionado permiten considerar un índice estandarizado que tome en cuenta simultáneamente cambios temporales, espaciales y espacio-temporales puede ser de utilidad para los evaluadores de stocks; antes de contar con la estimación de biomasa desovante.

El índice de densidad de huevos de anchoveta indica una recuperación desde el 2016 al 2018. En la sardina, en cambio, mostró una disminución importante en 2018. La relación entre el índice de densidad de huevos con la evaluación independiente, se consideró la biomasa acústica de reclutas evaluada en enero de cada año. La relación no fue significativa, ni en sardina común ni en anchoveta. El mejor modelo fue el de Ricker en sardina común que explicó 31,2% de la tasa de reclutamiento. Sin embargo, se debe indicar que esta relación empírica no debe ser interpretada en el sentido que la densidad de huevos sea un buen índice del reclutamiento. En estos aspectos, es mejor utilizar una



aproximación integrada mediante modelos biofísicos realistas, que permitan generar un proxy del reclutamiento. En este contexto, es imprescindible considerar otras variables que estén incidiendo en la sobrevivencia de huevos y fase prerrecluta.

Uno de los aspectos importantes del MPDH de anchoveta es su cobertura espacial, ya que cubre los tres stocks de Chile, norte (XV, I y II regiones), norte-centro (III a IV regiones) y centro-sur (V a X regiones). Las tres evaluaciones de stock se realizan en el pico reproductivo correspondiente a la zona, por lo tanto, se pueden estudiar respuestas biológicas a través de todo el rango latitudinal de anchoveta en Chile. Es así que al comparar la fecundidad parcial entre los tres stocks (**Figura 67A**) se comprueba lo reportado por Claramunt *et al.* (2012), quienes señalan una mayor fecundidad de anchoveta en la zona norte. Esta mayor fecundidad en la zona norte no estaría explicada por el tamaño del ovario, ya que las hembras de un mismo peso corporal tienen el mismo peso de ovario en las tres zonas (**Figura 67B**). Por lo tanto, si hembras de un mismo peso corporal tienen diferente número de ovocitos por gramo de ovario, se explicaría por un cambio en el número de ovocitos y no por un cambio en el peso del ovario (**Figura 67C**). De este modo, en el norte un gramo de ovario contiene más ovocitos que en el sur, es decir en el sur los ovocitos son más grandes. Variaciones en el tamaño del huevo en un gradiente latitudinal ya ha sido descrito por diversos investigadores (Castro *et al.*, 2002; Castro *et al.*, 2009; Leal *et al.*, 2009). Estas investigaciones han demostrado que en latitudes mayores los huevos tienen un mayor tamaño. Sin embargo, un aspecto preocupante es el aumento del número de ovocitos por unidad de peso de ovario que se observó en la serie de tiempo del norte y centro-sur, lo que estaría indicando una reducción en el tamaño del huevo (**Figura 67D**), situación que debiera ser corroborada con mediciones en el plancton, debido a las probables consecuencias que podría esta reducción sobre su sobrevivencia y la sobrevivencia de las larvas. La relación entre tamaño de huevo y la calidad de las larvas ha sido descrita por Marteinsdottir & Steinsson (1998). Ellos demostraron que huevos grandes producen larvas más grandes y robustas, capaces de buscar alimento en mayores volúmenes de agua, evadir predadores y crecer más rápido, reduciendo la tasa de mortalidad.

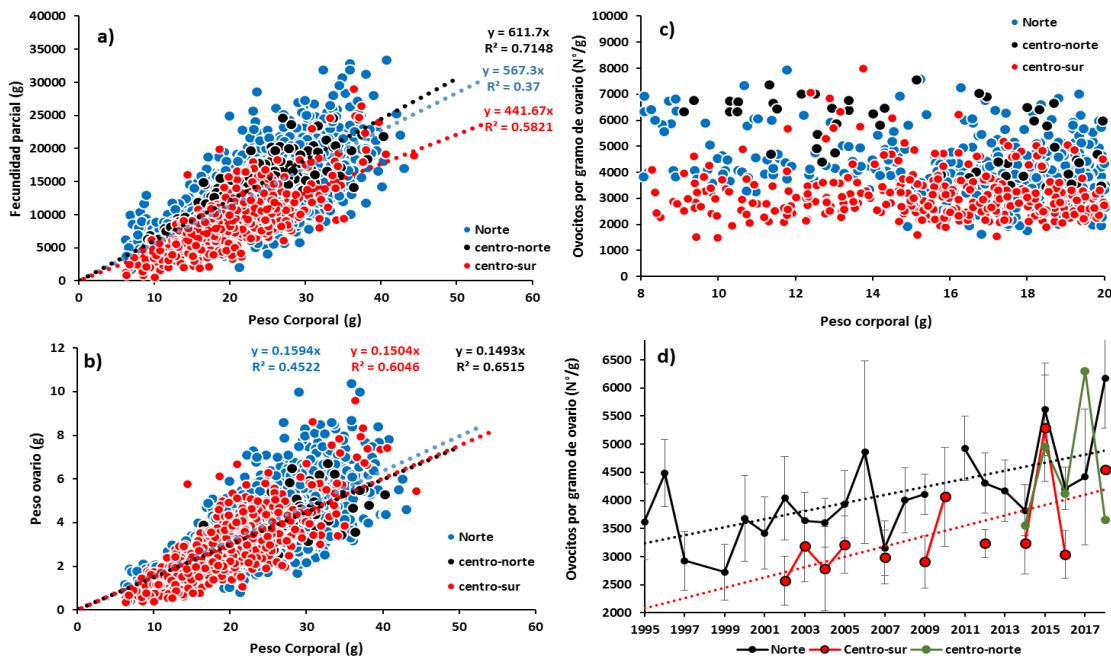


Figura 67. Relaciones entre variable reproductivas en las tres zonas en que se aplica el MPH. A) Fecundidad y peso corporal. B) Peso ovario y peso corporal. C) Número de ovocitos por gramo de ovario em función del peso corporal. XV, I y II regiones en azul. III y IV regiones en negro. V a X regiones en rojo. D) Ovocitos por gramo de ovario promedio.

Los modelos GAMs, utilizados para relacionar la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común con la abundancia de mesozoopláncton indicaron que las zonas de mayor abundancia de huevos de ambas especies tendieron a coincidir con las de mayor abundancia de apendicularias y menores abundancias de potenciales depredadores (quetognatos y medusas). Los quetognatos tendieron a ocurrir alejados de la costa, por lo que la sobreposición de este grupo de predadores con el ictioplancton fue baja. Este patrón de no-sobreposición de huevos y predadores gelatinosos ya ha sido observado previamente en la zona central de Chile, durante el periodo de desove de la anchoveta, cuando los predadores gelatinosos tienden a presentarse en zonas oceánicas y el ictioplancton en zonas costeras (Castro *et al.*, 2000). Por otro lado, en esta campaña se observó que la densidad de eufáusidos no tuvo un efecto sobre la densidad de huevos, patrón que no es concordante con observaciones de las zonas de desove en el norte de Chile, donde los eufáusidos coocurren con los huevos y larvas de anchoveta en zonas más alejadas de la costa, pudiendo consumir hasta un 25 % del stock de huevos presentes en la zona de desove (Krautz *et al.*, 2007).

Cabe mencionar que ni los huevos de sardina ni los de anchoveta mostraron una relación clara con las agregaciones de diatomeas y copépodos, componentes importantes de la dieta de ambas especies (Saavedra *et al.*, 2018). Esta baja relación entre la disponibilidad del alimento y la abundancia de huevos sugiere que el área de desove no solo está determinada por la oferta alimenticia, sino más



bien con otros factores que son importantes para la sobrevivencia de los huevos, como, por ejemplo, el bajo número de potenciales depredadores, como quetognatos y medusas.

Cabe destacar que las condiciones hidrodinámicas también pudieron haber determinado la distribución de los huevos y de las larvas en esta zona (Soto-Mendoza *et al.*, 2012), mediante mecanismos físicos de retención. Los resultados de este estudio muestran una zona con abundancias relativamente altas de huevos y larvas de sardina y anchoveta en el sector sur, entre la desembocadura del río Imperial y la isla Mocha. Entre esta isla y el borde continental existe un banco cuya profundidad no supera los 50 m. Se ha demostrado que los bancos e islas actúan como obstáculos para los flujos costeros y generan áreas de retención altamente productivas en sus sotaventos (Wolanski & Hamner 1988; Rissik *et al.*, 1997; Barth *et al.*, 2005). Por ejemplo, en el sotavento del banco Heceta, en las costas de Oregon, los flujos son más lentos y los tiempos de residencia son mayores, lo cual favorece un aumento en la biomasa fitoplanctónica. (Barth *et al.*, 2005). La dinámica de los flujos costeros en el banco submarino de la Isla Mocha podría ser similar a lo observado en el banco Heceta y generar una mayor retención de huevos y condiciones favorables para que las larvas de peces sobrevivan. También, se observó altas abundancias en zonas costeras adyacentes a ríos, como el río Imperial, lo cual podría atribuirse a la generación de plumas y estructuras de mesoesacala como frentes hialinos capaces de retener organismos planctónicos cerca de la zona costera (Drinkwater & Frank, 1994) como los huevos de estas especies.

El análisis de los resultados de la variabilidad interanual de la abundancia y distribución de huevos de ambas especies indicó que a partir del año 2007 los huevos se desplazaron hacia el norte y que las abundancias promedio de estaciones positivas comenzaron a disminuir. Esta disminución en su abundancia y cambio en su distribución a partir del año 2007 coincidió con el desplazamiento hacia el sur del centro de alta presión del anticiclón del pacífico sur. Efectivamente, en otros trabajos también se ha documentado que cambios ambientales de gran escala pueden influenciar la biología reproductiva de peces pelágicos y por lo tanto tener un efecto en la abundancia de huevos. Por ejemplo, Contreras-Reyes *et al.* (2016) mostraron una tendencia positiva en el índice gonadosomático de la anchoveta después del 2002 hasta el 2010, que coincidió con un predominio de una condición fría. Por otro lado, Claramunt *et al.* (2014) sugieren que un cambio en la duración del periodo de desove de anchoveta parece coincidir con el cambio de régimen de temperatura reportado a mediados de los años 80. Estos resultados sugieren que los cambios ambientales de gran escala controlados por forzantes atmosféricas y oceanográficas podrían estar determinando la variabilidad interanual en el desove de estos peces pelágicos.

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es uno de los procesos climático de variabilidad interanual más destacado en el Pacífico tropical (Parada *et al.*, 2013), que tiene impactos sobre la variabilidad climática de la región centro-sur de Chile mediante la teleconexión atmosférica (Montecinos & Gomez, 2010). Se ha visto que el ENOS influye en el inicio de la surgencia costera en la región centro-sur de Chile, que parece afectar negativamente el reclutamiento de sardina común (Gomez 2008; Montecino & Gomez, 2010). Los resultados presentados en este informe respaldan lo reportado por Gomez *et al.* (2008), ya que las oscilaciones de temperatura asociadas al ENOS tuvieron un efecto negativo sobre la abundancia de huevos de sardina común, lo cual es clave para un reclutamiento exitoso. En el caso

de la anchoveta la relación negativa entre la abundancia de huevos y la anomalía de temperatura interanual fue menos clara. A pesar de que el efecto de las fluctuaciones interanuales sobre la abundancia y cobertura de huevos no fue el mismo entre la anchoveta y la sardina común, ambas presentaron la mayor abundancia y cobertura de huevos durante la prospección del 2007, lo cual sugiere que la condición fría, asociada a La Niña 2007, favoreció el desove y/o la sobrevivencia de los huevos. Efectivamente, durante condiciones frías la surgencia se intensifica y la termoclina se hace más somera (Yáñez et al., 2008; Montecino & Gómez 2010), lo cual favorecería la productividad biológica y con ello la sobrevivencia de los primeros estadios larvales de los peces y posiblemente crearía un ambiente óptimo para el desove de las hembras adultas.

Particularmente, durante la condición fría, asociada a La Niña 2007, la cobertura y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común fueron las mayores de la serie y más altas que las observadas durante el crucero del 2015, asociado El Niño 2015-16, uno de los eventos más fuerte de las últimas dos décadas. Esto podría ser explicado por la mayor cobertura de concentraciones de clorofila-a > 5 ug/L que se observó en agosto de 2007, en comparación con agosto de 2015 (**Figura 68**). La clorofila-a es un buen indicador de la disponibilidad del fitoplancton en el océano, lo cual es un componente importante de la dieta de estos peces pelágicos pequeños, por lo tanto, una alta concentración de clorofila podría generar un ambiente favorable para su sobrevivencia y la sobrevivencia de sus estadios tempranos.

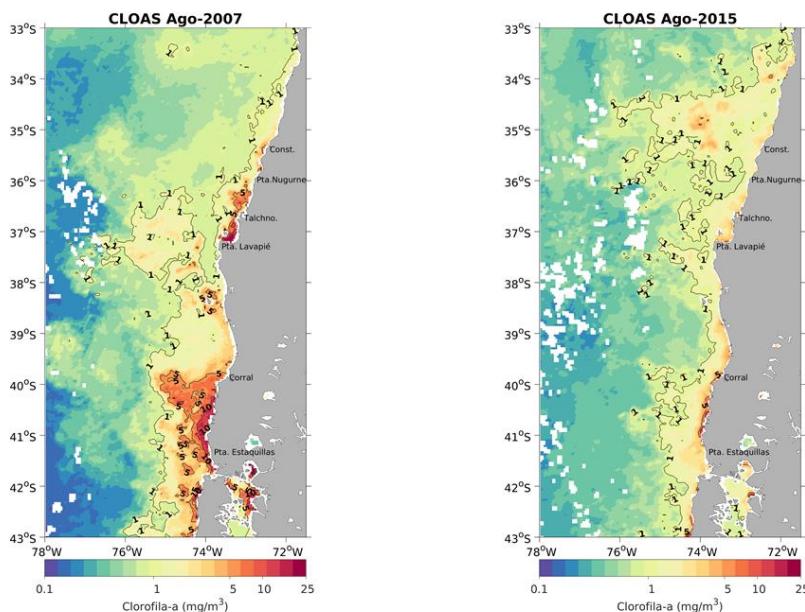


Figura 68. Mapa de distribución espacial de clorofila satelital del mes de agosto de los años 2007 y 2015.



IX CONCLUSIONES

1. En la campaña del 2018 se observó un aumento de la abundancia de huevos de anchoveta en el sector sur y una disminución en el sector centro en relación a lo observado en la campaña del año 2016.
2. En la campaña del 2018 hubo una disminución de la abundancia de huevos de sardina común en los sectores centro y sur en relación a lo observado en la campaña del año 2016.
3. Las zonas de mayor abundancia de huevos de ambas especies coincidieron con las de mayor abundancia de apendicularias y menores abundancias de potenciales depredadores (medusas y quetognatos).
4. La estructura de tallas de ambos recursos mostró diferencias entre los sectores centro y el sur, encontrándose ejemplares de mayor tamaño en el sector centro, donde la talla media de anchoveta y sardina fue de 15,7 cm y 13 cm de longitud total, respectivamente.
5. En relación a lo reportado la prospección del 2016 los centros de desove en el área total mostraron un desplazamiento hacia el sur para el caso de la anchoveta y hacia el norte para el caso de la sardina común.
6. La anchoveta tuvo una producción diaria de huevos mayor en el sector sur (1603,6 huevos/m²/día) que en el sector centro (145,5 huevos/m²/día), mientras que la sardina común mostró una producción diaria de huevos mayor en el sector centro (1184,4 huevos/m²/día) que en el sector sur.
7. El análisis histológico de los ovarios indicó que el 99% de las hembras de anchoveta y el 82% de las hembras de sardina común se encontraron activas en el área total, lo cual indica que el crucero se desarrolló en un periodo de alta actividad reproductiva.
8. La biomasa desovante de anchoveta fue de 207744 toneladas (CV=25,1 %) y de sardina común fue de 107559 toneladas (CV=25,2 %), 7,36 y 1,53 veces la estimada durante la campaña 2016 respectivamente.
9. A partir del año 2007 la abundancia promedio de estaciones positivas de huevos de sardina común y anchoveta comenzaron a disminuir. Esta disminución a partir del año 2007 coincidió con el desplazamiento hacia el sur del centro de alta presión del anticiclón del pacífico sur.



X. REFERENCIAS

- Aguirre, C., Pizarro, Ó., Strub, P. T., Garreaud, R., & Barth, J. A. (2012). Seasonal dynamics of the near-surface alongshore flow off central Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 117(1), 1–17. <https://doi.org/10.1029/2011JC007379>.
- Alday, A., Uriarte, A., Santos, M., Martín, I., Martínez de Murguia, A., & Motos, L. (2008). Degeneration of postovulatory follicles of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.). *Scientia Marina*, 72(3), 565 - 575.
- Alheit, J., Alarcón, V.H., & Macewics, B.J. (1984). Spawning frequency and sex ratio in the Peruvian anchovy, *Engraulis ringens*. *CALCOFI Reports*, 25, 43 - 52.
- Barth, A., Alvera-Azcárate, A., Troupin, C., Ouberdoos, M., & Beckers, J.M. (2010). A web interface for gridding arbitrarily distributed in situ data based on Data-Interpolating Variational Analysis (DIVA). *Advances in Geosciences*. 28, 29 - 37.
- Barth, J. A., Pierce, S. D., & Castelao, R.M. (2005). Time-dependent, wind-driven flow over a shallow midshelf submarine bank. *Journal of Geophysical Research* 110, C10S05, doi:10.1029/2004JC002761
- Bernal, M., Borchers, D.L., Valdés, L., Lanzós, A.L., & Buckland, S.T. (2001). A new ageing method for eggs of fish species with daily spawning synchronicity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 2330 - 2340.
- Bernal, P., Robles, L., & Rojas, O. (1982). Variabilidad física y biológica en la región meridional del sistema de corrientes Chile-Perú. *Mon. Biol.*, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2, 75 - 102.
- Bonicelli, J., Moffat, C., Navarrete, S. a., Largier, J. L., & Tapia, F. J. (2014). Spatial differences in thermal structure and variability within a small bay: Interplay of diurnal winds and tides. *Continental Shelf Research*, 88, 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.07.009>
- Brown, E., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., & Wright, J. (2001). Ocean Circulation. In Chapter 6.4: Oceanic mixing and temperature-salinity diagrams. Prepared Open University Oceanography Course Team. 250p.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., & Catasti, V. (2000). Evaluación de la biomasa y distribución espacial de anchoveta y sardina común. Primavera (1999). En: Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile. Informes Técnicos FIP – 99-13, 138 p.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., & Catasti, V., (2001). Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2000. FIP 2000-09, 151 p.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Saavedra, A. Catasti, V., Núñez, S., Ortiz, J., Barría, P. Arriagada, G., Braun, M., & Galindo, G. (2002a). Evaluación Hidroacústica del stock desovante de anchoveta y sardina común, Centro-Sur, 2001. FIP 2001-14.



- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Saavedra, A., Catasti, V., Núñez, S., Ortiz, J., Barria, P., Arriagada, G., Braun, M., & Galindo, G. (2002b). Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común, centro-Sur, 2001-2002. FIP 2001-13.
- Castillo, J., Saavedra, A., Gálvez, P., Barria, P., Espejo, M., & Barbieri, M.A. (2004). Evaluación acústica biomasa, abundancia, distribución espacial y caracterización de cardúmenes. En: Evaluación hidroacústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2003. FIP 2003-08.
- Castro LR., Llanos-Rivera, A., Blanco, JL., Tarifeño, E., Escribano, R., Landaeta, M. (2002). Latitudinal variations in spawning habitat characteristics: influence on the early life history traits of the anchoveta, *Engraulis ringens*, off northern and central Chile. GLOBEC Report, 16, 42-45.
- Castro, L., Claramunt, G., Krautz, M.C., Llanos-Rivera, A., Moreno, P. (2009). Egg trait variation in anchoveta *Engraulis ringens*: a maternal response to changing environmental conditions in contrasting spawning habitats. *Marine Ecology Progress Series*. 381, 237 – 248.
- Castro, L.R., & Hernandez, E. (2000). Early Life Survival of the Anchoveta *Engraulis ringens* Off Central Chile during the 1995 and 1996 Winter Spawning Seasons. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129, 1107 - 1117.
- Claramunt, G., Castro, L.R., Cubillos, L.A., Hirche, H.-J., Perez, G., & 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. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572012000200006>.
- Claramunt, G., Cubillos, L. A., Castro, L., Hernández, C., Arteaga, M. (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., Cubillos, L., Braun, M., Serra, R., Canales, M., Sánchez, J., Flores, A., Moreno, P., Riquelme, K., Castillo, C., & Valero, C. (2007). Mejoramiento del método de producción de huevos aplicado a pelágicos pequeños en Chile. FIP 2006 - 19, 214 p.
- Contreras-Reyes, J. E., Canales, T. M., Rojas, P. M. (2016). Influence of climate variability on anchovy reproductive timing off northern Chile. *Journal of Marine Systems*. 164: 67 – 75.
- Correa-Ramirez, M. A., Hormazábal, S., & Yuras, G. (2007). Mesoscale eddies and high chlorophyll concentrations off central Chile (29°-39°S). *Geophysical Research Letters*, 34(12). <https://doi.org/10.1029/2007GL029541>
- Cubillos, L., & Arancibia, H. (1993). On the seasonal growth of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off Talcahuano, Chile. *Rev. Biol. Mar. (Valparaíso)*, 28(1), 43 - 49.
- Cubillos, L., Canales, M., Hernández, A., Bucarey, D., Vilugrón, L., & Miranda, L. (1998). Poder de pesca, esfuerzo de pesca y cambios estacionales e interanuales en la abundancia



- relativa de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en el área frente a Talcahuano, Chile (1990-97). *Investigaciones Marinas Valparaíso*, 26, 3 - 14.
- Cubillos, L., Castro L., & Claramunt, G. (2009). Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2008. Informe Técnico, FIP 2008-09.
- Cubillos, L., Castro L., & Claramunt, G. (2011). Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2010. Informe Técnico, FIP 2010-02
- 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.
- Cubillos, L., Núñez, S., Ruiz, P., & Véjar, F. (2003). Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2002. Informe Final, FIP 2002-14, 127 p.
- Cubillos, L.A., Arcos, D.F., Canales, M., & Bucarey, D., (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, 115 - 124.
- Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., & Navarro, E. (2015). Evaluación de la biomasa desovante y descripción de las condiciones oceanográficas 2014. En: Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2014". Convenio de desempeño 2014, Instituto de Fomento Pesquero, 190 p.
- Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., & Soto, S., (2017). Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2016. Convenio Desempeño 2016, Instituto de Fomento Pesquero.
- Cubillos, L.A., Ruiz, P., Claramunt, G., Gacitúa, S., Núñez, S., Castro, L.R., Riquelme, K., Alarcón, C., Oyarzún, C., & Sepúlveda, A. (2007). Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central southern Chile in 2002. *Fisheries Research*, 86, 228 - 240.
- Drinkwater, K. F., & Frank, K. T. (1994). Effects of river regulation and diversion on marine fish and invertebrates. *Aquatic Conservation: Freshwater and Marine Ecosystem*, 4, 135 - 151.
- Einarsson, H., & Rojas, B. (1963). Descripción de huevos y larvas de anchoveta peruana (*Engraulis ringens* J.). *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, Callao, 1(1), 1 - 23.
- Fischer, W. (1958). Huevos, crías y primeras prelarvas de la anchoveta (*Engraulis ringens*), Jenyns. *Revistas de Biología Marina*, Valparaíso, 8(1, 2, y 3), 111 - 124.
- Fitzhugh, G.R., & Hettler, W.F. (1995). Temperature influence on postovulatory follicle degeneration in Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus*. *Fish. Bull.*, 93, 568 - 572.
- Galias, K., Somarakis, S., Machias, A., & Theodorou, A.J., 2003. Evaluation of spawning frequency in a Mediterranean sardine population (*Sardina pilchardus sardina*). *Mar. Biol.*, 142, 1169 - 1179.



- Graham, W. M. (1993). Spatio-Temporal Scale Assessment of an “Upwelling Shadow” in Northern Monterey Bay, California. *Estuaries*, 16(1), 83. <https://doi.org/10.2307/1352766>
- Herrera, G., Tarifeño, E., & Orellana, M.C. (1987). Descripción de huevos y primeras fases larvales de la sardina común (*Strangomera bentincki*) y del machuelo (*Ethmidium maculatum*). *Biología Pesquera*, 16, 107-113.
- Hunter, J. R., Lo, N. C. H., & Leong, R. J. H. (1985). Batch fecundity in multiple spawning fishes. 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, 67 - 77.
- Hunter, J., & Lo, N.C.H. (1993). Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. *Bulletin of Marine Science*, 53, 723 - 727.
- Hunter, J., & Lo, N.C.H. (1997). The daily egg production method of biomass estimation: some problems and potential improvements. *Ozeanografika*, 2, 41-69.
- Hunter, J.R., & Goldberg, S.R. (1980). Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin*, 77, 641 - 652.
- Hunter, J.R., & Macewicz, B.J. (1985). Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fishery Bulletin*, 83(2), 119 - 136.
- Krautz M.C., Castro, L. R., & González, M. (2007). Interaction of two key pelagic species of the Humboldt Current: Euphausiid predation on anchoveta eggs estimated by immunoassays. *Marine Ecology Progress Series*, 335, 175 - 185
- Lasker, R. (ed.) (1985) 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.
- Leal E., Castro, L., Claramunt, G. (2009). Variability in oocyte size and batch fecundity in anchoveta (*Engraulis ringens*) from two spawning areas off the Chilean coast. *Scientia Marina*, 73(1), 59 - 66.
- Letelier, J., Pizarro, O., Nuñez, S. (2009). Seasonal variability of coastal upwelling and the upwelling front off central Chile. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114 (12).
- Llanillo, P.J., Pelegrí, J.L., Duarte, CM., Emelianov, M., Gasser, M., Gourrion, J., & Rodríguez-Santana, A. (2012). Meridional and zonal changes in water properties along the continental slope off central and northern Chile. *Ciencias Marinas*, 38(1B), 307 - 332.
- Lo, N. C. H. (1985). A model for temperature-dependent northern anchovy egg development. 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, 43 - 50.



- Lo, N.C.H., Hunter, J.R., & Carter, R. (2001). Use of a continues egg sampler for ichthyoplankton surveys: application to the estimation of daily egg production of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) off California. *Fish. Bull.*, 99, 554 - 571.
- Macewicz, B., & Hunter, R. (1993). Spawning frequency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California during 1991. *CalCOFI Rep.*, 34, 112 - 121.
- Marcotte, D., (1991). Cokriging with MATLAB. *Computers and Geosciences*, 17, 1265 – 1280.
- Marteinsdottir, G., & Steinarsson, A. (1998). Maternal influence on the size and viability of Icelandic cod *Gadus morhua* eggs and larvae. *Journal of Fish Biology*, 52, 1241 - 1258.
- McGurk, M.D. (1986). Natural mortality of marine pelagic fish eggs and larvae: Role of spatial
- McGurk, M.D. (1987). Natural mortality and spatial patchiness: reply to Gulland. *Marine Ecology Progress Series*. 39, 201 - 206.
- Millero, F., & Poisson, A. (1981). International one-atmosphere equation of state of seawater. *Deep-Sea Res*, 28A (6), 625-629.
- Miranda, A., Cal, R.M., & Iglesias, J. (1990). Effect of temperature on the development of eggs and larvae of sardine *Sardina pilchardus* (Walbaum) in captivity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 140, 69 - 77.
- Montecinos A., A. & Gomez, F. (2010) ENSO modulation of the upwelling season off southern-central Chile. *Geophysical research letters*, VOL. 37, L02708, doi:10.1029/2009GL041739.
- Morales, C. E., Hormazabal, S., Correa-Ramirez, M., Pizarro, O., Silva, N., Fernandez, C., ... Torreblanca, M. L. (2012). Mesoscale variability and nutrient-phytoplankton distributions off central-southern Chile during the upwelling season: The influence of mesoscale eddies. *Progress in Oceanography*, 104, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2012.04.015>
- Moser, H. G. & Ahlstrom, E.H. (1985). Staging anchovy 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, 37-41.
- Motos, L. (1994). Estimación de la biomasa desovante de la población de anchoa del golfo de Vizcaya, *Engraulis encrasicolus*, a partir de su producción de huevos. Bases metodológicas y aplicación. Tesis de doctorado, Leioa, España.
- Navarro, E., W. Schneider, J. & Letelier. (2004). Estimation of onshore-offshore transport off central Chile by means of Maximum Cross-Correlation using satellite derived SST. *Pan Ocean Remote Sensing Conference-2004*. Tomo II, Gayana, 68(2), 427 - 431
- Oliva, J., Braun, M., Cordova, Castillo, J., Valenzuela, V., Catasti, V., Blanco, J., & Martínez, C., (2000). Evaluación del stock desovante de la anchoveta en la I y II Regiones, 1999. Informe Técnico FIP 99-10, 97 p.
- Oliva, J., Montenegro, C., Braun, M., Rojas, O., Díaz, E., Catasti, V., Reyes, H., Barría, P., Serra, R., Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Pizarro, J., Escribano, R., & Oliva, M., (2001).



Evaluación del stock desovante de anchoveta en la I y II Regiones, año 2000. Informe Técnico FIP 2000-06, 116 p.

- Parada, C., Yannicelli, B., Hormazábal, S., Vásquez, S., Porobić, J., Ernst, B., Gatica, C., Arteaga, M., Montecinos, A., Núñez, S., Gretchina, A. (2013). Variabilidad ambiental y recursos pesqueros en el Pacífico suroriental: estado de la investigación y desafíos para el manejo pesquero. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 41(1): 1-28.
- patchiness. *Marine Ecology Progress Series*. 34, 227 - 242.
- Pepin, P. (1991). Effect of temperature and size on development, mortality and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48, 503 – 518.
- Picquelle, S.J. & Stauffer, G. (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.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org/>)
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (<https://www.R-project.org/>)
- Renault, L., Dewitte, B., Falvey, M., Garreaud, R., Echevin, V., & Bonjean, F. (2009). Impact of atmospheric coastal jet off central Chile on sea surface temperature from satellite observations (2000-2007). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 114(8), 1–22. <https://doi.org/10.1029/2008JC005083>
- Rissik D., Suthern, I. M., & Taggart, C.T. (1997). Enhanced zooplankton abundance in the lee of an isolated reef in the south Coral Sea: the role of flow disturbance. *Journal of Plankton Research*, 19 (9), 1347 - 1368.
- Saavedra A., Catasti, V. (2019). Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2019. Informe de Avance, Convenio de desempeño 2018, Instituto de Fomento Pesquero.
- Saavedra A., Vargas, R., Catasti, V., Lang, C. (2018). Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2018. Informe Final, Convenio de desempeño 2017, Instituto de Fomento Pesquero.
- Saavedra A., Vargas, R., Lang, C. (2017). Evaluación hidroacústica de los stocks de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2017. Informe Final, Convenio de desempeño 2016, Instituto de Fomento Pesquero.
- Santander, H., J. Alheit & Smith, P.E. (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. Inst. Mar Perú*, Callao, 8, 209 - 250.



- Selman, K., & Wallace, R. (1989). Cellular aspects of oocyte growth in teleosts. *Zoological Science*, 6, 211 - 231.
- Sepúlveda, A. Cubillos, L., Nuñez, S., Canales, T., Bucarey, D., Rojas, A., Oliva, J., Barria, P., Diaz, E., Baros, V., & Miranda, H. (2000). Antecedentes biológicos del stock desovante de anchoveta y sardina común de la V a IX Regiones. Informe Técnico FIP, 97-04, 199 p.
- Silva, N., & Konow, D. (1975). Contribución al conocimiento de las masas de agua en el Pacífico Sudoriental. Expedición Krill. Crucero 3-4. Julio-Agosto 1974. Rev. Com. Perm. Pacífico Sur, 3, 63 - 75.
- Silva, N., Rojas, N., & Fedele, A. (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*, 56, 1004 - 1020.
- Smith, P.E., Flerx, W., & Hewitt, R.P. (1985). The CalCOFI vertical egg tow (CalVET) net. 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, 27 - 32.
- Sobarzo, M., Bravo, L., Donoso, D., Garcés-Vargas, J., Schneider, W. (2007) Coastal upwelling and seasonal cycles that influence the water column over the continental shelf off central Chile Progress in Oceanography. 75: 363-382.
- Somarakis, S., Koutsikopoulos, C., Machias, A., & Tsimenides, N. (2002). Applying the daily egg production method (DEPM) to small stock in highly heterogeneous seas. *Fisheries Research*, 55, 193 - 204.
- Somarakis, S., Palomera, I., García, A., Quintanilla, L., Koutsikopoulos, C., Uriarte, A., & Motos, L. (2004). Daily egg production of anchovy in European waters. *ICES Journal of Marine Science*, 61, 944 - 958.
- Soto-Mendoza, S., Parada, C., Castro, L., Colas, F., & Schneider, W. (2012). Modeling transport and survival of anchoveta eggs and yolk-sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. *Progress in Oceanography*, (92–95), 178 – 191.
- Stauffer, G. D., & Picquelle, S. J. (1980). Estimates of the 1980 spawning biomass of the central subpopulation of northern anchovy. *Natl. Mar. Fish. Serv., NOAA, Southw. Fish. Cent. Admin. Rep. LJ - 80-09*, 41 p.
- Thiel, M., Macaya, E.C., Acuña, E., Arntz, W.E., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P.A., Castilla, J.C., Castro, L.R., Cortés, M., Dumont, C.P., Escribano, R., Fernandez, M., Gajardo, J.A., Gaymer, C.F., Gomez, I., González, A.E., González, H.E., Haye, P.A., Illanes, J.-E., Iriarte, J.L., Lancellotti, D.A., Luna-Jorquera, G., Luxoro, C., Manriquez, P.H., Marín, V., Muñoz, P., Navarrete, S.A., Perez, E., Poulin, E., Sellanes, J., Sepúlveda, H.H., Stotz, W., Tala, F., Thomas, A., Vargas, C.A., Vasquez, J.A., Vega, J.M.A. (2007). The



Humboldt Current System of northern and central Chile - Oceanographic processes, ecological interactions and socioeconomic feedback. *Oceanography and Marine Biology*, 45, pp. 195-344.

Troupin, C., Machín, F., Ouberdoos, M., Sirjacobs, D., Barth, A., & Beckers, J.M. (2010). High-resolution Climatology of the North-East Atlantic using Data-Interpolating Variational Analysis (Diva). *Journal of Geophysical Research*. 115, C08005. doi: 10.1029/2009JC005512.

Tyberghein, L., Verbruggen, H., Klaas, P., Troupin, C., Mineur, F., & Clerck, O.D. (2011). ORACLE: a global environmental dataset for marine species distribution modeling *Global Ecology and Biogeography*. doi: 10.1111/j.1466-8238.2011.00656.x.

Valle-Levinson, A. (2003). Flow induced by upwelling winds in an equatorward facing bay: Gulf of Arauco, Chile. *Journal of Geophysical Research*, 108(C2), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2001JC001272>

Venables, W.N., & Ripley, B.D. (2002). Modern Applied Statistics with S, 4th ed. Springer-Verlag, New York.

Vergara, O., Echevín, V., Sepúlveda, H.H., Colas, F., & Quiñones, R.A. (2016). Modelling the seasonal dynamics of physical variables and the Peru-Chile Undercurrent off Central Chile (30°–40°S). *Continental Shelf Research*, 123, 61 - 79.

Wallace, R. & Selman, K. (1981). Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Amer. Zool.* 21, 325 - 343.

Wolanski E., & W. M. Hamner. (1988). Topographically Controlled Fronts in the Ocean and Their Biological Influence. *Science*, 241, 177 - 181.

Wood, S.N. (2003). Thin plate regression splines. *Journal of the Royal Statistical Society (B)*, 62, 95 - 114.

Yáñez, E., Barbieri, M.A., & Santillán, L. (1992). Long-term environmental variability and pelagic fisheries in Talcahuano, Chile. In: Payne, A.I., Brink, L., Mann, K.H., Hilborn, R. (Eds.), *Benguela Trophic Functioning*. *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 12, 175 - 188.

Yáñez, E., Hormazábal, S., Silva, C., Montecinos, A., Barbieri, M. A., Valdenegro, A., Órdenes, A., Gómez, F. (2008). Coupling between the environment and the pelagic resources exploited off northern Chile: ecosystem indicators and a conceptual model. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 36(2): 159-181.



ANEXO I: DETERMINACION DE EDAD

a) Método convencional: procedimiento automatizado de Lo

Para asignar la edad a los huevos, se utilizó el procedimiento automatizado de Lo (1985) con los modelos temperatura-estadio-dependiente descritos por Cubillos *et al.* (2007) y que permiten calcular la edad en función de la temperatura y el estadio de desarrollo. En el caso de la sardina común, se tiene:

$$Y_{D,T} = 15,98 \times \exp(-0,0631 \times T - 0,0198 \times D) \times D^{1,04},$$

y para el caso de la anchoveta:

$$Y_{D,T} = 18,1 \times \exp(-0,0789 \times T - 0,0542 \times D) \times D^{1,31}$$

donde $Y_{D,T}$ es la edad promedio estimada de los huevos para cada estadio y temperatura; T es la temperatura, y D es el estadio de desarrollo. Se usó la metodología de Lo (1985) para corregir la estimación de la edad al tiempo de la colecta de huevos considerando un tiempo cero que corresponde a la hora del desove. La hora del desove se calculó mediante el análisis de la incidencia del Estadio I de los huevos de ambas especies (sin división celular), determinándose que en la anchoveta y sardina común ocurre a las 24.6 h ($DS = 3.817$ h) y 23.1 h ($DS = 1.788$ h). La corrección consiste en ajustar la fracción del día desde la hora del desove hasta la colecta, considerando la siguiente expresión:

$$Y_{D,T,k} = Y_{D,T} + k - f$$

donde $Y_{D,T}$ es la edad estimada por el modelo, k es la hora de la colecta (lance), y f es la fracción remanente que surge de la suma de la hora estimada y la hora del desove menos 24 horas. Las decisiones de corrección según la hora de colecta son:

$$Y_{D,T,k} = \begin{cases} k < (f - g) \Rightarrow & y_{D,T} - g \\ (f - g) < k < (f + g) \Rightarrow & y_{D,T} + k - f \\ (f + g) < k \Rightarrow & y_{D,T} + g \end{cases}$$

donde g es el doble de la desviación estándar de la edad dentro de cada estadio.



b) Método Multinomial

La estimación de la producción de huevos en especies de peces que muestran una rápida tasa de desarrollo requiere de una estimación de la tasa de mortalidad de huevos utilizando información de todos los estadios de desarrollo de los huevos. El método tradicional agrupa la abundancia de huevos en cohortes considerando su edad, y posteriormente se ajusta una curva de mortalidad a los datos de abundancia de cohortes diarias dada la edad media ponderada (Picquelle & 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 (Lo, 1985 & Bernal *et al.*, 2001). Bernal *et al.* (2001), desarrollaron un procedimiento innovativo y estadísticamente fundamentado de asignación de edad, y fue desarrollado e integrado dentro de las rutinas del MPDH para el programa y lenguaje R. El procedimiento utiliza la misma información que el método tradicional, i.e.

- Información del crucero: la 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 (Pepin 1991), y en menor grado por 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. En 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:

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

Que 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 de edad dada la fecha del crucero, i.e.

$$f_t(a | \tau)$$

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 obtendrá la distribución de edades dada la información obtenida durante el crucero (estadios de huevos, temperatura, hora de colecta) que se expresa por:

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

de esta manera se puede asignar una edad a cada estadio de desarrollo muestreando desde la distribución posterior, 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. En relación con el modelo de incubación:

El nuevo modelo es claramente descrito y justificado estadísticamente, lo cual marca una diferencia con el procedimiento automático desarrollado por Lo (1985), i.e.

- Aunque fácil de implementar, asigna aleatoriedad a las variables equivocadas (edad, la cual es realmente fija y decidida por el investigador)
- Está compuesta de dos modelos diferentes, uno de edad media y otro de duración de estadios. La estimación de la edad media no es bien documentada en las diferentes implementaciones (Miranda *et al.* 1990, Motos 1994), y algunas veces es equivocadamente descrito o implementado. Los modelos asumidos para la duración de estadios también varían entre las diferentes implementaciones del método de Lo.
- El nuevo procedimiento tiene propiedades de cualquier método de verosimilitud, incluyendo insesgamiento y eficiencia, y facilita la comparación con otros métodos de verosimilitud.
- La incertidumbre de los datos provenientes del experimento de incubación se incorpora a través del modelo multinomial.

En relación con la asignación de la edad, las ventajas del nuevo procedimiento son:

- Permite incluir conocimiento relevante en términos de la sincronía del desove de una manera tan cercana a la realidad como compleja sea y los datos actuales lo permitan.



- Tiene la potencialidad de incluir conocimiento a priori a través de funciones densidad de probabilidad de otras variables que puedan afectar la tasa de desarrollo de los huevos, y así la edad de un huevo en un cierto estadio de desarrollo.
- La distribución posterior de la edad contiene la incertidumbre de la información que proviene del experimento de incubación como de la asumida distribución para la sincronía del desove, y estos pueden ser incluidos en cualquier estimación subsiguiente que incluya edad (e.g. la tasa de mortalidad diaria). También, la distribución posterior puede utilizarse para agrupar los huevos en cohortes diarias (como en el método convencional).



ANEXO II: Descriptores y Bases 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 y sardina común entre la Región de Valparaíso y la Región de Los Lagos, año 2018” 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

La información oceanográfica de cada una de las estaciones realizadas durante el crucero se encuentra en el siguiente archivo: **DatosCTD-MPH2018.xlsx**. El siguiente formato está compuesto por registros de información de profundidad, temperatura, salinidad, densidad (como sigma-t), Fluorescencia (de sensor). Las zonas están dispuestas en tres pestañas: ZonaNorte, ZonaCentro y ZonaSur.

Columna 1	Zona
Columna 2	Transecta
Columna 3	Estación
Columna 4	Fecha
Columna 5	Hora
Columna 6	Latitud
Columna 7	Longitud
Columna 8	Fondo (m)
Columna 9	Profundidad [m]
Columna 10	Temperatura[°C]
Columna 11	Salinidad
Columna 12	Densidad[Kg/m^3]
Columna 13	Sigma-t
Columna 14	Conductividad[mS/cm]
Columna 15	Fluorescencia
Columna 16	Cast

Datos biológicos



- Huevos

La información de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común de cada estadio de desarrollo se encuentra en el siguiente archivo: **BitacoraEstadio_MP-2018VF.xlsx**. El tipo de red utilizada fue PAIROVET, que consiste en dos redes CalVET (California Vertical Egg Tow, Smith *et al.*, 1985) de 0,05 m² de área de boca y 150 µm de trama.

Columna 1		Embarcación
Columna 2		Correlativo
Columna 3		Zona
Columna 4		Transecta
Columna 5		Estación
Columna 6		Fecha
Columna 7		Grados
Columna 8	Latitud	minutos
Columna 9		Latitud en grados
Columna 10		Grados
Columna 11	Longitud	minutos
Columna 12		Longitud en grados
Columna 13	Lance (hora)	inicio
Columna 14		termino
Columna 15	Lance (hora decimal)	inicio
Columna 16		termino
Columna 17		Observacion - CTD
Columna 18		temperatura (°C)
Columna 19		Prof. Ecosonda (m)
Columna 20		Prof. Requerida (m)
Columna 21		Angulo (°)
Columna 22		cable arriado (m)
Columna 23		Volumen de agua filtrada(m3)
Columna 24		huevos de anchoveta (H. Anch)
Columna 25		huevos de sardina común (H. Sard C.)
Columna 26		Larvas de anchoveta (L .Anch)
Columna 27		Larvas de sardina comun (L. Sard C.)
Columna 28		otros huevos (H. Otros)
Columna 29		otras larvas (L. Otros)
Columna 30		huevos de anchoveta (H. Anch)
Columna 31		huevos de sardina común (H. Sard C.)
Columna 32		Larvas de anchoveta (L .Anch)
Columna 33		Larvas de sardina comun (L. Sard C.)
Columna 34	Huevos (H) y Larvas (L) (ind./m3)	huevos de anchoveta (H. Anch)
Columna 35	Huevos (H) y Larvas (L) (ind./0.05m2)	huevos de sardina común (H. Sard C.)



Columna 36		Larvas de anchoveta (L . Anch)
Columna 37		Larvas de sardina comun (L. Sard C.)
Columna 38		I
Columna 39		II
Columna 40		III
Columna 41		IV
Columna 42		V
Columna 43		VI
Columna 44		VII
Columna 45		VIII
Columna 46		IX
Columna 47		X
Columna 48		XI
Columna 49		Des
Columna 50		TOTAL
Columna 51	ESTADO DE DESARROLLO ANCHOVETA	I
Columna 52		II
Columna 53		III
Columna 54		IV
Columna 55		V
Columna 56		VI
Columna 57		VII
Columna 58		VIII
Columna 59		IX
Columna 60		X
Columna 61		XI
Columna 62		Des
Columna 63		TOTAL



Base de datos de hembras maduras de Anchoveta:

La información de hembras maduras de anchoveta se encuentra en el siguiente archivo: **Anchoveta_HembrasMaduras_MP2018_Centro-Sur.xlsx**. En la primera pestaña están los datos y en la segunda los descriptores.

- Base de datos de hembras maduras de Sardina común:

La información de hembras maduras de anchoveta se encuentra en el siguiente archivo: **Sardina_HembrasMaduras_MP2018_Centro-Sur.xlsx**. En la primera pestaña están los datos y en la segunda los descriptores.

- Proporción de hembras maduras

La información de proporción de hembras maduras de anchoveta y sardina común se encuentra en el siguiente archivo: **Proporcion_Hembras_MP2019.xlsx**.

Columna 1	Especie
Columna 2	Barco
Columna 3	Fecha
Columna 4	Hora
Columna 5	Latitud
Columna 6	Longitud
Columna 7	Lance
Columna 8	Individuo
Columna 9	Talla
Columna 10	Peso
Columna 11	Sexo
Columna 12	Zona

- Fecundidad

La información de la fecundidad de anchoveta y sardina común se encuentra en el siguiente archivo: **Base datos fecundidad sar y anch 2018.xlsx**. La información de fecundidad de la anchoveta esta en la pestaña “Fecundidad anchoveta” y la información de la fecundidad de la sardina esta en la pestaña “Fecundidad sardina”



Columna 1		LANCE CORRELATIVO
Columna 2		Nº
Columna 3		LT
Columna 4		PT
Columna 5		PG
Columna 6		PC
Columna 7		Sub A
Columna 8	Peso submuestras tejido ovárico	Sub B
Columna 9		Sub C
Columna 10		Num A
Columna 11	Número ovocitos en submuestra	Num B
Columna 12		Num C
Columna 13		Ov/g 1
Columna 14		Ov/g 2
Columna 15		Ov/g 3
Columna 16		Fecundidad
Columna 17		CV



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO

Almte. Manuel Blanco Encalada 839
Fono 56-32-2151500
Valparaíso, Chile

A wide-angle photograph of a vast ocean meeting a dramatic sky at the horizon. The sky is filled with dynamic, layered clouds in shades of blue, white, and yellow. A bright, multi-colored rainbow arches across the upper right quadrant of the frame, its colors transitioning from red to violet. The ocean below is a deep, dark blue with subtle, rhythmic waves.

www.ifop.cl

