



**INFORME PREFINAL**

Convenio de Desempeño 2016

Evaluación del stock desovante de anchoveta y  
sardina común entre la V y X Regiones, año 2016

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Junio 2017



**INFORME PREFINAL**  
Convenio de Desempeño 2016

Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2016

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Junio 2017

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

Subsecretaría de Economía y EMT:  
**Natalia Piergentili Domenech**

**ORGANISMO RESPONSABLE**  
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO-IFOP

Director Ejecutivo  
**Leonardo Núñez Montaner**

Jefe División Investigación Pesquera  
**Mauricio Galvez Larach**

Investigador Responsable  
**Vivian Valenzuela Cuevas**

Departamento Oceanografía y Medio Ambiente  
**Jaime Letelier**

**ORGANISMO EJECUTOR**  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – UDEC

Rector  
**Sergio Lavanchy Merino**

Decano Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas  
**Margarita Marchant**

**JEFE DE PROYECTO**  
Luis Cubillos Santander



SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Junio 2017

**AUTORES**

Luis Cubillos Santander  
Leonardo Castro Cifuentes  
Samuel Soto Mendoza

**SECCIÓN REPRODUCCIÓN Y BIOMASA DESOVANTE**

*Responsable*  
Luis Cubillos Santander

*Muestreo*

Germán Vásquez Vallejos  
Roberto Torres Valenzuela

*Análisis*

Gabriel Claramunt Quiñones  
Gustavo Herrera Urzúa  
Paola Moreno Gonzalez  
María José Cuevas Cuevas  
Claudio Carrasco Vera  
Carolina Alarcón Muñoz  
Blanca Bustos Cid  
Tania Ponce López  
Nicolás Muñoz Aroca

**SECCIÓN ICTIOPLANCTON E HIDROGRAFÍA**

*Responsable*  
Leonardo Castro Cifuentes

*Muestreos ictioplancton e hidrografía:*

Alejandro Ávila Santis  
Pamela Barrientos Cereceda  
Eduardo Escalona Castillo  
Eduardo Flores Barraza  
Daniel Pezo Silva  
Tania Ponce López  
Nelson Hidalgo Villegas  
Valeria González Castro  
Nicole Giraud Troncoso

*Hidrografía y diagramación de Sección ictioplancton*

Samuel Soto Mendoza



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

## PRESENTACIÓN

En el año 2016, el Instituto de Fomento Pesquero 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 2016” el que fue licitado en Concurso Público de fecha 7 de Junio de 2016. Luego de la evaluación experta de IFOP, tanto de las Ofertas Técnicas y Económicas recibidas, este Estudio fue adjudicado a la Universidad de Concepción, pasando a ser el organismo ejecutor del estudio.

Se presenta el Informe Prefinal que incluye las actividades realizadas durante el desarrollo del estudio y todos los resultados obtenidos según la programación establecida en los Términos Técnicos de Referencia.



## I. RESUMEN EJECUTIVO

---

Se aplicó el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH) para evaluar el stock desovante de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomerina bentincki*) en la zona centro-sur de Chile (33°S – 41°20'S). El crucero de huevos se desarrolló mediante la evaluación del desove 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 y sur de punta Galera (37°20'S – 41°20'S).

Se utilizó un muestreo sistemático sobre una grilla regular de estaciones dispuestas en transectas perpendiculares a la costa, equidistante cada 5 millas náuticas, con estaciones separadas cada 4 millas náuticas en cada una de las transectas. El crucero ictioplanctónico se realizó entre el 06 de septiembre y 21 de octubre de 2016 en los sectores centro y sur, y desde el 28 al 29 de octubre de 2016 en el sector norte. El crucero de adultos se realizó en los estratos geográficos centro y sur entre el 05 de septiembre y el 06 de octubre de 2016. Los lances de pesca cubrieron las costas de la región del Bío-Bío, la región de la Araucanía y región de Los Ríos, hasta 5 millas náuticas de la costa.

Los cruceros para la colecta de huevos (429 estaciones con red Pairovet, 0-70m) se realizaron en el área programada entre los 33°00'S y los 41°20'S. La zona centro (34°30' a 37°10'S) incluyó 197 estaciones, la zona sur (37°20'S - 41°20'S) 218 y la zona norte (33°- 34°S) 14 estaciones. Adicionalmente, se realizaron muestreos estratificados de ictioplancton con una red Tucker Trawl (7 estratos, desde 0 a 70 m) en 2 transectas en la zona central (frente a río Itata y Golfo Arauco) y en una transecta en la zona sur (frente a Isla Mocha). Perfiles hidrográficos fueron obtenidos a lo largo de la grilla de estaciones, en 233 de ellas, entre los 0-100m.

De las 429 estaciones, 119 presentaron huevos de anchoveta (28%) y 100 presentaron huevos de sardina común (23%). Comparado con el 2015, ocurrió una disminución de un 6% de estaciones positivas con huevos de anchoveta, manteniéndose similar el porcentaje de estaciones positivas de sardina común (diferencia +2%). La serie de tiempo 2002-2016 de porcentajes de estaciones con huevos muestra que: 1) se mantiene la tendencia en todo el periodo, de un mayor número de estaciones positivas de huevos de anchoveta, comparado con sardina común, 2) hubo una disminución del número de estaciones con huevos de anchoveta y un aumento de estaciones con huevos de sardina común desde el periodo 2002-2007 al periodo 2008-2016.

Comparado con el 2015, en el 2016 disminuyó notoriamente la proporción de estaciones positivas en la zona central (de 46,2% a 27%) pero se mantuvo relativamente similar en la zona sur (27,2% vs 29%, respectivamente). En sardina común, a diferencia de 2015 en que no hubo huevos de sardina



común en el sector norte, en 2016 se constató su presencia en 3 estaciones positivas. En el sector central hubo 38 estaciones positivas (19%) y 59 en el sector sur (27%). Respecto del 2015, en el 2016 habría ocurrido una disminución en el porcentaje de estaciones positivas en los sectores central (de 53% el 2015 a 38% el 2016), pero un aumento en el sector sur (de 13,1% a 23%, en 2015 y 2016, respectivamente).

Un total de 3368 huevos de anchoveta y 4579 huevos de sardina común fueron colectados en toda el área de estudio, disminuyendo el número de huevos de ambas especies con respecto al 2015, (5057 huevos de anchoveta y 4610 huevos de sardina común), a pesar de incrementarse el número total de estaciones en el 2016. Al analizar la serie de tiempo completa, se observó desde el año 2007 al 2008 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. La fecha de cambio (2007-2008) habría sido coincidente con el cambio en la proporción de estaciones positivas entre especies.

La abundancia promedio de huevos de anchoveta por estación positiva fue similar en los sectores norte y central (41 huevos/0.05m<sup>2</sup>), y menores en el sector sur (17 huevos/0,05m<sup>2</sup>). Considerando la serie completa 2002-2016, el promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas de la zona central en el 2016 (41 h/0.05m<sup>2</sup>) sería superior al promedio histórico (28,5 h/0.05m<sup>2</sup>), mientras que en la zona sur (17 h/0.05m<sup>2</sup>) seguiría bajo el promedio histórico (46,1 h/0.05m<sup>2</sup>) por octavo año consecutivo (desde el 2008). La abundancia promedio de huevos de sardina común en 2016 en la zona central (86 h/0.05m<sup>2</sup>) aumentó por cuarto año consecutivo desde el 2012, duplicando los valores promedios de la serie histórica 2002 - 2016 (38 h/0.05m<sup>2</sup>). La abundancia promedio en la zona sur (22 h/0.05m<sup>2</sup>) se mantuvo bajo el promedio histórico, reduciéndose casi a la mitad (42,9 h/0.05m<sup>2</sup>) por tercer año consecutivo.

En el sector norte, los huevos de anchoveta, al igual que los dos años anteriores, fueron colectados solo en dos estaciones costeras y en baja abundancia. En el sector central estos se presentaron a lo largo de toda la franja costera y en mayor concentración en las localidades habituales año a año (punta Nugurne, al sur de río Itata y Golfo de Arauco). Comparado con los dos años anteriores, las altas abundancias del 2016 se extendieron hasta más al norte de los 35°30'°S, mientras que en el Golfo de Arauco se presentaron menores abundancias que en los años previos. En el sector sur, hubo solo una zona de mayor agregación de huevos de anchoveta y ocurrió en un área más restringida (39°30'- 39°40'S) que en años anteriores (38°30'S - 39°50'S).

Los huevos de sardina común en el sector norte reaparecieron después de ausentarse en el período anterior. En el sector central, las mayores agregaciones se detectaron en las tres zonas recurrentes de agregación de huevos (punta Nugurne, frente al río Itata y Golfo de Arauco), pero a diferencia de los huevos de anchoveta, la distribución no fue continua a lo largo de la costa, más bien acotada a estas tres zonas. En el sector sur, la agregación mayor de huevos de esta especie ocurrió frente a Corral (39°45'S), en la misma zona del año 2015.



La temperatura superficial del mar in situ mostró el patrón latitudinal habitual de variación en temperaturas, que disminuyen desde la zona central hacia la zona sur, con valores máximos (14°C) en el sector 33°-34°S y valores mínimos (10°C) en la zona costera (40°- 41°S). Gradientes longitudinales (costa-océano) fueron más frecuentemente observados en la zona central de muestreo, particularmente entre las latitudes 33° a 36°30', con valores de temperatura inferiores en la zona costera y más altos en la zona oceánica, indicadores de procesos de surgencia costera. La distribución de TSM in situ fue diferente al 2015, año en que se presentaron los mayores valores en toda la región, debido a la ocurrencia del El Niño.

El análisis de las figuras de abundancia de huevos sobrepuertos en los diagramas T-S del 2016, mostró que a los 10m de profundidad la presencia de huevos de anchoveta y sardina común en el sector norte se vincularon a temperatura y salinidad similares (entre 13° y 13,5°C y entre 34 y 34.6 psu, aproximadamente). En el sector centro, la abundancia de huevos de anchoveta se asoció a temperaturas entre 11.5° y 13°C, mientras que en sardina común el rango fue entre 11° y 12.7°C; los valores de salinidad fueron similares entre especies (33 y 34.6). En el sector sur, la presencia de huevos de anchoveta se relacionó con temperatura entre 11° y 13°C, en cambio en sardina común fue entre 10.8° y 12.5°C, presentándose los huevos de ambas especies en salinidades similar (32 a 34).

Los análisis GAM de huevos correspondientes al año 2016, mostraron que en el área completa de muestreo, las mayores densidades de huevos de anchoveta y sardina común en los estratos más someros (1 y 10m de profundidad), presentaron estrechos rangos de las variables predictoras (temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto), pero con leves diferencias entre especies. Las mayores densidades de huevos de sardina común se asociaron a aguas con temperaturas similares a las de anchoveta, pero con menor salinidad, y con mayor valor de oxígeno disuelto.

### Serie histórica (2002 - 2016)

Los histogramas de distribución de abundancia de huevos de anchoveta por grado de latitud mostraron que a partir del año 2003, las mayores densidades de huevos se vieron desplazadas hacia el sur, paralelamente, que las mayores densidades promedio ubicadas inicialmente en dos núcleos (35°S a 36°S y entre los 37 y 40°S) cambiaron a una distribución más estrecha, acotada a un solo núcleo principal entre los 38°S - 40°S hasta el año 2008. Posteriormente, desde el año 2009 las mayores abundancias comenzaron a disminuir en número y volver paulatinamente hacia menores latitudes, cambiando el patrón de distribución de unimodal a dos núcleos y, finalmente a una zona más extendida, con núcleos menos definidos el año 2016 cuando el máximo de huevos vuelve a ubicarse en los 35-36°S.

Al diagramar la serie histórica de la posición de los centros de masa de las distribuciones de huevos (centroides) correspondiente al área de muestreo completa, y coincidente con el análisis previo de histogramas latitudinales, se observó que mientras en sardina común la posición latitudinal de los



centroides se mantuvo relativamente estable desde el año 2002 hasta el 2008, la posición de los centroides de anchoveta desde el 2003 mostraron un desplazamiento hacia el sur. Posterior al 2008, los centroides de ambas especies tendieron a desplazarse hacia el norte, muy marcadamente y en forma sostenida en anchoveta, y menos marcado y más fluctuante en sardina común. En este último periodo, los centroides de los huevos de sardina común se mantuvieron a mayores latitudes ( $>37^{\circ}\text{S}$ ) que los de anchoveta.

En los cruceros de adultos, se obtuvo 15 lances de pesca de anchoveta y 30 lances de pesca de sardina común en la zona centro. En la zona sur, en cambio, sólo se obtuvieron 30 lances de pesca de sardina común. La estructura de tallas de anchoveta se caracterizó por ejemplares de un tamaño promedio de 16,2 cm, mientras que la estructura de tallas de sardina común fue similar entre zonas, con una talla promedio de 13,6 cm en la zona centro y 13,0 cm en la zona sur.

Los parámetros reproductivos de las hembras maduras fueron estimadas sobre la base de 100% de hembras activas del sector centro, tanto para anchoveta como sardina común, y se presentaron dentro del rango que ha sido estimados para ambos recursos. No se obtuvo muestras de anchoveta en el sector sur, probablemente por la distribución más occidental del desove, por fuera de las 5 millas . En el caso de la sardina común, se encontró que las hembras en la zona centro estuvieron 100% activas mientras que en la zona sur solamente 70,3% estuvo activa, lo que implica que hubo una fracción de peces adultos más pequeños y cercanos a la talla de primera madurez que permaneció inmadura en el sector sur.

El índice de huevos de anchoveta se encontró asociado con otros indicadores de biomasa, pero no se logró relacionar con el reclutamiento. Sin embargo, el índice de densidad de huevos de sardina común no se relacionó con otros indicadores de biomasa de este recurso, pero sí con el reclutamiento evaluado acústicamente en enero del año siguiente.

El estimado estratificado de biomasa desovante fue de 28.197 toneladas de anchoveta y de 70.296 toneladas de sardina común.



## II. ÍNDICE GENERAL

I.	RESUMEN EJECUTIVO .....	ii
II.	ÍNDICE GENERAL .....	vi
III.	ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS.....	viii
	FIGURAS.....	viii
IV.	ANTECEDENTES .....	14
V.	OBJETIVOS .....	16
	1.    Objetivo general.....	16
	2.    Objetivos específicos.....	16
VI.	METODOLOGÍA GENERAL .....	17
	1.    Actividades administrativas y operacionales.....	17
	2.    Área y periodo de estudio.....	17
	3.    Grilla de muestreo de huevos.....	18
	3.1    Identificación de huevos y estadios .....	19
	3.2    Muestreo estratificado de plancton con red Tucker.....	22
	3.3    Muestreo oceanográfico .....	23
	4.    Objetivo 1: Crucero de huevos y producción diaria de huevos .....	24
	4.1    Determinación del área de crucero y de desove.....	24
	4.2    Conteo, clasificación y asignación de edad .....	25
	4.3.    Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos.....	25
	5.    Crucero de Adultos (Objetivos 2, 3, y 4) .....	28
	5.1.    Muestreo a bordo y procedimientos de laboratorio .....	28
	5.2    Parámetros reproductivos de adultos .....	29
	5.3    Objetivo 2: Estadios de madurez y fracción diaria de hembras desovantes .....	30
	5.4    Objetivo 3: Fecundidad parcial .....	34
	5.5.    Objetivo 4: Peso promedio y proporción sexual .....	34
	6.    Objetivo 5: Biomasa desovante .....	35
	7.    Distribución de huevos asociada a variables oceanográficas .....	36
	7.1.    Análisis descriptivos, año 2016 .....	36
	7.2.    Análisis cuantitativos, año 2016 .....	37
	7.3.    Análisis histórico de la distribución de huevos asociada a variables oceanográficas.....	39
	8.    Índice de abundancia de huevos .....	42
	8.2    Relación huevo-biomasa desovante y huevo-recluta .....	44
	8.2.    Agregación espacial de la densidad de huevos: destrucción.....	46
VII.	RESULTADOS.....	49
	1.    Distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común.....	49



1.1. Estaciones con presencia de huevos .....	49
1.2 Abundancia de huevos .....	51
1.3 Distribución de huevos .....	54
1.4 Producción diaria de huevos.....	57
2. Crucero de adultos .....	60
2.1 Lances de pesca.....	60
2.2 Composición por tallas.....	65
2.3 Estados de madurez y fracción diaria de hembras desovantes.....	67
2.4 Fecundidad .....	70
2.5 Peso promedio y proporción sexual.....	75
3. Condiciones hidrográficas.....	78
3.1. Temperatura superficial del mar y clorofila.....	78
3.2. Información satelital.....	80
3.3. Secciones horizontales de características oceanográficas .....	83
4. Distribución histórica de huevos .....	87
4.1. Cambios interanuales en el área de desove .....	87
4.2. Relación de la distribución de huevos con variables ambientales.....	91
Modelos aditivos generalizados (GAMs) .....	101
Secciones verticales de variables oceanográficas y distribución de huevos.....	106
4.3. Relación ambiente-recurso utilizando la data histórica de distribución de huevos .....	110
Variación latitudinal del centro de masa (centroide) de distribución de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 al 2016.....	113
5. Índice de abundancia de huevos .....	119
5.2. Incorporación del índice a modelos de evaluación.....	124
5.3 Relación huevo-recluta.....	131
 VIII ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....	137
IX CONCLUSIONES .....	142
X. REFERENCIAS .....	143
ANEXO I: DETERMINACION DE EDAD .....	151
ANEXO II: Resoluciones Proyecto MPH 2016.....	155



### III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

#### FIGURAS

Figura 1.	Grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur, 2015. Se indica la distribución del veril de los 200 m. Los puntos negros representan lances con red Pairovet, los puntos rojos estaciones en que se realizaron tanto lances de red Pairovet como perfiles verticales con CTD, y los puntos azules estaciones en los que se realizaron lances verticales de red CalVet, CTD y red Tucker. ....	21
Figura 2.	Periodo de muestreo en sectores centro y sur, 2010-2016. Periodo marcado del 2015 no incluye muestreo adicional posterior en sector norte de la VII región. ....	22
Figura 3.	Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de la producción diaria de huevos y mortalidad diaria de huevos. ....	24
Figura 4	Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de los parámetros reproductivos principales del MPDH.....	28
Figura 5	Porcentaje de estaciones con huevos en cada año en la zona total de muestreo. ....	50
Figura 6	Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total, desde el inicio de las evaluaciones del MPH iniciadas el 2002. Las líneas punteadas corresponden a la proporción de estaciones positivas de cada especie por zonas en el periodo 2002-2016.....	51
Figura 7	Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común (estaciones positivas) en toda la zona de estudio durante el periodo 2002-2016. ....	52
Figura 8	Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las estaciones positivas por sector, serie histórica de evaluaciones por MPDH 2002-2016. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie por zona en el periodo 2002-2016. ....	53
Figura 9.	Distribución de huevos de anchoveta registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2014 (panel superior), 2016 (panel central) y 2016 (panel inferior). ....	55
Figura 10.	Distribución de huevos de sardina común registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2014 (panel superior), 2015 (panel central) y 2016 (panel inferior). ....	56
Figura 11.	Índice de dispersión-agregación de Lloyd por especie, zona, y cohorte diaria, 2016. ....	60
Figura 12.	Distribución de los lances de pesca realizados durante el periodo del crucero de adultos en la VIII, IX y X Regiones y correspondientes a las zonas centro y sur, respectivamente. ....	64
Figura 13.	Frecuencias de tallas de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile. ....	66
Figura 14	Proporción de los estadios de FPO 1 al 4 y 5 al 7 por hora de captura (izquierda) y estadios de FPO 1 a 4 (derecha) hasta las 17:00 horas (base de datos del 2007 al 2012). ....	67
Figura 15.	Proporción de Núcleo Migrante e Hidratadas (Arriba) y FPO en estadios 1 al 4 (Abajo) por hora de captura, utilizando la base de datos histórica de aplicaciones del MPDH en sardina común. Se repite información para generar ciclo completo de 24 horas. Flechas rojas indicaría el ciclo de decadimiento del marcador reproductivo.....	69
Figura 16	Distribución de los lances de pesca de sardina común según hora del día. ....	70
Figura 17	Distribución horaria de la colecta de hembras en estadio de Núcleo Migrante (NM) e Hidratadas (H) en la base de datos histórica.....	70
Figura 18.	Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de anchoveta, año 2016. ....	71



Figura 19.	Rectas ajustadas para cada año de aplicación del MPDH en anchoveta de la zona centro sur. Línea roja es el ajuste para el año. Línea segmentada negra es el ajuste utilizando todos los años (largo plazo).....	72
Figura 20.	Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de sardina común, año 2015.....	73
Figura 21.	Rectas ajustadas para cada año de aplicación del MPDH en anchoveta de la zona centro sur. Línea roja es el ajuste para el año. Línea segmentada negra es el ajuste utilizando todos los años (Largo plazo).....	74
Figura 22	Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}$ C) in situ (de balde) en la zona centro-sur de Chile ( $33^{\circ}00'S$ - $41^{\circ}20'S$ ) durante el periodo de muestreo 2016. ....	79
Figura 23.	Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}$ C) medida durante los cruceros de huevos, año 2010 al 2015. ....	81
Figura 24	Imágenes satelitales mensuales de Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}$ C) durante el periodo de muestreo 2016.....	82
Figura 25	Imágenes satelitales mensuales de la concentración de Clorofila a (mg m <sup>-3</sup> ) durante el periodo de muestreo 2016.....	82
Figura 26	Características hidrográficas (temperatura ( $^{\circ}$ C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml O <sub>2</sub> /L)) a 1, 10 y 50 m de profundidad, en el sector norte de la zona de estudio, 2016. ....	84
Figura 27	Características hidrográficas (temperatura ( $^{\circ}$ C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml O <sub>2</sub> /L)) a 1, 10 y 50 m de profundidad, en el sector centro de la zona de estudio, 2016. ....	85
Figura 28	Características hidrográficas (temperatura ( $^{\circ}$ C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml O <sub>2</sub> /L)) a 1, 10 y 50 m de profundidad, en el sector sur de la zona de estudio, 2016. ....	86
Figura 29	Cambios latitudinales en la presencia de huevos de sardina común (arriba) y anchoveta (abajo) en la zona centro sur, 2002-2016.....	89
Figura 30	Cambios latitudinales en la densidad de huevos de sardina común (arriba) y anchoveta (abajo) en la zona centro sur, 2002-2016. La escala está referida a logaritmo neperiano más una constante pequeña (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.....	90
Figura 31	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre secciones horizontales de temperatura ( $^{\circ}$ C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector norte, 2016.....	93
Figura 32	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre secciones horizontales de temperatura ( $^{\circ}$ C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector centro, 2016. ....	94
Figura 33	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre secciones horizontales de temperatura ( $^{\circ}$ C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector sur, 2016. ....	95
Figura 34	Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre secciones horizontales de temperatura ( $^{\circ}$ C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector norte, 2016. ....	96
Figura 35	Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre secciones horizontales de temperatura ( $^{\circ}$ C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector centro, 2016. ....	97
Figura 36	Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre secciones horizontales de temperatura ( $^{\circ}$ C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector sur, 2016. ....	98



Figura 37	Diagramas en que la data del 2016 de Temperatura y Salinidad a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad de cada estación, se sobrepuso una representación escalada de la abundancia por estación de huevos de anchoveta y sardina común. Los círculos en negro corresponden a la abundancia de huevos en estaciones del sector norte, en rojo a la central y, en azul, al sector sur. Rectángulos representan rango total de las variables medidas. .... 100
Figura 38	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml O <sub>2</sub> /L) en las transectas 27 (Sur Dichato), 35 (Golfo Arauco) y 48 (Sur Isla Mocha) (Red Tucker). ..... 107
Figura 39	Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml O <sub>2</sub> /L) en las transectas 27 (Sur Dichato), 35 (Golfo Arauco) y 48 (Sur Isla Mocha) (Red Tucker). ..... 108
Figura 40	Distribución vertical promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las transectas 27 (Norte de Dichato), 35 (Golfo Arauco) y 53 (Sur Isla Mocha). ..... 109
Figura 41	Variación latitudinal de la abundancia promedio de huevos de anchoveta (barra negra) asociados a temperatura (línea roja), salinidad (línea verde) y oxígeno disuelto (línea azul) en 10 m de profundidad entre los años 2002 al 2016 (se utilizaron las estaciones positivas como negativas). ..... 111
Figura 42	Variación latitudinal de la abundancia promedio de huevos de sardina común (barra gris) asociados a temperatura (línea roja), salinidad (línea verde) y oxígeno disuelto (línea azul) en 10 m de profundidad entre el año 2002 al 2016 (se utilizaron las estaciones positivas como negativas). ..... 112
Figura 43	Variación latitudinal del centroide (°) de distribución de huevos de anchoveta (círculo negro) y sardina común (círculo gris) obtenidos entre los años 2002 y 2016..... 114
Figura 44	Valores promedio de temperatura, salinidad y oxígeno a 10m de profundidad entre 2002 a 2016, asociados a la abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en los sectores norte, centro y sur (estaciones positivas y negativas) ..... 116
Figura 45	Diagramas de Temperatura y Salinidad a 10m de profundidad de cada año (2002-2016) para el sector norte (a), centro (b) y sur (c). Se sobrepuso una representación escalada de la abundancia promedio por año de huevos de anchoveta y sardina común correspondiente al sector norte (a), centro (b) y sur (c) (barra representa valor mínimo y máximo por año) (estaciones positivas como negativas) ..... 118
Figura 46	Índice de densidad de huevos de anchoveta (huevo/m <sup>2</sup> ) por años, según diferentes modelos para la estructura del error. ..... 120
Figura 47	Matriz de correlación de anchoveta (2007-2014). En la diagonal se muestra la distribución de cada variable, en la parte inferior de la diagonal se muestran los diagramas de dispersión bivariados con una línea ajustada. En la parte superior de la diagonal se muestra el valor de correlación más el nivel de significancia como estrellas en donde cada nivel de significancia está asociado a un símbolo (valores de p, 0.001, 0.01, 0.05, 0.1) ↔ ("****", "***", "**", *). .... 123
Figura 48	Matriz de correlación de sardina común (2007-2014). En la diagonal se muestra la distribución de cada variable, en la parte inferior de la diagonal se muestran los diagramas de dispersión bivariados con una línea ajustada. En la parte superior de la diagonal se muestra el valor de correlación más el nivel de significancia como estrellas en donde cada nivel de significancia está asociado a un símbolo (valores de p, 0.001, 0.01, 0.05, 0.1) ↔ ("****", "***", "**", *). .... 124
Figura 49	Comparación del ajuste del caso base tradicional de anchoveta y los casos en estudio, a la serie de datos observados, de acuerdo al Índice 1. .... 127



Figura 50	Comparación del ajuste del caso base tradicional de sardina y los casos en estudio, a la serie de datos observados, de acuerdo al Índice 1.....	127
Figura 51	Comparación del ajuste del caso base tradicional de anchoveta y los casos en estudio, a la serie de datos observados, de acuerdo al Índice 2.....	128
Figura 52	Comparación del ajuste del caso base tradicional de sardina y los casos en estudio, a la serie de observados, de acuerdo al Índice 3.....	128
Figura 53	Comparación de los índices del stock de anchoveta entre los diferentes casos en estudio.	129
Figura 54	Comparación de los índices del stock de sardina entre los diferentes casos en estudio.....	130
Figura 55.	Relación huevo-recluta en sardina común, biomasa de recluta (izquierda) y número de reclutas (derecha) en el periodo 2002-2016.....	132
Figura 56.	Relación huevo-recluta en anchoveta, biomasa de recluta (izquierda) y número de reclutas (derecha) en el periodo 2002-2016.....	133

## TABLAS

Tabla 1.	Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton en cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.....	17
Tabla 2.	Ubicación, número de estaciones y estratos muestreados con red Tucker Trawl, para determinar la distribución vertical del ictioplancton, en los sectores centro y sur.....	22
Tabla 3.	Embarcaciones utilizadas en los muestreos de adultos en cada sector, periodo de muestreo y número de lances por sector.....	29
Tabla 4.	Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta.....	31
Tabla 5	Área de desove y duración del periodo de desove de anchoveta y sardina común.....	44
Tabla 6	Casos de estudio considerados en la evaluación de los índices de densidad de huevos como estimadores de biomasa desovante.....	45
Tabla 7.	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). .....	46
Tabla 8	Enfoque metodológico utilizado para identificar la estructura espacial y la densidad de dependencia de anchoveta y densidad de huevos de sardina .....	48
Tabla 9	Número de estaciones totales desarrolladas por sector en el 2016, 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.....	49
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 x 0,05 m <sup>-2</sup> ) en cada sector.....	52
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 <sup>2</sup> ) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h <sup>-1</sup> ). ....	58
Tabla 12.	Estimaciones de la producción diaria de huevos (P <sub>0</sub> ) 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 en el área de desove (A <sub>1</sub> ) 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.....	59
Tabla 13. Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2015, sector centro.....	62
Tabla 14. Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2015, sector sur.....	63
Tabla 15. Composición por tallas de sardina común obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro-sur y sur de Chile, año 2015.....	65
Tabla 16. Composición por tallas de anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro de Chile, año 2015.....	66
Tabla 17. Número y porcentaje de hembras clasificadas por estadio de madurez ovárica, 2015.....	68
Tabla 18. Estimaciones de fracción diaria de hembras desovantes por zona y área total para sardina común año 2015. t calculado para Ho: FPO 0 = FPO 1.....	69
Tabla 19. Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH.....	71
Tabla 20. 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.....	73
Tabla 21. Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común en cada año de aplicación del MPH.....	75
Tabla 22. Estimaciones de fecundidad parcial media por zona y área total, para sardina común año 2016.....	75
Tabla 23. Estimaciones de peso promedio de hembra madura por zona y área total, para sardina común año 2015.....	76
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 2015). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa, los intervalos de confianza de 95% (IC) se muestran para la estimación de biomasa desovante.....	77
Tabla 25. Resultados del ajuste del modelo GAM a datos de presencia-ausencia y densidad de huevos de sardina común y anchoveta en el periodo 2002-2016.....	87
Tabla 26. Parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs).....	102
Tabla 27. Resultados de los modelos aditivos generalizados (GAMs) para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común usando las variables predictoras temperatura (T), salinidad (S) y oxígeno (O) en 1m, 10m y 50m de profundidad (n: número de datos, R2: Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general) ..	102
Tabla 28. Resultados de los modelos GAM por especie y profundidad (T: temperatura, S: salinidad, O: oxígeno).....	104
Tabla 29. Rango óptimo de las variables predictoras a 1m, 10m y 50m de profundidad asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común.....	105
Tabla 30. Desempeño estadístico de los modelos utilizados para estandarizar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (parámetros=17 coeficientes).....	119
Tabla 31. Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG familia Tweedie.....	121
Tabla 32. Índice 2, de anchoveta y sardina común obtenido mediante la multiplicación de la densidad de huevos (h/m <sup>2</sup> ) y la duración del periodo de desove.....	122
Tabla 33. Índice 3 de anchoveta y sardina común obtenido mediante la multiplicación de la densidad de huevos (h/m <sup>2</sup> ) y el área desove.....	122



Tabla 34	Índice 4 de anchoveta y sardina común obtenido mediante la multiplicación de la densidad de huevos (h/m <sup>2</sup> ) el área desove y la duración del periodo de desove.....	123
Tabla 35	Comparación de la función objetivo entre los casos de estudio según los diferentes índices de abundancia, para anchoveta. ....	125
Tabla 36	Comparación de la función objetivo entre los casos de estudio según los diferentes índices de abundancia, para sardina común. ....	126
Tabla 37.	Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de sardina común, zona centro-sur (2002-2016). ....	131
Tabla 38.	Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de anchoveta, zona centro-sur (2002-2016). ....	132
Tabla 39	Probabilidad de densidad y porcentaje de densidad para clusters de densidad de huevos D≥1, D≥10 y D≥100 huevos por (0,05) m <sup>2</sup> para anchoveta y sardina común en el periodo 2007-2016. ....	134
Tabla 40	Parámetros del modelo exponencial ajustado al variograma experimental de los indicadores de densidad de huevos de anchoveta. ....	135
Tabla 41	Parámetros del modelo exponencial ajustado al variograma experimental de los indicadores de densidad de huevos de sardina....	136



## IV. ANTECEDENTES

---

La sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) son peces pelágicos pequeños de gran 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 corto ciclo de vida, con tres a cuatro años de longevidad, rápido crecimiento, elevada tasa de mortalidad natural, formar cardúmenes altamente 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 y Arancibia 1993, Cubillos *et al.* 1998, Cubillos *et al.* 2001, Cubillos y Arcos, 2002).

En la zona centro-sur, la pesquería se desarrolla estacionalmente, con capturas fuertemente dependientes de los pulsos de reclutamiento anual, proceso que tiende a ocurrir entre noviembre y enero de cada año y 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). La evaluación del reclutamiento anual de los stocks de anchoveta y sardina común se realiza desde 1999 mediante el método hidroacústico (Castillo *et al.* 2000, 2001, 2002a, 2004), método que también fue aplicado en el 2001 para evaluar la biomasa del stock desovante (Castillo *et al.* 2002b). Sin embargo, el método hidroacústico evalúa la biomasa total presente y no el stock desovante. Asimismo, es bastante cuestionable utilizar solamente el criterio basado en la talla de primera madurez sexual para separar la fracción adulta de la biomasa total hidroacústica evaluada. En otras palabras, el método hidroacústico no considera la dinámica reproductiva del stock, principalmente en términos de la frecuencia del desove y la subsecuente producción de huevos. Por esta razón, el método más adecuado para evaluar el stock desovante de peces con fecundidad indeterminada como la sardina común y la anchoveta es el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH), ya que incorpora la dinámica reproductiva y la etapa de producción de huevos.

El MPDH es la metodología más adecuada para evaluar la biomasa desovante de peces pelágicos pequeños con desove parcial (Lasker 1985, Hunter y Lo 1993, 1997, Lo *et al.* 2001, Somarakis *et al.* 2004). La biomasa desovante se define 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 y Lo 1993, 1997).



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.* 2003a), 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). En general, se ha podido verificar que la expresión espacial del desove de ambas especies en la principal época de desove es costera, no superando las 20 millas náuticas de la costa, tal como se ha observado en los cruceros realizados en agosto-septiembre de 2001 (FIP 2001-14, Castillo *et al.* 2002a,b), agosto de 2002 (FIP 2002-14, Cubillos *et al.* 2003a), en agosto-septiembre de 2003 (FIP 2003-06, Cubillos *et al.* 2003b), en agosto-septiembre de 2004 (FIP 2004-03, Cubillos *et al.* 2005), en agosto-septiembre de 2005 (FIP 2005-02, Cubillos *et al.* 2006), en septiembre de 2007 (FIP 2007-06), septiembre de 2008 (FIP 2008-09) y septiembre de 2009 (FIP 2009-02), septiembre-octubre de 2011 y 2012 (FIP 2012-09), septiembre-octubre de 2013 (FIP 2013-07), en septiembre-octubre de 2014 (MPH 2014), y en septiembre-octubre de 2015 (MPH 2015).



## **V. OBJETIVOS**

---

### **1. Objetivo general**

Evaluar el stock desovante de los recursos anchoveta y sardina común correspondiente al litoral de la V a la X Regiones.

### **2. Objetivos específicos**

- 2.1.** Estimar la producción diaria de huevos en el mar, su varianza asociada y la tasa diaria de mortalidad instantánea de los huevos para los recursos anchoveta y sardina común.
- 2.2** Estimar la proporción de estadios de madurez sexual microscópicos y la fracción diaria de hembras desovantes de anchoveta y sardina común con su varianza asociada.
- 2.3** Estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal, el modelo de regresión correspondiente a esta relación, y la fecundidad media poblacional de los recursos anchoveta y sardina común, con sus respectivas varianzas.
- 2.4** Estimar la proporción sexual en peso y el peso promedio de hembras maduras de los recursos anchoveta y sardina común, con sus respectivas varianzas.
- 2.5** Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.
- 2.6** Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas, utilizando las bases de datos de los proyectos anteriores y los resultados del presente proyecto.
- 2.7** Analizar la información histórica de la densidad/abundancia de huevos/larvas obtenidos en estos proyectos, evaluando su viabilidad como indicador de reclutamiento. Al igual que la relación directa/indirecta como indicador de la biomasa desovante.



## VI. METODOLOGÍA GENERAL

### 1. Actividades administrativas y operacionales

En términos administrativos, el desarrollo del estudio se adjudicó a la Universidad de Concepción mediante Res. Ex. N° 0158 de IFOP el 20 de julio de 2016, para posteriormente gestionar el permiso de pesca. La Subsecretaría de Pesca y Acuicultura autorizó a la Universidad de Concepción a realizar la pesca de investigación mediante Resolución Exenta N°2492 del 16 de agosto de 2016. En la resolución 2492 se autorizó a embarcaciones artesanales a realizar cruceros de prospección en el área marítima comprendida entre la V y X Regiones. Las embarcaciones participantes fueron "Don Julián", "Sebastián II" y "Noemí Simoney" para la evaluación de la condición biológica de los adultos y "Gimar I" y "Kay Kay" para la evaluación del desove.

### 2. Área y periodo de estudio

Con el objetivo de colectar ictioplancton para determinar la distribución de huevos y su posterior análisis por estado de desarrollo, se desarrollaron cruceros de ictioplancton en el área comprendida entre los 33°00' S y 41°20' S. El área de estudio se dividió en tres sectores: a) Sector Norte, entre el sur de Valparaíso y norte de Constitución (33°00' – 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 se indican en la **Tabla 1**.

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

Embarcación	Sector	Coordinadas	Período	Nº Estaciones
María Elena II	Norte	33°00' S – 34°00' S	28/10 – 29/10/2016	14
Kay Kay II	Centro	34°30' S – 36°30' S	06/09 – 16/09/2016	145
Gimar I	Centro	36°35'S – 37°10'S	25/09 – 27/09/2016	52
Gimar I	Sur	37°20' S – 41°20' S	04/10 – 09/10/2016 19/10 – 21/10/2016	218
Total				429



En la zona centro ( $34^{\circ}30'$  a  $37^{\circ}10'S$ ), primera zona muestreada, se realizó un crucero bioceanográfico entre los días 6 y 27 de septiembre del 2016. En esta zona de estudio, se desarrollaron un total de 197 estaciones con red Pairovet, de las cuales en 4 estaciones (transecta 35) se efectuaron muestreos estratificados con red Tucker Trawl (0.5m<sup>2</sup> de área de boca; 300 µm trama, equipada con flujómetro para estimar volumen de agua filtrada) y en 109 estaciones se incluyeron lances hidrográficos con CTD (SBE 19Plus V2) (**Tablas 1 y 2; Figura 1**).

En la zona sur, el crucero se desarrolló entre los días 4 al 21 de octubre del 2016. El área estudiada se localizó desde los  $37^{\circ}20'S$  hasta el  $41^{\circ}20'S$ . En esta zona, se realizaron 218 estaciones en las cuales se muestreo mediante una red Pairovet y en 4 de estas se efectuaron muestreos estratificados con una red Tucker Trawl. En 113 estaciones se incluyeron lances hidrográficos con CTD (SBE 19Plus V2) (**Tablas 1 y 2; Figura 1**).

En la zona norte, desde los  $33^{\circ}$  a  $34^{\circ}S$ , el crucero se ejecutó entre los días 28 al 29 de octubre de 2016. Totalizándose 14 estaciones con red Pairovet y de estas, en 11 estaciones se obtuvieron perfiles de CTD (SBE 19Plus V2), desde la superficie hasta un máximo de 100m de profundidad (**Tabla 1; Figura 1**).

Tanto en las zonas centro como sur se presentaron condiciones desfavorables para el muestreo, debiendo realizarse en dos etapas, lo cual es esperable en la zona y época del año. De este modo, comparando con los años anteriores, el periodo de muestreo de las zonas con mayor abundancia de huevos (zonas centro y sur) ocurrió dentro de la ventana de tiempo llevada a cabo históricamente (**Figura 2**). Más detalles de la disposición de las estaciones de muestreo se presentan en la siguiente sección (Diseño de Muestreo de Ictioplancton).

### 3. Grilla de muestreo de huevos

El área completa de estudio fue muestreada utilizando una grilla de 429 estaciones dispuestas en transectas perpendiculares a la costa, siendo éste el número más alto de estaciones realizadas en los últimos años (376 estaciones en el 2015). El límite occidental de las transectas, y por lo tanto su extensión, varío 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 el océano. A su vez, como límite oriental se consideró una distancia máxima de media milla náutica desde la costa (**Figura 1**).

La grilla de estaciones, para efectos operacionales, fue dividida en los sectores previamente definidos:

- a) Sector Norte: El muestreo en este sector fue de menor intensidad. La distribución de transectas estuvo espaciada cada 20 millas náuticas, comenzando en los  $33^{\circ}00'S$  y terminando en los  $34^{\circ}00'S$ . En cada transecta, la disposición espacial de las estaciones de



muestreo fue cada 4 millas náuticas, comenzando la primera estación en la media milla náutica de la costa. En total se realizaron 4 transectas con un total de 14 estaciones en este sector. Las estaciones muestreadas el 2016 son las mismas utilizadas históricamente en el MPDH (excepto el 2011 en que no se muestreó esta zona).

- b) Sector Centro: El diseño en esta zona estuvo orientado a la evaluación de la producción diaria de huevos, y consideró 33 transectas separadas cada 5 millas náuticas entre los 34°30'S y el Golfo de Arauco. En cada transecta, las estaciones estuvieron separadas cada 4 millas náuticas, comenzando a partir de la media milla náutica desde la costa. Este año 2016 se incluyeron al igual que en 2015 10 estaciones adicionales ubicadas en el sector oeste de Isla Santa María. La totalidad de las estaciones programadas fueron realizadas.
- c) Sector Sur: En esta zona la grilla de estaciones tuvo la misma resolución que el sector centro, y se extendió entre los 37°30'S y 41°20'S. En total se realizaron 218 estaciones (de 220 planificadas). Este plan de muestreo incluyó una transecta adicional de 3 estaciones ubicada al sur de punta Lavapié.

La colecta de huevos de anchoveta y sardina común en cada estación consistió en un arrastre vertical desde una profundidad máxima de 70 m, mientras que en aguas someras se realizó considerando un máximo de 5 m sobre el fondo. En el muestreo se utilizó una red PAIROVET, consistente en dos redes CalVET (California Vertical Egg Tow, Smith *et al.* 1985) de 0,05 m<sup>2</sup> de área de boca y 150 µm de trama, equipada con un depresor de 36 kg y cuya velocidad de virado fue 70 m por minuto. En cada estación y lance de red se registró: número de transecta, estación, fecha, hora, posición geográfica, profundidad de ecosonda, tipo de arrastre, red planctónica utilizada, cantidad de cable arriado, ángulos de cable y duración del lance (tiempo de arriado y virado). 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).

### 3.1 Identificación de huevos y estadios

Posteriormente, en el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL) de la Universidad de Concepción, las muestras de zooplancton fueron analizadas, extrayéndose la totalidad del ictioplancton, identificándose, separándose y contabilizándose los huevos y larvas de anchoveta y sardina común bajo lupa estereoscópica. Se utilizó los criterios de Fischer (1958), Einarsson y Rojas (1963), Moser y Ahlstrom (1985), Santander *et al.* (1984), y Herrera *et al.* (1987).

Una vez identificados y separados los huevos de sardina común y anchoveta, la embriogénesis se clasificó en 11 estadios de desarrollo. Para la anchoveta se utilizaron los criterios de clasificación de huevos previamente descritos por Moser y Ahlstrom (1985) y que han sido utilizados en la aplicación del MPDH en la anchoveta de Perú por 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.* (2003a). En el caso de la sardina común, se utilizaron los criterios establecidos por Sepúlveda *et al.*



al. (2000) sobre la base de los criterios morfológicos de la sardina y anchoveta. Según la metodología propuesta por Moser y 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 mórula.

**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.

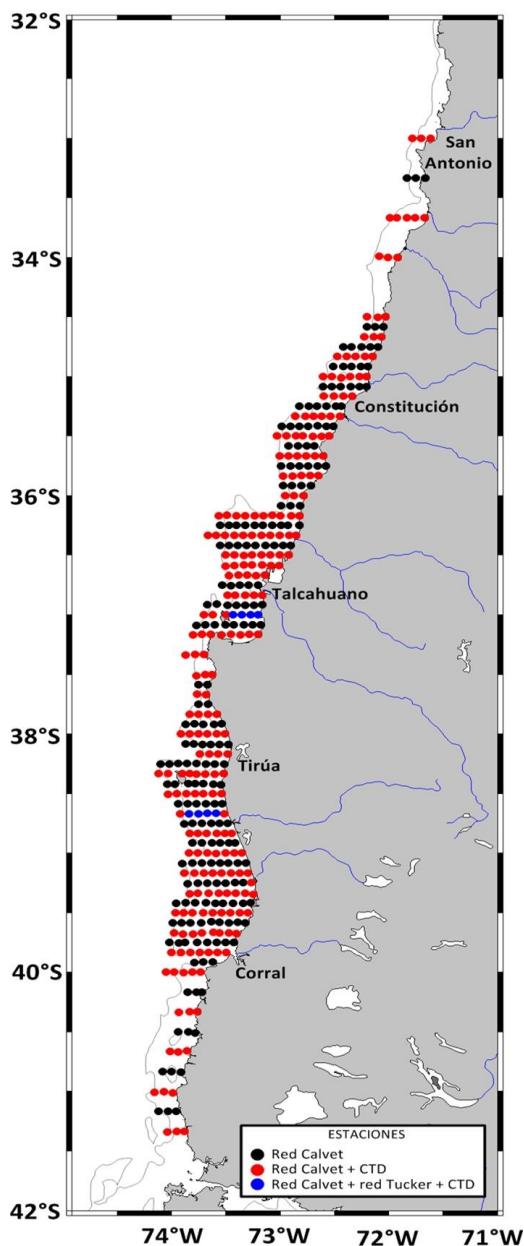
**Estadio VII:** El extremo de la cola está separado del vitelo y comienza a elongarse, la notocorda se extiende hasta el extremo de la cola y la aleta embrional comienza a visibilizarse. Al final de este estadio, la longitud de la cola libre es un medio de la longitud de la cabeza.

**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.



**Figura 1.** Grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur, 2015. Se indica la distribución del veril de los 200 m. Los puntos negros representan lances con red Pairovet (CalVET), los puntos rojos estaciones en que se realizaron tanto lances de red Pairovet como perfiles verticales con CTD, y los puntos azules estaciones en los que se realizaron lances verticales de red CalVet, CTD y red Tucker.

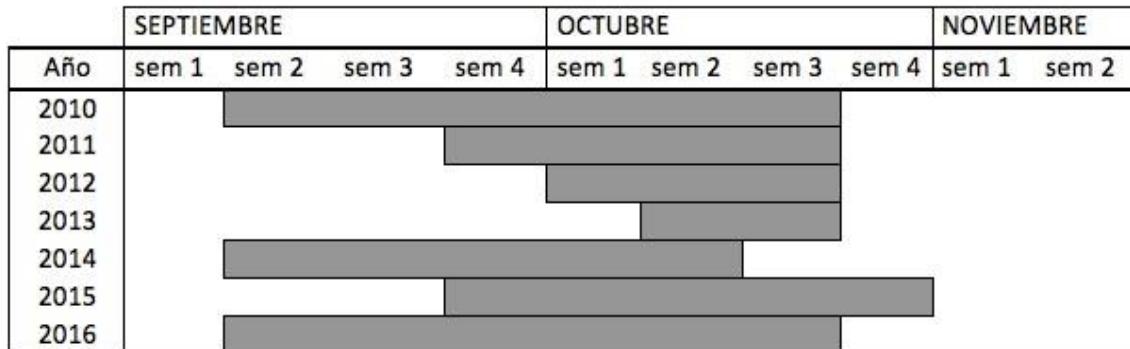


Figura 2. Período de muestreo en sectores centro y sur, 2010-2016. Período marcado del 2015 no incluye muestreo adicional posterior en sector norte de la VII región.

### 3.2 Muestreo estratificado de plancton con red Tucker

Además del muestreo en la grilla de regular de estaciones con red PAIROVET, se llevó a cabo una serie de muestreos planctónicos estratificados con el fin de obtener una aproximación de la distribución vertical de los huevos en la columna de agua. El muestreo vertical consistió en arrastres oblicuos con una red Tucker Trawl (50x50 cm de área de boca, 300 um trama, con flujómetro digital) con la que se muestreó los estratos: 10-0m, 20-10m, 30-20m, 40-30m, 50-40m, 60-50m y 70-60m. Dos transectas fueron muestreadas en sectores históricos de estudio, con altas abundancias de huevos en la zona central (transectas 29 y 35, frente a Itata y Golfo Arauco, respectivamente) y una transecta en la zona sur (transecta 48, frente a Isla Mocha) (Tabla 2).

Tabla 2. Ubicación, número de estaciones y estratos muestreados con red Tucker Trawl, para determinar la distribución vertical del ictioplancton, en los sectores centro y sur.

Sector	Transecta	Nº estaciones muestreadas	Nº estratos muestreados				
			1	2	3	4	5
Centro	27	5	7	7	7	7	7
	35	4	4	6	6	4	-
Sur	53	4	4	6	7	7	-



### 3.3 Muestreo oceanográfico

La evaluación de las condiciones oceanográficas fue realizada en las estaciones de las transectas impares del diseño planctónico con una sonda oceanográfica CTD de registro continuo. En las estaciones de la grilla regular (transecta por medio), se realizaron perfiles hidrográficos con CTD equipado con un sensor de oxígeno (**Figura 1**). Los lances hidrográficos se realizaron hasta 100 metros de profundidad o hasta 10 metros sobre el fondo, según la batimetría de las estaciones. Adicionalmente, en todas las estaciones de la grilla, se midió la temperatura superficial del mar a bordo con un termómetro digital.

Paralelamente, para la caracterización de las condiciones oceanográficas del área de muestreo, comprendida entre 32°00' y 42°00'S, durante los meses de septiembre y octubre de 2016 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 y mensual, provenientes del sitio OceanColor Web (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html>). Las imágenes fueron analizadas con el software SeaDas (versión 7.3.2), obteniéndose valores de temperatura (°C) y clorofila (mg m<sup>-3</sup>) para la región de estudio.

#### 4. Objetivo específico 2.1: Crucero de huevos y producción diaria de huevos

En el Método de la Producción Diaria de Huevos, la secuencia de actividades relacionadas con el crucero de huevos se resume en la **Figura 2**. Cada una de estas actividades involucró un conjunto de métodos y criterios que se describen a continuación.



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

##### 4.1 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 permite 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  $\text{m}^2$  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) transformación de pares de variables (usualmente latitud y longitud) a  $\text{km}^2$ , y a lo largo de una línea de referencia (e.g. línea de costa, isóbata) y perpendiculares a ésta; b) encuentra los límites del área del crucero y detecta los puntos que están dentro de dichos límites; c) estima el área de los puntos de una grilla de muestreo regular o irregular dentro de los límites del crucero mediante Dirichlet Tessellation, d) estima el área representada por los puntos localizados en el borde del crucero; y e) provee funciones para graficar los resultados de un modelo espacial (mapeo).

#### 4.2 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 y 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 y que han sido descritos para la anchoveta por Moser y Ahlstrom (1985) y Santander *et al.* (1984). La secuencia morfológica de estados de huevos de sardina común fue descrita por Herrera *et al.* (1987), y fueron adaptadas de las establecidas para anchoveta.

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.

#### 4.3. Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos

El número de huevos se asume 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).

En 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 realizará 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 utilizará 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 y 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.,

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



Donde  $\sigma^2$  es la varianza de la densidad de huevos y  $\mu$  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.* 2015b).

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

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 utilizaron las biblioteca MASS (Venables y 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 a lo menos 1 huevo por  $0,05 \text{ m}^2$  (área positiva). La producción diaria de huevos se estimó para el área de desove en cada estrato geográfico, asumiendo independencia entre los estratos geográficos centro y sur.

Para determinar la producción diaria de huevos en cada zona, se utilizó las recomendaciones de Picquelle y 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 y Stauffer (1985), bajo el enfoque de post-estratificación, la producción diaria total ( $P$ ) en cada estrato geográfico corresponde a la siguiente expresión:

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

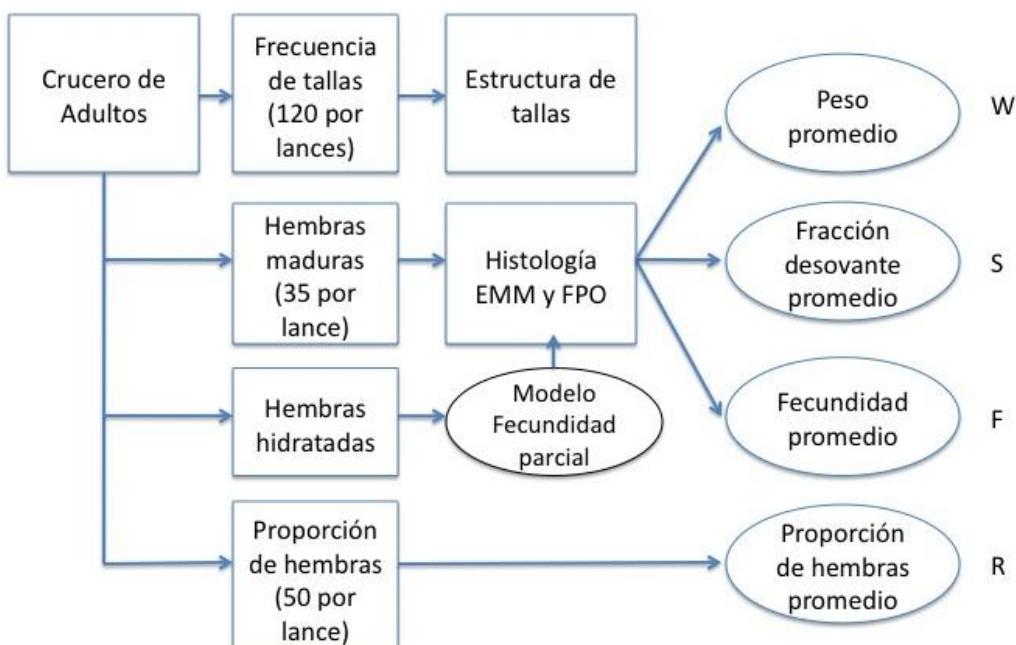
Donde:  $P_{0,h}$  es la producción diaria de huevos por unidad de superficie para el estrato  $h$ ,  $A_h$  es el área del estrato  $h$  ( $h=0$  área negativa,  $h=1$  es el área de desove), y A es el área total evaluada al interior de cada sector ( $A=A_0+A_1$ ). La varianza de la producción diaria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

## 5. Crucero de Adultos (Objetivos específicos 2.2, 2.3 y 2.4)

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 involucró metodologías y criterios que se describen a continuación.



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

### 5.1. Muestreo a bordo y procedimientos de laboratorio

En la **Tabla 3** 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 3.** 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 Julián	Centro	VIII Norte	05 Sep - 08 Sep	15
Sebastián II	Centro	VIII Sur	13 Sep - 16 Sep	15
Isaac II	Sur	IX-X Región	27 Sep - 06 Oct	30

A su vez, se obtuvo una sub-muestra aleatoria de 40 hembras maduras de cada especie en cada lance. Cada ejemplar fue diseccionado ventralmente, se conservó en una solución de formalina al 10% tamponada para el posterior análisis histológico del ovario en laboratorio. Además, cualquier hembra extra detectada macroscópicamente con ovarios hidratados se conservó en formalina 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 (ver **Figura 3**).

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 sub-muestra al azar de 50 peces fue preservada para determinar la proporción sexual en peso en el laboratorio.

## 5.2 Parámetros reproductivos de adultos

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

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

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 Ec. (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.,

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

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 (Ecuación 11).

### 5.3 Objetivo específico 2.2: Estudios 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 ( $\pm 0.01$  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 y Selman (1981), Selman y Wallace (1989), y Hunter y Macewicz (1985) (**Tabla 4**). 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 y Macewicz (1985).



Tabla 4. Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta.

ESTADIO OVÁRICO	CITOLOGÍA E HISTOMORFOLOGÍA 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 deposición 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 deposición 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	Co-existencia de ovocitos hidratados y folículos postovulatorios nuevos, entre ovocitos en deposición 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.

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). Los criterios desarrollados por Hunter y Goldberg (1980) y Hunter y 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 FPO 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 y Hettler, 1995; Ganias *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 ninguna 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.

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 presentara 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 y 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).

#### 5.4 Objetivo específico 2.3: Fecundidad parcial

La fecundidad parcial ( $F$ , numero de huevos desovados por tanda) de las hembras con ovocitos hidratados fue 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 sub-secciones fueron cortadas de un ovario, pesada, y contado en cada una el número de ovocitos hidratados.

El número total de huevos por lote se calculó multiplicando el número medio de ovocitos por gramo de ovario de la sub-sección por el peso total de los ovarios. La fecundidad parcial fue relaciona 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  $i$ , calculado de la ecuación (11).

#### 5.5. Objetivo específico 2.4: Peso promedio y proporción sexual

El peso promedio ( $W$ ) de las hembras maduras en el lance de pesca fue calculado y corregido 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 también fue corregido por el factor asociado a la conservación en formalina.



## 6. Objetivo específico 2.5: Biomasa desovante

El modelo de producción diaria de huevos es usado para estimar la biomasa del stock desovante, de acuerdo con Stauffer y Picquelle (1980) es expresado por (ecuación 13):

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

Donde  $B$  es la biomasa del stock desovante (t),  $P_0$  es la producción diaria de huevos (número de huevos por  $m^2$  por día),  $A$  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 (ecuación 14):

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

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 se expresa 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 *sign* 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:

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

donde  $m_i$  y  $k_i$  se refieren al número de hembras maduras en el  $i$ -ésimo lance para cada parámetro, y  $\sigma$  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.



## 7. Objetivo específico 2.6: Distribución de huevos asociada a variables oceanográficas

### 7.1. Análisis descriptivos, año 2016

Con los datos generados el año 2016, la primera sección incluyó la descripción de las condiciones oceanográficas, distribución horizontal de huevos de ambas especies y la determinación de posibles asociaciones entre las zonas de desove y características ambientales. Esto último se realizó mediante distintas aproximaciones metodológicas, tanto de carácter cualitativo como estadístico, que se han utilizado históricamente en los informes del MPDH, tales como: mapas horizontales de distribución y secciones verticales, relaciones T-S, y Modelos Aditivos Generalizados (GAM).

#### **Mapas Horizontales (2016)**

La distribución horizontal de huevos de anchoveta y sardina común fueron representadas por mapas en que se sobrepone la abundancia de huevos (burbujas de diferente tamaño) sobre mapas con variables ambientales (e.i., temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto), utilizando la base de datos del MPDH año 2016. Las profundidades de las variables oceanográficas sobre las cuales se graficaron las abundancias de huevo fueron las que históricamente se han utilizado en los proyectos del MPDH anteriormente: 1m, 10m y 50m de profundidad. Los mapas fueron realizados con el programa Surfer versión 8.0.

#### **Diagramas T-S (2016)**

Es un método gráfico que consiste en la sobreposición de las abundancias de huevos (círculos escalados de abundancia) sobre diagramas T-S (Checkley *et al.* 2000) con el fin de identificar los rangos de temperatura y salinidad en que mayores abundancias de huevos y larvas se presentan. Este método fue sugerido en los talleres SPACC (Small Pelagics and Climate Change; van der Lingen *et al.* 2005) y utilizado ampliamente en los proyectos del Método de Producción Diaria de Huevos (MPDH) en anchoveta y sardina común de la zona centro-sur de Chile (Cubillos *et al.* 2010, 2011, 2013, 2014, 2015a). En esta sección se compararon los rangos de estas variables entre zonas utilizando la base de datos del proyecto actual (2016). Los valores de temperatura y salinidad que se utilizaron fueron valores a 1, 10 y 50m de profundidad. Para la diagramación de los diagramas T-S se utilizó el programa Surfer versión 8.0.

#### **Modelos Aditivos Generalizados (GAMs) (2016)**

Se evaluaron las potenciales relaciones entre la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común con las características físicas mediante los modelos aditivos generalizados (GAMs). Las variables predictoras que se incorporaron al modelo fueron latitud, longitud, temperatura, salinidad, densidad y oxígeno obtenidos de la base de datos del proyecto MPH 2016. Los modelos aditivos generalizados fueron desarrollos en ambiente R (<http://www.r-project.org>). Las librerías que se utilizaron son el “mgcv” y “mass”, estas librerías en conjunto seleccionan en forma automática el modelo, utilizando el Método de Validación Cruzada General (GCV) o Método de Akaike (AIC),



además utiliza los suavizadores multidimensionales (Wood 2003). Los criterios metodológicos que se utilizaron en los GAMs se basaron en lo reportado por Cubillos *et al.* (2011). Los valores de las variables predictoras que se ocuparon fueron de superficie, 1m, 10m y 50m de profundidad. Finalmente, desde las salidas de los modelos se obtuvieron los rangos de las variables oceanográficas que presentan un efecto positivo en la abundancia de huevos de ambas especies.

### **Secciones verticales (2016)**

Como parte de una **segunda sobreoferta de ictioplancton**, se propuso realizar tres transectas de muestreos estratificados de plancton en las zonas de más alta abundancia de huevos de las dos especies objetivo. Estas zonas fueron las siguientes: la zona costera al norte de Bahía Concepción ( $36^{\circ} 30'S$ ), el Golfo de Arauco ( $37^{\circ}S$ ) y zona costera entre Corral e Isla Mocha ( $38,5^{\circ}$ - $39^{\circ}30'S$ ). En cada una de estas zonas se realizaron muestreos estratificados con una red Tucker Trawl a lo largo de una transecta de 5 estaciones bio-oceanográficas. La selección de la transecta a muestrear fue determinada a bordo basado en la presencia de huevos durante el mismo crucero y se esperó que fueran las mismas utilizadas para estos fines en el año 2015. Los estratos a muestrear fueron: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 y 60-70 m de profundidad. En cada estación de muestreo adicionalmente, se obtuvieron perfiles hidrográficos con CTD (Seabird 19Plus V2 y Seabird 25) hasta una profundidad de 100m. Posteriormente las muestras de zooplancton fueron analizadas, extrayéndose la totalidad del ictioplancton, siendo los huevos de anchoveta y sardina común identificados, separados y cuantificados bajo lupa estereoscópica.

A partir de la data de esos muestreos, la distribución vertical de los huevos de anchoveta y sardina común, fueron representadas gráficamente sobreponiendo su abundancia a las secciones verticales de variables ambientales (e.i., temperatura, salinidad, densidad y oxígeno disuelto) de cada transecta.

Las abundancias de huevos fueron representadas mediante círculos de diferentes tamaños dependiendo de la abundancia en cada estación.

## **7.2. Análisis cuantitativos, año 2016**

Se utilizaron modelos aditivos generalizados (GAM) para analizar la relación existente entre la densidad de huevos y características físicas del ambiente en el área de desove. Los Modelos Aditivos Generalizados (GAM) han demostrado ser una poderosa herramienta para modelar la distribución de huevos y la producción diaria de huevos (e.g. Borchers *et al.* 1997; Bernal 1999; Stratoudakis *et al.* 2003), pero varios problemas metodológicos no habían podido ser resueltos para ser utilizados adecuadamente en el MPDH. Dichos problemas metodológicos han sido superados a través del proyecto de la Unión Europea “Using environmental variables with improved DEPM methods to consolidate the series of sardine and anchovy estimates” (EU Study 99/080), cuyas mejorías se pueden resumir en Bernal *et al.* (2011).

- Rutinas para la selección de modelos utilizando GAM, lo que previamente había sido realizado sobre una base *ad hoc* con elementos subjetivos.



- Modelación independiente del sistema de coordenadas en GAM, de esta manera los modelos deberían ser insensitivos a cambios en el sistema de coordenadas.
- Modelación de interacciones con GAM, cuyo principal tópico es cómo escalar la covarianza relativa de las variables.
- Mejor desempeño de la inferencia con modelos GAM
- Asegurar estabilidad del modelo con datos que se caracterizan por una alta presencia de ceros
- Facilitar el uso de las nuevas rutinas a usuarios interesados en mejorar estimaciones con el MPDH.

Se destaca que gran parte de los tópicos mencionados necesitaron de cambios en la metodología estadística básica en GAM. Por ejemplo, la estimación de la producción diaria de huevos ( $P_0$ ) y la tasa de mortalidad diaria ( $Z$ ) es un problema específico del MPDH. Por esta razón, varias mejorías estadísticas fueron desarrolladas a través del proyecto de la UE, las que se describirán aquí y fueron aplicadas en la problemática general de la producción diaria de huevos de anchoveta y sardina común.

La formula general simplificada de GAM que fue aplicada en la estimación de la producción diaria de huevos se expresa por:

$$E[N_i] = g^{-1}(\text{offset} + s(x_1, \text{by} = P_0) + s(x_2, \text{by} = \text{edad}))$$

donde  $N_i$  es la abundancia de huevos en la cohorte diaria  $i$ ,  $g^{-1}$  es el inverso de la función de enlace (link function), i.e. la función que relaciona la variable respuesta y el predictor lineal (e.g. logaritmo en el caso de Poisson);  $P_0$  es la producción diaria de huevos,  $\text{edad}$  es la edad media ponderada de la cohorte diaria  $i$ ;  $s(x_1, \text{by} = P_0)$  es la función suavizadora que describe la relación entre la producción de huevos (en escala logarítmica) y un conjunto de co-variables  $x_1$ , e.g.  $s(\text{Lat}, \text{Long}, \text{by} = P_0)$ ; y  $s(x_2, \text{by} = \text{edad})$  es la función suavizadora que describe la relación entre la mortalidad de los huevos y el conjunto de co-variables  $x_2$ , e.g.  $s(\text{TSM}, \text{by} = \text{edad})$ .

Las estimaciones de la edad y  $N_i$  fueron obtenidas directamente desde las muestras mediante la asignación de edad. El parámetro  $\text{offset}$  es fijo y toma en cuenta diferencias en la intensidad de muestreo (i.e. volumen de agua filtrada o superficie efectiva muestreada). Se utilizó el área efectiva muestreada, calculada mediante el producto entre el área de la boca de la red CalVET y el coseno del ángulo del cable.

La estructura de error (la cual puede diferir de la distribución normal) fue seleccionada según la relación media-varianza. Las funciones suavizadoras fueron automáticamente seleccionadas por el nuevo conjunto de algoritmos desarrollado para GAM utilizando validación cruzada general (General Cross-Validation, GCV). No obstante, el conjunto de co-variables utilizadas para explicar la producción de huevos y la tasa de mortalidad fueron seleccionadas por el equipo de trabajo sobre la base del conocimiento de la especie y las características del hábitat reproductivo. La ventaja de esta metodología es que no requiere de supuestos a posteriori acerca de la estratificación del área de estudio.



### *Ajuste y selección de modelos*

Dentro del proyecto GAM de la UE, un esquema de trabajo flexible e integrado para el ajuste de GAM utilizando “penalized regression splines” (e.g. Wahba 1980, Parker y Rice 1985, Eilers y Marx 1996) fue desarrollado, y que consisten en:

- Selección de suavizadores de dispersión integrados utilizando GCV (General Cross-Validation) o unbiased risk estimation (Criterio de Información de Akaike, AIC)
- Representación de rangos óptimos bajos de funciones suavizadoras componentes del modelo de un número arbitrario de covariables.
- Una aproximación rigurosa para la estimación por intervalos sobre la base de un modelo Bayesiano del proceso de suavización
- Extensión de los modelos aditivos generalizados para incluir “offset multiplicativos” para los términos de suavizamiento.
- Una aproximación eficiente para utilizar un modelo de error binomial negativo en este esquema de trabajo con GAM.
- Desarrollo de un método numérico óptimamente estable de ajuste del modelo y selección de los suavizadores de dispersión utilizando GCV o AIC.
- El desarrollo de un paquete computacional completo en el que se implementa este esquema de trabajo flexible y disponible gratuitamente dentro del programa R.

Los primeros tres puntos y el último están relacionados con una mejoría notable de ajuste de GAM y ampliamente disponibles para una gran variedad de aplicaciones. El cuarto punto fue desarrollado para tratar aspectos particulares de la estimación de la producción de huevos con GAM (modelo de mortalidad de huevos), mientras que los puntos quinto y sexto fueron desarrollados sobre la base de las aplicaciones del MPDH, pero que pueden ser utilizados para modelar una gran variedad de otro tipo de datos. Wood (2002, 2003) describen en detalle los puntos anteriores desde el punto de vista estadístico.

### **7.3. Análisis histórico de la distribución de huevos asociada a variables oceanográficas**

Con fines exploratorios, se utilizó modelos GAM para analizar los cambios interanuales en la distribución espacial del desove de anchoveta y sardina común utilizando la latitud geográfica y los años. Estos resultados se presentan tanto para datos de presencia-ausencia como de la densidad de huevos.

Para cumplir con los requerimientos del Objetivo 6, y determinar posibles asociaciones entre las zonas de desove y características ambientales, se utilizó la base de datos de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común de los proyectos del Método de Producción Diaria de Huevos (MPDH), del Fondo de Investigación Pesquera e IFOP (2002-2015) de la zona centro-sur de Chile,



más los datos de este año 2016. Se realizaron dos aproximaciones: a) distribución de la abundancia de huevos en relación con variables oceanográficas, y b) distribución de la presencia-ausencia de huevos en relación con variables oceanográficas utilizando modelos predictivos y ensamble de modelos.

#### **a) Distribución de la abundancia de huevos y variables ambientales**

Para visualizar la relación entre características ambientales y las distribuciones de huevos a lo largo de la zona de muestreo, se realizaron a cabo para cada uno de los años de MPDH:

- Histogramas de abundancia promedio de huevos de cada especie en secciones de un grado de latitud junto a las características ambientales promedio (temperatura, salinidad y oxígeno disuelto a 10m de profundidad) en la misma sección. Este tipo de diagramas permitieron visualizar si hubo cambios latitudinales en las zonas de máximos de huevos a lo largo de los años aparejados a cambios en las características ambientales.
- Paralelamente, se estimó la latitud de los centros de masa (centroídes) en cada zona y año, y para determinar si ha habido cambios en la latitud de los centroídes durante todos los años de muestreo, se graficó la posición latitudinal de cada centroide (Y) a lo largo del periodo completo (X) de muestreos de MPDH.
- Para visualizar si hubo cambios conjuntos entre condiciones ambientales (10m de profundidad) y abundancia de huevos por zona, se estimó la abundancia promedio de huevos en el total de estaciones positivas de cada especie por zona (norte, centro y sur) y se diagramó junto a los promedios de las variables hidrográficas de cada zona en el tiempo.
- Finalmente, con el objeto de determinar los rangos de temperatura y salinidad entre los cuales se ubicaron los huevos de cada especie anualmente y sus variaciones interanuales, se utilizaron diagramas similares a los diagramas T-S normalmente desarrollados históricamente en los informes de MPDH. En estos diagramas, se reemplazó las abundancias escaladas en forma de burbujas, por box-plots que indicaron anualmente los valores representativos de las medianas, límites mínimos y máximos de salinidad y temperatura (a 10 m de profundidad) en que se encontró huevos en cada zona.

#### **b) Modelos predictivos y ensamble de modelos**

Los modelos de nicho ecológico o modelos de distribución de especies (ENM o SDM por sus siglas en inglés) (Elith *et al.* 2006), los cuales corresponden a aproximaciones para realizar predicciones espaciales explícitas de distribución geográfica, en base a variables ambientales y registros de presencias de las especies (Guisan y Zimmermann, 2000; Guisan *et al.* 2006; Phillips *et al.* 2006, Elith y Leathwick, 2009; Elith *et al.* 2010).



Varios modelos permiten analizar objetivamente los patrones espaciales de los organismos (Guisan y Zimmermann, 2000; Elith *et al.* 2006), por ejemplo GLM (generalized linear models), GAM (Generalized Additive Models), RF (Random Forest) y CART (Classification and regression trees) entre otros. Sin embargo, estas aproximaciones, no han estado exentas de controversias respecto a que método o algoritmo es mejor para una determinada pregunta de investigación (Elith *et al.* 2006). Dada la naturaleza propia de cada algoritmo varios autores han propuesto unificar las predicciones a través de métodos de ensambles, que permiten evaluar la incertidumbre de las predicciones individuales (Thuiller 2003; Marmion *et al.* 2009; Araújo y New, 2007) para lo cual se utilizó el paquete Biomod2 (Thuiller 2003; Thuiller *et al.* 2009), incorporando los cuatro modelamientos individuales para generar un modelo de consenso de las predicciones. Para contrastar los resultados del ensamble generado por Biomod2, se utilizó un ensamble mediante una análisis de componentes principales (PAC) a través del paquete Dismo (Distribution modelling) (Hijmans *et al.* 2015) implementado en el programa R (<https://www.r-project.org/>) mediante los paquetes 'raster', 'sp', 'rgdal', 'plotmo', 'mgcv', 'randomForest', 'dismo' y 'biomod2'.

En tal sentido, se propuso las siguientes actividades

- a) Generar una base de datos histórica de registros de presencia-ausencia de huevos (georeferenciada) y variables ambientales levantadas en cada estación de muestreo, (temperatura, oxígeno, salinidad y profundidad de fondo).
- b) Ajustar distribuciones geográficas modeladas mediante distintas aproximaciones (GLM, GAM, RF y CART) y evaluar su capacidad predictiva.
- c) Evaluar la capacidad predictiva de los modelos individuales versus métodos de consenso o ensamble.

Para la evaluación de los modelos se utilizó el método estándar del área bajo la curva (AUC) el cual deriva de la curva ROC (Phillips *et al.* 2006). El AUC describe la relación entre las presencias correctamente predichas (sensibilidad) y las ausencias correctamente predichas (especificidad) (Fielding y Bell, 1997). El AUC varían desde 0.5 (predicción aleatoria) a 1.0 (predicción perfecta) (Manel *et al.* 2001). De acuerdo con la escala de Swets (1988): 0.5-0.7 indican un bajo poder predictivo; 0.7-0.9 regular y valores mayores a 0.9 indican alto poder predictivo.



## 8. Índice de abundancia de huevos

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, 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.

Con el objeto de obtener un índice de abundancia de huevos que sea de utilidad para la evaluación de stock, se realizó un análisis espacio-temporal, incluyendo covariables como la latitud y la batimetría. Para ello, el número de huevos fue analizada con un Modelo Lineal Generalizado (MLG), cuya estructura básica se representa por:

$$H_{i,j,k} = \text{offset}(-\log(a))_{i,j,k} + \mu + \alpha_i + \beta_j + g_k + \varepsilon_{i,j,k}$$

donde  $H_{i,j,k}$  es el número de huevos en el año  $i$ , estrato  $j$ , y profundidad  $k$ ,  $\text{offset}(-\log(a))_{i,j,k}$  es el área efectiva de la red,  $\mu$  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,  $\alpha$  representan los coeficientes asociados a los años como desviaciones de  $\mu$ ,  $\beta$  representan los coeficientes asociados a los estratos geográficos, y  $\gamma$  los coeficientes asociados con la factorización de la profundidad de fondo, mientras que  $\varepsilon_{i,j,k}$  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  $\mu^p$  para algún valor de  $p$  entre 1 y 2. Se utilizó MLG como una herramienta flexible para tomar en cuenta explícitamente el tipo de distribución estadística (Binomial Negativa, Poisson, Gamma, Tweedie). A su vez, los MLG permiten linealidad sobre otras escalas que la escala identidad, por ejemplo logaritmos, logit, probit, recíproca, otras. En MLG las observaciones independientes ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ) provienen de una función de densidad de la familia exponencial, parametrizada por  $\mu_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) (la media) y  $\psi_i$  (el parámetro de dispersión). De esta manera, se puede tener los siguientes casos para el componente aleatorio; a saber:

- Normal ( $\mu_i, \psi_i$ ), con varianza proporcional a  $\psi_i(\mu_i)^0$ .
- Poisson ( $\mu_i, \psi_i$ ), con múltiples  $\psi_i$  veces una variable aleatoria Poisson ( $\mu_i/\psi_i$ ), con varianza proporcional a  $\psi_i(\mu_i)^1$ .



- Poisson compuesta con gamma, con algún valor  $1 < p < 2$ , y varianza proporcional a  $\psi_i(\mu_i)^p$  (la distribución Tweedie).
- Gamma ( $\frac{1}{\mu_i}, \frac{1}{\psi_i \mu_i}$ ), con varianza  $\psi_i(\mu_i)^2$ .
- Gaussiana inversa ( $\frac{1}{\psi_i \mu_i}, \frac{1}{\psi_i \mu_i^2}$ ), con varianza  $\psi_i(\mu_i)^3$ .
- Binomial negativa, con un parámetro  $p$  que varía.

A parte de modelar bien la distribución de probabilidad de la variable de interés, el componente sistemático contiene un predictor lineal que ayuda a identificar los cambios temporales en la densidad de huevos de anchoveta y sardina común. El modelo fue esencialmente el mismo y sólo varío la familia y enlace. El modelo fue seleccionado según las tendencias en la densidad esperada de huevos, considerando la devianza explicada por cada modelo.

### 8.1. Otros índices de abundancia de huevos

Con el objeto de considerar el área de desove y la duración del desove, este último calculado a partir del índice gonadosomático según metodología de Claramunt *et al.* (2014) (**Tabla 5**). En consecuencia, el índice de densidad de huevos fue corregido por estas variables y se obtuvieron los siguientes índices de abundancia:

- Índice 2: Densidad de huevos \* Duración del desove
- Índice 3: Densidad de huevos \* Área de desove
- Índice 4: Densidad de huevos \* Duración del desove \* Área de desove

**Tabla 5** Área de desove y duración del periodo de desove de anchoveta y sardina común.

Años	Anchoveta		Sardina común	
	Área de desove (km <sup>2</sup> )	Duración del desove (meses)	Área de desove (km <sup>2</sup> )	Duración del desove (meses)
2002	9373	4.97	6568	4.74
2003	NA	5.05	NA	4.43
2004	6051	4.50	2042	4.99
2005	6723	3.82	2686	3.34
2007	12782	3.12	9737	3.20
2008	5557	3.28	1716	3.38
2009	7635	3.33	5004	3.82
2010	7563	3.93	6874	3.06
2011	7135	4.45	5545	2.98
2012	2708	4.62	3627	3.05
2013	4189	4.46	5432	2.77
2014	6837	3.98	5525	3.06

## 8.2 Relación huevo-recluta y huevo-biomasa desovante

Por otra parte, la relación índice de huevos-biomasa se analizó considerando las propias estimaciones de biomasa desovante y las biomasa desovante proveniente de análisis integrados con modelos de evaluación de stock de IFOP.

El modelo de dinámica poblacional utilizado en sardina y anchoveta corresponde a un modelo anual estructurado por edad, de sexos combinados, cuya información de entrada en la evaluación de ambas especies abarca desde el año 1998 hasta el año 2014, y corresponde a: 1) las estadísticas de desembarques registradas por el Servicio Nacional de Pesca (<http://www.sernapesca.cl>), 2) estructura de tamaños, de edad y peso medio a la edad/talla registrado por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), 3) las evaluaciones acústicas del reclutamiento realizadas por IFOP entre la V-X regiones, en dos cruceros; uno en verano (RECLAS) cuyo objetivo es evaluar la fuerza de los reclutamientos, y otro en otoño (PELACES), para evaluar la biomasa disponible a la flota y corroborar las estimaciones del crucero de verano. Otra fuente de datos consistió en la evaluación del stock desovante de anchoveta entre la V-X Regiones por el método de la producción diaria de huevos (MPDH) (e.g. Cubillos *et al.* 2016). Por último, 4) información obtenida de la literatura y que dice relación con parámetros del ciclo vital de anchoveta.

La desviación estándar de los índices de abundancia se suponen no varían en el tiempo siendo para el crucero de verano, de otoño y para el crucero de huevos de 0.3, sin embargo en el taller de revisión por pares para sardina común se sugiere que las estimaciones del crucero de huevos no tendrían un contenido de información real o muy poco con relación al tamaño del stock desovante y por tanto incluir un cv =30% es poco realista, recomendando eliminar el índice de crucero de huevos o aumentar considerablemente la varianza asumida a un cv=100%.



Considerando que el caso base representa el mejor modelo para proporcionar estimaciones de la actual condición de la población, la evaluación de stock anterior se contrastó frente a nuevos casos estudio que modifican la ponderación del crucero de huevos (MPDH) e incorporan los índices de abundancia de huevos estimados en este informe **Tabla 6**.

**Tabla 6** Casos de estudio considerados en la evaluación de los índices de densidad de huevos como estimadores de biomasa desovante.

Casos estudio		FUENTES DE INFORMACIÓN	
Caso base	Reclas	CV=0.3 ----- MPDH	CV= 100
	Pelaces	CV=0.3 ----- Desembarque	CV=0.01
Caso 1	Reclas	CV=0.3 ----- MPDH	CV=100 ---- índice CV tiempo variable
	Pelaces	CV=0.3 ----- Desembarque	CV=0.01
Caso 2	Reclas	CV=0.3 ----- MPDH	CV=0.3 ---- índice σ tiempo variable
	Pelaces	CV=0.3 ----- Desembarque	CV=0.01
Caso 3	Reclas	CV=0.3 ----- índice CV tiempo variable	
	Pelaces	CV=0.3 ----- Desembarque	CV=0.01
Caso 4	Reclas	CV=0.3 ----- índice entre 2007-2014	CV tiempo variable
	Pelaces	CV=0.3 ----- Desembarque	CV=0.01

Con el objeto de buscar indicadores del reclutamiento a partir del índice de abundancia de huevos se estableció una relación funcional entre el reclutamiento y el índice de densidad de huevos, se utilizaron 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 utilizaron las estimaciones directas de reclutamiento como las evaluadas mediante modelos integrados de evaluación de stock. Las estimaciones directas dicen relación con la evaluación acústica de reclutamiento de los cruceros RECLAS (**Tabla 7**).



**Tabla 7.** 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).

Años	Crucero	Sardina común				Anchoveta			
		Biomasa Total (10 <sup>3</sup> t)	Biom. Reclutas (10 <sup>3</sup> t)	Abund. Total (10 <sup>6</sup> n°)	Reclutas (10 <sup>6</sup> n°)	Biomasa Total (10 <sup>3</sup> t)	Biom. Reclutas (10 <sup>3</sup> t)	Abund. Total (10 <sup>6</sup> n°)	Reclutas (10 <sup>6</sup> 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

### 8.3. Agregación espacial de la densidad de huevos: destrucción

#### Antecedentes

La sardina común (*Strangomera bentincki*) y anchoveta (*Engraulis ringens*) comparten características biológicas similares en cuanto a su distribución espacial, tasa de crecimiento, tiempo de reproducción, área de desove y tiempo de reclutamiento (Cubillos *et al.* 2002). Además, son especies pelágicas de gran importancia para la actividad pesquera en la zona centro-sur de Chile, donde tanto capturas del sector industrial como artesanal, dependen del reclutamiento de estos (Cubillos *et al.* 1998). Estas especies sufren cambios persistentes en su dinámica poblacional a causa de cambios de régimen, los cuales pueden afectar positiva o negativamente el reclutamiento y la abundancia (Chávez *et al.* 2003; Barange *et al.* 2009). Y puede determinar patrones sincrónicos de fluctuaciones durante décadas (Alheit y Bakun, 2010). Existen hipótesis que postulan que la variabilidad en el reclutamiento se ve atribuida principalmente a efectos externos de carácter



ambiental. Generando procesos denso-dependientes, que producen mortalidad de huevos y larvas durante la temporada reproductiva y en la fase de pre-reclutamiento (Hjort 1914; Cushing 1975; Sinclair 1988; Cury y Roy, 1989; Bakun 1996; Cahuin *et al.* 2013). Donde la densidad de huevos puede exhibir “destructuración”, lo que significaría que núcleos de alta densidad están ocupando áreas más pequeñas que valores de densidad de huevos menores (MacCall 1990).

En la actualidad, técnicas geoestadísticas son empleadas para caracterizar la estructura espacial de peces y su distribución. Barange *et al.* (2005) usa herramientas geoestadísticas para determinar la ocupación espacial de anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina (*Sardinops sagax*) durante periodos en los cuales el tamaño poblacional aumenta o disminuye. Diversos autores han sido capaces de detectar una estructura espacial denso-independiente debido a que el rango de los variogramas para densidades de peces indicadores fue el mismo en el año de baja y alta abundancia. Cubillos *et al.* (2007) encontraron que el desove de anchoveta parece ser continuo a lo largo de la costa, mientras que el desove de la sardina común tiende a ocurrir en parches o grupos discretos o agregaciones de alta densidad. Sin embargo, Castillo-Jordán *et al.* (2007) analizaron la estructura espacial del desove para inferir diferencias en la estrategia de ocupación espacial. Los autores concluyeron que tanto anchoveta como la sardina común están utilizando un hábitat de desove similar, donde los principales componentes que afectan a la distribución espacial fueron la profundidad y temperatura del fondo marino. Los intervalos de los variogramas de la densidad de huevos fueron similares y la densidad de huevos de la especie se correlacionó.

Metodológicamente, se evalúo si ciertos niveles de densidad presentaban destrucción; esto es, si el tamaño de los cluster de huevos presentaba diferentes rangos y heterogeneidad espacial (**Tabla 8**).

### Análisis estructural de la densidad de huevos

Determinar la estructura espacial del desove consiste en analizar niveles de agregación de huevos en el espacio a través de un variograma experimental (Bellier *et al.* 2007), el cual es definido por la varianza y covarianza de la diferencia entre los valores de  $h$  unidades (Petitgas 1993). En lugar de utilizar la densidad de huevo bruto, la estructura espacial se puede describir sobre la base de niveles de densidad con variables indicadoras de presencia-ausencia. El variograma experimentales se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_i^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

Donde  $\gamma(h)$  es la semivarianza,  $h$  es el vector de distancia y dirección,  $n(h)$  es el número de pares de observaciones separados por una distancia  $h$  en una dirección dada,  $z(x_i)$  es el valor de la variable para los  $i$ -ésimo punto con datos. El variograma experimental se aplicó sobre la base de distancias calculadas mediante la transformación de sistemas de coordenadas (latitud y longitud) a



kilómetros en los componentes espaciales Este y Norte, utilizando el sistema UTM. Para transformar las millas náuticas a miles de kilómetros, se utilizó el paquete “geofun”, el cual es compatible con el lenguaje y el software R (R Development Core Team, 2008).

**Tabla 8** Enfoque metodológico utilizado para identificar la estructura espacial y la densidad de dependencia de anchoveta y densidad de huevos de sardina

Pregunta	Enfoque	Prueba	Decisión	Consecuencias
¿Existe “Destructuración” en los cluster de parches de huevo?	Elegir diferentes valores de corte de densidad de huevos	Comparar el rango de los variogramas para variables indicadoras de $z \geq 1$ , $z \geq 10$ y $z \geq 100$ huevos por $0,05 \text{ m}^2$	<b>A)</b> Si los rangos no cambian para diferentes variables de indicador	No hay “destructuración”
			<b>B)</b> Si el rango disminuye a medida que aumenta la densidad de corte del indicador	Hay evidencia de “destructuración”

Se utilizó el variograma exponencial para describir el variograma experimental, según la siguiente expresión:

$$\hat{\gamma}(h) = C_0 + C [1 - \exp\left(-\frac{|h|}{r}\right)]$$

Donde  $C_0$  corresponde al efecto nugget, el cual refleja una interpretación física ligada al azar en la distribución espacial,  $C$  corresponde al sill parcial,  $(C_0 + C)$  es el sill, el cual representa el nivel de heterogeneidad en la estructura espacial,  $r$  corresponde al rango, representa el tamaño de los parches de huevos. El modelo exponencial del variograma tiene un rango práctico igual a tres veces su rango de parámetros  $r$ , es decir,  $3r$  (Petitgas 1993). La función asintótica exponencial se ajustó según el criterio de minimización de mínimos cuadrados ponderado de Cressie (1993). En el modelo de variograma exponencial, el nugget intercepta con el eje y, mientras que el rango y el umbral están determinados por el punto de inflexión superior donde la línea se vuelve plana. La coordenada x de este punto de inflexión es el rango, mientras que la coordenada y es el umbral.



## VII. RESULTADOS

### 1. Distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común

#### 1.1. Estaciones con presencia de huevos

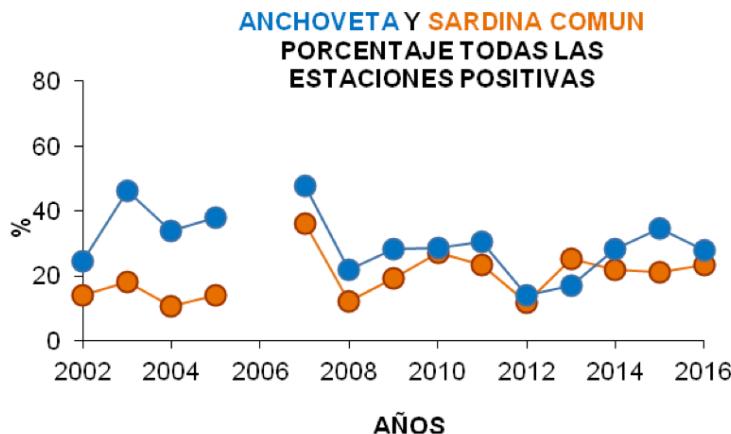
Del total de 429 estaciones de la grilla regular del 2016 en que se realizó muestreo con red Pairovet, 119 estaciones presentaron huevos de anchoveta, lo que representa un 27,7% del total de estaciones, y 100 estaciones presentaron huevos de sardina común (23,3%) (**Tabla 9**). Comparado con el 2015, ocurrió una disminución de un 6,9% de estaciones positivas con huevos de anchoveta y un aumento de 1,5% de estaciones positivas con huevos de sardina común.

Al analizar la serie de tiempo completa de porcentajes de estaciones con huevos de ambas especies se observó que: 1) se mantiene la tendencia en todo el periodo de un mayor número de estaciones positivas de huevos de anchoveta (**Figura 5**), 2) hubo una disminución del número de estaciones con huevos de anchoveta y un aumento de estaciones con huevos de sardina común entre los periodos 2002-2007 y 2008-2016.

**Tabla 9** Número de estaciones totales desarrolladas por sector en el 2016, 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	2	14,3	3	21,4
Centro	197	54	27,4	38	19,3
Sur	218	63	28,9	59	27,1
Total	429	119	27,7	100	23,3

El número de estaciones positivas con huevos de anchoveta en el sector norte estuvo en el rango histórico (2 estaciones positivas; 0-3 estaciones entre 2002-2015). En el sector central fueron 54, siendo este año menor que en el sector sur (63), así, la proporción de estaciones positivas con respecto al total fue, en el sector central 27,4% menor que en el sector sur (28,9%) (**Tabla 9**). En relación al 2015, en 2016 disminuyó notoriamente la proporción de estaciones positivas en la zona central (de 46,2% a 27,4%) y aumentó levemente en la zona sur (de 27,2% a 28,9%, el 2015 y 2016, respectivamente).

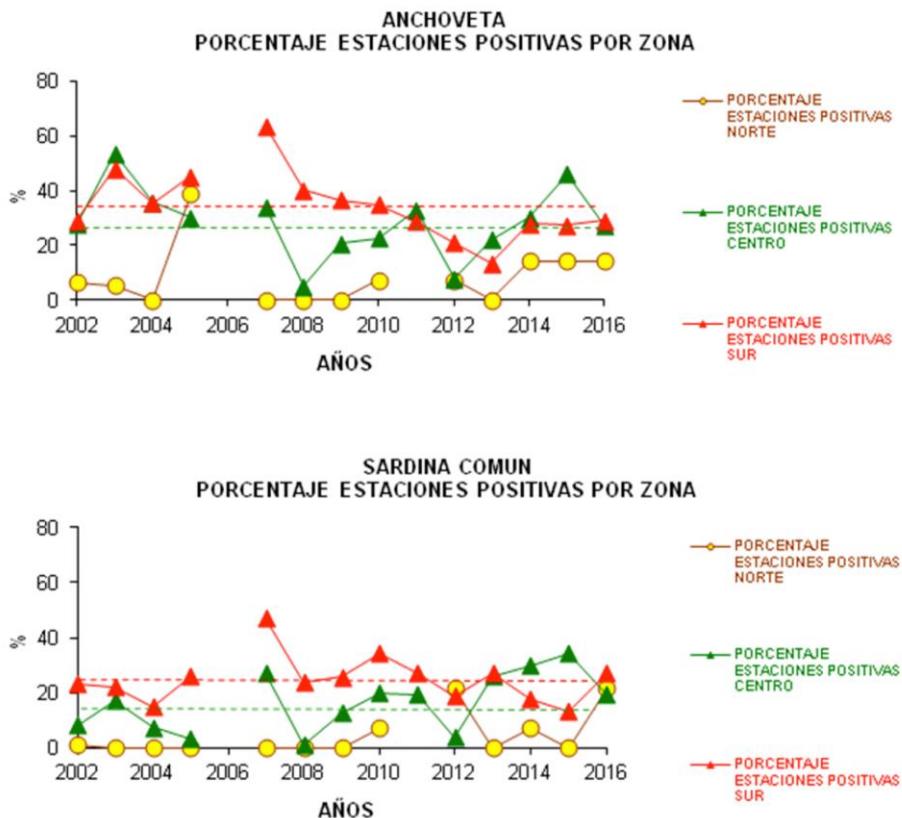


**Figura 5** Porcentaje de estaciones con huevos en cada año en la zona total de muestreo.

En los resultados de sardina común sólo tres estaciones presentaron huevos en el sector norte, siendo levemente mayor al rango histórico (0-2 estaciones positivas entre 2002-2015). En el sector central hubo 38 estaciones positivas y 59 en el sector sur (19,3% y 27,1%, respectivamente) (**Tabla 9**). En 2016 hubo una disminución de estaciones positivas (19,3%) respecto de 2015 (34%) en el sector central y un aumento en el sector sur (de 13,1% a 27,1%, respectivamente).

La serie de tiempo de anchoveta a partir del 2002 muestra que i) en las zonas norte y sur los porcentaje de estaciones con huevos de anchoveta en el 2016 se mantuvieron relativamente semejantes al año anterior, ii) que en la zona central ocurrió un descenso importante en el número de estaciones positivas (de 46,2% a 27,4%), asimilándose al promedio histórico de proporción de estaciones positivas (27%) y, iii) el porcentaje de estaciones positivas de huevos de anchoveta en la zona sur, se mantendría por sexto año consecutivo inferior (29%) al promedio de la serie (33,7%) cuyo máximo se alcanzó el año 2007 (**Figura 6**).

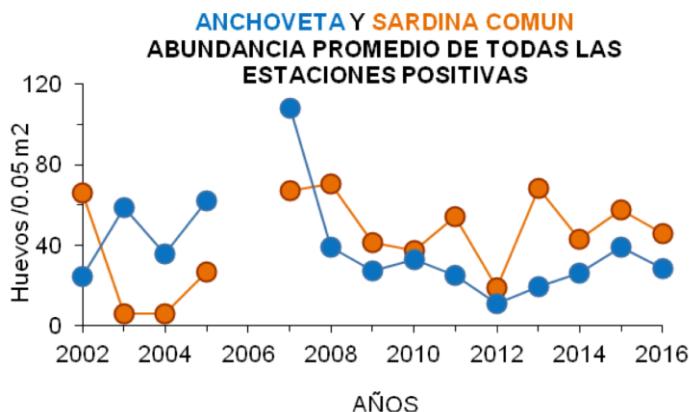
Los porcentajes de estaciones positivas de huevos de sardina común aumentaron en los sectores norte y sur, siendo los valores en la parte sur (27,1%) mayores al promedio histórico (24,6%) de la serie 2002-2016. En la zona central, por el contrario, el porcentaje de estaciones positivas disminuyó (19%), sin embargo, se mantiene por cuarto año consecutivo por sobre el promedio histórico (16%) (**Figura 6**).



**Figura 6** Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total, desde el inicio de las evaluaciones del MPH iniciadas el 2002. Las líneas punteadas corresponden a la proporción de estaciones positivas de cada especie por zonas en el periodo 2002-2016.

## 1.2 Abundancia de huevos

En el área de estudio fueron colectados un total de 3368 huevos de anchoveta y 4579 huevos de sardina común fueron colectados en la totalidad del área de estudio, disminuyendo en ambas especies con respecto al año 2015 (5057 de anchoveta y 4610 de sardina), esto a pesar que el número total de estaciones el 2016 aumentó en 56. Al analizar la serie de tiempo completa se observa que desde el año 2007 al 2008 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. La fecha de cambio (2007-2008) habría sido coincidente con el cambio en la proporción de estaciones positivas señalado anteriormente (**Figura 7**).



**Figura 7** Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común (estaciones positivas) en toda la zona de estudio durante el periodo 2002-2016.

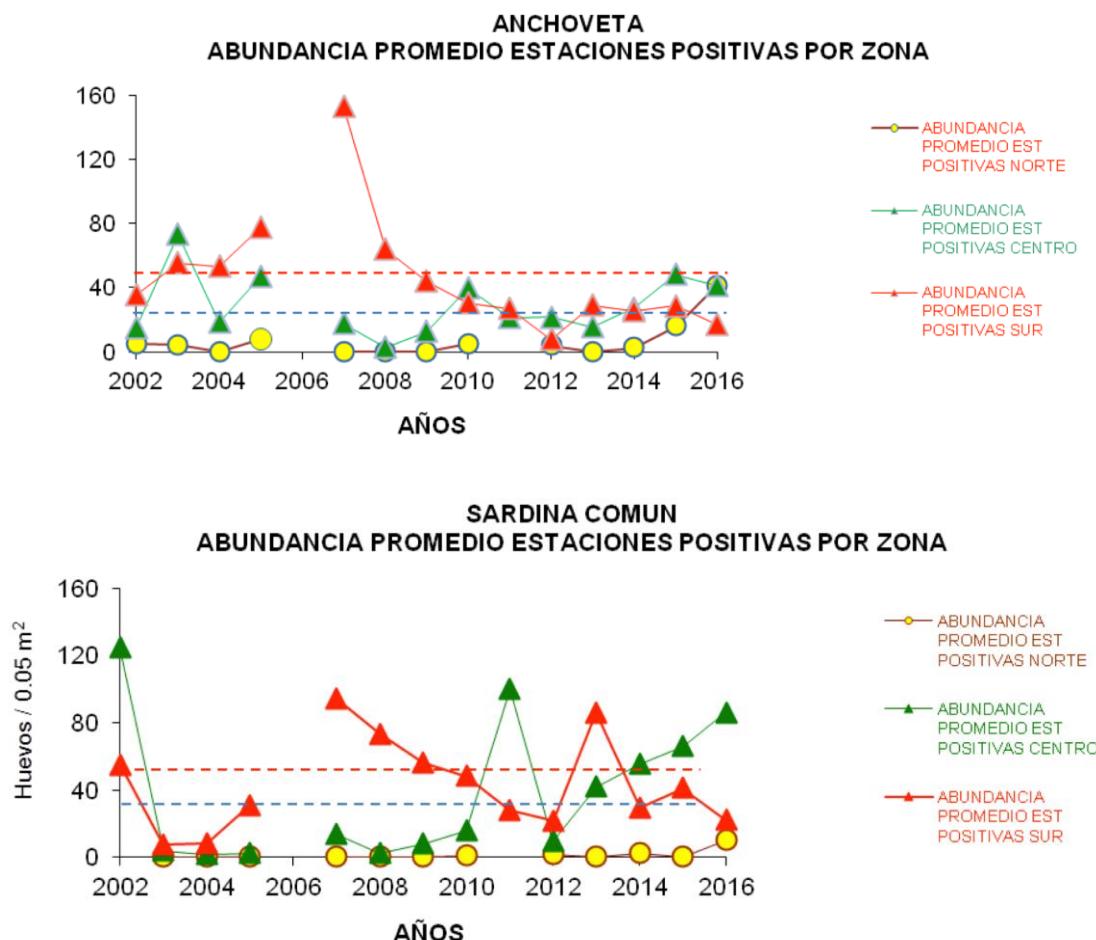
La abundancia promedio de huevos de anchoveta por estación positiva (**Tabla 10**) fue similar en los sectores norte y central (41 huevos/0,05m<sup>2</sup>) y menor en el sector sur (17 huevos/0,055m<sup>2</sup>). Considerando la serie completa 2002-2016 (**Figura 8**), el promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas de la zona central en el 2016 (41 huevos/0,05m<sup>2</sup>) fue superior al promedio histórico (28,5 huevos/0,05m<sup>2</sup>), mientras que en la zona sur (17 huevos/0,05m<sup>2</sup>) sigue estando bajo el promedio histórico (46,1 huevos/0,05m<sup>2</sup>) por octavo año consecutivo (desde el 2008).

**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 x 0,05 m<sup>-2</sup>) en cada sector.

ANCHOVETA						
	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	81	5,8	40,5	28,99	61	1
Centro	2230	11,3	41,3	92,22	489	1
Sur	1057	4,8	16,8	28,77	164	1

SARDINA COMÚN						
	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	29	2,1	9,7	10,26	21	1
Centro	3261	16,6	85,8	201,26	783	1
Sur	1289	5,9	21,8	44,76	205	1



**Figura 8** Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las estaciones positivas por sector, serie histórica de evaluaciones por MPDH 2002-2016. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie por zona en el periodo 2002-2016.

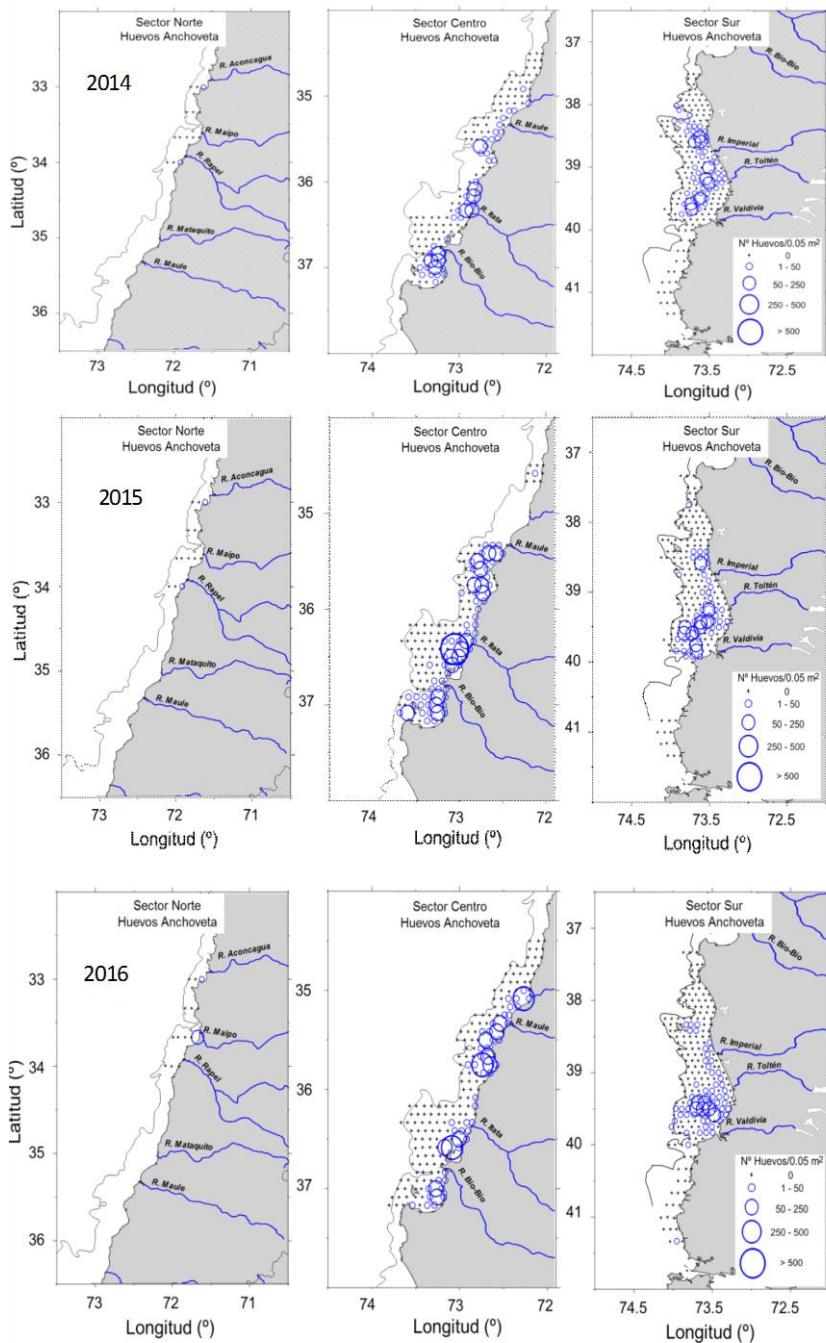


La abundancia promedio de huevos de sardina común del 2016 en las estaciones positivas de la zona central ( $86$  huevos/ $0,05m^2$ ) (**Tabla 10**) aumentó por cuarto año consecutivo desde el 2012, mostrando valores sobre el doble de las abundancias promedios de la serie histórica 2002 - 2016 ( $38$  h/ $0,05m^2$ ). La abundancia promedio en las estaciones positivas de la zona sur ( $22$  huevos/ $0,05m^2$ ) (**Figura 8**) se mantuvo bajo el promedio histórico (menos de la mitad) ( $42,9$  huevos/ $0,05m^2$  en la zona sur) por tercer año consecutivo.

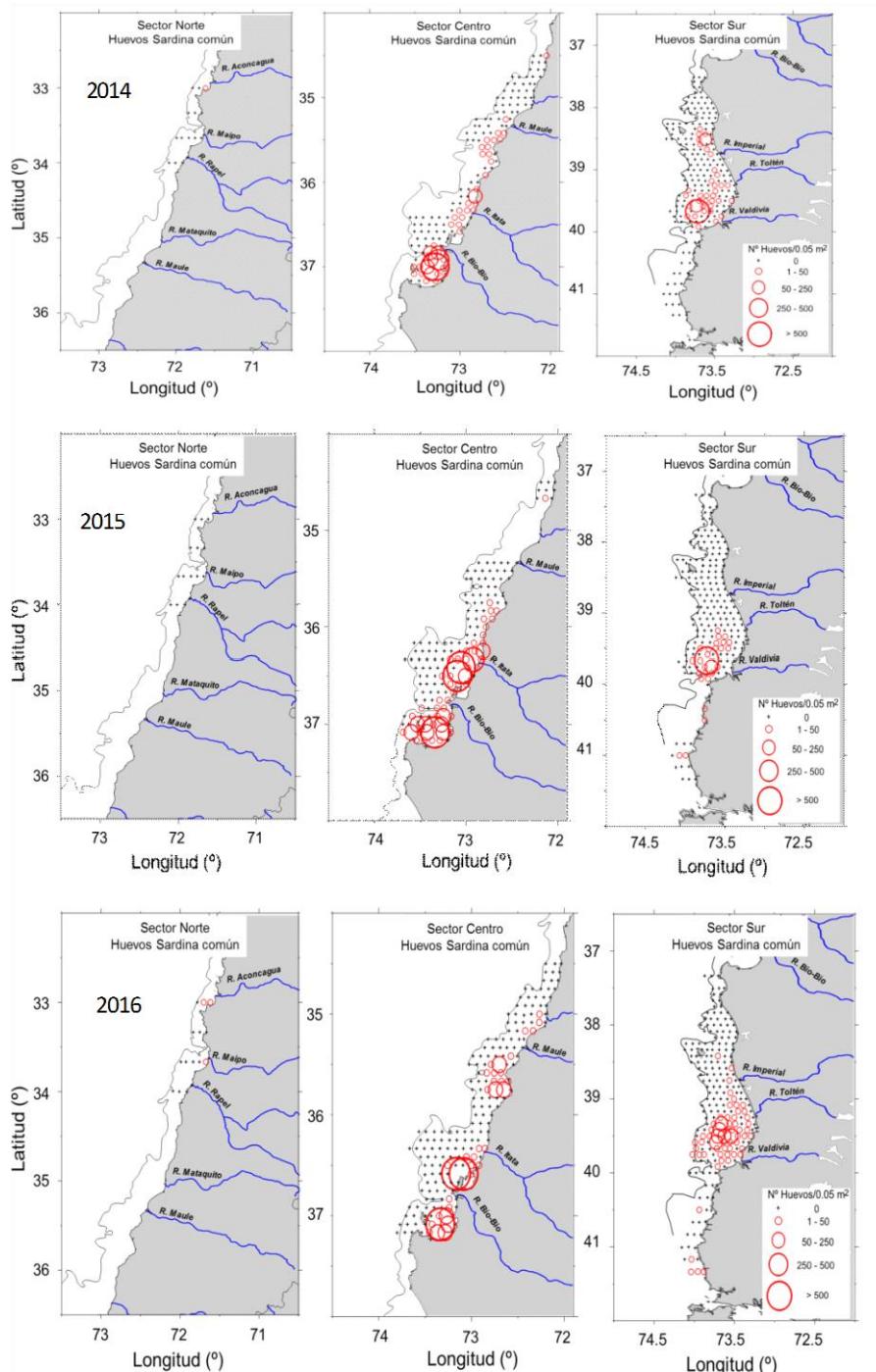
### 1.3 Distribución de huevos

En el sector norte, huevos de anchoveta, al igual que los dos años anteriores, fueron colectados solo en dos estaciones costeras y en baja abundancia. En el sector central (**Figura 9**) se presentaron a lo largo de toda la franja costera y más abundantemente en las localidades de retención histórica, frente a punta Nugurne ( $35^{\circ}30'S$ ), al sur de la desembocadura del río Itata y en el Golfo de Arauco. Comparado con los dos años previos, en 2016 las altas abundancias se extendieron hasta más al norte ( $35^{\circ}S$ ) que en años anteriores ( $35^{\circ}30'S$ ) y, por otro lado, se presentaron menores abundancias que en años previos en el Golfo de Arauco. En el sector sur, hubo solo una zona de mayor agregación de huevos de anchoveta y ocurrió en un área mucho más restringida ( $39^{\circ}30' - 39^{\circ}40'S$ ) que en años anteriores ( $38^{\circ}30'S - 39^{\circ}50'S$ ). Esta zona de agregación estuvo separada de la costa, lo cual suele ser recurrente en este sector (**Figura 9**).

Huevos de sardina común en el sector norte, ocurrieron en tres estaciones, lo que representa un cambio respecto al año anterior, donde no se encontraron huevos. En el sector central, las mayores agregaciones ocurrieron en las tres zonas típicas de agregación, punta Nugurne, sur de la desembocadura del río Itata y Golfo de Arauco, pero a diferencia de los huevos de anchoveta, la distribución no fue tan continua a lo largo de la costa, sino que acotada a estas tres zonas. En comparación con los dos años anteriores, la agregación frente a punta Nugurne fue más conspicua (**Figura 10**). En el sector sur, la agregación mayor de huevos de sardina común ocurrió en la misma zona que el año 2015 (fuera de la costa, frente a Corral,  $39^{\circ}45' S$ ), pero se caracterizó por ser más difusa, extendiéndose hacia el norte, pero con bajas abundancias de huevos. La extensión latitudinal hacia el sur fue similar al 2015, llegando a observarse huevos próximos a la costa hasta sobre los  $41^{\circ}30'S$  (**Figura 10**).



**Figura 9.** Distribución de huevos de anchoveta registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2014 (panel superior), 2016 (panel central) y 2016 (panel inferior).



**Figura 10.** Distribución de huevos de sardina común registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2014 (panel superior), 2015 (panel central) y 2016 (panel inferior).



#### 1.4 Producción diaria de huevos (Objetivo específico 2.1)

Los parámetros del GLM que fueron estimados a partir de la curva de mortalidad de huevos se resumen en la **Tabla 11**, según los dos procedimientos de determinación de la edad. En el caso del modelo de Lo, se observó que los parámetros fueron significativos y la pendiente asociada con la edad fue negativa y significativa en el sector centro para ambas especies. En el sector sur, la tasa de mortalidad diaria fue baja y no significativa para ambas especies. Esto implica que en el sector sur la estimación de  $P_0$  es independiente de la edad y equivalente a la densidad media de huevos. Con el objeto de imponer una declinación con la edad, se realizó una estimación alternativa de  $P_0$  para anchoveta y sardina común de la zona sur, imponiendo el valor de mortalidad de la zona centro (**Tabla 11**).

El modelo multinomial fue menos preciso para ambas especies, ya que el error estándar del logaritmo de  $P_0$  fue mayor, el cual es un estimador del coeficiente de variación (**Tabla 11**).

Se observó que 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. El índice de agregación de Lloyd fue más bajo en la anchoveta que en la sardina común. Asimismo, el índice de agregación fue más similar entre las cohortes de anchoveta que de sardina común. En anchoveta, se observó que la cohorte 1 y 2 se presentó más agregada que la cohorte 3 en la zona centro, mientras que en la sardina común fue la cohorte 2 (**Figura 11**).

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 de 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 y Staufer, 1985). Este procedimiento permite ajustar el coeficiente de variación de la producción de huevos  $CV(P)$ .

La tasa de mortalidad diaria de los huevos de anchoveta fluctuó entre  $0,550\text{ d}^{-1}$  (sector centro) y  $0,019\text{ d}^{-1}$  (sector sur, no significativa), mientras que en el caso de la sardina común la tasa de mortalidad diaria fue  $0,017\text{ d}^{-1}$  en la zona centro (**Tabla 12**). Para la zona sur, tanto en sardina común como anchoveta, se utilizó la producción diraria de huevos obtenida al imponer la tasa de mortalidad de huevos de la zona centro (**Tabla 12**).



**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<sup>2</sup>) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h<sup>-1</sup>).

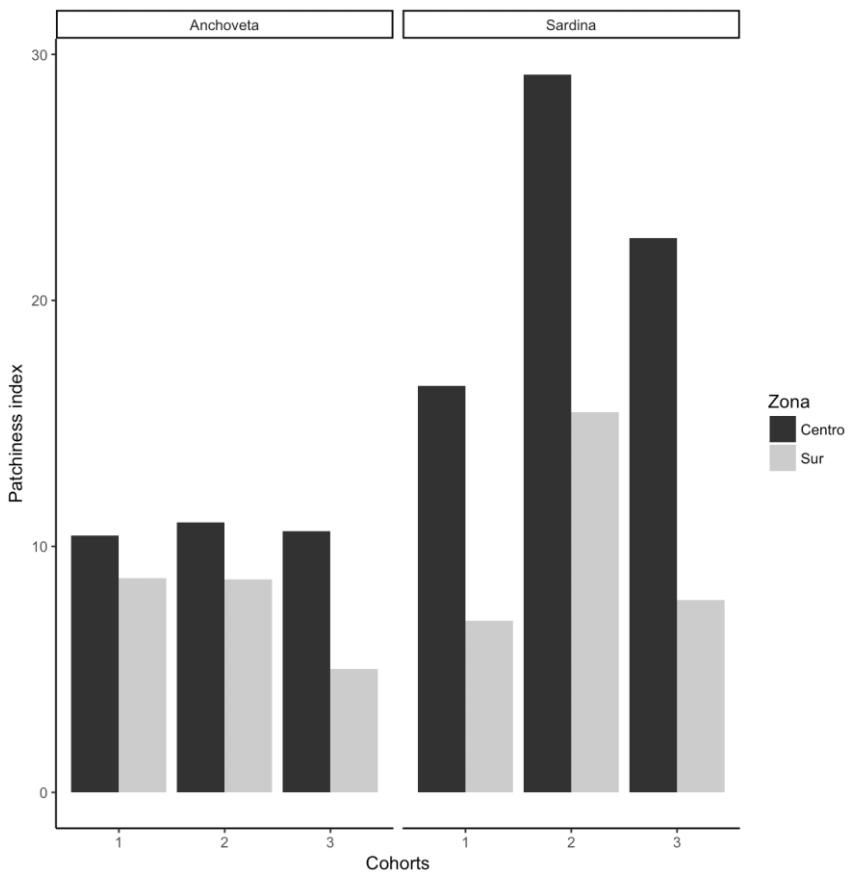
a) Anchoveta						
Modelo: Lo	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	6.289	0.454	13.864	0.000
		Z	-0.023	0.010	-2.370	0.018
	Sur	Log(P0)	4.383	0.398	11.010	0.000
		Z	-0.001	0.009	-0.077	0.939
Z igual a zona Centro	Sur	Log(P0)	5.402	0.184	29.399	0.000
MLG 2: Bin. Neg. ponderada con índice de aggregación	Centro	Log(P0)	6.289	0.139	45.148	0.000
		Z	-0.023	0.003	-7.737	0.000
	Sur	Log(P0)	4.408	0.139	31.760	0.000
		Z	-0.001	0.003	-0.238	0.812
Z igual a zona Centro	Sur	Log(P0)	5.327	0.068	78.421	0.000
Modelo: Multinomial	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	6.575	0.586	11.211	<2e-16
		Z	-0.026	0.013	-2.052	0.042
	Sur	Log(P0)	4.024	0.396	10.170	<2e-16
		Z	0.007	0.007	0.940	0.348
b) Sardina común:						
Modelo: Lo	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	6.331	0.734	8.617	0.000
		Z	-0.001	0.015	-0.096	0.923
	Sur	Log(P0)	4.487	0.485	9.242	0.000
		Z	0.004	0.010	0.417	0.676
Z igual a zona Centro	Sur	Log(P0)	4.732	0.228	20.797	0.000
GLM 2: Bin. Neg. ponderada con índice de aggregación	Centro	Log(P0)	6.285	0.163	38.486	0.000
		Z	-0.001	0.003	-0.208	0.835
	Sur	Log(P0)	4.523	0.154	29.314	0.000
		Z	0.004	0.003	1.064	0.287
Z igual a zona Centro	Sur	Log(P0)	4.700	0.071	65.889	0.000
Modelo: Multinomial	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Intercepto	7.109	0.876	8.119	0.000
		Pendiente	-0.017	0.019	-0.898	0.372
	Sur	Intercepto	5.016	0.671	7.471	0.000
		Pendiente	-0.008	0.013	-0.630	0.530



La anchoveta presentó la producción diaria de huevos más alta en la zona centro, con  $17,3 \times 10^{11}$  huevos por día, seguida por la sardina común en la misma zona (**Tabla 12**).

**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 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 <sup>2</sup> )	13040	13798	13040	13798
Área de desove, A <sub>1</sub> (km <sup>2</sup> )	3218	3906	2256	3635
Número de estaciones	197	218	197	218
Número de estaciones positivas	54	63	37	59
a) Datación con Lo:				
P <sub>0</sub> (huevo/0,05 m <sup>2</sup> /día)	26,93 (0,139)	10,28 (0,068)	26,82 (0,163)	5,496 (0,071)
Z (día <sup>-1</sup> )	-0,550 (0,129)	-0,550	-0,017 (4,80)	-0,017
P <sub>0</sub> (huevo/m <sup>2</sup> /día)	538,59 (0,139)	205,67 (0,068)	536,36 (0,163)	109,92 (0,071)
P (10 <sup>11</sup> huevos/día)	17,332 (0,069)	8,032 (0,036)	12,101 (0,068)	4,293 (0,038)



**Figura 11.** Índice de dispersión-agregación de Lloyd por especie, zona, y cohorte diaria, 2016.

## 2. Crucero de adultos

### 2.1 Lances de pesca

En la zona centro del área de estudio, la campaña de adultos comenzó entre el 05 y 17 de septiembre de 2016, considerando dos sectores en la región del Biobío. El sector norte de la VIII región fue monitoreado por la embarcación Don Julián, desde el 05 al 08 de septiembre; y el sector sur de la VIII región fue cubierto por la embarcación Sebastián II, del 13 al 17 de septiembre. Se lograron 30 lances de pesca efectivos de sardina común, y sólo 15 lances con anchoveta (**Tabla 13**).

En el sector sur, la campaña de adultos se desarrolló entre el 27 de septiembre y 06 de octubre de 2016, frente a la IX Región 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 ninguno para anchoveta (**Tabla 14**).



Durante la campaña 2016, los lances de pesca de sardina común y anchoveta se distribuyeron desde el norte de Dichato hasta el Golfo de Arauco, con disponibilidad de anchoveta desde Talcahuano al norte (**Figura 12**). En el sector sur, solo se capturó sardina común frente al litoral de Corral hasta el límite sur de la IX Región (**Figura 12**).

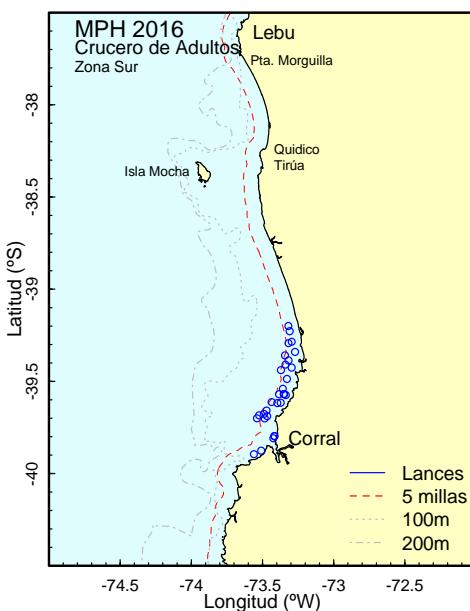
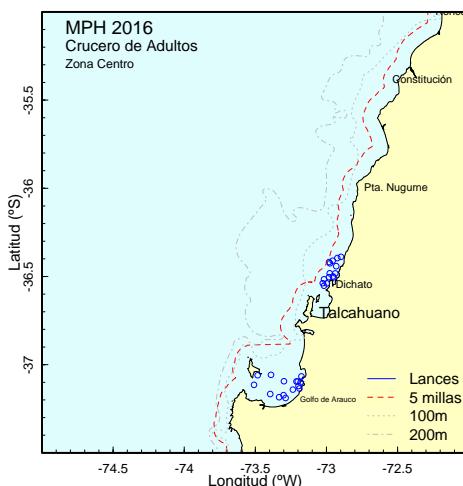


**Tabla 13.** Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2016, sector centro.

Zona	Embarcación	N° Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Captura (kg)	Especie dominante (%)
Centro	Don Julian	1	05-09-16	8:45	36°33.145	73°01.043	500	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	2	05-09-16	10:15	36°25.092	72°58.919	1000	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	3	05-09-16	12:00	36°30.226	72°58.948	500	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	4	06-09-16	18:35	36°26.499	72°55.886	500	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	5	06-09-16	11:10	36°25.526	72°58.518	2000	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	6	06-09-16	13:35	36°23.314	72°53.881	800	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	7	06-09-16	16:25	36°29.977	72°57.256	600	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	8	07-09-16	8:40	36°28.919	72°58.629	600	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	9	07-09-16	11:07	36°32.288	73°01.566	700	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	10	07-09-16	13:36	36°30.285	72°56.957	1000	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	11	07-09-16	15:23	36°28.955	72°56.287	2000	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	12	07-09-16	17:18	36°24.648	72°57.371	500	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	13	07-09-16	19:05	36°30.940	73°01.007	800	Anchoveta (60%) S. común (40%)
Centro	Don Julian	14	08-09-16	12:10	36°23.729	72°55.408	700	S. común (90%) Anchoveta (10%)
Centro	Don Julian	15	08-09-16	19:05	36°32.338	72°59.840	1500	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	1	13-09-16	11:20	37°08.089	73°11.396	1000	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	2	13-09-16	13:40	37°05.711	73°12.096	800	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	3	14-09-16	11:56	37°05.705	73°12.655	1500	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	4	14-09-16	13:20	37°06.047	73°10.931	800	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	5	14-09-16	16:03	37°03.984	73°10.549	1000	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	6	14-09-16	18:16	37°06.854	73°30.550	2000	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	7	14-09-16	20:21	37°03.593	73°29.014	3000	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	8	15-09-16	8:10	37°03.457	73°23.382	1000	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	9	15-09-16	10:40	37°05.631	73°17.922	700	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	10	15-09-16	13:26	37°09.977	73°23.724	500	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	11	15-09-16	16:32	37°10.384	73°18.093	1000	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	12	15-09-16	18:21	37°11.063	73°19.970	1000	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	13	15-09-16	20:18	37°11.335	73°17.240	500	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	14	16-09-16	8:16	37°08.484	73°14.168	1000	Sardina común (100%)
Centro	Sebastian II	15	16-09-16	10:18	37°07.262	73°11.779	700	Sardina común (100%)

**Tabla 14.** Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2016, sector sur.

Zona	Embarcación	N° Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Captura (kg)	Especie dominante (%)
Sur	Isaac II	1	27-09-16	10:53	39°34.140	73°21.086	100	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	2	27-09-16	17:08	39°23.186	73°19.030	500	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	3	28-09-16	13:11	39°32.419	73°21.442	500	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	4	28-09-16	17:10	39°34.162	73°20.848	300	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	5	28-09-16	19:50	39°36.952	73°22.340	700	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	6	29-09-16	5:25	39°34.472	73°20.207	1000	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	7	01-10-16	8:35	39°52.548	73°30.552	700	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	8	01-10-16	10:45	39°53.686	73°33.619	500	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	9	01-10-16	21:52	39°26.341	73°22.218	1000	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	10	01-10-16	23:50	39°25.510	73°17.708	800	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	11	02-10-16	9:20	39°17.120	73°17.693	1000	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	12	02-10-16	10:40	39°17.553	73°19.060	700	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	13	02-10-16	12:49	39°20.406	73°16.278	900	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	14	02-10-16	14:18	39°21.557	73°20.532	500	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	15	02-10-16	18:21	39°13.668	73°18.575	700	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	16	03-10-16	0:16	39°11.977	73°19.110	1200	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	17	03-10-16	3:01	39°24.544	73°20.323	1000	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	18	03-10-16	6:08	39°29.217	73°19.679	700	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	19	03-10-16	8:37	39°34.175	73°23.065	800	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	20	03-10-16	10:21	39°37.068	73°23.757	1000	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	21	05-10-16	3:40	39°41.047	73°31.406	1500	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	22	05-10-16	5:12	39°48.498	73°25.453	700	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	23	05-10-16	8:27	39°47.773	73°25.003	1000	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	24	05-10-16	11:42	39°47.867	73°24.967	800	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	25	05-10-16	15:36	39°42.037	73°29.089	800	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	26	05-10-16	17:41	39°41.331	73°28.033	1200	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	27	05-10-16	20:18	39°40.611	73°29.395	1500	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	28	06-10-16	2:11	39°36.732	73°26.143	2000	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	29	06-10-16	5:21	39°39.485	73°28.297	700	Sardina común (100%)
Sur	Isaac II	30	06-10-16	8:46	39°42.018	73°32.321	1500	Sardina común (100%)



**Figura 12.** Distribución de los lances de pesca realizados durante el periodo del crucero de adultos en la VIII, IX y X Regiones, correspondientes a las zonas centro y sur, respectivamente.



## 2.2 Composición por tallas

En la zona centro se muestraron 3385 individuos de sardina común en los 30 lances de pesca. De estos ejemplares, 46,1% fueron machos y 53,8% hembras. En la **Tabla 15**, se presentan los estadígrafos de la composición de tallas de sardina común, observándose una estructura homogénea entre machos y hembras.

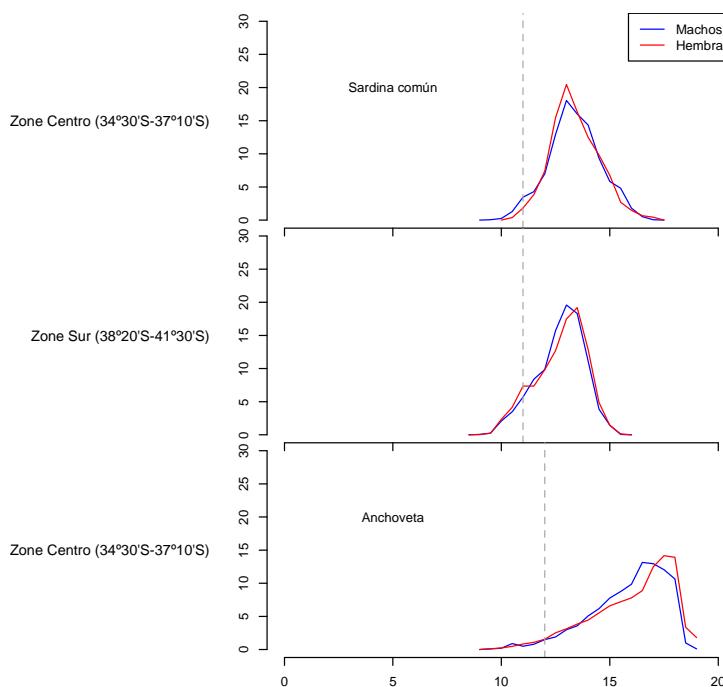
**Tabla 15.** Composición por tallas de sardina común obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro-sur y sur de Chile, año 2016.

Zonas	Centro			Sur			
	Sex	Macho	Hembra	Total	Macho	Hembra	Total
n		1562	1824	3385	1633	2189	3822
$\bar{L}$ (cm)		13,6	13,6	13,6	13,0	13,0	13,0
$\sigma^2$ (cm)		1,48	1,26	1,35	1,23	1,37	1,31
$\sigma$ (cm)		1,22	1,12	1,16	1,11	1,17	1,14
CV(%)		9,00	8,20	8,50	8,50	9,00	8,80
max(L) (cm)		9,5	10,5	9,5	9,0	9,0	9,0
min(L) (cm)		17,0	17,0	17,0	15,5	15,5	15,5

En el caso de la anchoveta, se registraron 1837 individuos en 15 lances, con una longitud promedio de 16,2 cm y una proporción de machos de 54,7% (**Tabla 16**). En la zona sur, en los 30 lances de sardina común se muestraron 3822 individuos, de los cuales 42,7% fueron machos, con un rango de tallas de 9 a 15,5 cm y una longitud promedio de 13,0 cm (**Tabla 15**). La distribución de tallas de sardina común y anchoveta se presenta en la **Figura 13**, para cada zona evaluada.

**Tabla 16.** Composición por tallas de anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro de Chile, año 2016.

Parámetro	Anchoveta			Centro
	Sex	Macho	Hembra	Total
n		1004	833	1837
$\bar{L}$ (cm)		16,1	16,3	16,2
$\sigma^2$ (cm)		2,99	3,57	3,26
$\sigma$ (cm)		1,73	1,89	1,81
CV(%)		10,70	11,60	11,20
max(L) (cm)		9,5	9,5	9,5
min(L) (cm)		19,0	19,0	19,0

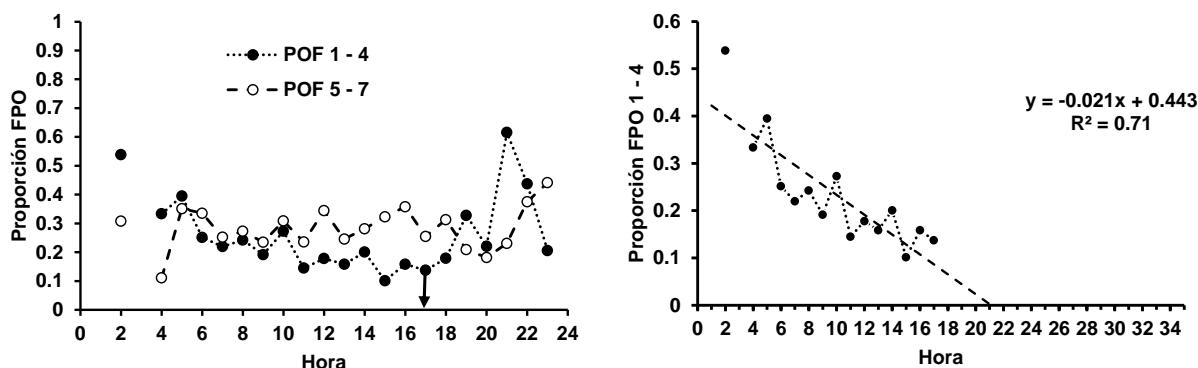


**Figura 13.** Frecuencias de tallas de sardina común y anchoveta en la zona centro-sur de Chile.

### 2.3 Estados de madurez y fracción diaria de hembras desovantes (Objetivo específico 2.2)

En la anchoveta, se analizaron 517 hembras correspondientes a 13 lances. El análisis histológico de los ovarios indicó que el 100% de las hembras se encontraban activas (EMM 3 al 7), evidenciando que el crucero se efectuó durante el máximo proceso de desove.

En la estimación de la fracción diaria de hembras desovantes se aplicaron los mismos criterios descritos en Cubillos *et al.* (2016). Para validar la edad de los FPO, se utilizó la base de datos 2007-2012 donde se ha empleado la escala de 7 estadios de FPO, calculando la proporción por hora de los estadios de FPO. Los resultados indican que los estadios 1-4 muestran un decaimiento sostenido desde las 0:00 a 17:00 horas (**Figura 14**), para luego incrementar debido a la llegada de una nueva noche de desove. El decrecimiento de la proporción de hembras con FPO 1-4 hasta las 17:00 horas muestra una tendencia lineal, prediciendo una total reabsorción a las 21 horas. Estadio 5 al 7 no muestran cambios en el tiempo (**Figura 14**).



**Figura 14** Proporción de los estadios de FPO 1 al 4 y 5 al 7 por hora de captura (izquierda) y estadios de FPO 1 a 4 (derecha) hasta las 17:00 horas (base de datos del 2007 al 2012).

Al considerar a los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5); Hidratado (EMM 6) y en Desove (EMM 7) como pertenecientes al grupo que desovará dentro de las próximas 24 horas, la fracción desovante se estima en 0,277, con una varianza de 0,00069 y un coeficiente de variación (CV) de 9,5%. Tomando en cuenta los FPO de I al IV (excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 AM) correspondientes a hembras que desovaron la noche anterior, o sea con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estimó en 0,427 con una varianza 0,00191 y un CV=10,2%. Al considerar los FPO de I a IV (excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 am) como correspondientes a hembras que desovaron la noche anterior; es decir, con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estima en 0,261 con una varianza de 0,002 y CV=17,1%. El test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones ( $t_{\text{calc}} = 1,979$ ,  $t_{\text{tabla}} = 2,180$ ). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,344, con varianza 0,00180 y CV=3,9%.



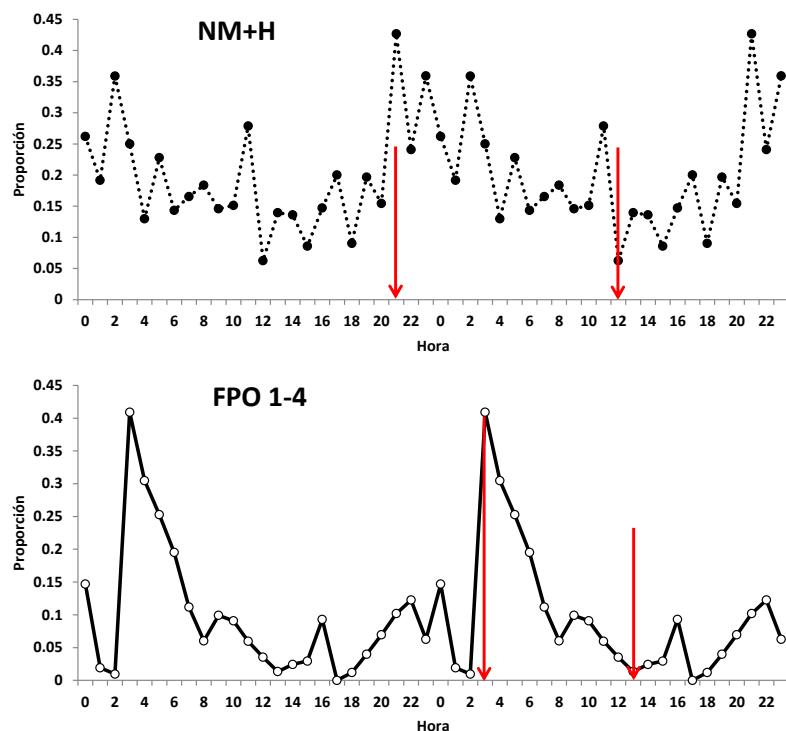
En el caso de la sardina común, se analizaron 2299 hembras, correspondientes a 60 lances en el área total. Del total, 1183 hembras (30 lances) provienen de la zona centro y 1116 ejemplares (30 lances) de la zona sur. El análisis histológico de los ovarios indicó que 85,6% se encontraban activas (EMM 3 al 7) en el área total. En la zona centro, se encontró 100% de hembras activas y en la zona sur se encontró solamente un 70,3% (**Tabla 17**).

**Tabla 17.** Número y porcentaje de hembras clasificadas por estadio de madurez ovárica, 2016.

Estadio	Centro		Sur		Total	
	Frec. (n)	Frec. (%)	Frec. (n)	Frec. (%)	Frec. (n)	Frec. (%)
1 Inmaduro	-	-	6	0,54	6	0,26
2 Reposo	-	-	272	24,37	272	11,83
3 Parcialmente vitalado	-	-	237	21,24	237	10,31
4 Vitelado	582	49,20	521	46,68	1103	47,98
5 Núcleo migrante	86	7,27	3	0,27	89	3,87
6 Hidratado	515	43,53	23	2,06	538	23,40
7 En desove	-	-	1	0,09	1	0,04
8 Desovado	-	-	53	4,75	53	2,31
Total	1183	100	1116	100	2299	100
Activas	1183	100	785	70,3	1968	85,6

La fracción diaria de hembras desovantes fue estimada aplicando los mismos criterios utilizados en Cubillos *et al.* (2016). El análisis de la proporción de FPO en función de la hora de captura, utilizando la base de datos histórica de sardina común (2008 al 2013, totalizando 7933 hembras). Los resultados indican que tanto los estadios de Núcleo Migratorio e Hidratadas (NM+H) y los estadios de FPO 1-4 muestran un declinamiento sostenido dentro de un ciclo diario (**Figura 15**), incrementando en horas cercanas a la llegada de una nueva noche de desove.

Las estimaciones de fracción desovante para los marcadores de desove utilizados y por zona, se entregan en **Tabla 18**. 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. Sin embargo, el estimado de FPO 0 es demasiado alto y altamente improbable por las siguientes razones: 1) está muy alejada de la estimación en base a los FPO, en circunstancias que ambos son estimadores de un mismo parámetro; 2) implicaría un desove cada dos días y por tanto se debieran haber encontrado en el análisis histológico folículos postovulatorios (FPO) de dos edades en un mismo ovario, es decir FPO viejos de 48 horas y FPO recientes, situación que no se encuentra en las placas histológicas. 3) La distribución de los lances de pesca (**Figura 16**) se encuentra solo en horas del día, entre las 8 y 20 horas, el cual corresponde al período del día en que existe la mayor probabilidad de encuentro de estos estadios (**Figura 17**). Por tanto, el estimador más confiable para la zona centro en esta campaña es la utilización de los FPO, es decir una fracción diaria de hembras desovantes de 0,186.



**Figura 15.** Proporción de Núcleo Migrante e Hidratadas (Arriba) y FPO en estadios 1 al 4 (Abajo) por hora de captura, utilizando la base de datos histórica de aplicaciones del MPDH en sardina común. Se repite información para generar ciclo completo de 24 horas. Flechas rojas indicaría el ciclo de decaimiento del marcador reproductivo.

**Tabla 18.** Estimaciones de fracción diaria de hembras desovantes por zona y área total para sardina común año 2016. t calculado para Ho: FPO 0 = FPO 1.

Zona		Estimado	Varianza	CV	t calculado FPO 0 = FPO 1
Centro	FPO 0	0,508	0,00395	0,124	3.70*
	FPO 1	0,186	0,00084	0,156	
	FPO 0+1	0,347	0,00052	0,080	
Sur	FPO 0	0,024	0,00005	0,296	1,68
	FPO 1	0,039	0,00008	0,230	
	FPO 0+1	0,032	0,00008	0,218	
Area total	FPO 0	0,274	0,00205	0,165	3.178*
	FPO 1	0,115	0,00033	0,158	
	FPO 0+1	0,194	0,00057	0,123	

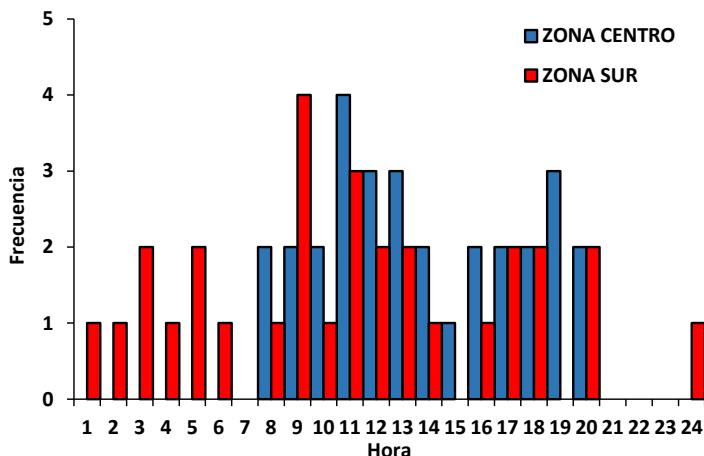


Figura 16 Distribución de los lances de pesca de sardina común según hora del día.

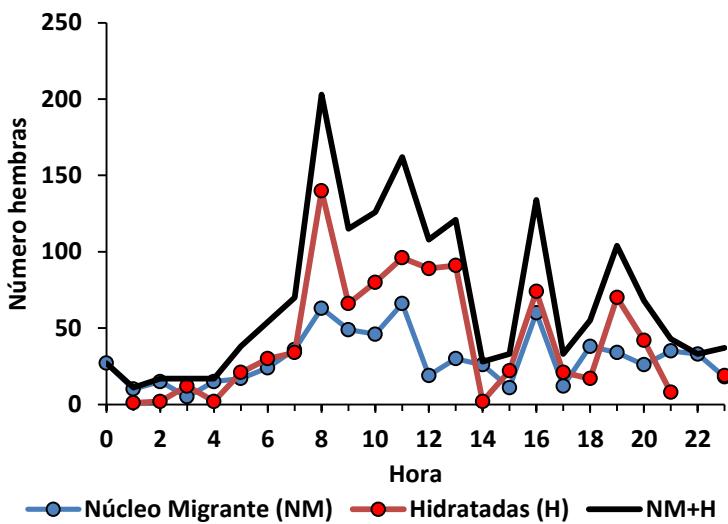


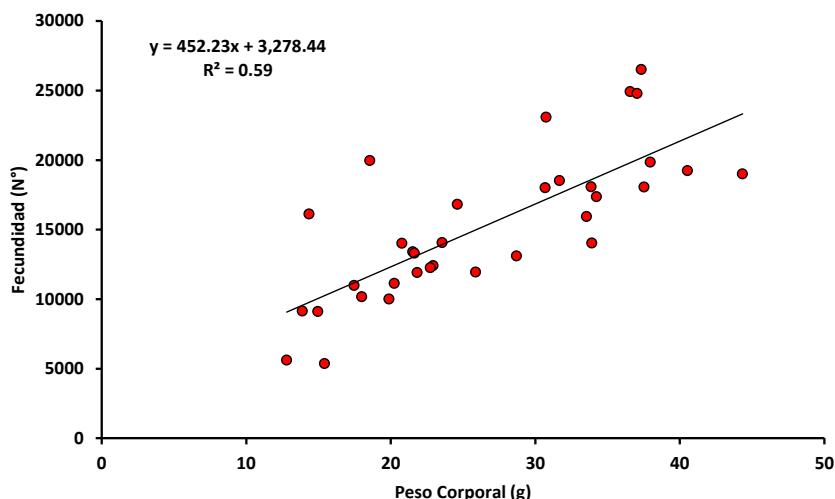
Figura 17 Distribución horaria de la colecta de hembras en estadio de Núcleo Migrante (NM) e Hidratadas (H) en la base de datos histórica.

## 2.4 Fecundidad (Objetivo específico 2.3)

En la anchoveta, la relación entre fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras se muestra en la Figura 18, siendo muy similar a la estimada para el total de años disponibles (Tabla 19; Figura 19). No se tiene información de los años 2011 y 2013, ya que en dichos cruceros no se contó con hembras hidratadas para estimar la relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal. En 2016, el intercepto de la relación no fue significativo, por lo que la fecundidad podría ser estimada con un modelo lineal más simple que sólo toma en cuenta la pendiente (Tabla 19, Tabla 20, Figura 19).



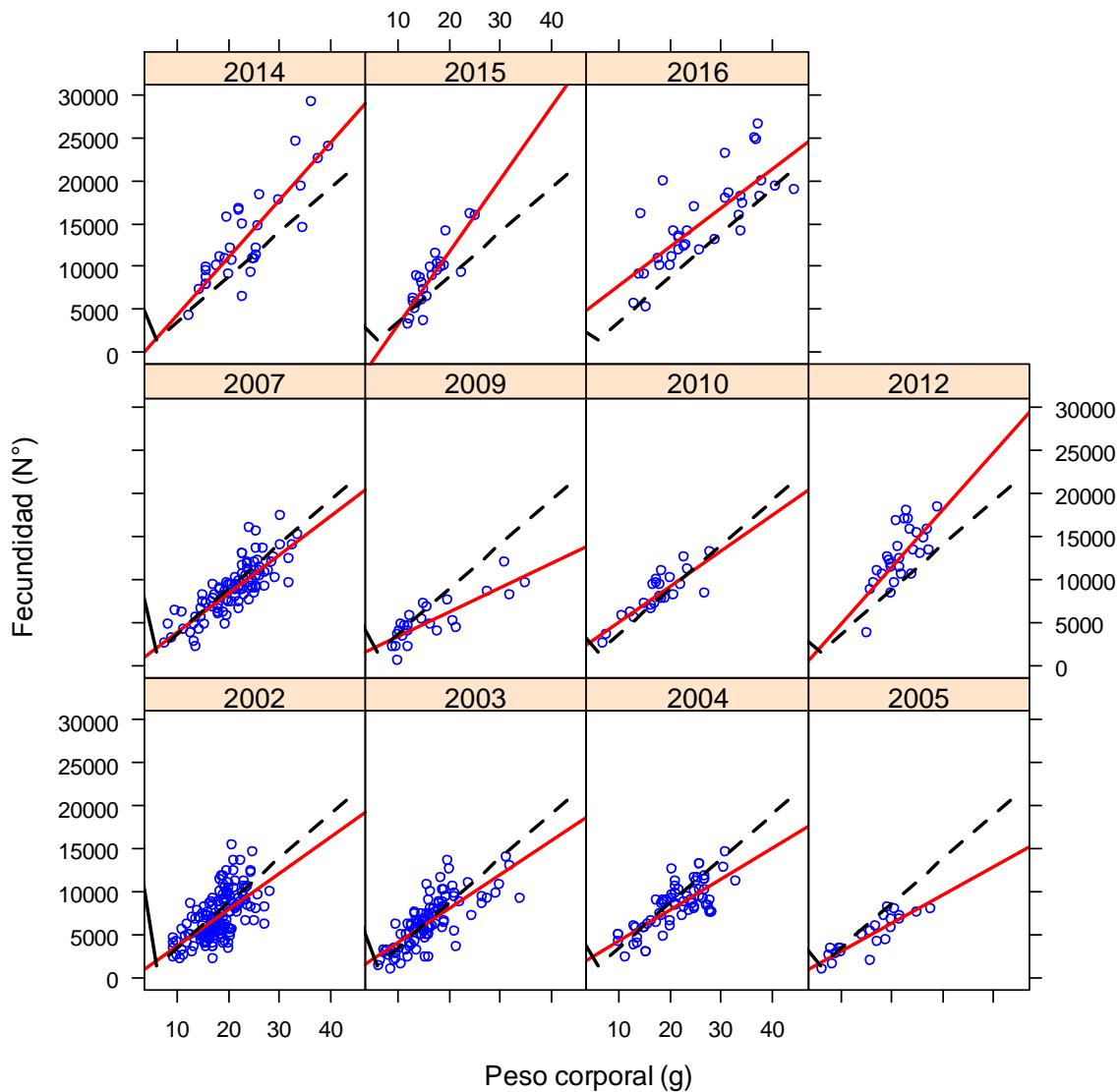
La fecundidad parcial promedio por lance, utilizando el ajuste correspondiente al año 2016 varió de 12.633 a 18.991 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional resultó en 15.692 ovocitos, con una varianza de 678514 y un coeficiente de variación de 5,2% (**Tabla 20**).



**Figura 18.** Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de anchoveta, año 2016.

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

	2002	2003	2004	2005	2007	2009	2010	2012	2014	2015	2016
Intercepto (a)	-613.40	122.00	600.21	-311.16	-574.21	896.29	925.94	-1735.73	-2186.58	-5204.32	3278.44
S <sub>a</sub>	824.669	580.495	864.321	677.800	734.85	717.11	1033.82	2892.33	1937.27	1692.66	1866.70
P <sub>(a=0)</sub>	0.458	0.834	0.490	0.651	0.44	0.23	0.38	0.55	0.27	0.01	0.09
Pendiente (b)	422.38	395.12	360.86	331.17	445.11	266.90	415.17	660.96	660.72	840.20	452.23
S <sub>b</sub>	44.286	34.071	39.082	40.183	33.36	38.98	56.69	130.60	78.49	100.63	67.01
P <sub>(b=0)</sub>	2.85E-17	4.34E-20	1.68E-13	5.10E-08	4.81E-23	9.07E-07	2.48E-07	2.86E-05	2.15E-09	2.04E-08	1.27E-07
Error típico	2156.15	1877.71	1787.19	1138.15	1807.76	1419.77	1408.88	2418.68	3210.50	1747.91	3402.02
r <sup>2</sup>	0.37	0.58	0.56	0.76	0.66	0.69	0.71	0.50	0.70	0.75	0.59
n	158	100	68	23	92	23	24	28	32	25	34



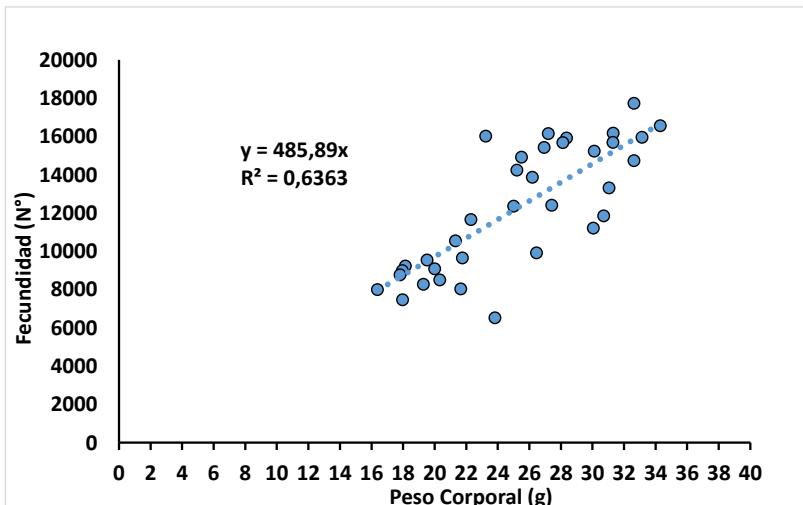
**Figura 19.** Rectas ajustadas para cada año de aplicación del MPDH en anchoveta de la zona centro sur. Línea roja es el ajuste para el año. Línea segmentada negra es el ajuste utilizando todos los años (largo plazo).



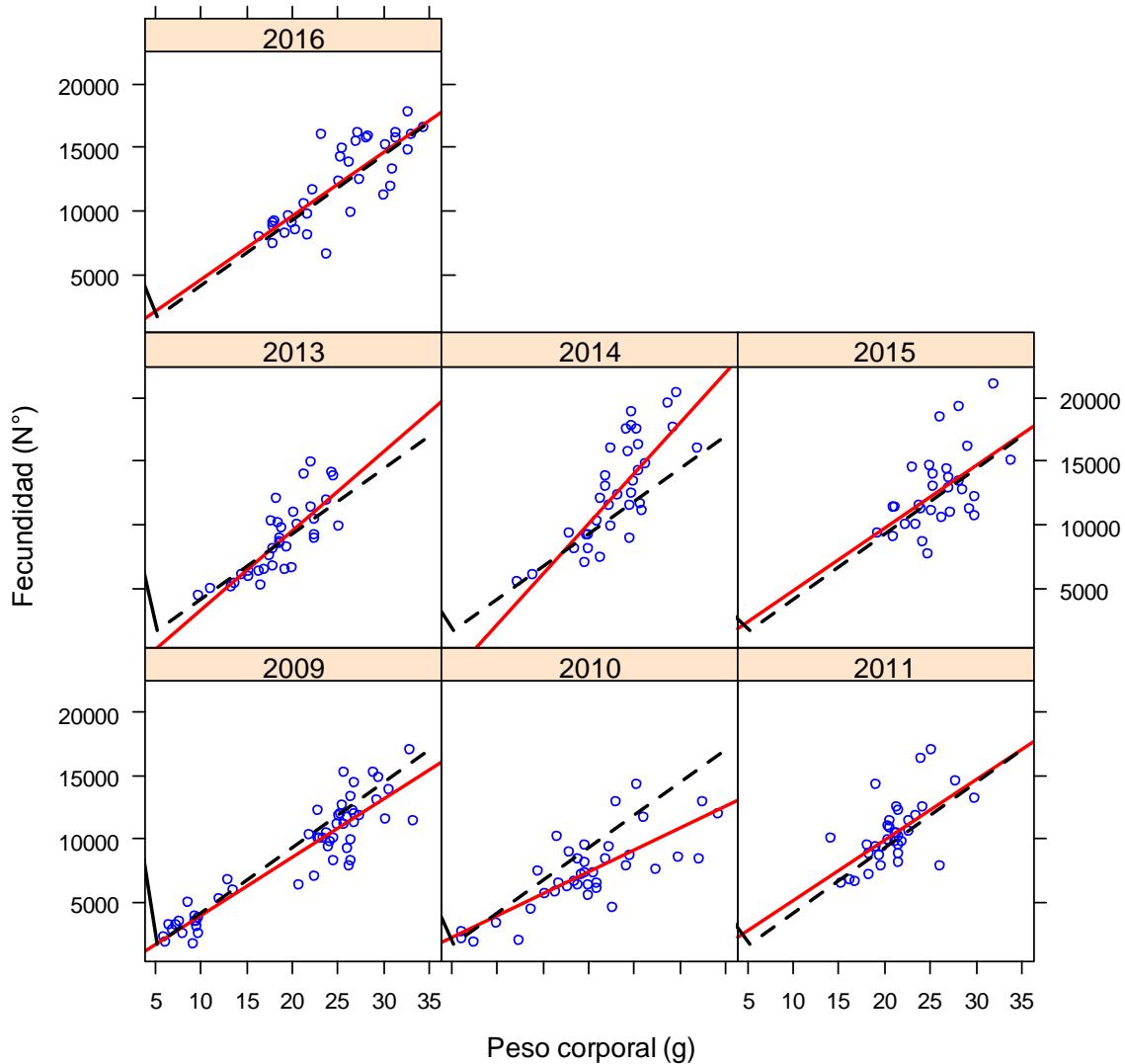
**Tabla 20.** Parámetros de las regresiones con intercepto cero entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH.

	2002	2003	2004	2005	2007	2009	2010	2012	2014	2015	2016
Intercepto (a)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pendiente (b)	390.16	401.89	387.13	313.89	419.91	311.27	463.94	583.57	576.01	537.49	564.03
S <sub>b</sub>	9.199	10.968	9.762	13.815	8.54	16.30	15.70	20.39	23.10	24.17	21.60
P <sub>(b=0)</sub>	6.70E-88	2.17E-59	2.98E-48	9.12E-17	2.39E-67	3.48E-15	8.51E-20	9.85E-22	4.4436E-22	0.00	0.00
Error típico	2153.078	1868.621	1780.270	1117.552	1803.89	1437.79	1402.81	2389.85	3224.65	2032.56	3507.82
r <sup>2</sup>	0.37	0.58	0.56	0.76	0.66	0.67	0.70	0.49	0.95	0.95	0.95
n	158	100	68	23	92	23	24	28	32	25	34
IC 95% Inf	372.0	380.1	367.6	285.2	403.0	277.5	431.46	541.73	528.91	487.61	520.09
IC 95% Sup	408.3	423.7	406.6	342.5	436.9	345.1	496.42	625.42	623.12	587.36	607.96

En la sardina común, la relación entre fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras se muestra en la **Figura 20**, siendo muy similar a la estimada de largo plazo, utilizando toda la base de datos (**Tabla 21; Figura 21**). Dado que el intercepto no fue significativo ( $P>0,05$ ), se utilizó el modelo sin intercepto para estimar la fecundidad por lance y la fecundidad media poblacional. La fecundidad parcial promedio, por zonas, se entrega en la **Tabla 22**.



**Figura 20.** Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de sardina común, año 2016.



**Figura 21.** Rectas ajustadas para cada año de aplicación del MPDH en anchoveta de la zona centro sur. Línea roja es el ajuste para el año. Línea segmentada negra es el ajuste utilizando todos los años (Largo plazo).



**Tabla 21.** Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común en cada año de aplicación del MPH.

	Lineal con Intercepto ( $Y = a + b \cdot X$ )						
	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016
<b>Intercepto (a)</b>	-629.76	552.32	447.82	-2793.88	-5655.36	-148.95	-455.35
<b>Sa</b>	568.833	1021.54	2305.40	1580.82	2534.70	3814.94	1706.99
<b>P(a=0)</b>	0.27	0.59	0.85	0.09	0.03	0.97	0.79
<b>Pendiente (b)</b>	460.13	343.46	474.20	619.16	791.71	494.45	503.17
<b>Sb</b>	25.83	48.89	108.20	82.88	107.85	145.81	66.12
<b>P(b=0)</b>	8.64E-24	3.04E-08	1.12E-04	1.38E-08	1.99E-08	2.09E-03	9.29E-09
<b>Error típico</b>	1601.33	1972.78	2051.32	1784.05	2546.53	2669.81	2021.29
<b>r<sup>2</sup></b>	0.86	0.58	0.37	0.62	0.62	0.29	0.64
<b>n</b>	54	38	35	35	35	30	35
	Lineal sin Intercepto ( $Y = b \cdot X$ )						
	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016
<b>Intercepto (a)</b>	0	0	0	0	0	0	0
<b>Pendiente (b)</b>	433.72	368.56	494.97	475.37	554.58	488.80	485.89
<b>Sb</b>	9.916	15.17	16.04	16.30	19.36	18.31	13.05
<b>P(b=0)</b>	2.86E-43	2.43E-24	1.9E-26	1.20E-25	2.16E-25	5.75E-22	3.84E-29
<b>Error típico</b>	1604.73	1953.82	2022.08	1838.92	2691.39	2623.45	1993.49
<b>r<sup>2</sup></b>	0.86	0.57	0.37	0.96	0.96	0.96	0.98
<b>n</b>	54	38	35	35	35	30	35

**Tabla 22.** Estimaciones de fecundidad parcial media por zona y área total, para sardina común año 2016.

Zona	Estimado	Varianza	CV
Centro	11322	153638	0,035
Sur	8271	178134	0,051
Total	9813	177673	0,043

## 2.5 Peso promedio y proporción sexual (Objetivo específico 2.4)

En la 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:

$$PT = 0.455 + 1.0507 \cdot (PT - PG)$$

$$R^2 = 0.994$$

$$N = 381$$



El peso promedio por lance del cuerpo de las hembras maduras, fluctuó de 24,6 a 36 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 30,34 gramos, con una varianza de 0,985 y un coeficiente de variación de 3,27% (**Tabla 19**)

En la sardina común, las estimaciones de peso promedio de hembra madura por zona y total se entregan en **Tabla 23**. La proporción de hembras en peso, tanto para anchoveta como para sardina común. se presenta en la **Tabla 23**.

**Tabla 23.** Estimaciones de peso promedio de hembra madura por zona y área total, para sardina común año 2016.

Parámetro	Especie	Zona	Estimado	Varianza	CV
Peso promedio (W)	Anchoveta	Centro	30,34	0,985	0,0327
	Sardina	Centro	26,4	0,1618	0,015
	Común	Sur	17,6	0,2993	0,031
		Total	22,1	0,4245	0,020
Proporción hembras (R)	Anchoveta	Centro	0,505	0,0038	0,121
	Sardina	Centro	0,497	0,0015	0,055
	común	Sur	0,619	0,0048	0,112
		Total	0,556	0,0004	0,027

## 2.6 Biomasa desovante (Objetivo específico 2.5)

La biomasa del stock desovante se sustenta en la producción diaria de huevos de cada estrato geográfico, los cuales se consideran independientes (**Tabla 24**). En este caso, los estimadores puntuales permiten señalar que la mayor biomasa desovante de sardina común fue muy similar en ambas zonas. En la zona centro fue de 30.548 toneladas (CV=24,1%) y en la zona sur fue de 35148 toneladas (CV=26,5%).

En el caso de la anchoveta, la biomasa desovante fue estimada en 19.268 toneladas (CV=19,6%) en la zona centro. En la zona sur no hubieron lances efectivos de anchoveta, por lo tanto se asumió que los parámetros reproductivos de los adultos de la zona centro fueron identicos para la zona sur, lo que permite estimar una biomasa desovante de 8.930 toneladas (CV=15,4%) (**Tabla 24**).

Al considerar la suma de las biomasa por estratos geográficos, la biomasa desovante de anchoveta se estima en 28.197 toneladas (CV=13,9%), y en 70.296 toneladas (CV=18,7%) para la sardina común (**Tabla 21**).



**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 2016). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa, los intervalos de confianza de 95% (IC) se muestran para la estimación de biomasa desovante.

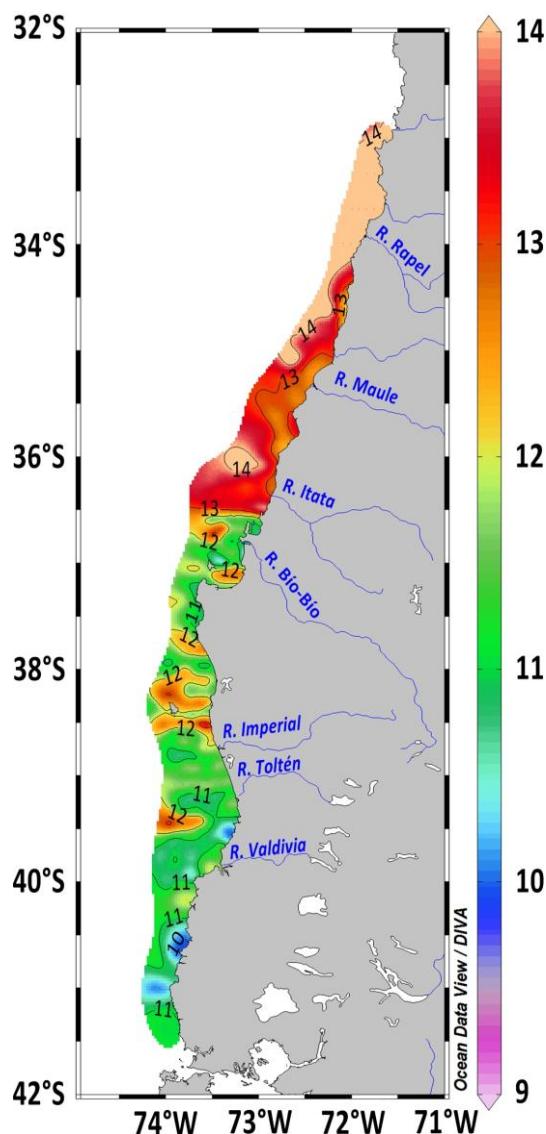
Parámetros	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Fracción desovante, $S$	0,344 (0,04)	0,344*	0,186 (0,16)	0,032 (0,22)
Peso promedio, $W$ (g)	30,3 (0,03)	30,3*	26,4 (0,01)	17,6 (0,03)
Proporción de hembras, $R$	0,51 (0,12)	0,51*	0,497 (0,05)	0,62 (0,11)
Fecundidad media, $F$	15692 (0,05)	15692*	11322 (0,04)	8271 (0,05)
Fecundidad relativa, $RF$ (huevo g <sup>-1</sup> )	517,9	517,9*	428,9	469,9
Área de estudio, $A$ (km <sup>2</sup> )	13040	13798	13040	13798
$P_0$ (huevo/m <sup>2</sup> /día)	538,59 (0,139)	205,67 (0,068)	536,36 (0,163)	109,92 (0,071)
Biomasa desovante, $B$ (t)	19268 (0,196)	8930 (0,154)	30548 (0,241)	35148 (0,265)
Biomasa total, $B$ (t)	28197 (0,143)		70296 (0,187)	
	IC: 20261; 36134		IC: 44322; 96268	



### 3. Condiciones hidrográficas (Objetivo específico 2.6)

#### 3.1. Temperatura superficial del mar y clorofila

La sección horizontal de temperatura superficial *in situ* muestran el patrón latitudinal habitual de variación en temperaturas que disminuyen desde la zona central hacia la zona sur, con valores máximos (14°C) en el sector 33°-34°S y valores mínimos (10°C) en la zona costera entre la latitud 40°- 41°S. Normalmente se observa una diferencia notoria en temperaturas superficiales a la altura de los 37°S, coincidente con la zona de punta Lavapié, sin embargo, en el 2016 se observó una marcada diferencia más al norte, en torno a la latitud 36°30'S. Esta ubicación no es habitual y su visualización como frente térmico es probablemente un artificio de la diagramación producto del espacio de tiempo en que se suspendió el muestreo (a mediados de septiembre) y se reinició 10 días después. Gradientes longitudinales (costa-océano) fueron más frecuentemente observados en la zona central de muestreo, particularmente entre las latitudes 33 a 36 30'S con valores de temperatura inferiores en la zona costera y más altos en la zona oceánica, indicando procesos de surgencia en la costa (**Figura 22**).



**Figura 22** Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) *in situ* en la zona centro-sur de Chile (33°00'S-41°20'S) durante el periodo de muestreo 2016.

La distribución de temperatura superficial del mar medida *in situ* este año 2016 fue muy diferente a la del año 2015, en que se presentaron los mayores valores en toda la zona debido a la ocurrencia del El Niño (Figura 23). Los valores de temperatura del 2016 siguen, sin embargo, siendo más altos a los observados históricamente en todos los años previos al 2014.



### 3.2. Información satelital

#### Temperatura superficial del mar (TSM)

El análisis de las imágenes mensuales de TSM, mostró que los valores de temperatura de septiembre fueron más bajos que en octubre, presentando en términos generales, el mes de septiembre temperaturas cercanas a 13°C al norte de los 36°S ( $> 15^{\circ}\text{C}$  en la zona oceánica) y valores de 10°-12°C al sur de esta latitud. En cambio, durante octubre, valores de temperatura de 13°C se observaron hasta los 38°S aproximadamente y, al sur de esa latitud, entre 11° y 12°C (Figura 24).

#### Clorofila-a superficial

En la Figura 25 se presentan los valores mensuales de clorofila a superficial, registrándose tanto para septiembre como octubre, altas concentraciones ( $> 3.5 \text{ mg Cl.a m}^{-3}$ ) cerca de la costa y valores más bajos ( $< 1.0 \text{ mg m}^{-3}$ ) hacia la zona oceánica (Figura 25). Se observaron claras diferencias entre los meses estudiados, destacándose, por ejemplo que las mayores concentraciones de clorofila-a en septiembre se extendieron mar adentro, más allá del quiebre de la plataforma continental, lo cual es producto de alta actividad de procesos de mesoescala, mientras que en octubre, los altos valores se restringieron a la banda costera. En la zona central, las más altas concentraciones ocurrieron en la costa sobre la plataforma continental, desde la desembocadura del río Itata hasta el Golfo de Arauco en ambos meses. En la zona sur, sin embargo, las mayores concentraciones en septiembre ocurrieron al sur de Corral (40-42°S) y hasta 60-70 mn de la costa, mientras que en octubre se observaron en la franja costera, al norte de Corral, hasta Isla Mocha aproximadamente.

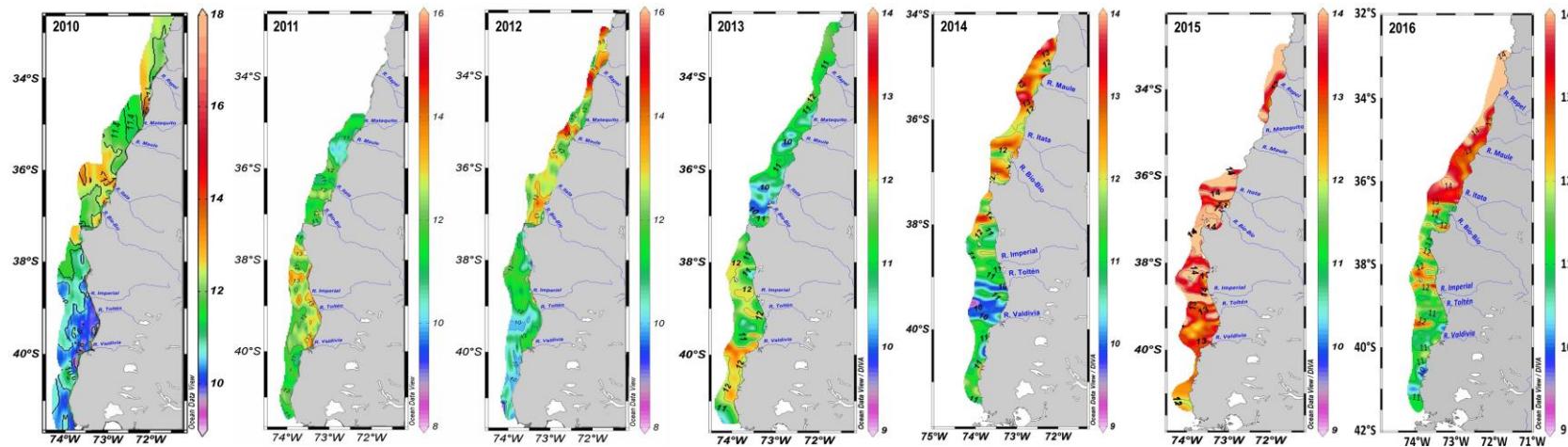
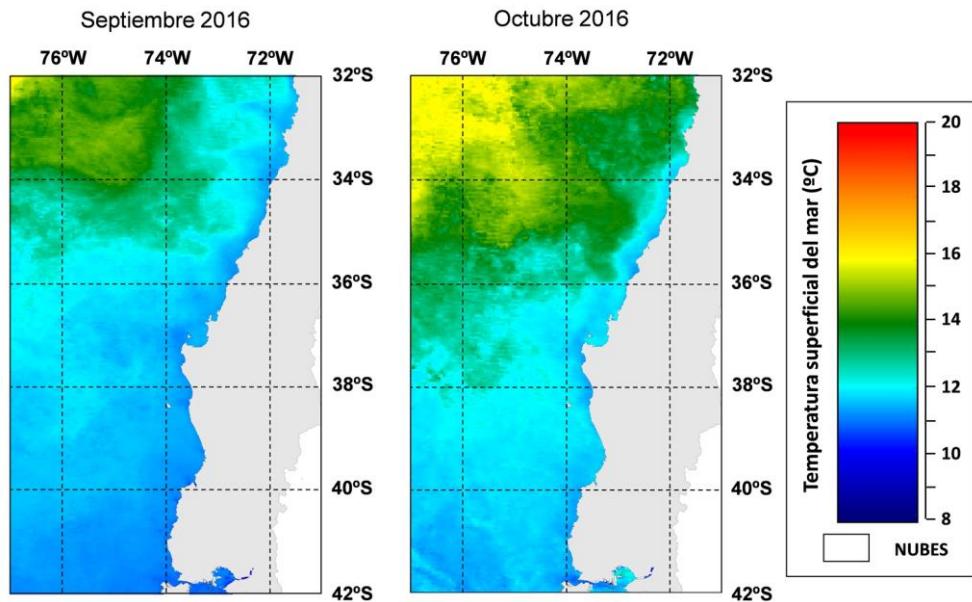
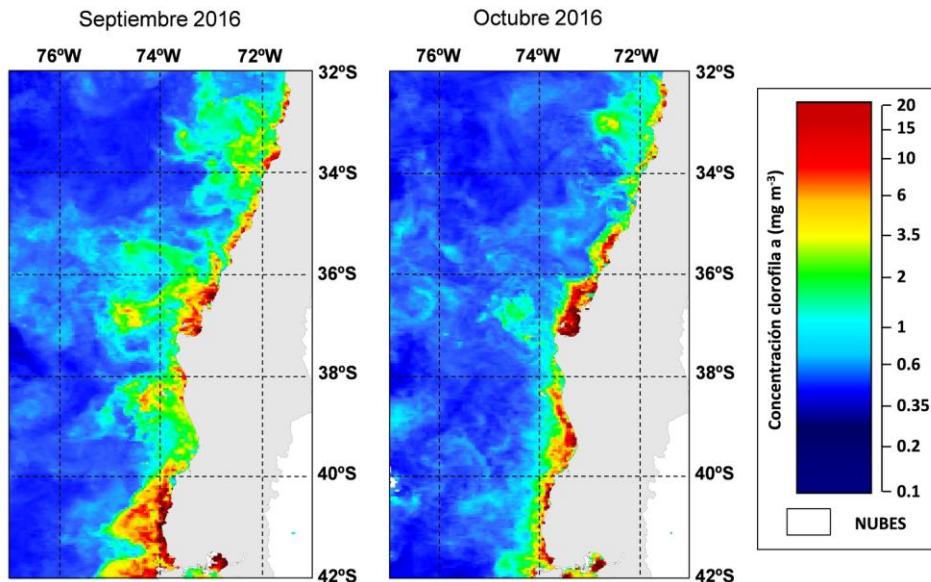


Figura 23. Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) medida durante los cruceros de huevos, año 2010 al 2016.



**Figura 24** Imágenes satelitales mensuales de Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) durante el periodo de muestreo 2016.



**Figura 25** Imágenes satelitales mensuales de la concentración de Clorofila a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) durante el periodo de muestreo 2016.

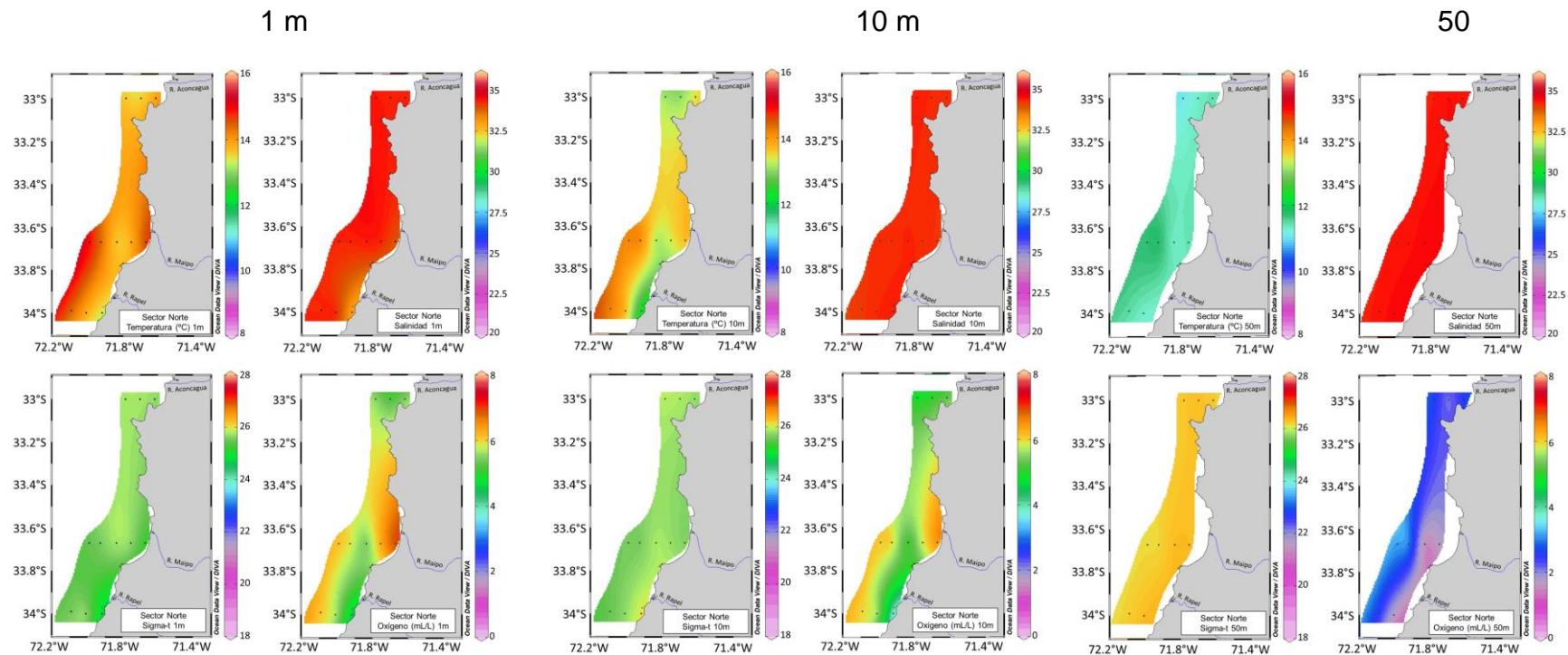


### 3.3. Secciones horizontales de características oceanográficas

**Sector norte.** La temperatura a 1y 10 m de profundidad mostró variaciones costa – océano, con mayores valores en la zona más oceánica ( $> 14^{\circ}\text{C}$ ) que en la costa ( $< 14^{\circ}\text{C}$ ), especialmente sobre los  $35^{\circ}\text{S}$  (**Figura 26**). La salinidad y densidad presentaron pequeñas variaciones en el área de estudio con menores valores en las proximidades de la desembocadura el río Rapel ( $33.9^{\circ}\text{S}$ ). El oxígeno exhibió valores menores ( $< 5 \text{ ml O}_2/\text{L}$ ) en el sector sur del área de muestreo. A los 50m de profundidad, en toda la costa se registró agua  $< 12^{\circ}\text{C}$ , con bajo oxígeno ( $< 3 \text{ ml O}_2/\text{L}$ ) y con alta salinidad ( $\sim 34.5$ ) y densidad ( $\sim 26$ ), evidenciando procesos de surgencia costera.

**Sector Centro.** A 1m y 10 m de profundidad, se observan temperaturas entre  $11^{\circ}$  y  $13^{\circ}\text{C}$ . En superficie bajas salinidades ( $> 30$ ) y menores densidades ocurrieron entre las desembocaduras del río Mataquito y Maule y en el interior del Golfo de Arauco; A 10m de profundidad, concentraciones menores a  $4 \text{ ml O}_2/\text{L}$  ocurrieron en la costa desde los  $34.5^{\circ}\text{S}$  a los  $36^{\circ}\text{S}$  y en punta Lavapié ( $37^{\circ}\text{S}$ ) (**Figura 27**). Finalmente, a 50m de profundidad, se observaron aguas frías ( $< 11^{\circ}\text{C}$ ) con baja concentración de oxígeno ( $< 3 \text{ ml/L}$ ) a lo largo de toda la costa y a la vez con una alta salinidad ( $> 34$ ) y densidad ( $> 26 \text{ sigma-t}$ ) evidenciando la ocurrencia de surgencia en toda la zona.

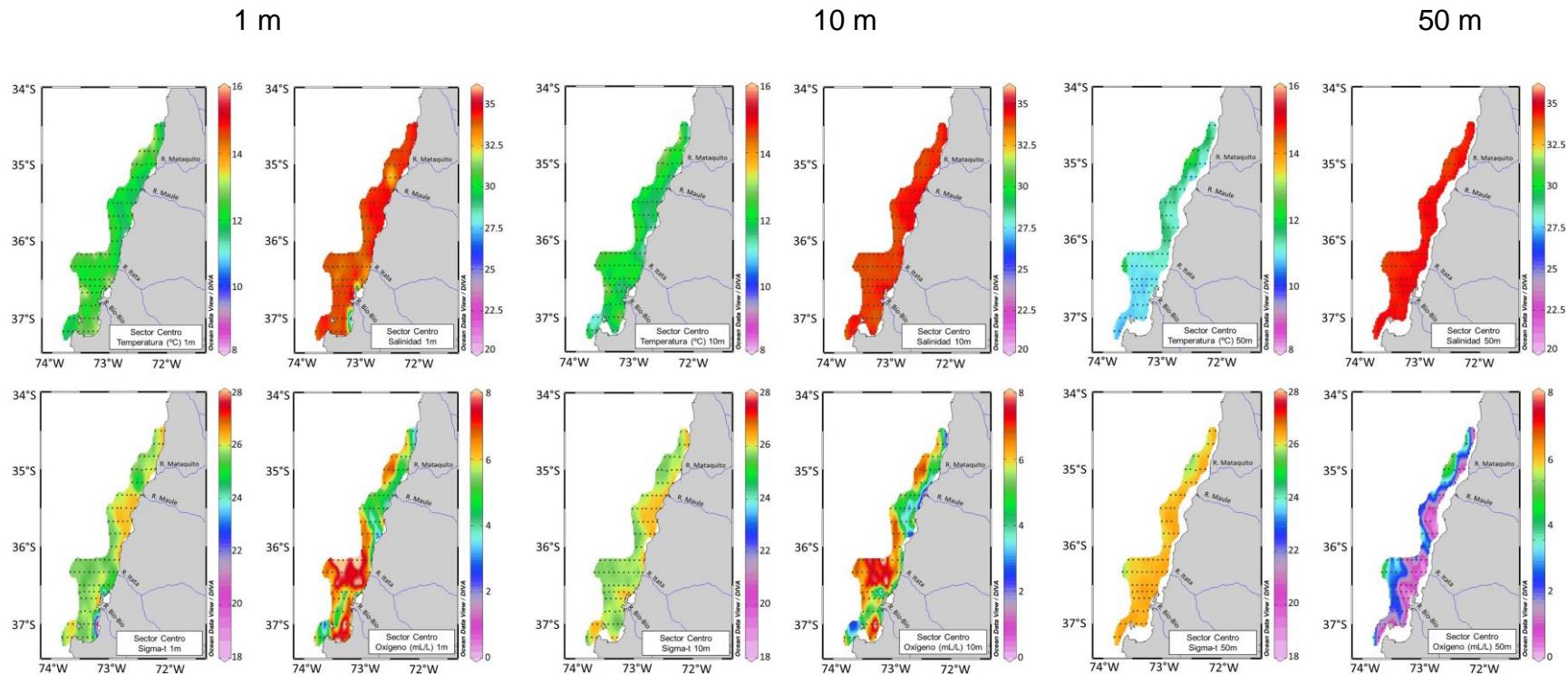
**Sector Sur.** En superficie (1m de profundidad) se presentaron valores de temperatura cercanos a  $14^{\circ}\text{C}$  al norte de la Isla Mocha ( $< 37^{\circ}\text{S}$ ), y menores valores hacia el sur (**Figura 28**). La salinidad y densidad presentaron menores valores en la franja costera al sur de los  $39^{\circ}\text{S}$ , asociados a las desembocaduras de los ríos Toltén ( $\sim 39.4^{\circ}\text{S}$ ), Valdivia ( $\sim 40^{\circ}\text{S}$ ), Rebullaqueón y Lefcaihue ( $\sim 40.5^{\circ}\text{S}$ ). A 50m de profundidad, se observó a lo largo de la costa y hacia el sur del área de estudio, una franja angosta de aguas frías (ca.  $10^{\circ}\text{C}$ ) con bajo oxígeno ( $< 3 \text{ ml/L}$ ) y alta salinidad ( $> 34$ ) y densidad ( $> 26$ ), producto de la surgencia costera.



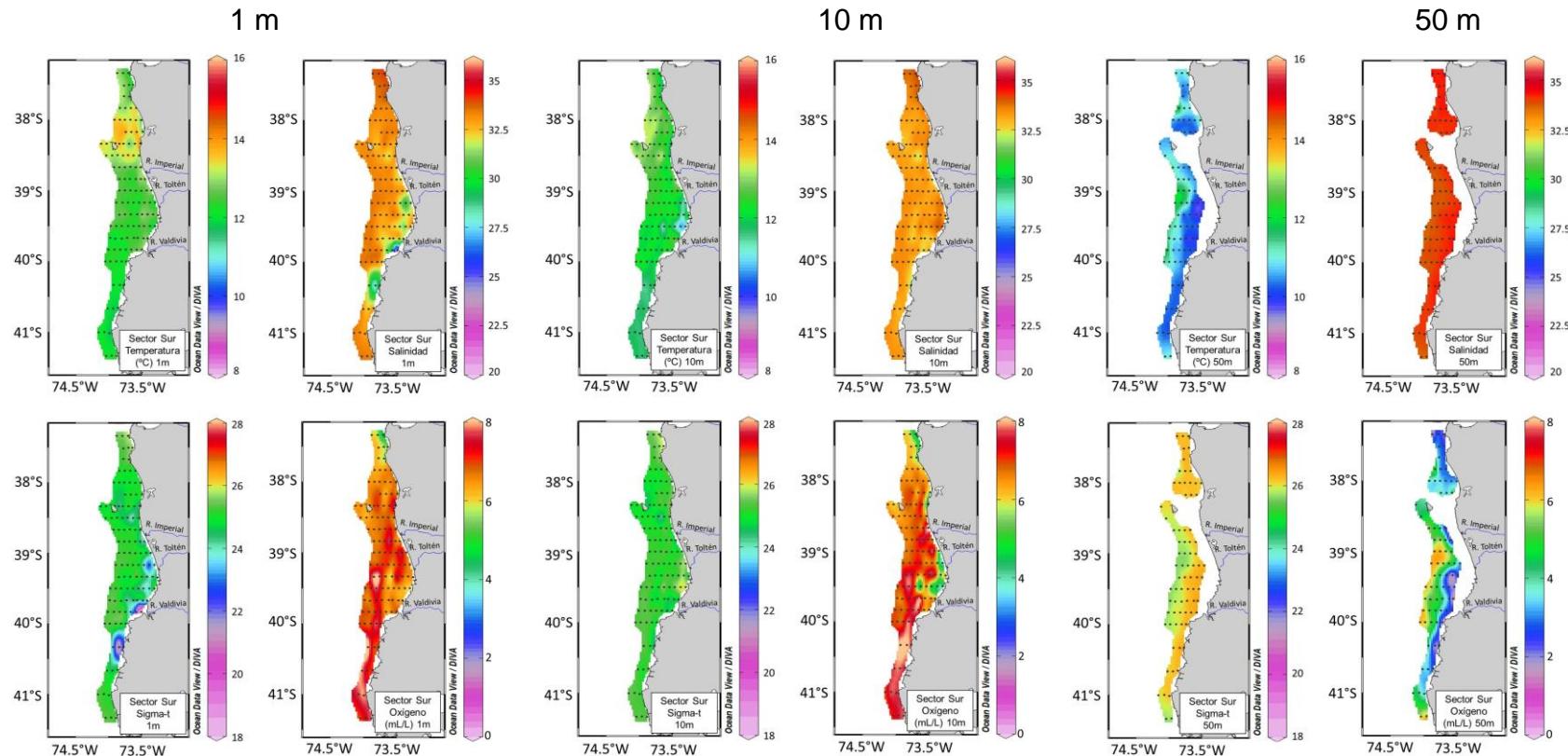
**Figura 26** Características hidrográficas (temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (ml  $\text{O}_2/\text{L}$ ) a 1, 10 y 50 m de profundidad, en el sector norte de la zona de estudio, 2016.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



**Figura 27** Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (ml O<sub>2</sub>/L)) a 1, 10 y 50 m de profundidad, en el sector centro de la zona de estudio, 2016.



**Figura 28** Características hidrográficas (temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno ( $\text{ml O}_2/\text{L}$ )) a 1, 10 y 50 m de profundidad, en el sector sur de la zona de estudio, 2016.



#### 4. Distribución histórica de huevos (Objetivo específico 2.7)

##### 4.1. Cambios interanuales en el área de desove

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 2002-2016, mostró que los cambios en el éxito del desove son explicados entre un 13 y 9% por la interacción entre los años y la latitud (**Tabla 25**).

**Tabla 25** Resultados del ajuste del modelo GAM a datos de presencia-ausencia y densidad de huevos de sardina común y anchoveta en el periodo 2002-2016

Especie	Dato	Modelo	edf	n	Dev. Exp.
Sardina	Presencia	Binomial	28,70	5632	0,13
	Densidad	Bin. Neg.	28,97	5632	0,30
		Quasi-Poisson	28,94	5632	0,24
		Tweedie	28,89	5632	0,22
		Log-Normal	28,82	1094	0,14
		Gamma	27,50	1094	0,22
Anchoveta	Presencia	Binomial	28.35	5629	0,09
	Densidad	Bin. Neg.	28.90	5629	0,23
		Quasi-Poisson	28.88	5629	0,29
		Tweedie	28.55	5629	0,20
		Log-Normal	26.90	1651	0,15
		Gamma	26.54	1651	0,17

En la zona de estudio, se observó que el área de desove de sardina común es más restringida que la de anchoveta, sin embargo, para ambas especies la mayor ocurrencia latitudinal del desove se localizó entre los 38° y 40°S (**Figura 29**).

En sardina común la formación de área de desove fue mayor entre los años 2005 y 2011 y se focalizó latitudinalmente alrededor de los 38 y 40°S, a contar del año 2012 la incidencia del desove disminuyó, observándose durante los años 2013-2015 una recuperación en el Golfo de Arauco y hacia el sur del área de estudio, recuperación que se manifiesta con un foco importante de desove el año 2016 al sur de los 39°S (**Figura 29**).

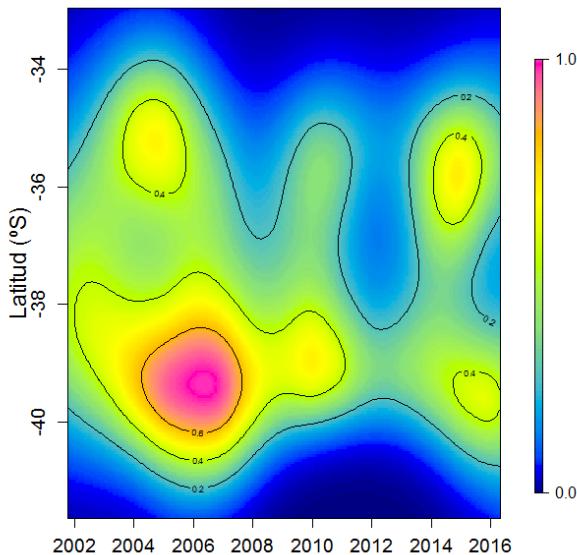
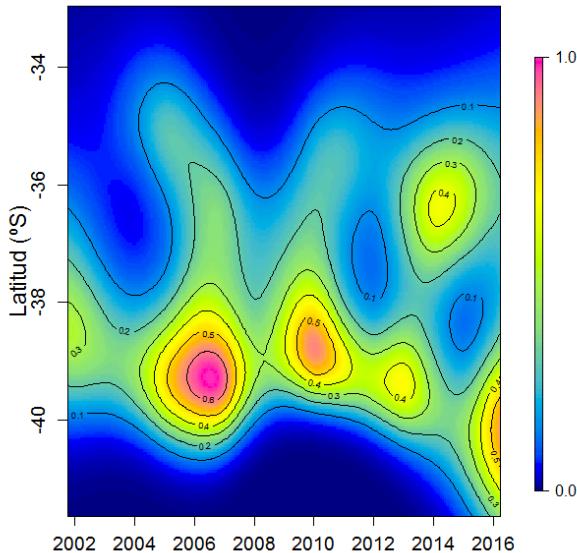


Para el caso de la anchoveta, la mayor probabilidad de ocurrencia del desove se presentó entre los años 2004 y 2008, a contar de año 2009 la incidencia del desove disminuyó, presentándose el año 2010 un foco de desove restringido a un estrecho rango latitudinal alrededor de los 39°S, en tanto, los siguientes años 2012-2013, la incidencia del desove fue minina, observándose una recuperación entre los años 2014-2016, en donde además se extendió latitudinalmente entre los 35° y los 40°S (**Figura 29**).

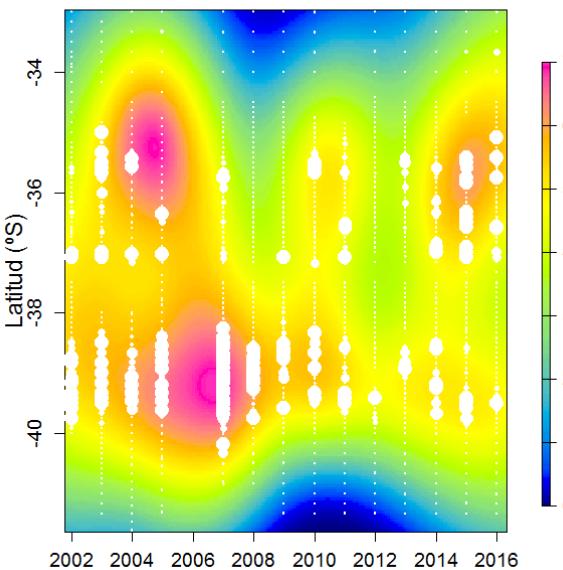
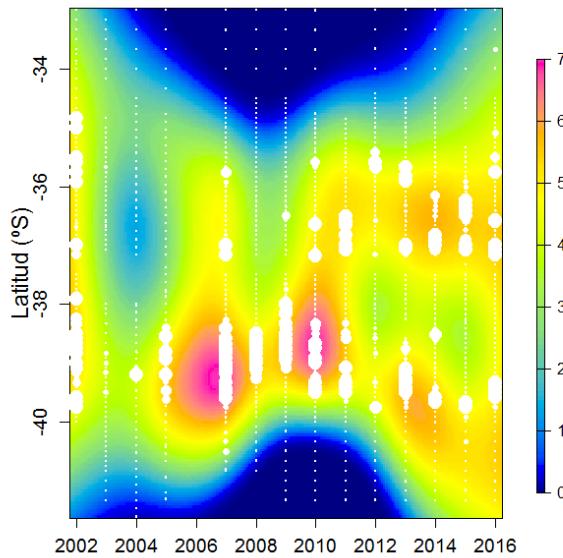
Los modelos ajustados para representar los cambios interanuales en la densidad de huevos se resumen en la **Tabla 25**, observándose que el modelo binomial negativo fue el que mejor explicó los cambios de densidad de huevos de sardina común (Dev. Exp.= 30%), mientras que para la anchoveta fue Quasi-Poisson con 29% de la devianza explicada.

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) (**Figura 30**).

Para el caso de la anchoveta, la densidad de huevos abarcó una mayor extensión latitudinal, observándose la mayor densidad a lo largo de la costa durante los años 2002 y 2003, mientras que desde el año 2005 no hubo registros de huevos al norte de los 35°S, en tanto los mayores focos de densidad ocurrieron entre los años 2004 y 2007, presentándose en los años 2015 y 2016 un centro de desove importante que se focalizó latitudinalmente entre los 35°S y 37°S (**Figura 30**).



**Figura 29** Cambios latitudinales en la presencia de huevos de sardina común (arriba) y anchoveta (abajo) en la zona centro sur, 2002-2016.



**Figura 30** Cambios latitudinales en la densidad de huevos de sardina común (arriba) y anchoveta (abajo) en la zona centro sur, 2002-2016. La escala está referida a logaritmo neperiano más una constante pequeña (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.



## 4.2. Relación de la distribución de huevos con variables ambientales

### Mapas horizontales

A través de las **Figuras 31 a 36**, es posible observar la sobreposición de los datos de abundancia de huevos de anchoveta y sardina común sobre las secciones horizontales de temperatura, salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (ml O<sub>2</sub>/L) a 1m, 10m y 50m de profundidad.

En el sector norte, se observó que la mayor agrupación de huevos de anchoveta se presentó al sur de la desembocadura del río Maipo y una secundaria a los 33°S. En 1m de profundidad, la mayor densidad se asocia a aguas costeras con temperatura próxima a 14°C, salinidad y densidad cercanas a 34 y 25 respectivamente, y una concentración de oxígeno relativamente alta (~7 ml O<sub>2</sub>/L) (**Figura 31a**). A 10m de profundidad, la principal agrupación (sector sur de la desembocadura) se asoció a valores de temperatura (<14°C) y oxígeno (<6.5ml O<sub>2</sub>/L) más bajos, y a salinidad (~34) y densidad (~26) relativamente más altos (**Figura 31b**). En cambio, a 50m de profundidad, la agrupación secundaria de huevos se asoció a valores bajos de temperatura (~11°C) y oxígeno (< 3 ml O<sub>2</sub>/L). La salinidad y densidad presentaron valores cercanos a 34.5 y 27 respectivamente (**Figura 31c**).

En el sector centro, las principales agrupaciones de huevos de anchoveta se presentaron al sur de Constitución frente a punta Nugurne, frente a la bahía Concepción (36.5°S) y Golfo Arauco (~37°S). En 1m de profundidad, las mayores agrupaciones se asociaron a temperatura cercana a 12°C. La salinidad y densidad presentaron los mayores valores al sur de Constitución (salinidad: ~34.5, densidad: ~26), disminuyendo hacia el Golfo de Arauco (salinidad: 30 a 34, densidad: 22 a 25). Sin embargo, las mayores concentraciones de oxígeno se localizaron en el Golfo de Arauco y frente a la bahía Concepción (6 a 7ml O<sub>2</sub>/L). Al sur de Constitución los valores de oxígeno fueron más bajos (5 ml O<sub>2</sub>/L) (**Figura 32a**). En 10m de profundidad, las principales densidades de huevos se encontraron a temperatura ~12°C. La salinidad y densidad presentaron valores altos al sur de Constitución (salinidad: 34; densidad: 26) y frente Bahía Concepción y menores en el Golfo de Arauco (salinidad: 32.5 a 34.5; densidad: 25 a 26). El oxígeno presentó las mayores concentraciones en el Golfo de Arauco (6 a 7 ml O<sub>2</sub>/L) y frente a la Bahía Concepción (4 a 6 ml O<sub>2</sub>/L) y valores más bajos al sur de Constitución (3 a 5 ml O<sub>2</sub>/L) (**Figura 32b**). A 50m de profundidad, las mayores densidades de huevos se ubicaron en la zona costera pero próximos a aguas más frías (> 11°C), con bajo oxígeno (>2ml O<sub>2</sub>/L) y salinidad (34.5) y densidad (27) altas (**Figura 32c**).

En el sector sur, la distribución de los huevos de anchoveta comprende desde 38.5°S a 40°S, con un núcleo principal al norte de la desembocadura del río Valdivia. A 1m de profundidad, la principal agrupación de huevos se asoció a temperatura entre 11,5 a 12°C, y altos valores de oxígeno (6 a 7ml O<sub>2</sub>/L). La salinidad y densidad presentaron una clara estratificación (costa-océano) con valores entre 22,5 a 34,5 y 20 a 26 respectivamente (**Figura 33a**). A 10m de profundidad, la mayor densidad de huevos coinciden con altos valores de temperatura (~12°C), un rango de salinidades entre 32.5 y

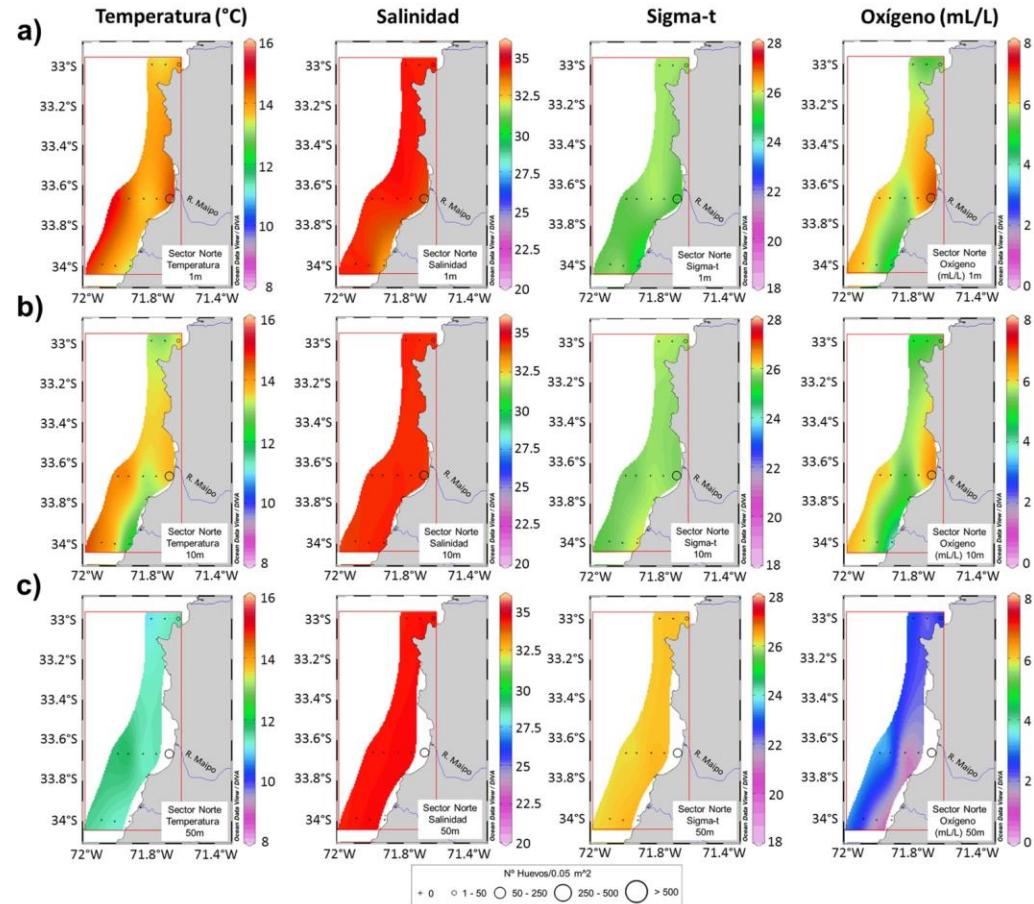


34.5 y de densidad entre 25 y 26 sigma-t. El oxígeno registró concentraciones entre 5 y 7ml O<sub>2</sub>/L (**Figura 33b**). A 50m de profundidad, la mayor abundancia de huevos se asoció a valores de temperatura (<11°C) y oxígeno (<4ml O<sub>2</sub>/L) bajos. En cambio, la salinidad (~34.5) y densidad (26 a 27) presentaron valores altos (**Figura 33c**).

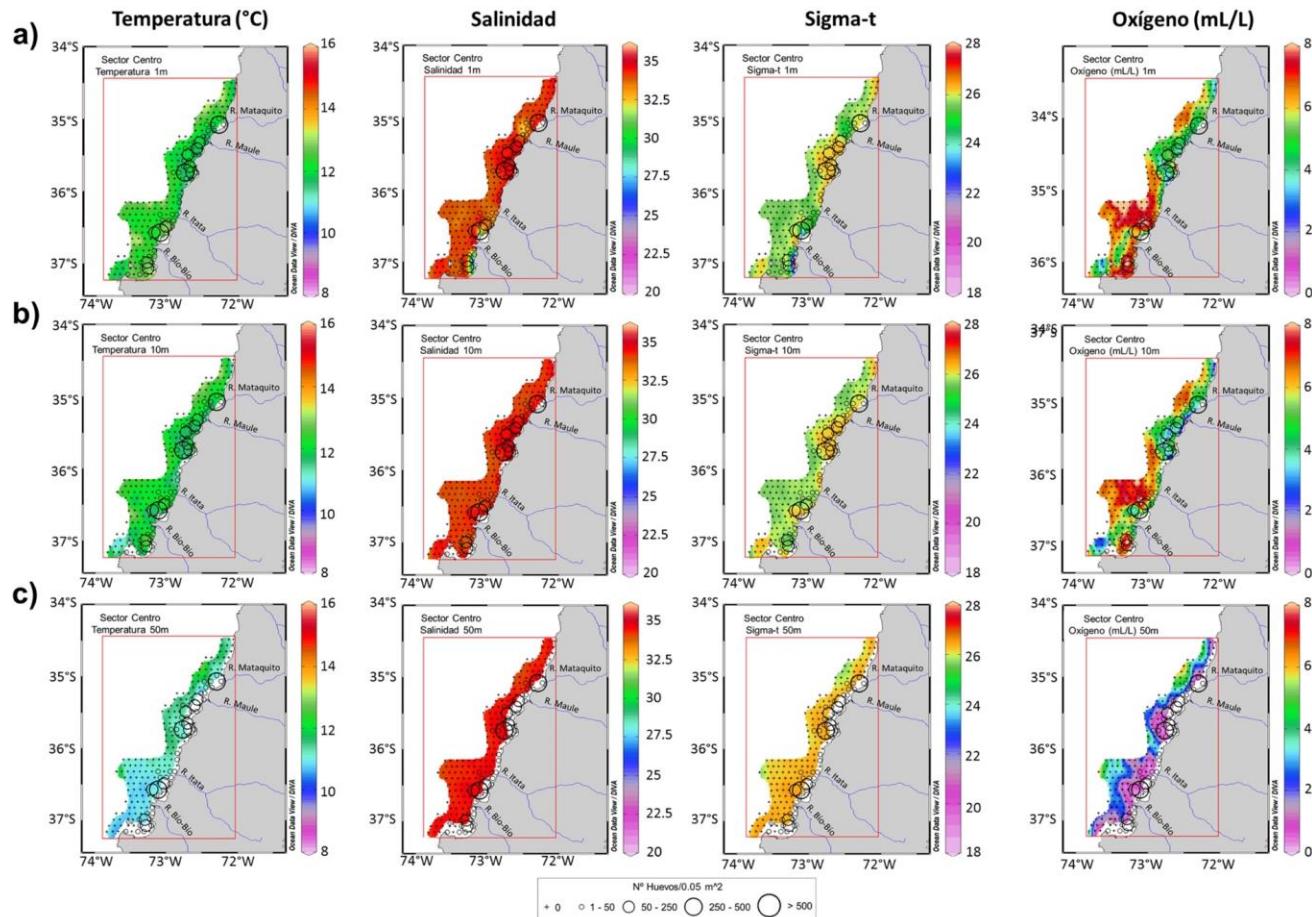
Para sardina común, el **sector norte** presentó un grupo pequeño de huevos localizado en 33°S y al sur de la desembocadura del río Maipo. En 1m de profundidad, estos núcleos se asociaron a temperatura, salinidad, densidad y concentración de oxígeno relativamente altos (temperatura: > 14°C; salinidad: > 34; densidad: > 25; oxígeno: > 5 ml O<sub>2</sub>/L) (**Figura 34a**). En 10m de profundidad, la mayor presencia de huevos se encuentra en aguas cálidas (>13°C), con salinidad (~34.5) y densidad altas (~26) y concentración de oxígeno <6 ml O<sub>2</sub>/L (**Figura 34b**). En 50m de profundidad, la agrupación de huevos en el norte del área de estudio se asoció a temperatura cercana a 11°C, y salinidad entre 34 a 34.5. La densidad del agua de mar presentó valores de ~27 sigma-t y oxígeno entre ~2 y 3 ml O<sub>2</sub>/L (**Figura 34c**).

En el sector centro, las principales agrupaciones de huevos de sardina común se presentaron en el Golfo Arauco (~37°S), frente a la Bahía Concepción (36,5°S) (sur del desembocadura de río Itata) y frente a Punta Nugurne al sur de Constitución (~35°S). En 1m de profundidad, las mayores agrupaciones se asociaron a temperatura de ~12°C. Los mayores valores de salinidad y densidad se hallaron frente a Punta Nugurne (salinidad: ~34.5, densidad: ~26) y frente a Bahía Concepción y valores inferiores en el Golfo de Arauco (salinidad: 30 a 34, densidad: 22 a 25). En oxígeno las mayores concentraciones se presentaron en el Golfo de Arauco y frente a la Bahía Concepción (6 a 7ml O<sub>2</sub>/L) (**Figura 35a**). En 10m de profundidad, las principales agrupaciones de huevos se encontraron a temperatura ~12°C. La salinidad y densidad presentaron valores altos frente a Punta Nugurne (salinidad: >34; densidad: >26) y variables frente Bahía Concepción y Golfo de Arauco (salinidad: 32.5 a 34.5; densidad: 25 a 26). Alta concentración de oxígeno se presentó en el Golfo de Arauco (6 a 7 ml O<sub>2</sub>/L) y fuera de la costa frente a la Bahía Concepción (4 a 6 ml O<sub>2</sub>/L) y baja concentración en Punta Nugurne (3 a 5 ml O<sub>2</sub>/L) (**Figura 35b**). A 50m de profundidad, las mayores densidades de huevos se asociaron a baja temperatura (11°C) y oxígeno (>2ml O<sub>2</sub>/L) y salinidad (34.5) y densidades (27) altas (**Figura 35c**).

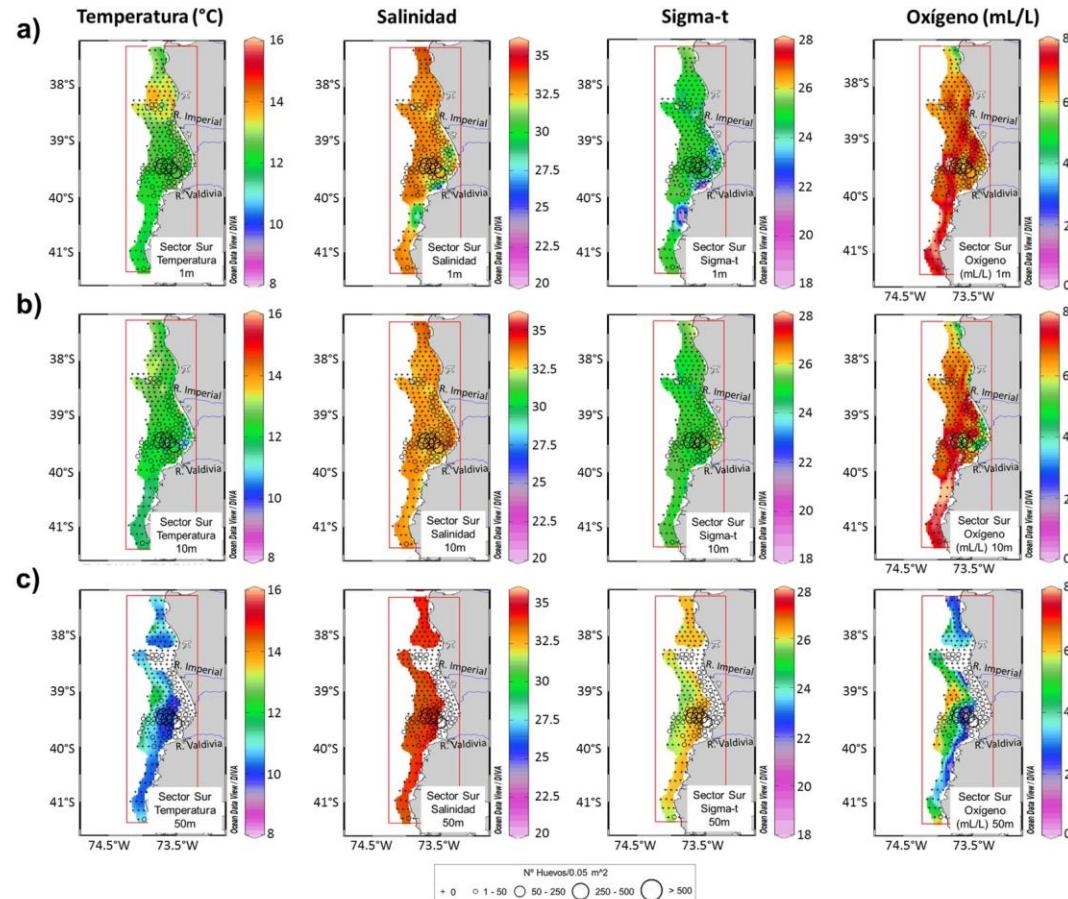
En el sector sur, la cobertura espacial de los huevos de sardina común es desde 38,7°S a 39.8°S, presentando un núcleo principal al norte de la desembocadura del río Valdivia. En superficie (1m de profundidad), este núcleo se asoció a temperatura próxima a 12°C, salinidad entre 30 a 32 y densidad entre 24 a 26. La concentración de oxígeno fue alta (6 a 7ml O<sub>2</sub>/L) (**Figura 36a**). En 10m, la mayor agrupación de huevos se relacionó a temperatura ~12°C. La salinidad y densidad fueron relativamente más altas (salinidad: 32.5 a 34.5; densidad: 25 a 26). En cambio, la concentración de oxígeno presentó una leve disminución (5 a 7ml/L) (**Figura 36b**). En 50m, la mayor densidad de huevos se vinculó a aguas más frías (<11°C), bajas en oxígeno (<4ml O<sub>2</sub>/L) y con valores altos de salinidad (> 34) y densidad (> 26) (**Figura 36c**).



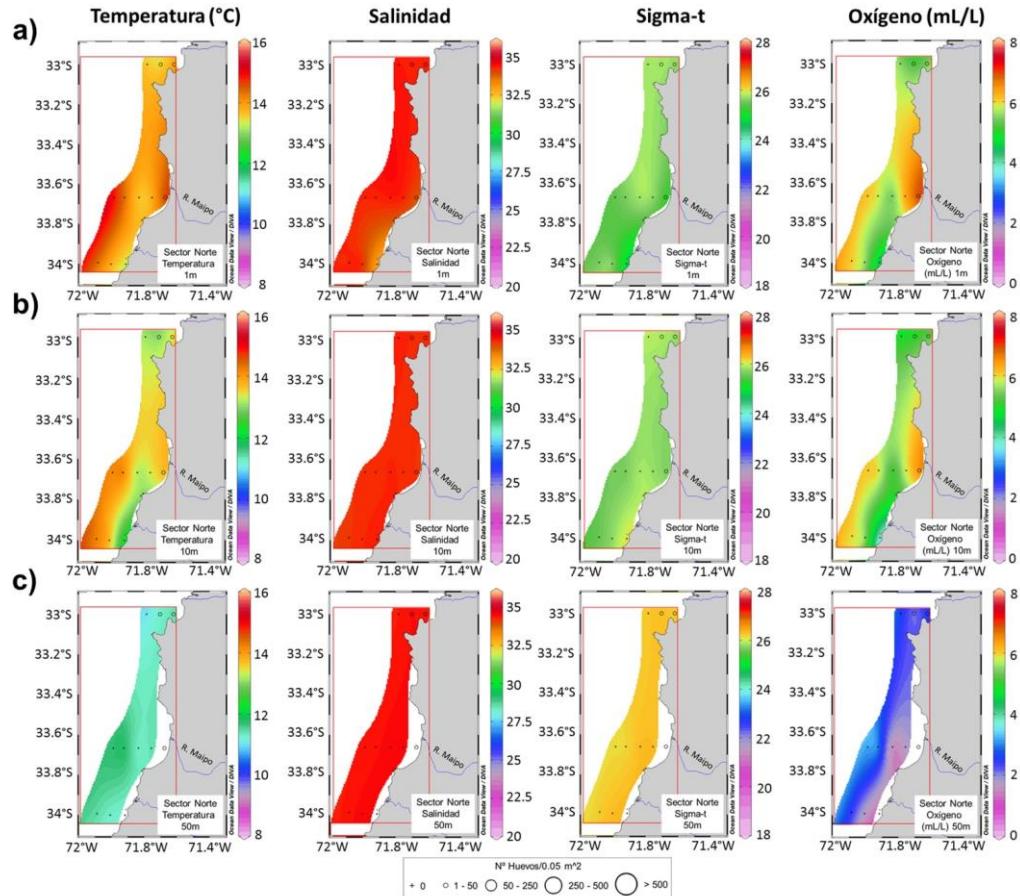
**Figura 31** Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre secciones horizontales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector norte, 2016.



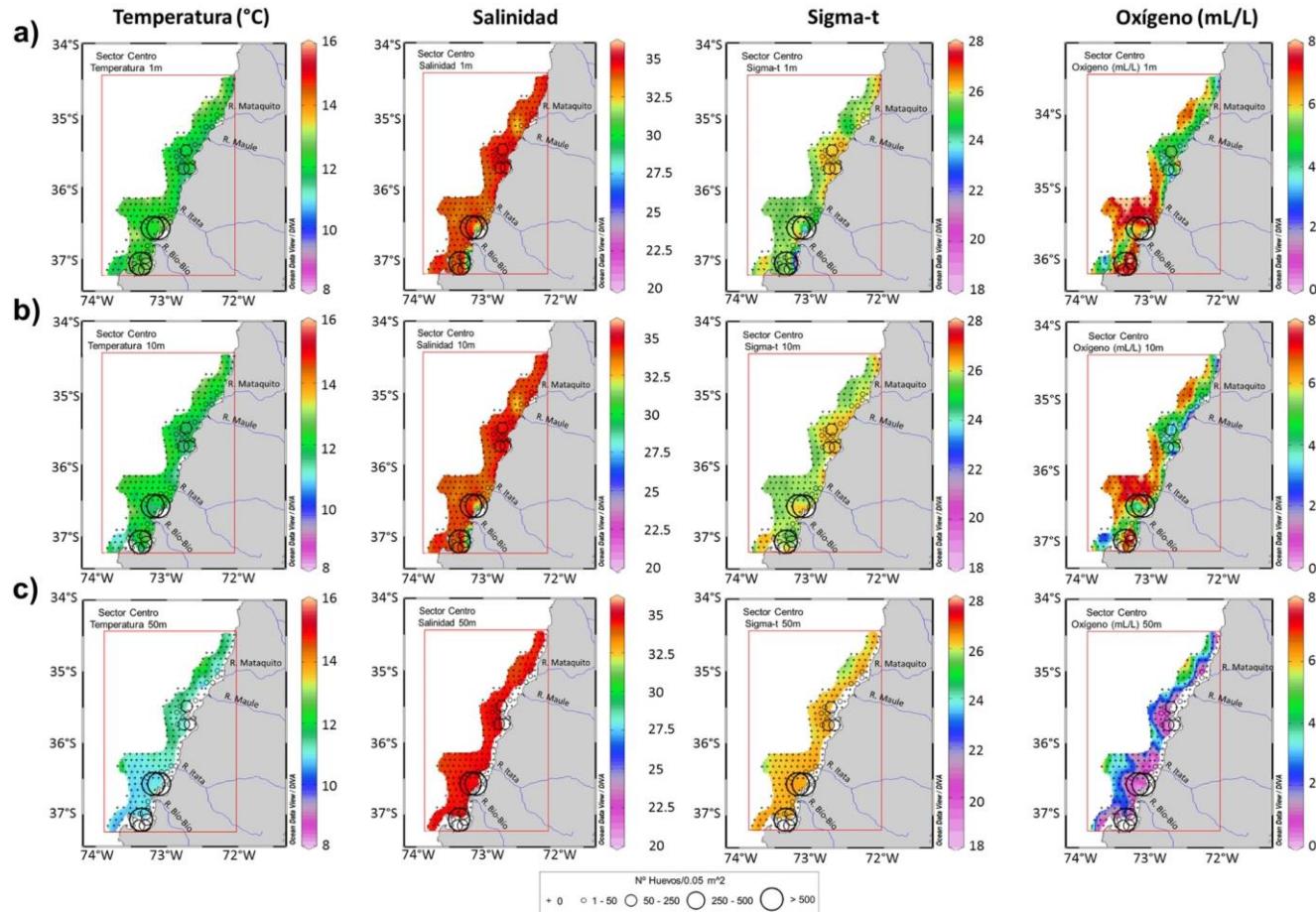
**Figura 32** Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector centro, 2016.



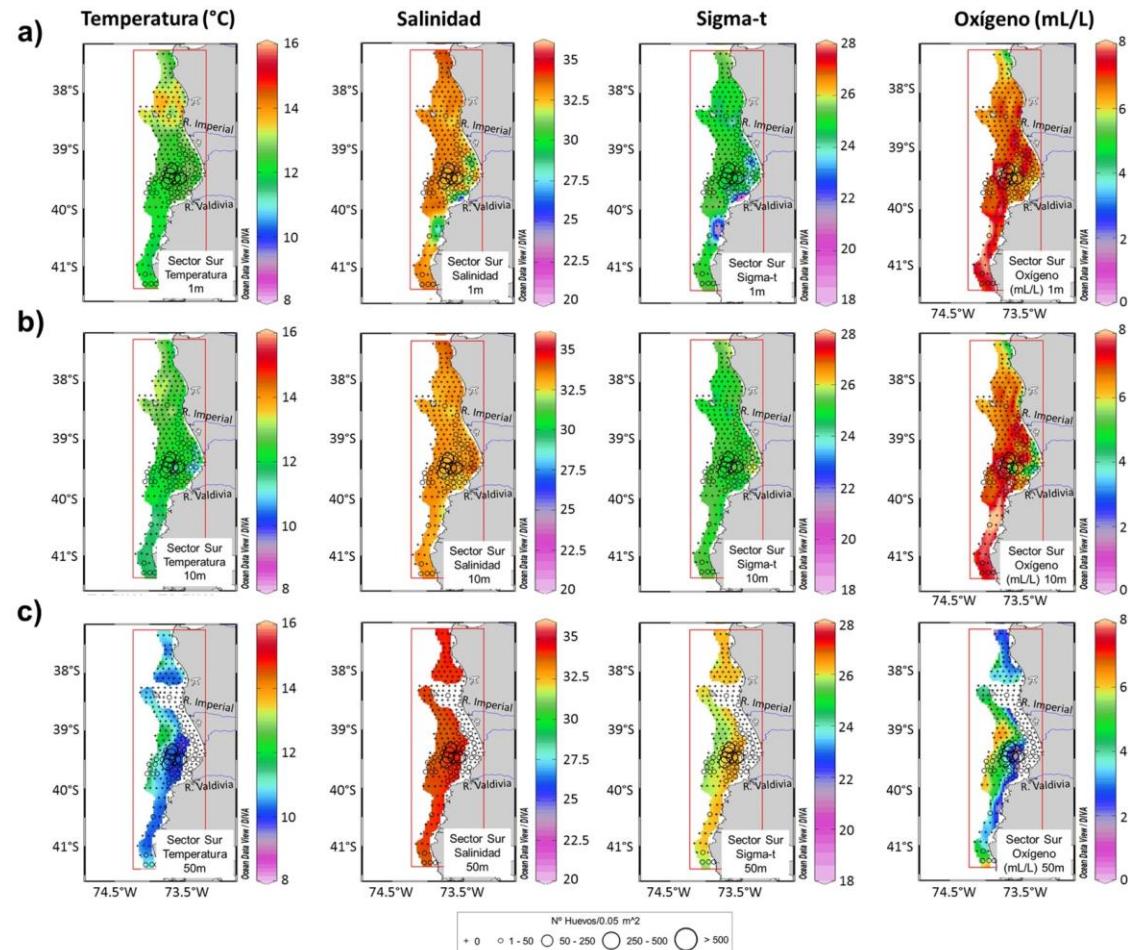
**Figura 33** Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre secciones horizontales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (mL/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector sur, 2016.



**Figura 34** Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre secciones horizontales de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector norte, 2016.



**Figura 35** Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (ml/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector centro, 2016.



**Figura 36** Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre secciones horizontales de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (mL/L) a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad en el sector sur, 2016.



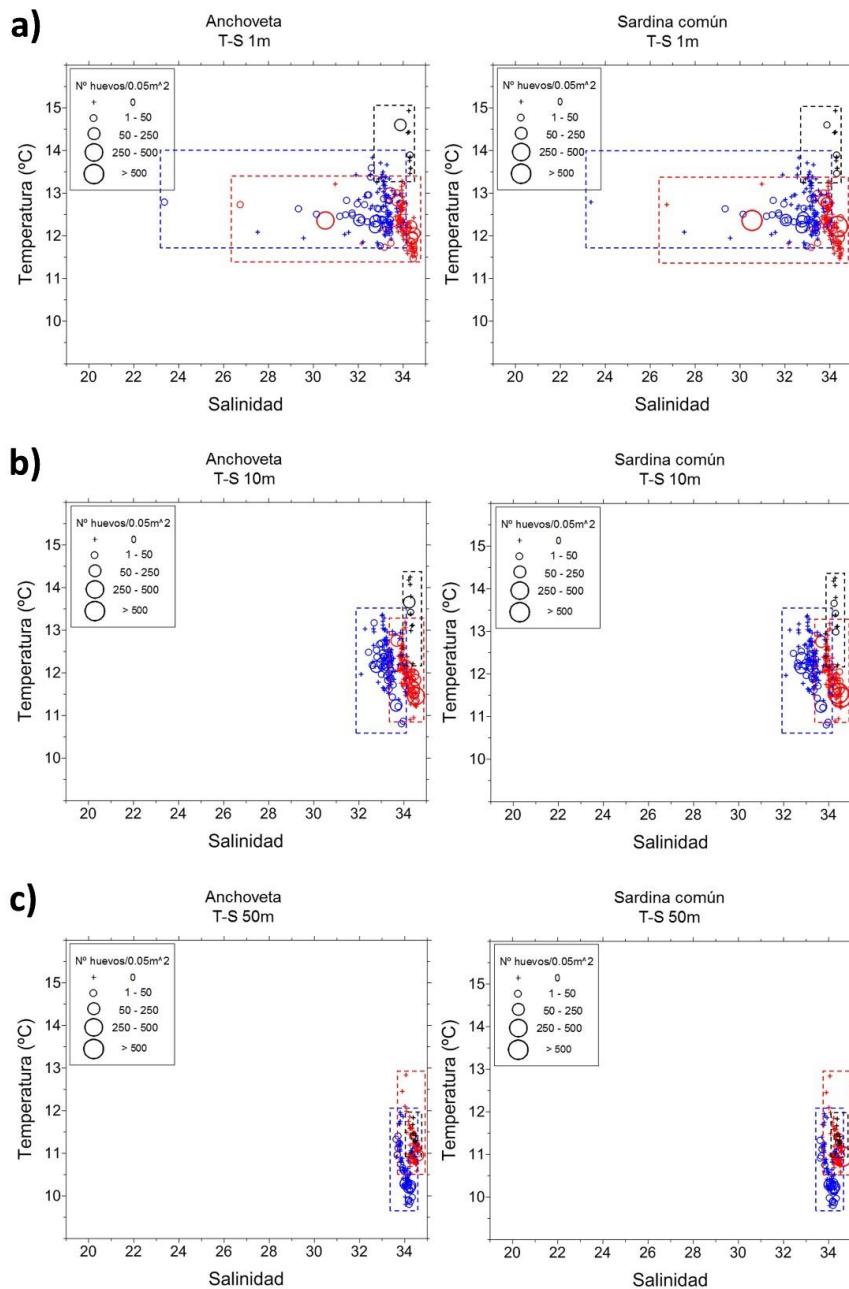
### Diagramas T-S en el año 2016

Los diagramas Temperatura/Salinidad junto a las abundancias de huevos por especie, muestran los rangos de las variables (temperatura (T), salinidad (S)) observadas a 1, 10 y 50 m de profundidad y las abundancias escaladas (círculos) asociados a cada par de variable a esas profundidades (**Figura 37**).

A 1 m de profundidad los huevos de anchoveta y sardina común en el sector norte, presentaron rangos de temperatura (13° a 15°C) y salinidad (32 a 34) similares. En el sector centro, los huevos de anchoveta se asocian a temperatura entre ~12 y 13.5 y salinidad entre 26 y 34.6. En sardina común, las mayores abundancias de huevos se asociaron a rangos menores de temperatura (11.5° a 12.8°C) y salinidad (30 a 34.6). En el sector sur, los huevos de anchoveta se asocian a temperatura entre ~12° y 13.8°C y salinidad entre 22 y 34. En cambio, en sardina común, las mayores densidades de huevos se asociaron a rangos más acotados de temperatura (11.5° a 12.8°C) y salinidad (29 a 33.8) (**Figura 37a**).

A los 10 m de profundidad la presencia de huevos de anchoveta y sardina común en el sector norte se vincularon a temperatura y salinidad similares, es decir, entre 13° y 13.5°C y entre 34 y 34.6 psu, aproximadamente. En el sector centro, la abundancia de huevos de anchoveta se asocia temperatura entre 11.5° y 13°C y salinidad entre 33 y 34.6, aproximadamente. En sardina común, el rango fue más acotado para temperatura (11° a 12.7°C) y los valores de salinidad fueron similares a lo encontrado en anchoveta. En el sector sur, la presencia de huevos de anchoveta se relacionó con temperatura entre 11° y 13°C, en cambio en sardina común fue entre 10.8° y 12.5°C, aproximadamente. Los valores de salinidades fueron similar para ambas especies (32 a 34) (**Figura 37b**).

Finalmente, a 50m de profundidad los rangos de temperatura y salinidad donde se encontraron las mayores abundancias de huevos para ambas especies fueron similares entre sectores (**Figura 37c**).



**Figura 37** Diagramas en que la data del 2016 de Temperatura y Salinidad a 1m (a), 10m (b) y 50m (c) de profundidad de cada estación, se sobrepuso una representación escalada de la abundancia por estación de huevos de anchoveta y sardina común. Los círculos en negro corresponden a la abundancia de huevos en estaciones del sector norte, en rojo a la central y, en azul, al sector sur. Rectángulos representan rango total de las variables medidas.



### Modelos aditivos generalizados (GAMs)

Para detectar posible colinealidad o multicolinealidad entre las variables utilizadas en los modelos aditivos generalizados (GAMs), se utilizaron los métodos y criterios descritos por Fox y Monette (1992), Fox (1997), Leahy (2001), Menard (2002) y Mallo (2011). En cuanto a los métodos de análisis, estos son, Matriz de correlaciones y Factor de Inflación de la Varianza (VIF). Los criterios para el primer método, se basan en la obtención de una baja correlación entre las variables predictoras (0: menor dependencia lineal entre variables y 1 o -1: mayor dependencia lineal). En el segundo método, el criterio está basado en obtener valores de VIF menores o iguales a 5, los cuales serían aceptables (Kleinbaum *et al.* 1988) y mayores a 10, revelarían un problema de colinealidad (Belsley *et al.* 1980). Los análisis se desarrollaron en el programa R (versión 3.3) utilizando las librerías *mgcv*, *dplyr* y *mgcv.helper*. Los resultados mostraron una baja correlación ( $< 0.5$ ) entre las variables predictoras en las diferentes profundidades y los valores VIF fueron bajos ( $< 5$ ), esto indica una nula o baja colinearidad y también señala que la varianza de las covariables no influye sustancialmente en la estimación del error standard en los parámetros del modelo (**Tabla 28**).

Posteriormente, los resultados de la modelación utilizados en la relación de la abundancia de huevos en  $0.05\text{m}^2$  (densidad de huevos) de anchoveta y sardina común con las variables predictoras (**Tabla 26**) a un 1m, 10m y 50m de profundidad, se resumen en la **Tabla 27**. Para las especies objetivo, se encontró que los diferentes modelos que incluyen todas las variables predictoras (temperatura, salinidad y oxígeno), entregan los mejores ajustes considerando el coeficiente de determinación ( $> 68$ ), desvianza explicada ( $> 69\%$ ); así como los valores de la validación cruzada general (GCV). Para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común, se observó que los mejores modelos explicativos fueron los que utilizaron los valores de las variables predictoras a 10m profundidad (**Tabla 27**). Los valores estimados por los modelos aditivos generalizados para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común con las variables predictoras se muestran en la **Tabla 28**. En general, se encontró que estas relaciones en los distintos modelos, son significativas ( $p < 0.05$ , **Tabla 28**). Los rangos óptimos (positivo) de las variables evaluadas al en relación a las mayores densidades de huevos de anchoveta y sardina común, se muestran en la **Tabla 29**, siendo también explicados en los subtítulos siguientes.

#### **Análisis de los valores de las variables predictoras a 1 m de profundidad**

En anchoveta, se observó que los núcleos de huevos se asociaron positivamente a valores de temperatura entre  $12^\circ$  y  $13^\circ\text{C}$  (**Tabla 29**). La salinidad entre 34.2 y 34.5 presentó un efecto positivo en la presencia de huevos, al igual que el oxígeno disuelto entre valores de 4.1 y 7 ml  $\text{O}_2/\text{L}$ . En sardina común, las mayores densidades de huevos se asociaron positivamente a temperatura entre  $10.8^\circ$  y  $12.8^\circ\text{C}$  y salinidades entre 32.6 y 34.4. Concentraciones de oxígeno disuelto entre 5.7 y 8.3 ml  $\text{O}_2/\text{L}$  se relacionan positivamente con la densidad de huevos (**Tabla 29**).

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

En anchoveta, la densidad de huevos se asoció positivamente a temperatura entre  $10.8^\circ$  y  $12.8^\circ\text{C}$ , y a salinidad entre 33.5 y 34.5. El efecto positivo del oxígeno disuelto con la presencia de huevos en



un rango amplio entre 2.5 y 7 ml O<sub>2</sub>/L. En sardina común, la relación positiva se presentó a temperaturas entre 10.8° y 12.4°C, con salinidades entre 33.2 y 34.4 y concentraciones de oxígeno disuelto entre 4.4 y 7.3 ml O<sub>2</sub>/L (**Tabla 29**).

#### **Análisis de los valores de las variables predictoras a 50 m de profundidad**

En anchoveta y sardina común, las mayores densidades de huevos se relacionaron positivamente con temperaturas entre 9.8° y 11.5°C, salinidades entre 33.6 y 34.6, con concentraciones bajas de oxígeno disuelto entre 1 y 5.2 ml O<sub>2</sub>/L (**Tabla 29**).

En resumen, las mayores densidades de huevos de anchoveta y sardina común en los estratos más someros (1 y 10m de profundidad) presentaron ambas, estrechos rangos de las variables predictoras, pero con leves diferencias entre especies. Las mayores densidades de huevos de sardina común se asociaron a aguas con temperaturas semejantes a las de anchoveta (sard común: 10.8° - 12.8°C vs. anchoveta: 10.8 a 13.0°C), pero con menores salinidades (sard. com.: 32.6 - 34.4 vs. anchov.: 33.5 - 34.5), y con mayores valores de oxígeno disuelto (sard. com.: 4.4 - 8.3 vs. anchov.: 2.5 - 7.0 ml O<sub>2</sub>/L). En otras palabras, los huevos de anchoveta se presentaron más abundantemente en aguas más salinas (33.5 a 34.5) y con concentraciones de oxígeno más bajas pero fluctuantes (2.5 a 7 ml O<sub>2</sub>/L).

**Tabla 26** Parámetros utilizados en los modelos aditivos generalizados (GAMs).

Tipo	Parámetro	Unidad
Respuesta	Abundancia de huevos. (densidad)	0,05m <sup>2</sup>
Predictor	Temperatura	°C
	Salinidad	psu
	Oxígeno	mL/L

**Tabla 27** Resultados de los modelos aditivos generalizados (GAMs) para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común usando las variables predictoras temperatura (T), salinidad (S) y oxígeno (O) en 1m, 10m y 50m de profundidad (n: número de datos, R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general).

1m					
Especie	Modelo	n	R <sup>2</sup>	VE	GVC
anchoveta	s(T)+s(S)+s(O)	233	0,77	69,1	18,61
sardina común	s(T)+s(S)+s(O)	233	0,83	73,8	24,49

#### 10m



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

anchoveta	s(T)+s(S)+s(O)	231	0,81	71,4	15,00
sardina común	s(T)+s(S)+s(O)	231	0,98	88,6	11,85
50m					
anchoveta	s(T)+s(S)+s(O)	161	0,68	74,1	9,04
sardina común	s(T)+s(S)+s(O)	161	0,96	89,5	9,24



**Tabla 28** Resultados de los modelos GAM por especie y profundidad (T: temperatura, S: salinidad, O: oxígeno, VIF: Factor de Inflación de la Varianza).

1m							
Especie	Parámetros	Estimado	Valor F	Error standard	Valor t	p-valor	VIF
anchoveta	Intercepto	0,72	-	0,23	3,18	0,00168	
	s(T)	9,81	6,47	-	-	8,29e-9	0,22
	s(S)	4,95	20,28	-	-	2,00e-10	0,02
	s(O)	8,44	2,38	-	-	0,012	0,16
sardina común	Intercepto	-1,23	-	0,59	-2,06	0,0403	
	s(T)	11,69	8,67	-	-	6,12e-14	0,13
	s(S)	6,98	14,87	-	-	2,00e-10	0,01
	s(O)	8,95	6,42	-	-	4,01e-8	0,10
10m							
anchoveta	Intercepto	-0,94	-	0,47	-2,01	0,0454	
	s(T)	9,88	7,61	-	-	1,67e-10	0,29
	s(S)	8,84	7,24	-	-	1,88e-9	0,40
	s(O)	13,55	6,33	-	-	9,35e-11	0,23
sardina común	Intercepto	-3,36	-	0,80	-4,17	4,53e-5	
	s(T)	13,39	13,39	-	-	2,00e-10	0,22
	s(S)	14,80	12,62	-	-	2,19e-9	0,29
	s(O)	8,82	17,90	-	-	2,21e-8	0,15
50m							
anchoveta	Intercepto	-6,39	-	5,06	-1,26	0,02090	
	s(T)	7,09	2,68	-	-	0,01119	0,69
	s(S)	10,89	4,02	-	-	4,02e-5	4,39
	s(O)	8,88	3,74	-	-	0,00031	3,60
sardina común	Intercepto	-8,62	-	9,44	-0,92	0,0363	
	s(T)	9,59	4,42	-	-	1,98e-5	0,49
	s(S)	9,40	4,92	-	-	4,77e-6	3,13
	s(O)	8,59	2,88	-	-	0,00399	2,37



**Tabla 29** Rango óptimo de las variables predictoras a 1m, 10m y 50m de profundidad asociados a la densidad de huevos de anchoveta y sardina común.

1m			
Especie	Temperatura (°C)	Salinidad (psu)	Oxígeno (ml O <sub>2</sub> /L)
anchoveta	12,0 – 12,3	34,2 – 34,5	4,1 – 5,1
	12,7 – 13,0		5,8 – 5,9 6,6 – 7,0
sardina común	10,8 – 11,4	32,6 – 33,1 34,1 – 34,4	5,7 – 8,3
	12,0 – 12,4		
	12,7 – 12,8		
10m			
anchoveta	10,8 - 12,4	33,5 – 33,9 34,3 – 34,5	2,5 – 2,8 4,0 – 5,7 6,5 – 7,0
	12,7 – 12,8		
sardina común	10,8 – 11,8	33,2 – 33,3 33,5 – 33,8 34,3 – 34,4	4,4 – 5,5
	12,1 – 12,4		6,0 – 7,3
50m			
anchoveta	9,8 – 11,0	33,6 – 33,8 34,0 – 34,1 34,5 – 34,6	1,3 – 3,3
	11,2 – 11,5		4,9 – 5,1
sardina común	9,8 – 10,4	33,9 – 34,1 34,6 – 34,6	1,0 – 3,4
	10,7 – 11,5		4,9 – 5,2



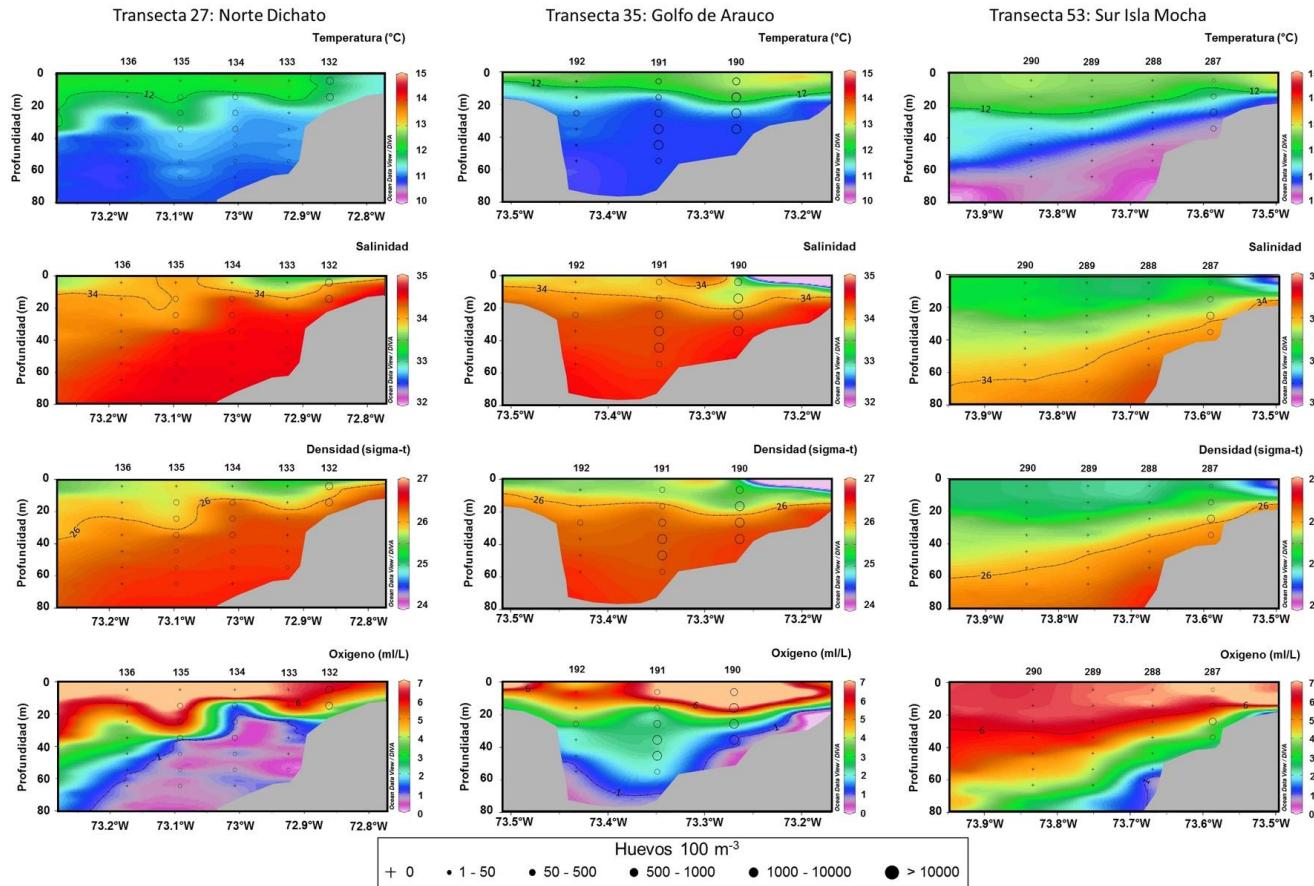
## Secciones verticales de variables oceanográficas y distribución de huevos

A partir de las muestras estratificadas de ictioplancton colectadas a lo largo de las 3 transectas perpendiculares a la costa en las zona central y sur del área de muestreo, se confeccionaron secciones verticales de las variables oceanográficas a las que se les sobrepuso la distribución vertical de los huevos de ambas especies en forma de círculos de distinto tamaño de acuerdo a sus abundancias por profundidad (**Figuras 38 y 39**). Paralelamente, se confeccionó perfiles verticales promedio de abundancia de los huevos de cada especie por transecta (**Figura 40**).

La inspección de las secciones verticales de las variables oceanográficas señalan que las tres zonas de las transectas habrían estado expuestas a condiciones de surgencia, caracterizada por la presencia de agua con bajos contenidos de oxígeno disuelto (1- 2 ml O<sub>2</sub>/L) y altas salinidades (>35) (**Figuras 38 y 39**). Las características oceanográficas de la columna de agua presentes en cada zona, sin embargo, habrían ido variando hacia las mayores latitudes. Por ejemplo, mientras la zona frente a Bahía Concepción presentó las menores concentraciones de oxígeno disuelto (< 1 ml O<sub>2</sub>/L) desde los 20 m de profundidad hacia el fondo, la zona frente al Golfo de Arauco presentó también concentraciones bajas de oxígeno pero solo en el estrato más profundo, y la zona al sur de Isla Mocha mostró bajas concentraciones también en el fondo pero no llegando a concentraciones menores a 2 ml O<sub>2</sub>/L. Paralelamente, sólo en las transectas frente a Golfo de Arauco, y más particularmente al sur de Isla Mocha, se evidenció una zona costera con bajas salinidades producto del ingreso de aguas dulces probablemente provenientes de los ríos contiguos a la zona de muestreo. La distribución vertical de los huevos de ambas especies también varió entre transectas. Mientras los huevos de ambas especies se ubicaron en los estratos más someros en las zonas costera y media en la transecta frente a Dichato (0-20 m profundidad), en el Golfo de Arauco y sur de Isla Mocha, ocurrieron principalmente bajo el estrato más superficial (10-30m de profundidad) y no apegados a la costa donde se encontraban las plumas de aguas de menor salinidad (**Figuras 38, 39 y 40**).



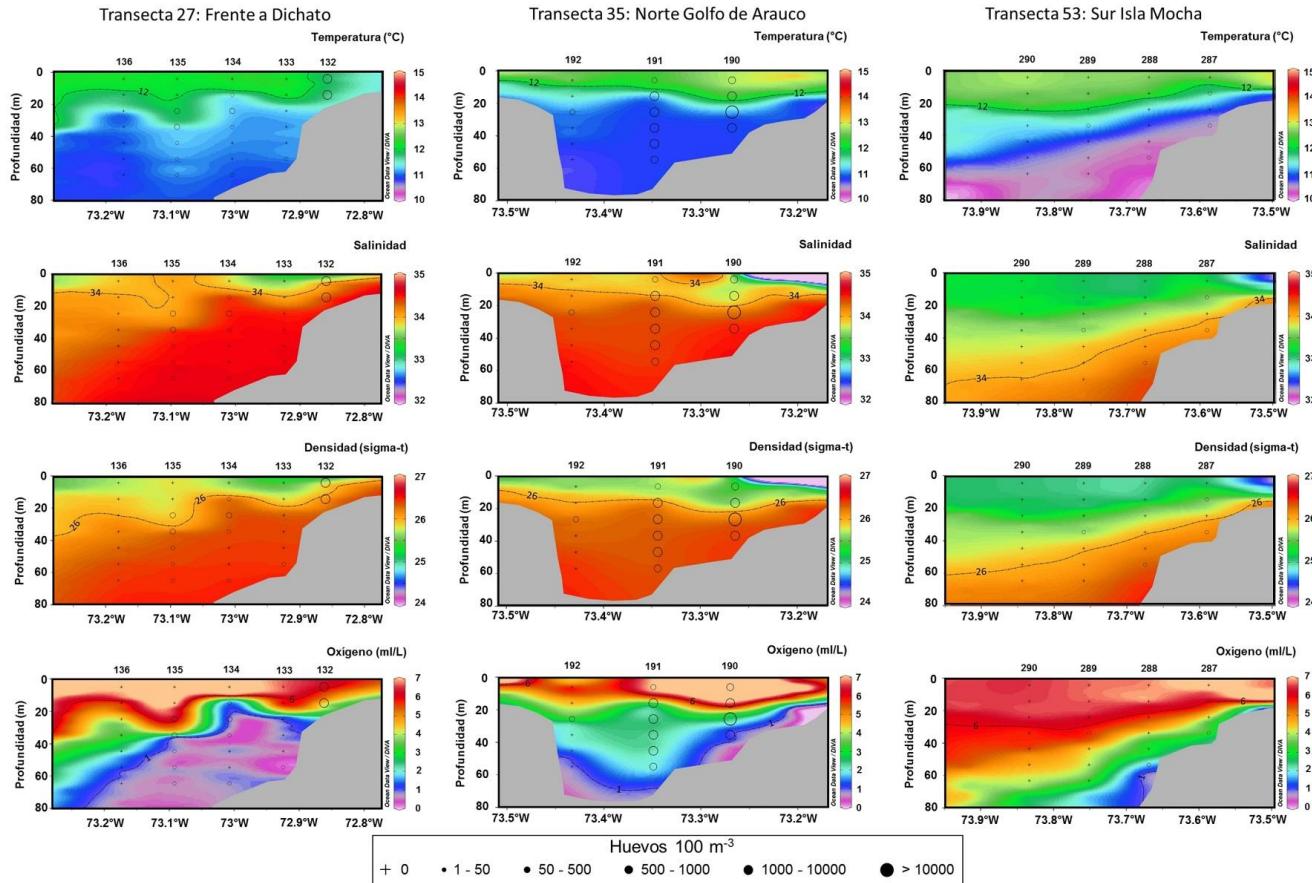
INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



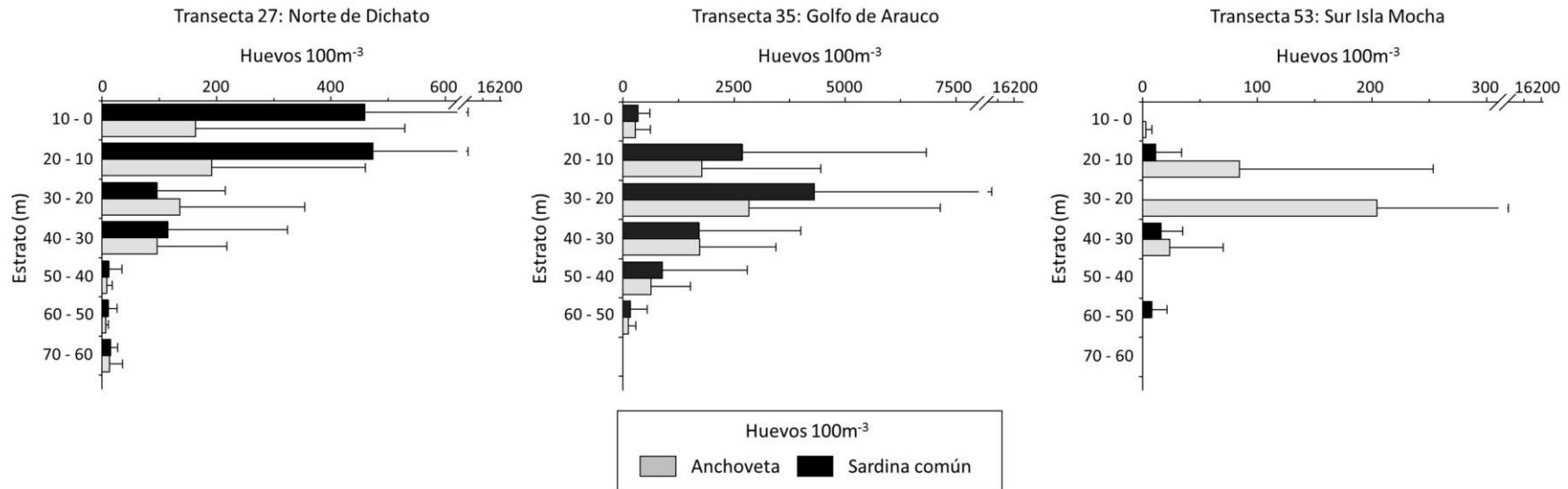
**Figura 38** Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre las secciones de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad, densidad ( $\sigma$ -t) y oxígeno ( $\text{ml O}_2/\text{L}$ ) en las transectas 27 (Sur Dichato), 35 (Golfo Arauco) y 48 (Sur Isla Mocha).



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



**Figura 39** Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (ml O<sub>2</sub>/L) en las transectas 27 (Sur Dichato), 35 (Golfo Arauco) y 48 (Sur Isla Mocha) (Red Tucker).



**Figura 40** Distribución vertical promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las transectas 27 (Norte de Dichato), 35 (Golfo Arauco) y 53 (Sur Isla Mocha).



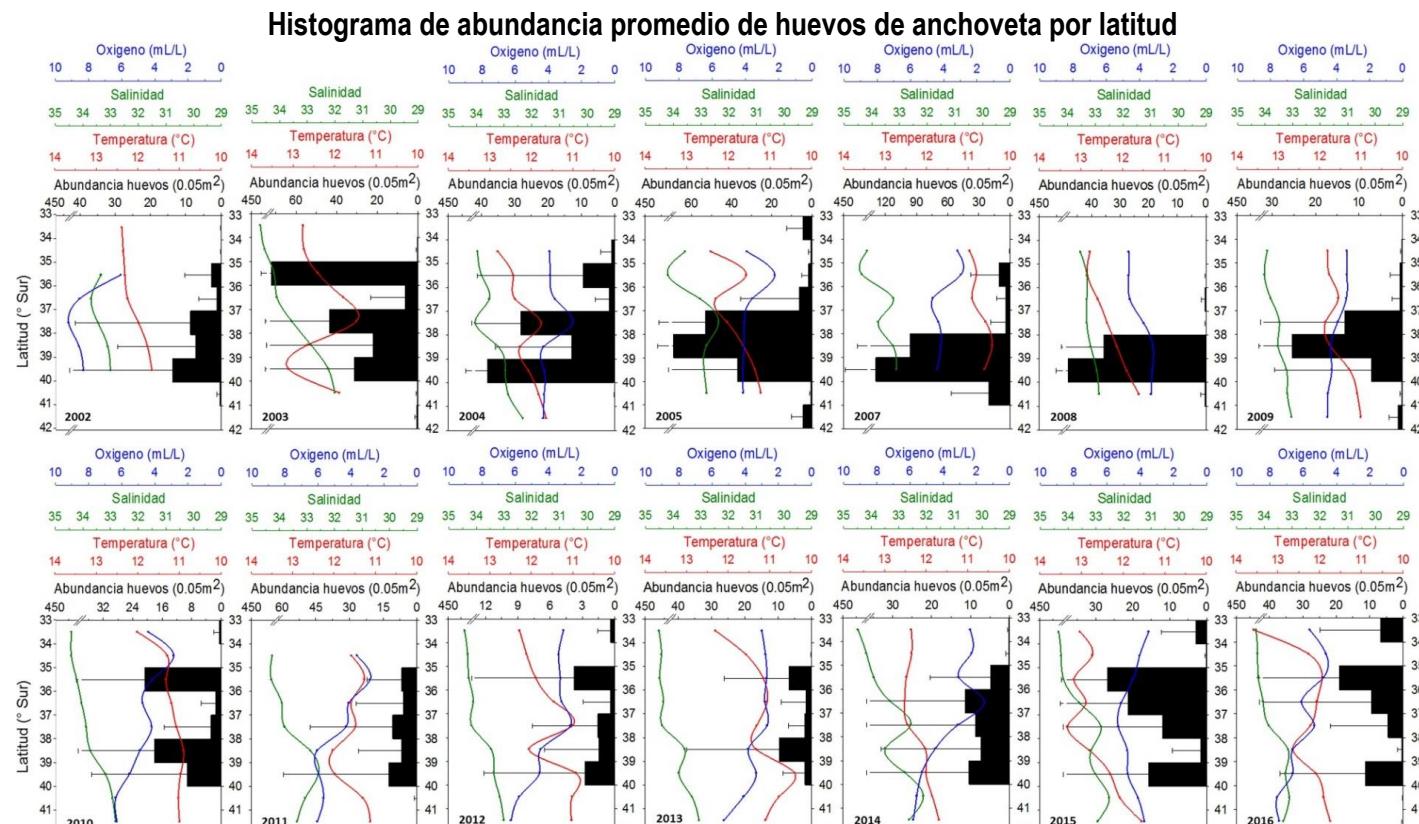
#### 4.3. Relación ambiente-recurso utilizando la data histórica de distribución de huevos

##### *Histogramas de distribución de abundancia de huevos entre los años 2002 al 2016*

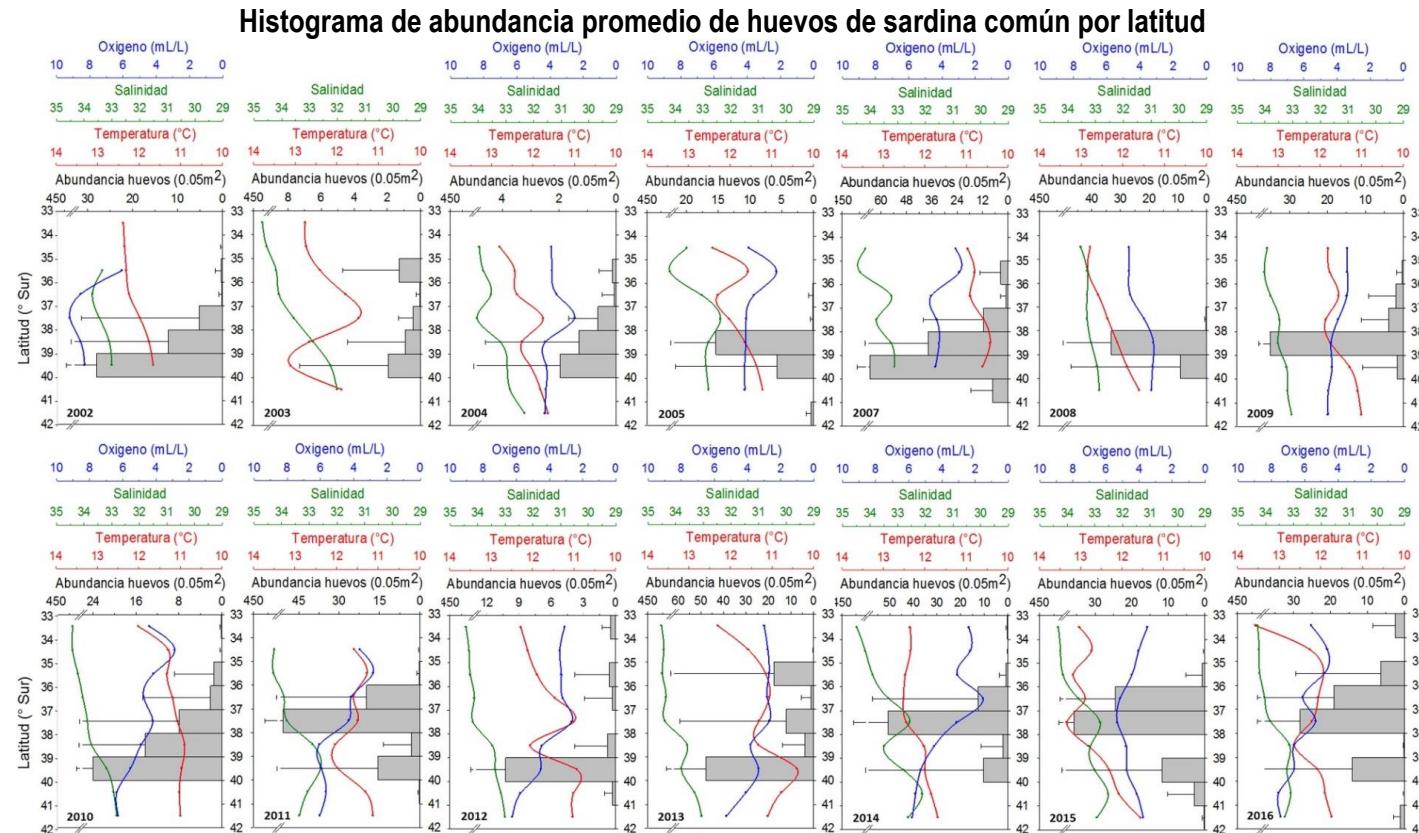
Los histogramas de distribución de abundancia de huevos de anchoveta por latitud (**Figura 41**) muestra que desde el año 2003 las mayores abundancias de huevos comenzaron a desplazarse hacia el sur, y paralelamente que las mayores abundancias promedio ubicadas inicialmente en dos núcleos ( $35^{\circ}\text{S}$  a  $36^{\circ}\text{S}$  y entre los  $37$  y  $40^{\circ}\text{S}$ ) cambian a una distribución desde bimodal a un solo núcleo principal hacia el sur hasta el año 2008, año en que hubo solo una estrecha zona con mayores abundancias promedio ( $38^{\circ}\text{S}$  -  $40^{\circ}\text{S}$ ). Posteriormente, desde el año 2009 las mayores abundancias comienzan a disminuir en número y volver paulatinamente hacia menores latitudes cambiando el patrón de distribución de unimodal a dos núcleos y finalmente a una zona más extendida con núcleos menos definidos el año 2016 cuando el máximo de huevos vuelve a ubicarse en los  $35$ - $36^{\circ}\text{S}$ .

Los histogramas de distribución de abundancia de huevos de sardina común por latitud (**Figura 42**) muestra un patrón general de mayores concentraciones de huevos en el sector sur de la zona de muestreo ( $38$ - $40^{\circ}\text{S}$ ), pero con algunas variaciones interanuales (eg. año 2011) de desplazamientos hacia el norte, y que comienzan a transformarse en un patrón desde al año 2014 al 2016, en que las mayores abundancia se ubicaron entre las latitudes  $36$ - $38^{\circ}\text{S}$ .

Los valores promedios de las variables oceanográficas a 10 m de profundidad en las estaciones de muestreos de huevos, si bien mostraron las tendencias latitudinales de disminución de salinidad (todos los años) y de temperatura hacia el sur (años 2002, 2004, 2007, 2009, 2010, 2014, 2015), también presentaron fluctuaciones regionales (todo el área de muestreo) como locales (solo algunas zonas dentro del área de muestreo) interanualmente. Entre las variaciones regionales, una disminución notable en temperatura (valores  $<11^{\circ}\text{C}$ ) ocurrió prácticamente en toda la zona el año 2007, mientras que un aumento por sobre los  $12^{\circ}\text{C}$  ocurrió en los años 2008, 2014, 2015 y 2016. El oxígeno disuelto en el agua de mar a los 10m de profundidad también presentó un patrón, menos claro, de aumento hacia mayores latitudes, con la excepción del año 2008 en que ocurrió el patrón inverso. Todas las variable, presentaron variaciones locales posiblemente asociadas a condiciones de surgencia costera.



**Figura 41** Variación latitudinal de la abundancia promedio de huevos de anchoveta (barra negra) asociados a temperatura (línea roja), salinidad (línea verde) y oxígeno disuelto (línea azul) en 10 m de profundidad entre los años 2002 al 2016 (se utilizaron las estaciones positivas como negativas).



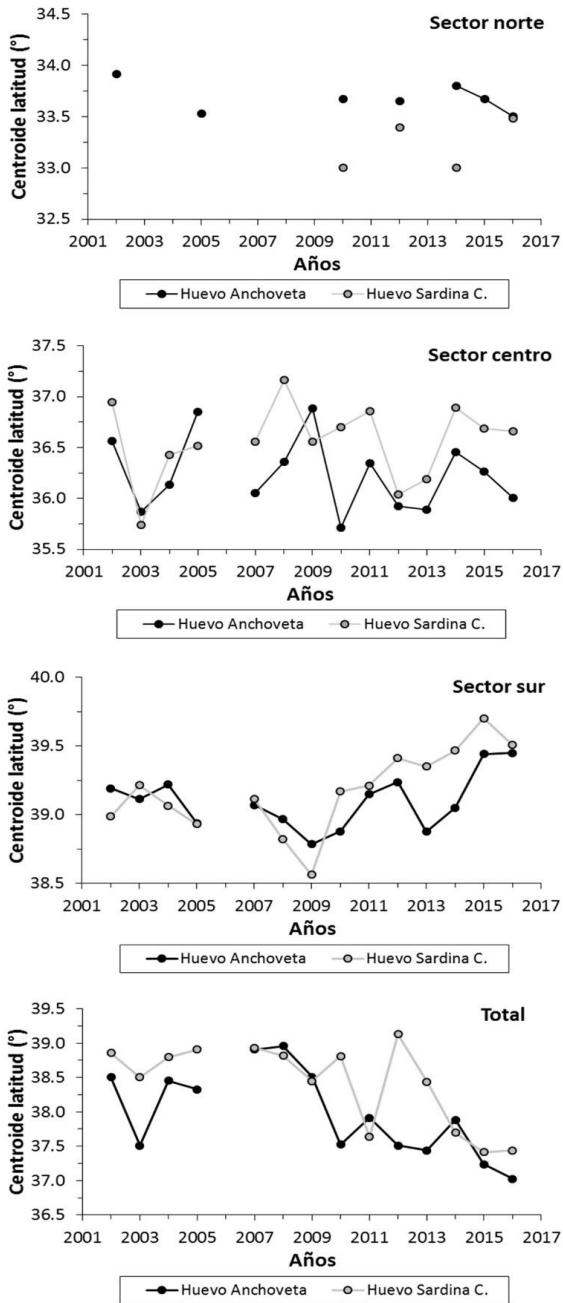
**Figura 42** Variación latitudinal de la abundancia promedio de huevos de sardina común (barra gris) asociados a temperatura (línea roja), salinidad (línea verde) y oxígeno disuelto (línea azul) en 10 m de profundidad entre el año 2002 al 2016 (se utilizaron las estaciones positivas como negativas).



### Variación latitudinal del centro de masa (centroide) de distribución de huevos de anchoveta y sardina común entre los años 2002 al 2016.

Al comparar la posición de los centros de masa (centroides) en el **sector norte** entre ambas especies, se observa que los centroides de los huevos de sardina común se encuentran levemente más al norte que los de anchoveta (**Figura 43**). Estas observaciones deben ser tomadas con cautela debido al bajo número de estaciones (~14) y escasa presencia de huevos de ambas especies en los distintos años. En el **sector centro**, a pesar de las grandes fluctuaciones en la posición latitudinal de los centroides de ambas especies, se observa que, en términos generales, los centroides de huevos de anchoveta tienden a ubicarse más al norte que los de los huevos de sardina común. Finalmente, en el **sector sur**, se observa inicialmente que los centroides de ambas especies tienden a disminuir en latitud desde el 2002 hasta el año 2009 para luego comenzar a aumentar en latitud hasta el año 2016, aumento que es más notable y sostenido en sardina común. En la fase inicial de movimiento de los centroides hacia el norte, los centroides de sardina común estuvieron levemente más al norte que los de anchoveta, patrón que se invierte en la segunda fase cuando los centroides de anchoveta son los que se mantiene levemente al norte que los de sardina común.

Al diagramar la posición de los centroides correspondientes a las distribuciones de los huevos en los tres sectores en conjunto (**Figura 43**), se observa que mientras en sardina común la posición latitudinal de los centroides se mantuvo relativamente estable desde el año 2002 hasta el 2008, la posición de los centroides de anchoveta desde el 2003 mostraron un leve desplazamiento hacia el sur. Posterior al 2008, la ubicación latitudinal de los centroides de ambas especies tendió a desplazarse hacia el norte, muy marcadamente y en forma sostenida en huevos de anchoveta, y menos marcadamente y más fluctuantemente en sardina común. En este último periodo los centroides de los huevos de sardina común se mantendrían a mayores latitudes (>37°S) que los de anchoveta.



**Figura 43** Variación latitudinal del centroide ( $^{\circ}$ ) de distribución de huevos de anchoveta (círculo negro) y sardina común (círculo gris) obtenidos entre los años 2002 y 2016.

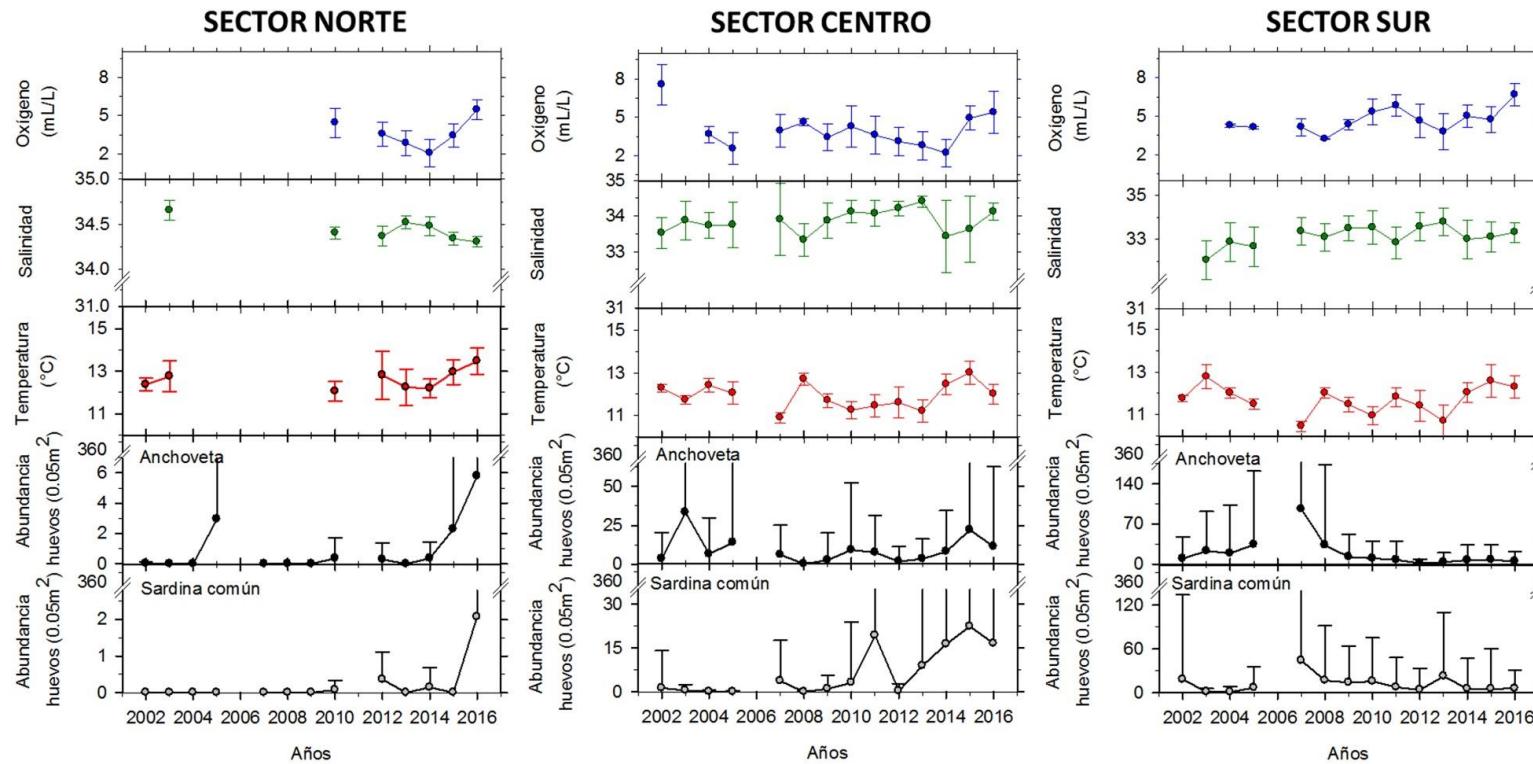


**3.3.- Valores promedio de temperatura, salinidad y oxígeno a 10m de profundidad entre 2002 y 2016, y abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en los sectores norte, centro y sur. (data incluye estaciones positivas y negativas)**

En el **sector norte**, se observa baja abundancia de huevos de ambas especies durante el periodo analizado. Sin embargo, desde el año 2014 al 2016, se detecta un leve incremento de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común, y también en los valores de temperatura y oxígeno con disminución de la salinidad (**Figura 44**). En el **sector centro**, se observó un incremento sostenido de la abundancia de huevos anchoveta y sardina común a partir de 2012 hasta el 2015, coincidente con un incremento de la temperatura y salinidad con una leve disminución del oxígeno (**Figura 44**). Finalmente en el **sector sur**, se observó una disminución de la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común a partir del año 2007 hasta el año 2016. Durante este periodo la temperatura y el oxígeno se incrementaron y la salinidad fluctuó entre 33 y 34 (**Figura 44**).

En resumen, aunque se observa una cierta correspondencia en los patrones de variabilidad de los parámetros ambientales entre sectores (menos aparente en oxígeno disuelto), los patrones de variabilidad en abundancia de huevos de ambas especies no son muy diferentes entre sí pero difieren notablemente entre sectores en ambas especies.

### Variabilidad de la abundancia promedio de huevos asociados condiciones ambientales



**Figura 44** Valores promedio de temperatura, salinidad y oxígeno a 10m de profundidad entre 2002 a 2016, asociados a la abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en los sectores norte, centro y sur (estaciones positivas y negativas)

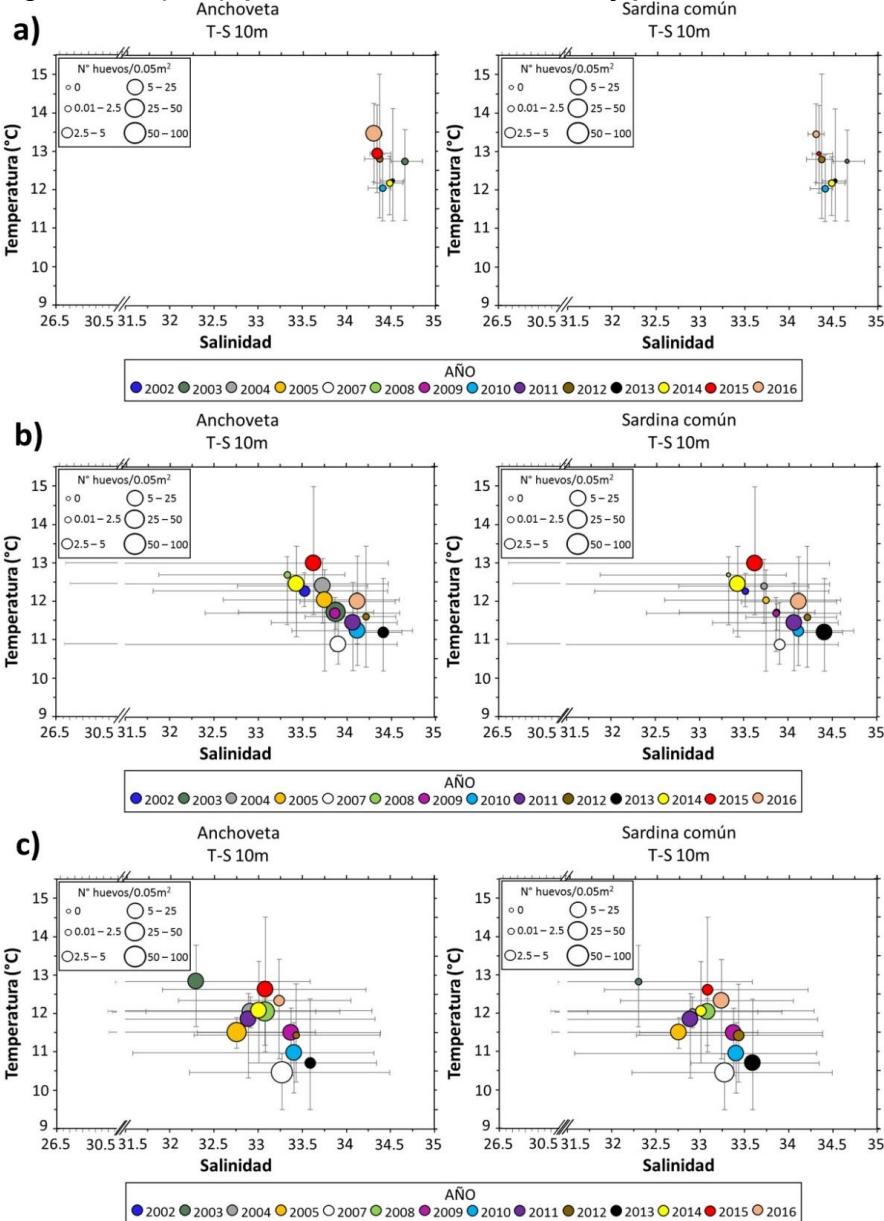


### 3.4. Diagramas de Temperatura y Salinidad a 10m de profundidad de cada año (2002-2016) para el sector norte, centro y sur.

Se sobrepuso una representación escalada de la abundancia promedio por año de huevos de anchoveta y sardina común correspondiente al sector norte, centro y sur (barra representa valor mínimo y máximo por año) (estaciones positivas como negativas).

En la **Figura 45**, se muestra diagramas T-S construido con los valores promedio de temperatura y salinidad a 10 m de profundidad en cada año (durante el periodo de muestreo) asociados a las abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común de cada año, en los sectores norte, centro y sur.

En el **sector norte**, el rango de temperaturas promedio anuales a 10m durante los muestreos varió entre 12 y 13.5°C siendo el rango de salinidades muy estrecho, lo que coincide con la presencia de los huevos de ambas especies en sectores costeros con indicios de surgencia (valores de salinidad > 34.5) y con una mínima influencia de agua dulce proveniente de ríos (**Figura 45**). En el **sector central**, valores promedios de abundancia de huevos relativamente altos ocurrieron en zonas con influencia de Aguas Subantárticas Superficiales (ASAS) de menor salinidad y mayor temperatura (tanto en la zona costera como más alejado de la costa, dada la mayor extensión costa océano de las transectas y distribuciones de huevos) e influencia de Aguas Ecuatoriales SubSuperficiales (AESS) con bajas temperaturas y altas salinidades, especialmente en algunas zonas de la costa. Finalmente, en el **sector sur**, se aprecia la presencia de huevos tanto en zonas con influencia de Aguas Subantárticas Superficiales (ASAS) de menor salinidad y mayor temperatura, de Aguas Ecuatoriales SubSuperficiales (AESS) con bajas temperaturas y altas salinidades y, además, de aguas con menores salinidades y temperaturas variables producto del ingreso de agua de los ríos que confluyen frente a la zona de Corral y a lo largo de la costa más al sur.

**Diagrama T-S (10m): promedios anuales en zonas y períodos de muestreo**


**Figura 45** Diagramas de Temperatura y Salinidad a 10m de profundidad de cada año (2002-2016) para el sector norte (a), centro (b) y sur (c). Se sobrepuso una representación escalada de la abundancia promedio por año de huevos de anchoveta y sardina común correspondiente al sector norte (a), centro (b) y sur (c) (barra representa valor mínimo y máximo por año) (estaciones positivas como negativas)



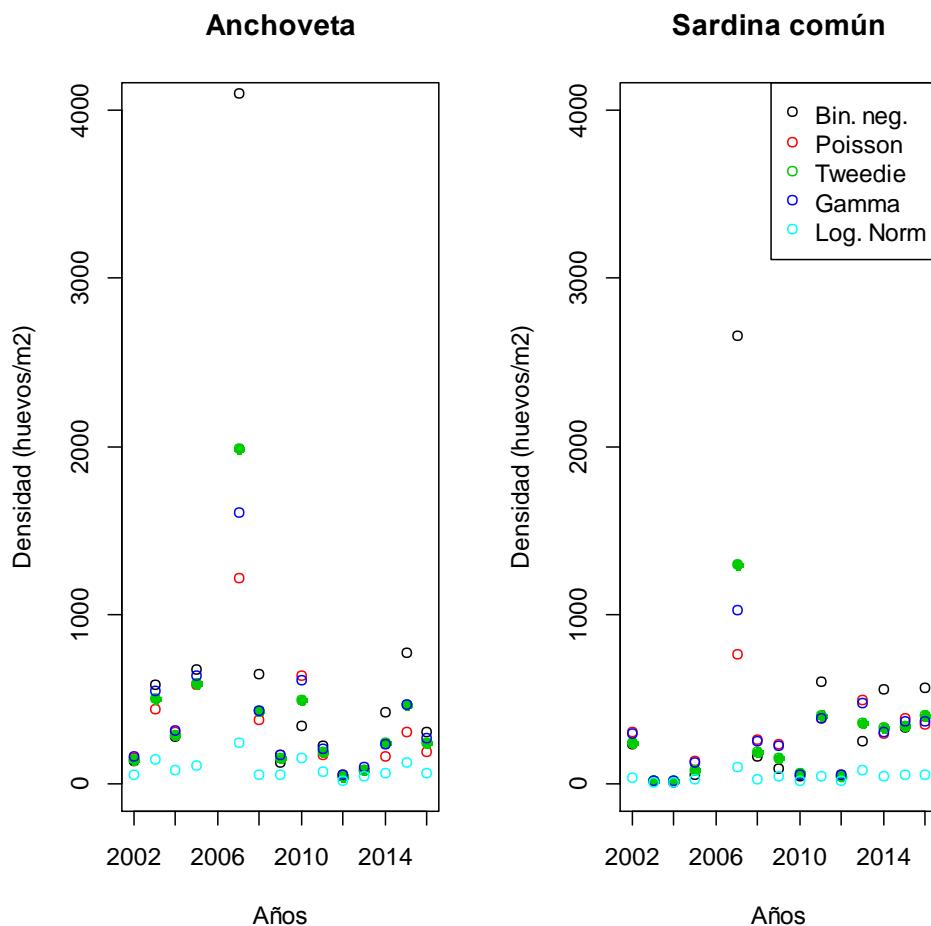
## 5. Índice de abundancia de huevos

El índice de densidad 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 2016, excepto 2006 en que no hubo crucero MPDH), tres sectores (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 solamente en la estructura del error. Por esta razón se utilizó el porcentaje de devianza explicada para seleccionar el modelo, favoreciendo al modelo con estructura de error Tweedie (**Tabla 30**). Una comparación visual de la densidad esperada de huevos se muestra en la **Figura 46**, mientras que en la **Tabla 31** se resume el índice de huevos estandarizado, según el modelo Tweedie para el estrato de profundidad somero y zona sur.

**Tabla 30** 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 (%)
Bin. Neg.	Anchoveta	5298	4593.7	3292.3	28.32
	Sardina	5301	2983.9	2148.8	27.98
Poisson	Anchoveta	5298	391617.6	285280.9	27.15
	Sardina	5301	315533	252355.6	20.02
Tweedie	Anchoveta	5298	80967.5	57057.2	<b>29.53</b>
	Sardina	5301	79092.8	57567.2	<b>27.22</b>
Gamma	Anchoveta	1539	5212.9	4483	14.00
	Sardina	987	3830.7	3352.4	12.48
Log-Normal	Anchoveta	1539	4860.6	4386.6	9.75
	Sardina	987	3393.5	3111.2	8.31
Binomial*	Anchoveta	5298	6429.4	5164.5	19.67
	Sardina	5301	5156.1	4285.9	16.87

\*presencia-ausencia



**Figura 46** Índice de densidad de huevos de anchoveta (huevo/m<sup>2</sup>) por años, según diferentes modelos para la estructura del error.



**Tabla 31** Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG familia Tweedie.

Años	Anchoveta			Sardina común		
	Densidad (huevo/m <sup>2</sup> )	Error Estándar	CV	Densidad (huevo/m <sup>2</sup> )	Error Estándar	CV
2002	139.6	33.2	0.238	246.4	64.2	0.261
2003	508.0	117.9	0.232	17.6	8.1	0.461
2004	285.6	94.8	0.332	13.1	8.5	0.649
2005	597.5	179.3	0.300	84.8	41.0	0.484
2007	1994.3	432.7	0.217	1304.8	354.1	0.271
2008	429.4	116.5	0.271	192.8	69.9	0.363
2009	149.0	46.8	0.314	157.4	58.0	0.368
2010	492.4	274.4	0.557	59.5	56.7	0.952
2011	188.9	59.4	0.315	402.8	133.8	0.332
2012	43.0	17.1	0.398	43.2	20.3	0.470
2013	81.3	29.2	0.360	356.7	120.5	0.338
2014	247.2	73.5	0.298	335.8	113.0	0.337
2015	469.2	127.1	0.271	342.3	115.3	0.337
2016	244.7	69.5	0.284	403.6	126.0	0.312

### 5.1. Otros índices de abundancia de huevos

Los índices de abundancia alternativos que se basan en la corrección por la duración del periodo de desove, el área de desove y por ambos, se resumen en las **Tablas 32, 33 y 34**, respectivamente. La relación de los diferentes índices de abundancia comprendidos entre los años 2007-2014, con los cruceros acústicos y las estimaciones de biomasa desovante y reclutamiento provenientes de los modelos de evaluación de stock, quedó en evidencia la correlación significativa de los 4 índices de abundancia con la biomasa desovante estimada de anchoveta, no así en el caso de sardina, en donde ninguno de los índices presentó correlación significativa, como se muestra en las **Figuras 47 y 48**.

**Tabla 32** Índice 2, de anchoveta y sardina común obtenido mediante la multiplicación de la densidad de huevos ( $\text{h/m}^2$ ) y la duración del periodo de desove.

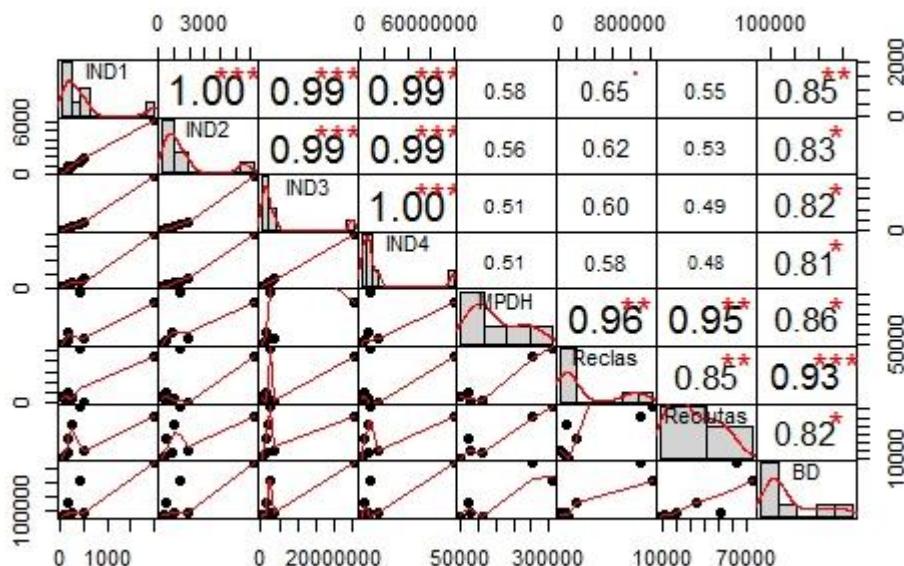
Años	Anchoveta			Sardina común		
	Índice 2	Error Estándar	CV	Índice 2	Error Estándar	CV
2002	694	165	0.238	1168	305	0.261
2003	2568	596	0.232	78	36	0.461
2004	1285	427	0.332	65	42	0.649
2005	2283	685	0.300	283	137	0.484
2007	6214	1349	0.217	4175	1132	0.271
2008	1410	382	0.271	652	237	0.363
2009	496	156	0.314	601	221	0.368
2010	1934	1077	0.557	182	173	0.952
2011	841	265	0.315	1200	399	0.332
2012	199	79	0.398	132	62	0.470
2013	363	131	0.360	988	334	0.338
2014	983	293	0.298	1028	346	0.337

**Tabla 33** Índice 3 de anchoveta y sardina común obtenido mediante la multiplicación de la densidad de huevos ( $\text{h/m}^2$ ) y el área desove.

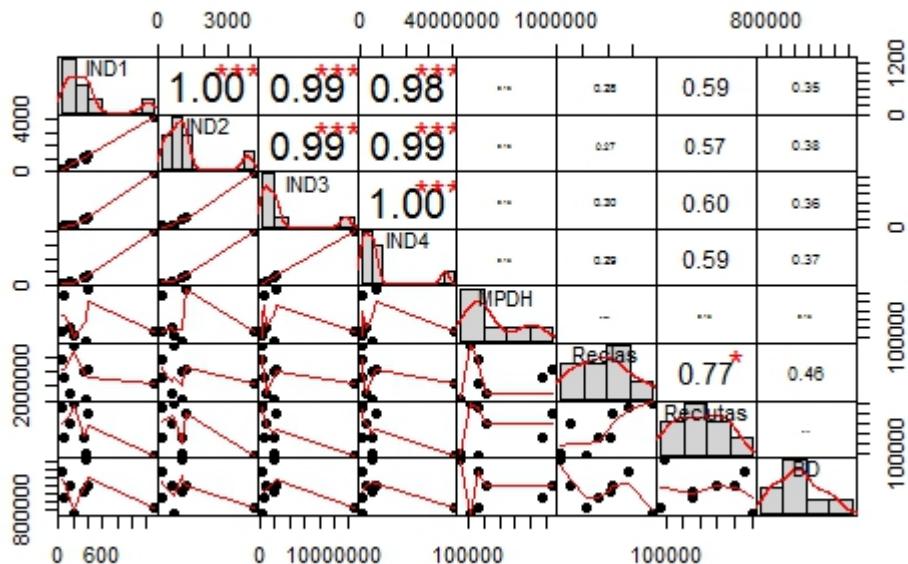
Años	Anchoveta			Sardina común		
	Índice 3	Error Estándar(*10 <sup>6</sup> )	CV	Índice 3	Error Estándar(*10 <sup>6</sup> )	CV
2002	1.31	0.311	0.238	1.62	0.422	0.261
2003	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2004	1.73	0.574	0.332	0.03	0.017	0.649
2005	4.02	1.205	0.300	0.23	0.110	0.484
2007	25.49	5.532	0.217	12.70	3.443	0.271
2008	2.39	0.647	0.271	0.33	0.120	0.363
2009	1.14	0.357	0.314	0.79	0.290	0.368
2010	3.72	2.074	0.557	0.41	0.389	0.952
2011	1.35	0.425	0.315	2.23	0.742	0.332
2012	0.12	0.046	0.398	0.16	0.074	0.470
2013	0.34	0.123	0.360	1.94	0.655	0.338
2014	1.69	0.504	0.298	1.86	0.625	0.337

**Tabla 34** Índice 4 de anchoveta y sardina común obtenido mediante la multiplicación de la densidad de huevos ( $\text{h/m}^2$ ) el área desove y la duración del periodo de desove.

Años	Anchoveta			Sardina común		
	Índice 4	Error Estándar(*10 <sup>6</sup> )	CV	Índice 4	Error Estándar(*10 <sup>6</sup> )	CV
2002	6.50	1.548	0.238	7.67	2.002	0.261
2003	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2004	7.77	2.581	0.332	0.13	0.087	0.649
2005	15.35	4.604	0.300	0.76	0.368	0.484
2007	79.43	17.237	0.217	40.65	11.017	0.271
2008	7.84	2.124	0.271	1.12	0.406	0.363
2009	3.79	1.190	0.314	3.01	1.107	0.368
2010	14.63	8.147	0.557	1.25	1.191	0.952
2011	6.00	1.891	0.315	6.66	2.210	0.332
2012	0.54	0.214	0.398	0.48	0.225	0.470
2013	1.52	0.547	0.360	5.37	1.814	0.338
2014	6.72	2.003	0.298	5.68	1.913	0.337



**Figura 47** Matriz de correlación de anchoveta (2007-2014). En la diagonal se muestra la distribución de cada variable, en la parte inferior de la diagonal se muestran los diagramas de dispersión bivariados con una línea ajustada. En la parte superior de la diagonal se muestra el valor de correlación más el nivel de significancia como estrellas en donde cada nivel de significancia está asociado a un símbolo (valores de  $p$ , 0.001, 0.01, 0.05, 0.1) ↔ ("\*\*\*\*", "\*\*\*", \*\*", \*").



**Figura 48** Matriz de correlación de sardina común (2007-2014). En la diagonal se muestra la distribución de cada variable, en la parte inferior de la diagonal se muestran los diagramas de dispersión bivariados con una línea ajustada. En la parte superior de la diagonal se muestra el valor de correlación más el nivel de significancia como estrellas en donde cada nivel de significancia está asociado a un símbolo (valores de  $p$ , 0.001, 0.01, 0.05, 0.1)  $\leftrightarrow$  ("\*\*\*", \*\*, \*, .).

## 5.2. Incorporación del índice a modelos de evaluación

Las **Tablas 35 y 36** muestran las funciones objetivos entre los casos analizados según los diferentes índices de abundancia, con una menor verosimilitud total en el caso base para ambas especies.

Las **Figuras 49 a 52** muestran el ajuste de las observaciones a las estimaciones de los cruceros de verano, otoño, de huevos y a los índices, comparando el caso base y los casos en estudio, en las cuales queda en evidencia la poca sensibilidad a los índices evaluados, lo que además se refleja a nivel de indicadores poblacionales como lo muestran las **Figuras 53, 54**, no existiendo un gran impacto en las tendencias. Por lo que serían otras las fuentes de información que determinan los cambios en la abundancia de ambos recursos, y al observar las **Tablas 35 y 36** se puede inferir que corresponderían a los desembarques y la estructura de edad tanto de la flota como de los cruceros acústicos.



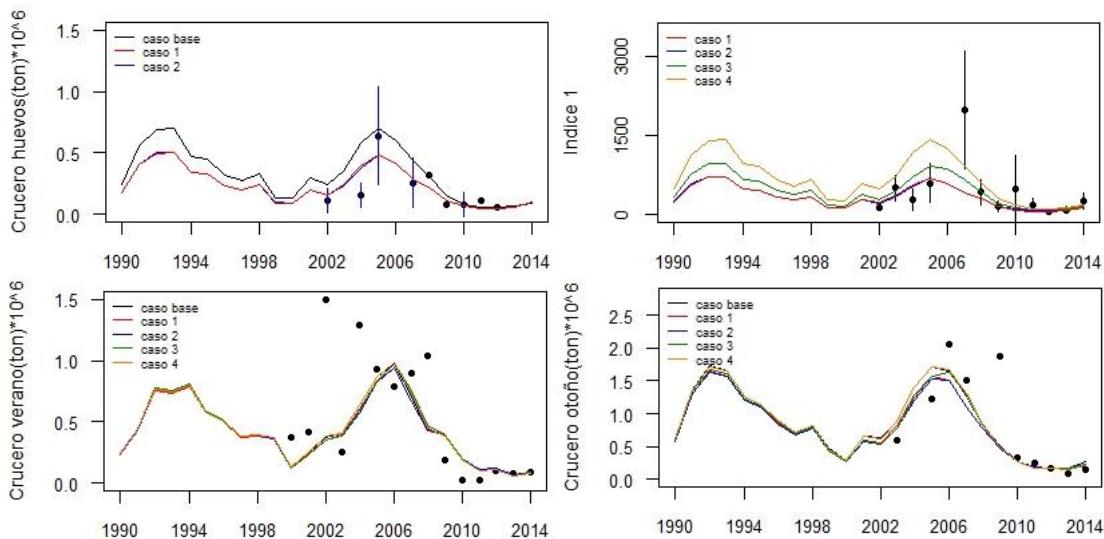
**Tabla 35** Comparación de la función objetivo entre los casos de estudio según los diferentes índices de abundancia, para anchoveta.

VEROSIMILITUD_ANCHOVETA												
Casos estudio	Reclas	Pelac.	MPDH	Desem	Ind.h	Comp. edad	Comp. Edad	Comp. Edad	Dev Reclut	q. Rec.	q. Pel.	Total
Caso	70.86	15.35	0.0001	0.03		1502	288	48.7	19.01	0.06	2.63	<b>1946.82</b>
Base												
<b>INDICE 1</b>												
Caso 1	74.70	17.96	0.0001	0.03	25.03	1500	288	48.9	17.69	0.05	2.36	1974.96
Caso 2	76.29	18.02	11.13	0.04	23.73	1500	288	48.8	17.66	0.03	2.34	1986.89
Caso 3	74.70	15.95		0.05	27.71	1502	286	48.7	18.56	0.03	2.51	1977.52
Caso 4	70.98	15.73		0.04	14.57	1502	287	49.1	19.01	0.05	2.63	1962.18
<b>INDICE 2</b>												
Caso 1	73.87	16.28	0.0001	0.05	26.69	1502	286	48.8	18.50	0.03	2.50	1976.02
Caso 2	75.73	16.36	11.09	0.06	25.35	1503	286	48.8	18.46	0.02	2.48	1987.89
Caso 3	73.78	16.57		0.05	24.42	1502	286	48.9	18.34	0.04	2.47	1973.40
Caso 4	71.05	16.32		0.04	14.14	1502	287	49.1	18.71	0.05	2.56	<b>1961.78</b>
<b>INDICE 3</b>												
Caso 1	74.59	14.26	0.0001	0.06	54.28	1505	286	48.6	19.33	0.08	2.63	2006.09
Caso 2	75.97	14.49	11.31	0.07	53.16	1505	287	48.8	19.29	0.05	2.67	2017.97
Caso 3	74.10	14.70		0.05	45.65	1504	287	48.7	19.03	0.08	2.58	1996.01
Caso 4	71.27	14.82		0.05	34.36	1504	287	49.0	19.50	0.10	2.67	1983.11
<b>INDICE 4</b>												
Caso 1	62.98	15.92	0.0001	0.03	49.52	1604	296	47.4	20.24	0.63	1.29	2098.29
Caso 2	75.20	15.04	11.32	0.07	45.11	1505	286	48.9	19.01	0.02	2.62	2008.83
Caso 3	62.80	16.53		0.02	42.59	1602	296	47.4	19.85	0.67	1.22	2090.47
Caso 4	71.24	15.39		0.05	31.41	1503	287	49.7	19.24	0.04	2.67	1979.86

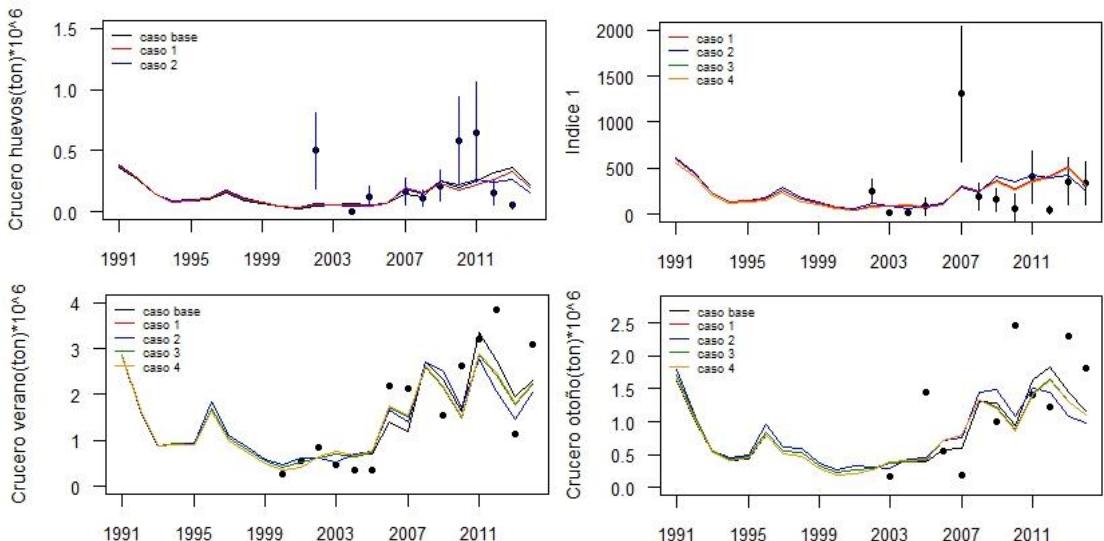


**Tabla 36** Comparación de la función objetivo entre los casos de estudio según los diferentes índices de abundancia, para sardina común.

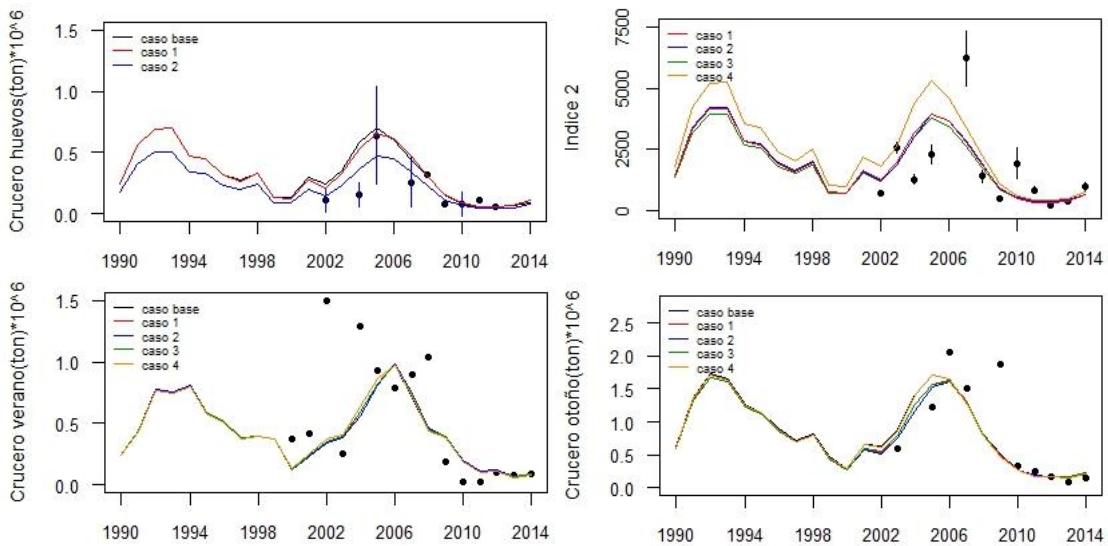
VEROSIMILITUD_SARDINA														
Casos estudio	Reclas	Pelac.	MPDH	Desem	Ind.h	Comp. edad	Comp. Edad	Comp. Edad	Dev Reclut	q. Rec.	q. Pel.	Fpen	Total	
Caso	17.99	28.98	0.0009	0.45		765	77.9	52.3	22.62	0.02	0.73	2.51	<b>968.178</b>	
Base														
<b>INDICE 1</b>														
Caso 1	16.42	33.55	0.0008	0.47	48.61	770	76.7	51.7	20.72	0.02	0.84	2.56	1022.19	
Caso 2	17.72	30.22	75.11	0.43	44.76	786	77.7	52.3	19.98	0.21	1.88	2.30	1108.59	
Caso 3	16.42	33.55		0.47	48.61	770	76.7	51.7	20.72	0.02	0.84	2.56	1022.19	
Caso 4	16.90	34.05		0.46	30.71	767	76.3	51.7	21.93	0.01	0.66	2.54	1002.59	
<b>INDICE 2</b>														
Caso 1	17.08	34.29	0.0008	0.47	49.68	770	76.9	51.5	20.16	0.02	0.93	2.57	1024.14	
Caso 2	18.26	30.89	74.46	0.43	45.49	786	77.9	52.1	19.63	0.21	1.99	2.31	1109.52	
Caso 3	17.08	34.29		0.47	49.68	770	76.9	51.5	20.16	0.02	0.93	2.57	1024.14	
Caso 4	16.77	34.51		0.46	30.32	767	76.38	51.5	21.88	0.01	0.67	2.54	<b>1002.46</b>	
<b>INDICE 3</b>														
Caso 1	16.55	33.53	0.0008	0.45	75.25	771	76.42	52.3	20.64	0.05	1.12	2.48	1050.14	
Caso 2	18.01	30.02	74.11	0.42	70.70	787	77.51	52.8	20.08	0.28	2.21	2.23	1135.42	
Caso 3	16.94	33.90		0.49	75.41	771	77.09	52.1	20.52	0.00	0.76	2.65	1050.78	
Caso 4	17.37	33.44		0.45	56.04	767	75.96	52.1	22.14	0.02	0.75	2.50	1028.26	
<b>INDICE 4</b>														
Caso 1	17.42	34.28	0.0008	0.46	76.86	771	76.7	52.0	20.16	0.05	1.18	2.50	1053.19	
Caso 2	18.63	30.66	73.50	0.42	72.08	787	77.7	52.7	19.80	0.29	2.34	2.23	1137.43	
Caso 3	17.42	34.28		0.46	76.86	771	76.7	52.0	20.16	0.05	1.18	2.50	1053.19	
Caso 4	17.24	33.90		0.46	55.19	767	76.0	51.9	22.09	0.02	0.76	2.50	1027.63	



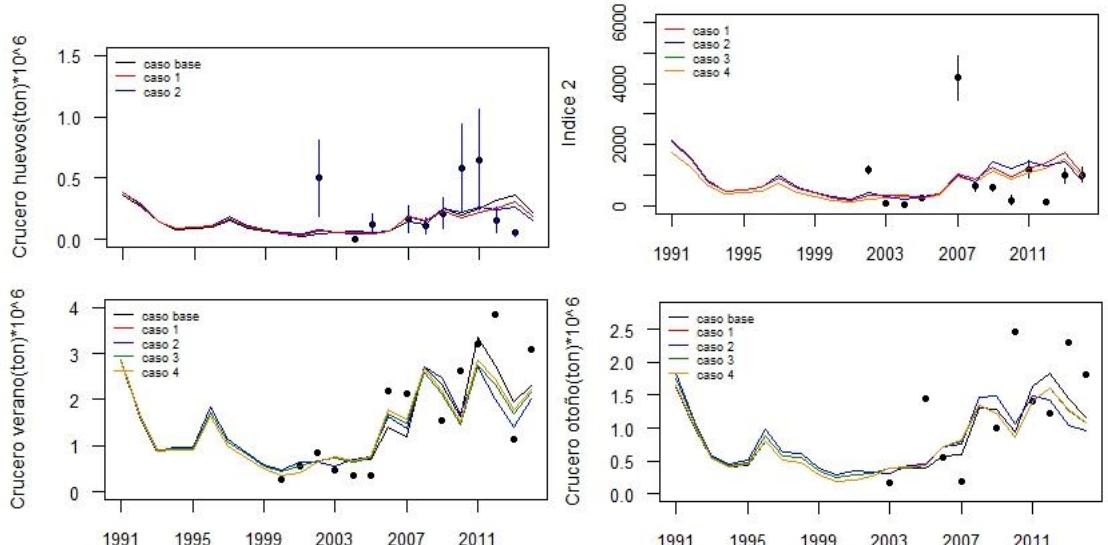
**Figura 49** Comparación del ajuste del caso base tradicional de anchoveta y los casos en estudio, a la serie de datos observados, de acuerdo al Índice 1.



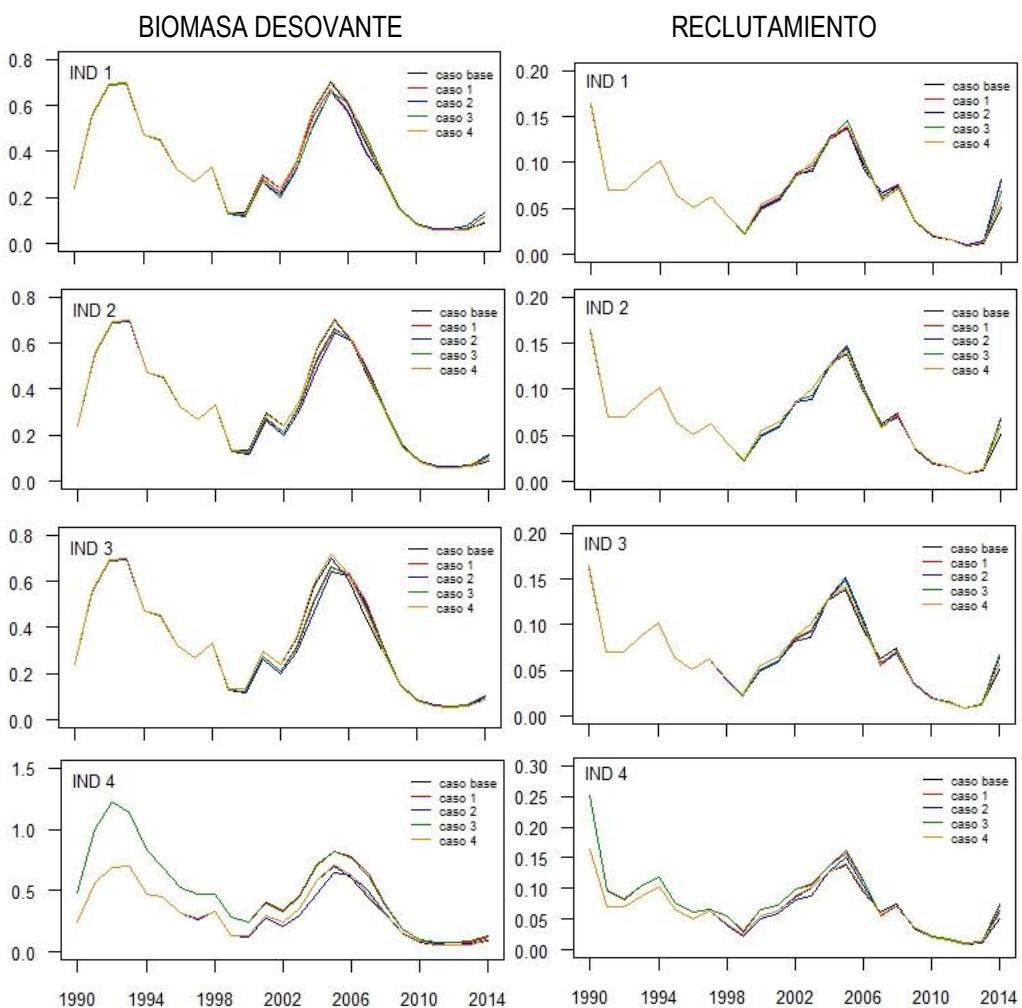
**Figura 50** Comparación del ajuste del caso base tradicional de sardina y los casos en estudio, a la serie de datos observados, de acuerdo al Índice 1.



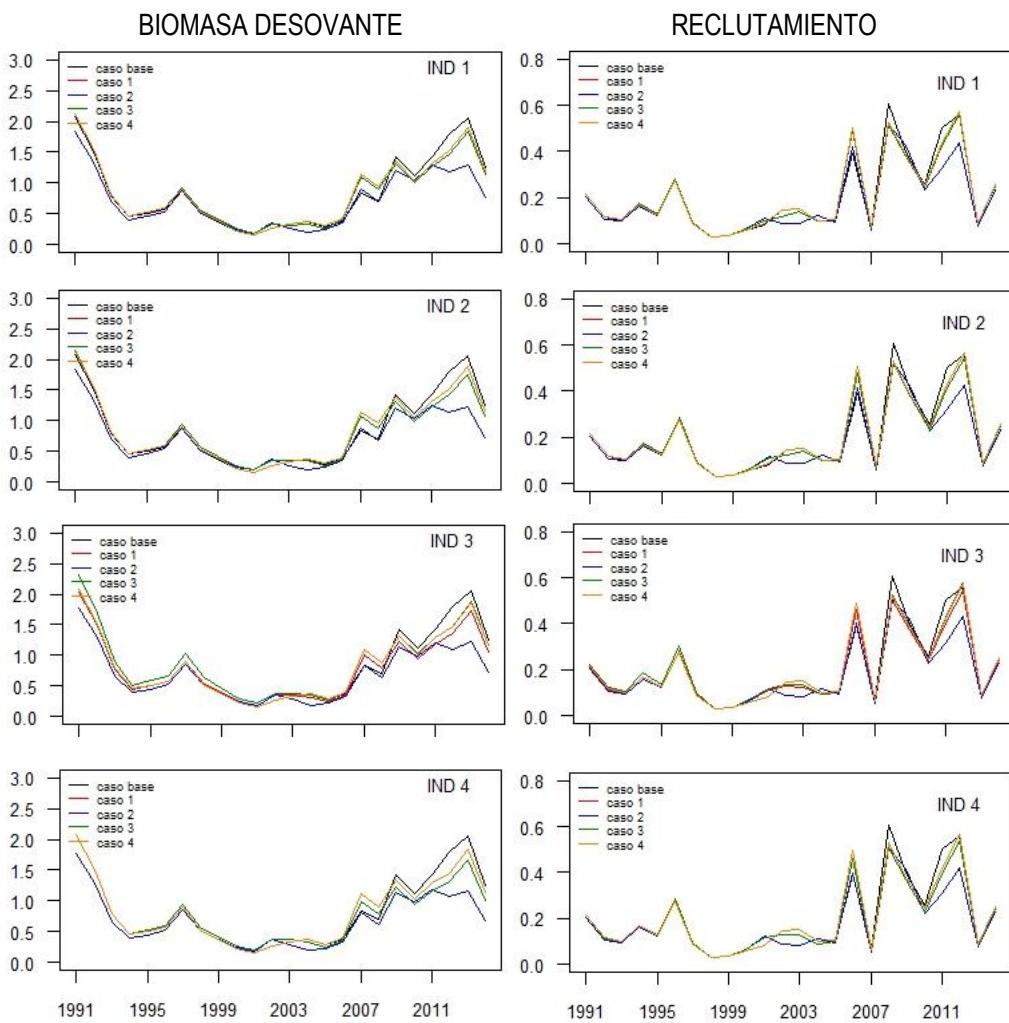
**Figura 51** Comparación del ajuste del caso base tradicional de anchoveta y los casos en estudio, a la serie de datos observados, de acuerdo al Índice 2.



**Figura 52** Comparación del ajuste del caso base tradicional de sardina y los casos en estudio, a la serie de observados, de acuerdo al Índice 3.



**Figura 53** Comparación de los índices del stock de anchoveta entre los diferentes casos en estudio.



**Figura 54** Comparación de los índices del stock de sardina entre los diferentes casos en estudio.



### 5.3 Relación huevo-recluta

Para el análisis de la relación huevo-recluta se utilizó el índice de densidad de huevos de un año dado con la biomasa total y de reclutas que fue evaluada mediante acústica en enero del año siguiente (**Tabla 37**), tanto de sardina común como de anchoveta. En este contexto, la biomasa como la abundancia de reclutas de enero se relacionó con el índice de densidad de huevos del año anterior, exceptuando el 2006 ya que en ese año no se realizó crucero MPH.

La relación entre reclutas y huevos se evalúo con dos modelos. Uno de ellos fue el modelo potencial y otro fue el modelo de Ricker. Se utilizó regresión lineal y, el desempeño estadístico de los parámetros estimados se resume en la **Tabla 37** para sardina común y en la **Tabla 38** para anchoveta.

El ajuste de los modelos revela relaciones no lineales, dadas principalmente a la presencia de un punto influyente en la densidad de huevos, tal como el 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 22,1% ( $F=3,4$ ;  $P=0,09$ ) y el modelo de Ricker explicó 38,2% de la tasa de reclutamiento ( $F=6,804$ ,  $P=0,0243$ ). La relación entre el número de reclutas y la densidad de huevos tuvo un menor desempeño, tanto del modelo potencial ( $r^2= 24,5\%$ ,  $F=3,576$ ;  $P=0,085$ ) como de Ricker ( $r^2=16,2\%$ ,  $F=2,13$ ;  $P=0,1724$ ) (**Figura 55**).

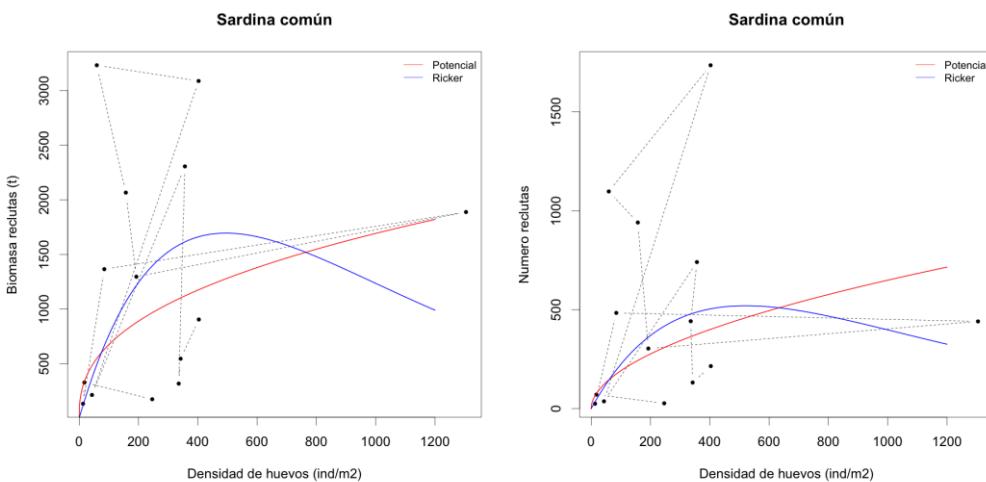
**Tabla 37.** Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de sardina común, zona centro-sur (2002-2016).

Sardina comun		Biomasa de reclutas (t)		
Potencial	Estimate.	Std Error	t value	Pr(> t )
a	4,669	1,123	4,158	0,0013*
b	0,400	0,217	1,844	0,090
Ricker		Numero de Reclutas		
a	2,230	0,399	5,580	0,0001*
b	-0,0020	0,00094	-2,143	0,053
Potencial		Numero de Reclutas		
a	2,811	1,402	2,006	0,0679
b	0,530	0,271	1,959	0,0738
Ricker				
a	0,998	0,4557	2,190	0,0590*
b	-0,0019	0,0011	-1,786	0,0904

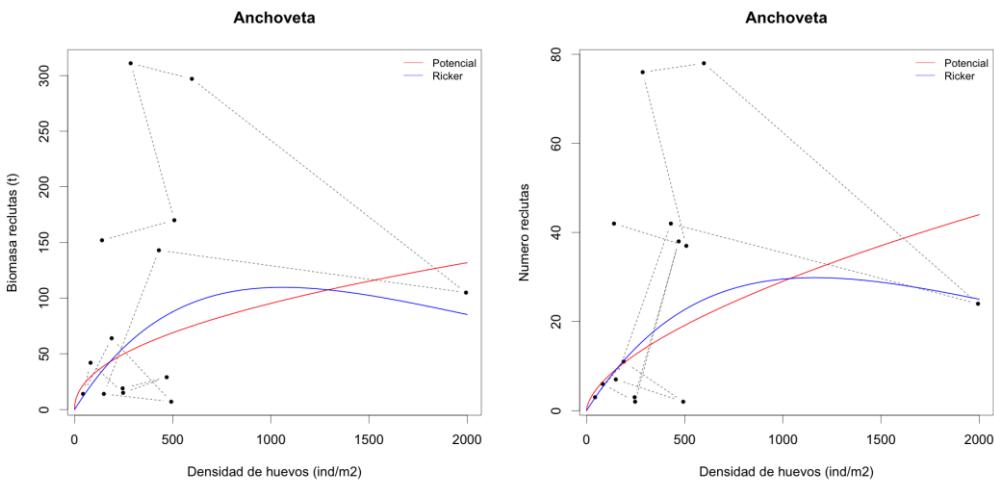
En la anchoveta, el modelo potencial entre la biomasa de reclutas y huevos logró un coeficiente de determinación de 12,27% ( $F=1,682$ ,  $P=0,2191$ ) y el modelo de Ricker explicó 12,7% de la tasa de reclutamiento ( $F=1,743$ ,  $P=0,211$ ). La relación entre el número de reclutas y la densidad de huevos tuvo mejor desempeño, tanto del modelo potencial ( $r^2= 17,5\%$ ,  $F=2,547$ ;  $P=0,1365$ ) como de Ricker ( $r^2= 10,4\%$ ,  $F=1,399$ ;  $P=0,2598$ ) (Figura 56).

**Tabla 38.** Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de anchoveta, zona centro-sur (2002-2016).

Anchoveta		Biomasa de reclutas (t)		
Potencial	Estimate.	Std Error	t value	Pr(> t )
a	1,326	2,053	0,646	0,5305
b	0,467	0,361	1,297	0,2191
Ricker		Número de reclutas		
a	-1,268	0,4489	-2,825	0,0153*
b	-0,000943	0,00071	-1,320	0,2114
Potencial		Número de reclutas		
a	-0,779	2,141	-0,364	0,7222
b	0,600	0,376	1,596	0,1365
Ricker		Número de reclutas		
a	-2,6644	0,456	-5,838	0,000*
b	-0,0009	0,00073	-1,183	0,26



**Figura 55.** Relación huevo-recluta en sardina común, biomasa de recluta (izquierda) y número de reclutas (derecha) en el periodo 2002-2016.



**Figura 56.** Relación huevo-recluta en anchoveta, biomasa de recluta (izquierda) y número de reclutas (derecha) en el periodo 2002-2016.

### Agregación espacial de cluster de huevos

En anchoveta, el aporte de la densidad de huevos ( $D$ ) fluctuó entre 98,54 y 89,36% para el umbral de densidad  $D \geq 10$  huevos/ $0,05\text{m}^2$ , con probabilidad acumulada que fluctuó entre 0,26 y 0,04 (**Tabla 39**). La probabilidad del umbral de densidad  $D \geq 100$  huevos/ $0,05\text{m}^2$  fluctuó entre 0,01 y 0,10. En la sardina común, el aporte de la densidad de huevos  $D \geq 10$  fluctuó entre 94,86 y 98,01% y para  $D \geq 100$  fluctuó entre 0 y 70,25%. La probabilidad de observar el umbral  $D \geq 100$  huevos/ $0,05\text{m}^2$  fue entre 0 y 0,05 (**Tabla 39**).

Para ambas especies, el rango del variograma exponencial fue mayor para el cluster  $D \geq 1$  huevo/ $0,05\text{m}^2$  en comparación con el cluster  $D \geq 100$  huevo/ $0,05\text{m}^2$  (**Tabla 40 y 41**). Sin embargo, en el caso de la sardina, el rango de este umbral de densidad fue mayor que para los niveles de densidad menor en los años 2010, 2012, y 2015. En el caso de anchoveta en el año 2012, no se pudo estimar los parámetros del variograma para dicho cluster. Sin embargo, se destaca que estos resultados pueden ser espurios, ya que para la mayoría de los años los parámetros de variogramas para  $D \geq 10$  y  $D \geq 100$  huevos por  $0,05\text{ m}^2$  no fueron significativos y por lo tanto los cluster de densidad de huevos de sardina y anchoveta superior a 10 huevos por  $0,05\text{ m}^2$  y de densidad de huevos de anchoa superior a 100 huevos por  $0,05\text{ m}^2$  podrían no estar estructurados espacialmente.



**Tabla 39** Probabilidad de densidad y porcentaje de densidad para clusters de densidad de huevos D≥1, D≥10 y D≥100 huevos por (0,05) m<sup>2</sup> para anchoveta y sardina común en el periodo 2007-2016.

Año	Anchoveta			Sardina	
	Densidad (huevo/0,05m <sup>2</sup> )	P[D≥x]	D (%)	P[D≥x]	D(x) (%)
2007	D≥1	0,50	100	0,36	100
	D≥10	0,26	98,54	0,17	97,47
	D≥100	0,10	89,44	0,05	82,30
2008	D≥1	0,23	100	0,12	100
	D≥10	0,10	98,03	0,05	97,81
	D≥100	0,03	87,78	0,02	87,46
2009	D≥1	0,30	100	0,20	100
	D≥10	0,12	93,59	0,09	96,70
	D≥100	0,02	52,71	0,02	83,08
2010	D≥1	0,29	100	0,26	100
	D≥10	0,14	94,61	0,10	94,86
	D≥100	0,03	55,89	0,03	69,67
2011	D≥1	0,30	100	0,24	100
	D≥10	0,12	93,07	0,08	96,68
	D≥100	0,02	46,05	0,03	79,34
2012	D≥1	0,11	100	0,15	100
	D≥10	0,04	89,80	0,04	86,37
	D≥100	0,01	49,12	0,00	0,00
2013	D≥1	0,18	100	0,23	100
	D≥10	0,07	89,36	0,13	98,01
	D≥100	0,01	27,78	0,05	86,60
2014	D≥1	0,29	100	0,23	100
	D≥10	0,12	94,49	0,09	95,89
	D≥100	0,02	40,72	0,01	70,25
2015	D≥1	0,35	100	0,22	100
	D≥10	0,17	95,20	0,09	97,16
	D≥100	0,06	72,65	0,03	83,00
2016	D≥1	0,28	100	0,23	100
	D≥10	0,12	94,37	0,09	96,46
	D≥100	0,02	52,81	0,03	78,04

**Tabla 40** Parámetros del modelo exponencial ajustado al variograma experimental de los indicadores de densidad de huevos de anchoveta.

Especie y año	Densidad	Nugget	pSill	Sill	p-Rango (Km)	Range (Km)
		(Co)	C	(Co + C)	r	3r
Anchoveta, 2007	D ≥ 1	0.05	0.00	0.24	13.51	40.52
	D ≥ 10	0.00	0.20	0.20	8.65	25.94
	D ≥ 100	0.00	0.10	0.10	7.76	23.29
Anchoveta, 2008	D ≥ 1	0.04	0.00	0.16	17.24	51.72
	D ≥ 10	0.00	0.09	0.09	7.81	23.42
	D ≥ 100	0.00	0.04	0.04	0.86	2.57
Anchoveta, 2009	D ≥ 1	0.00	0.21	0.21	9.60	28.81
	D ≥ 10	0.00	0.11	0.11	8.82	26.46
	D ≥ 100	0.02	0.00	0.03	7.54	22.62
Anchoveta, 2010	D ≥ 1	0.03	0.00	0.23	13.96	41.88
	D ≥ 10	0.00	0.14	0.14	10.33	30.99
	D ≥ 100	0.00	0.03	0.03	4.90	14.69
Anchoveta, 2011	D ≥ 1	0.00	0.23	0.23	11.14	33.41
	D ≥ 10	0.00	0.12	0.12	5.34	16.01
	D ≥ 100	0.00	0.02	0.02	2.15	6.45
Anchoveta, 2012	D ≥ 1	0.04	0.00	0.10	23.72	71.16
	D ≥ 10	0.03	0.00	0.04	17.83	53.48
	D ≥ 100	0.00	0.00	0.00	na	na
Anchoveta, 2013	D ≥ 1	0.05	0.00	0.16	15.41	46.24
	D ≥ 10	0.05	0.00	0.08	14.62	43.85
	D ≥ 100	0.00	0.01	0.01	1.09	3.28
Anchoveta, 2014	D ≥ 1	0.00	0.23	0.23	11.72	35.15
	D ≥ 10	0.00	0.12	0.12	6.73	20.18
	D ≥ 100	0.00	0.02	0.02	2.89	8.67
Anchoveta, 2015	D ≥ 1	0.00	0.24	0.24	11.81	35.43
	D ≥ 10	0.00	0.14	0.14	7.45	22.36
	D ≥ 100	0.00	0.05	0.05	0.95	2.84
Anchoveta, 2016	D ≥ 1	0.04	0.00	0.21	15.63	46.89
	D ≥ 10	0.00	0.11	0.11	8.97	26.92
	D ≥ 100	0.00	0.02	0.02	0.97	2.92

**Tabla 41** Parámetros del modelo exponencial ajustado al variograma experimental de los indicadores de densidad de huevos de sardina.

Especie y año	Densidad	Nugget (Co)	pSill C	Sill (Co + C)	p-Rango (Km) <i>r</i>	Range (Km) <i>3r</i>
Sardina, 2007	D ≥ 1	0.04	0.00	0.24	12.70	38.11
	D ≥ 10	0.00	0.15	0.15	8.02	24.06
	D ≥ 100	0.00	0.06	0.06	6.26	18.78
Sardina, 2008	D ≥ 1	0.00	0.00	0.11	11.71	35.13
	D ≥ 10	0.00	0.06	0.06	7.61	22.82
	D ≥ 100	0.00	0.03	0.03	3.23	9.69
Sardina, 2009	D ≥ 1	0.06	0.00	0.18	32.29	96.88
	D ≥ 10	0.05	0.00	0.10	27.86	83.57
	D ≥ 100	0.02	0.00	0.03	23.69	71.06
Sardina, 2010	D ≥ 1	0.01	0.00	0.21	14.11	42.32
	D ≥ 10	0.00	0.10	0.10	9.32	27.96
	D ≥ 100	0.00	0.00	0.00	22.18	66.55
Sardina, 2011	D ≥ 1	0.00	0.20	0.20	8.62	25.85
	D ≥ 10	0.00	0.09	0.09	5.63	16.90
	D ≥ 100	0.00	0.03	0.03	5.04	15.12
Sardina, 2012	D ≥ 1	0.05	0.00	0.13	15.26	45.77
	D ≥ 10	0.03	0.00	0.05	25.69	77.06
	D ≥ 100	na	na	na	na	Na
Sardina, 2013	D ≥ 1	0.02	0.00	0.19	12.54	37.61
	D ≥ 10	0.00	0.12	0.12	13.31	39.93
	D ≥ 100	0.00	0.06	0.06	14.99	44.97
Sardina, 2014	D ≥ 1	0.06	0.00	0.19	13.37	40.11
	D ≥ 10	0.00	0.08	0.08	5.45	16.36
	D ≥ 100	0.00	0.02	0.02	2.83	8.50
Sardina, 2015	D ≥ 1	0.04	0.00	0.18	22.11	66.33
	D ≥ 10	0.05	0.00	0.10	68.38	205.15
	D ≥ 100	0.05	0.00	0.05	10.00	30.00
Sardina, 2016	D ≥ 1	0.06	0.00	0.18	18.88	56.63
	D ≥ 10	0.00	0.09	0.09	7.77	23.31
	D ≥ 100	0.00	0.03	0.03	4.71	14.14



## VIII ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El crucero de evaluación del stock desovante se desarrolló entre los meses de septiembre y octubre de 2016, exceptuando la grilla exploratoria de la zona norte. El periodo cubierto fue similar al periodo de estudio de los últimos 5 años, y durante el periodo de máxima actividad reproductiva tal y como se desprende del análisis histológico de las hembras (100% activas en anchoveta y sardina común en la zona centro, y 70,3% de hembras de sardina común activas en la zona sur). En este contexto, los resultados son comparables con el desempeño del desove realizado en años previos.

La zona de desove fue cubierta por el crucero, durante el periodo de estudio. El crucero de huevos reveló un aumento en la intensidad del desove de sardina común en el sector centro, con focos discretos. En la anchoveta, en cambio, se registró una leve disminución. En el sector sur, hubo solo una zona de mayor agregación de huevos de anchoveta y ocurrió en un área mucho más restringida ( $39^{\circ}30'$ -  $39^{\circ}40'$ S) que en años anteriores ( $38^{\circ}30'$ S -  $39^{\circ}50'$ S). En el caso de la sardina común, el desove se caracterizó por ser más difuso en el sentido que se extendió hacia el norte pero con bajas abundancias de huevos.

El número de lances de pesca se cumplió para la sardina común, con 30 lances de pesca efectivos por cada estrato geográfico. Sin embargo, la disponibilidad de anchoveta a la pesca estuvo restringida solamente al norte de Talcahuano, habiéndose obtenido solamente 15 lances de pesca efectivos. La estructura de tallas de la sardina común se caracterizó por ser similar entre zonas, con ejemplares de 9 a 16 cm, y talla media de 13-13,6 cm. La anchoveta, en cambio, mostró una estructura de tallas caracterizada por ejemplares grandes con talla media de 16 cm.

Hasta el 2011, la distribución de la abundancia de huevos en la zona centro se presentaba en lugares característicos y protegidos, tal como el Golfo de Arauco, norte de Bahía Concepción, y al sur de la desembocadura del río Itata. En la zona sur, ocurría en el sector comprendido entre Lebu y los  $39^{\circ}10'$ S. Estas zonas de desove de anchoveta y sardina común han sido características y con persistencia interanual (Zúñiga 2011). En el 2012 la abundancia de huevos de anchoveta y sardina común estuvo representada en pocas estaciones en la zona centro, lo que determinó un área de desove más baja que en años previos. Asimismo, en la zona sur la abundancia de huevos se distribuyó hacia la costa y desde el sur de puerto Saavedra hasta el norte de Corral. Este patrón fue diferente a la de años previos donde la mayor magnitud del desove ocurría entre el sur de la isla Mocha y puerto Saavedra.

A pesar que en el 2013 se retoma temporalmente el patrón histórico de zonas de desove recurrentes, con el núcleo de desove localizado a los  $39^{\circ}$ S. En el sector sur se comienza a evidenciar un desplazamiento hacia el sur del centro de masa del desove, según lo confirman diversos análisis (centroides latitudinales, presencia-ausencia y cambios de densidad con modelos GAM).

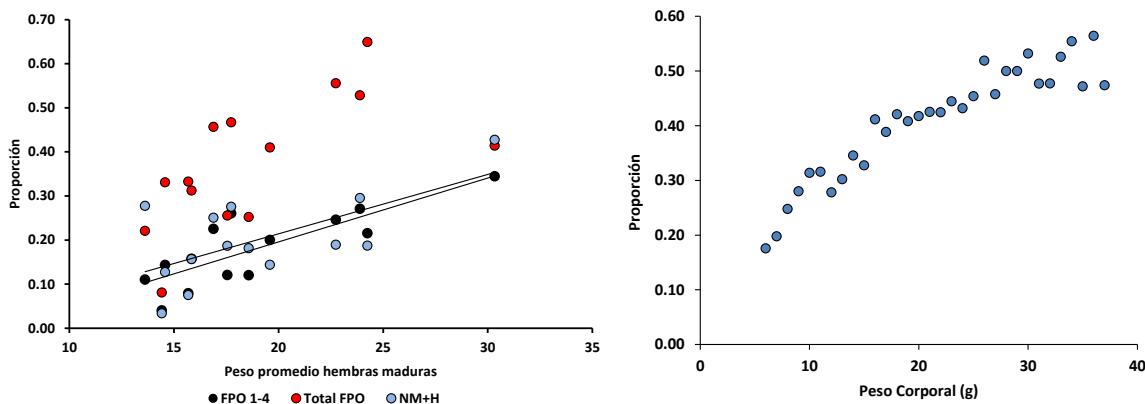


El cambio más notorio se observó en la sardina común, especie que desde el 2013 muestra una recuperación en los sitios de desove en el sector centro, pero una disminución en la abundancia de huevos y una distribución hacia el sur de la principal zona de desove. En efecto, en el 2014, 2015, y 2016 la sardina común pierde de cierta forma el foco de huevos exhibido en el 2013 en el área comprendida entre la desembocadura del río Imperial y el río Valdivia ( $38^{\circ}5$ - $40^{\circ}$  S), desplazándose hacia el sur, frente a Corral.

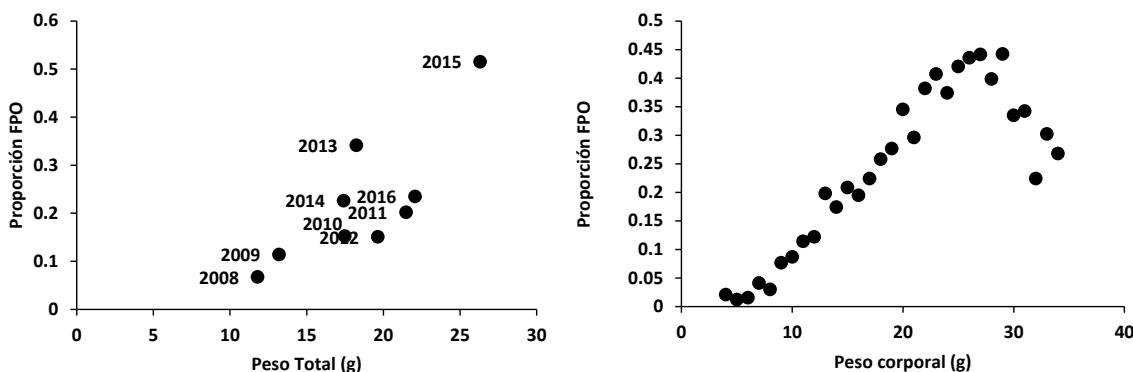
En el caso del crucero de adultos, la nula disponibilidad de anchoveta en la zona sur constituye nuevamente una limitante para la evaluación del stock desovante. Esta situación es comparable con las campañas previas, y es consistente con los monitoreos realizados por el Instituto de Fomento Pesquero para este recurso en el área de Corral.

Se destaca que desde el 2008, y principalmente en la zona sur, la estructura de tamaños de sardina común ha presentado una alta incidencia de juveniles y adultos primerizos (Cubillos *et al.* 2009; Estudio FIP 2008-09). Entre el 2009 y 2010, fue la fracción de hembras primerizas la que sustentó el stock desovante de sardina común en el sector sur (Cubillos *et al.* 2010, 2011\Estudio FIP 2009-08 y FIP 2010-02). Sin embargo, tanto en el 2011 como en el 2012 la incidencia de hembras juveniles inmaduras en la zona sur fue abundante (Cubillos *et al.* 2013\ Estudio FIP 2012-09, \ <http://www.fip.cl>). En el 2013 no hubo un reclutamiento significativo, determinando una virtual ausencia del recurso en las zonas de pesca. Mientras que en el 2014 y 2015, a pesar de que la estructura de tallas de sardina común estuvo constituida por ejemplares sobre 10 cm de longitud total, una gran fracción del stock no mostró signos de madurez sexual (Cubillos *et al.* 2015b). En cambio, durante este año, se registró solamente un 70,3% de hembras activas y la fracción de hembras desovantes diarias fue bastante baja en comparación con la de los ejemplares de la zona centro, donde se registró el 100% de hembras activas.

La variabilidad interanual en las estimaciones de la fracción diaria de hembras desovantes se explica en parte por la estructura de peso de las hembras, lo que queda de manifiesto al plotear la proporción de FPO encontrado en cada año (FPO totales, sin clasificar por estadio o edad) en función del peso corporal medio del año (**Figura 57 y 58**), ratificando el efecto de la talla/peso sobre la frecuencia de desove reportada por Claramunt *et al.* (2007). Asimismo, se destaca la condición de borde para los FPO totales lo que implica que a nivel individual las hembras tienen una frecuencia de desove característica.



**Figura 57** Izquierda: Proporción de marcadores de desove en función del peso promedio de las hembras en los cruceros del MPDH zona centro sur. FPO totales (Círculo rojo), FPO de estadios 1 al 4 (Círculos negros), estadios ováricos de núcleo migrante e hidratadas (NM+H) (Círculos celestes). Derecha: Presencia de FPO (Totales) de acuerdo a intervalos de peso corporal (c/1 g), utilizando la base histórica.



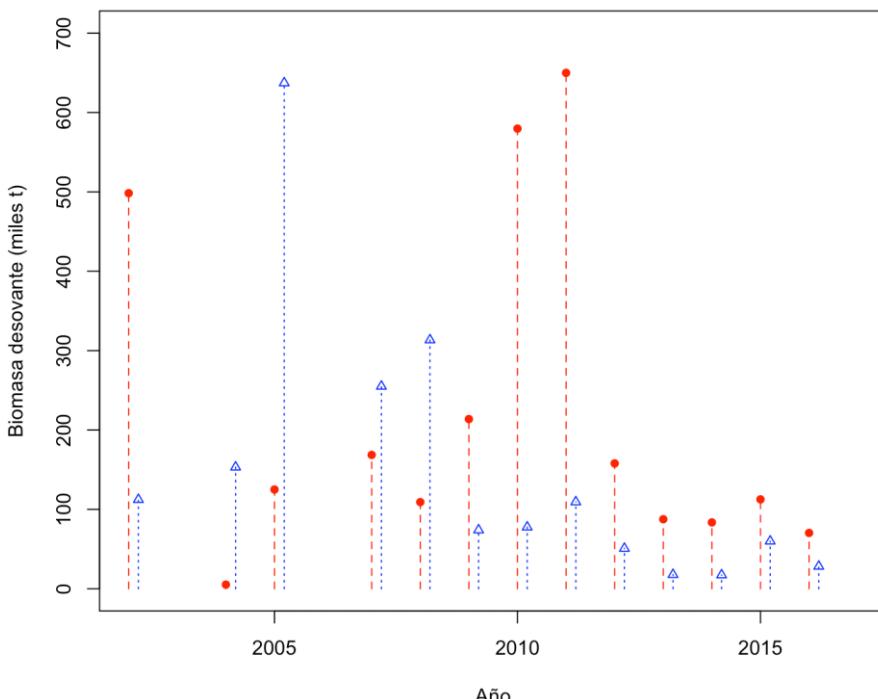
**Figura 58** Izquierda: Proporción de folículos postovulatorios totales (FPO) en función del peso total promedio de cada año, en función del peso promedio de las hembras. Derecha: Proporción de FPO por intervalo de peso corporal (cada 1 g) utilizando la base histórica (10034 hembras).

Las estimaciones de los parámetros reproductivos de los adultos están dentro de los valores que han sido reportados históricamente para ambos recursos, y demuestran consistencia. En este contexto, la fracción diaria de hembras desovantes y la producción diaria de huevos son los parámetros que 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.

En términos de la estimación del stock desovante, la magnitud de la biomasa en 2016 se encuentra dentro del rango de biomasa histórico más bajo, observándose una disminución en anchoveta y sardina común respecto de 2014 y 2015 (**Figura 59**). La magnitud de la biomasa es baja comparada con las estimaciones acústicas (**Tabla 7**), lo que se debe a que mediante el Método de la Producción Diaria de Huevos se mide la biomasa que está desovando por día, mientras que el método acústico mide la biomasa total presente en un área dada. En enero de 2016 y de 2017, el método acústico evalúo 189 mil y 65 mil toneladas de adultos de anchoveta, respectivamente. Estos valores son comparables con la biomasa desovante de 60 mil y 28 mil toneladas evaluadas mediante MPDH para septiembre-octubre de 2015 y 2016, respectivamente. En el caso de la sardina común, en enero de 2016 se evaluaron 2,033 millones de toneladas, de las cuales 1,488 millones de toneladas fueron adultos. La temporada de pesca antes del desove capturó una fracción importante y otra fracción pudo morir por causas naturales, de tal manera que la evaluación del stock desovante en torno de 70 mil toneladas desovando por día podría parecer una subestimación, pero la diferencia radicaría en la fracción que está desovando por día.



**Figura 59.** Comparación de la biomasa desovante de sardina común y anchoveta evaluada con el método de la producción diaria de huevos, 2002-2016.



El índice de densidad de huevos de anchoveta indica una recuperación desde el 2012 al 2016. En la sardina, en cambio, muestra una estabilidad en valores altos. Sin embargo, al comparar las tendencias con las estimaciones de biomasa desovante de la evaluación directa, sólo se observó asociaciones significativas en el caso de la anchoveta. No obstante, al utilizar cualquiera de los índices en el modelo de evaluación de stock no se observó un impacto significativo, lo que se podría interpretar que en el caso de la anchoveta la evaluación de stock indirecta está sostenida en índices que están correlacionados. En el caso de la sardina común, no se observó asociación entre los índices de biomasa, lo que en parte se puede deber al hecho que la evaluación del stock de sardina común considera un año biológico entre julio de un año y junio del próximo. De esta manera, la magnitud de la biomasa evaluada tiende a ser mayor y retrasada.

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 (Saavedra *et al.* 2014). La relación no fue significativa, ni en sardina común ni en anchoveta. El mejor modelo fue el de Ricker en sardina común que explicó 38,2% de la tasa de reclutamiento ( $F=6,804$ ,  $P=0,0243$ ). 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 (Vásquez comm.pers.).



## IX CONCLUSIONES

---

1. En 2016, se observó una consolidación en la recuperación de la abundancia de los focos de desove localizados en la zona centro tanto en anchoveta como sardina común. A su vez, en la zona sur la distribución de huevos se observó más alejada de la costa y hacia el sur, situación que es comparable en los últimos tres años, ratificando una tendencia de cambios distribucional en el centro del desove de la zona sur desde 2009 al 2016.
2. La producción diaria de huevos por estrato geográfico indicó una mayor producción de huevos de sardina común en el sector centro (536,4 huevos/m<sup>2</sup>/día, CV=16,3%) y una menor producción en el sector sur (109,9 huevos/m<sup>2</sup>/día, CV=7,1%). La producción diaria de huevos de anchoveta fue también mayor en el sector centro con 538,6 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=13,9%) y sólo 205,7 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=6,8%) para la zona sur.
3. La precisión de los estimados de producción diaria de huevos se mejoró aplicando un método de ponderación basado en un índice de agregación por cohortes diarias, bajo el supuesto que los datos de abundancia de huevos a la edad reflejan tanto mortalidad como patrones de dispersión-agregación.
4. Los parámetros reproductivos de las hembras maduras fueron estimadas adecuadamente para el sector centro, tanto para anchoveta como sardina común, y se presentaron dentro del rango que ha sido estimado para ambos recursos. No se obtuvo muestras de anchoveta en el sector sur, probablemente por la distribución más occidental del desove, por fuera de las 5 millas. En el caso de la sardina común, las hembras en la zona centro estuvieron 100% activas versus un 70,3% en la zona sur, lo que implica que hubo una fracción de peces adultos más pequeños y cercanos a la talla de primera madurez que permaneció inmadura en el sector sur.
5. En la zona centro, el desove de ambos recursos se distribuyó en sitios característicos y persistentes en zonas protegidas. En cambio, en la zona sur, el centro de masa de la densidad de huevos de ambos recursos mostró una tendencia de desplazamiento hacia el sur, desde los 38,5° S hasta los 39,5° S.
6. El índice de huevos de anchoveta está asociado con otros indicadores de biomasa, pero no se relaciona con el reclutamiento. Sin embargo, el índice de densidad de huevos de sardina común no se relaciona con otros indicadores de biomasa de este recurso, pero sí con el reclutamiento evaluado acústicamente en enero de 2017.
7. El estimado estratificado de biomasa desovante fue de 28.197 toneladas de anchoveta y de 70.296 toneladas de sardina común.



## X. REFERENCIAS

- 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*). *Sci. Mar.* 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.
- Alheit, J., Bakun, A. 2010. Population synchronies within and between ocean basins: Apparent teleconnections and implications as to physical-biological linkage mechanisms. *J. Mar. Syst.* 79(3-4), 267-285.
- Araújo, M.B., New, M. 2007. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends Ecol. Evol.* 22, 42–47.
- Barange, M., Bernal, M., Cergole, M., Cubillos, L., Daskalov, G., de Moor, C., De Oliveira, J., Dickey-Collas, M., Gaughan, D., Hill, K., Jacobson, L., Koster, F., Masse, J., Ñiquen, M., Nishida, H., Oozeki, Y., Palomera, L., Saccardo, S., Santojanni, A., Serra, R., Somarakis, S., Stratoudakis, Y., Uriarte, A., van der Lingen, C., Yatsu, A. 2009. Current trends in the assessment and management of stocks. In: Checkley, D., Roy, C., Alheit, J., Oozeki, Y. (Eds.). *Climate Change and Small Pelagic Fish*. Cambridge University Press. 191-255 p.
- Bakun A. 1996. Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. University of California Sea Grant, UCSD, San Diego, CA and Centro de Investigaciones Biológicas de Noroeste, La Paz, Baja, California, 323 p.
- Bellier E., Planque B., Petitgas P. 2007. Historical fluctuations in spawning location of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in the Bay of Biscay during 1967-73 and 2000-2004. *Fish. Oceanogr.* 16, 1-15.
- Belsley, D.A., Kuh, E., Welsch, R.E. 1980. *Regression Diagnostics: Identifying influential data and sources of collinearity*. John Wiley, New York.
- Bernal M, Ibañarriaga L, Lago de Lanzós A, Lonergan ME, Hernández C, Franco C, Rasines I, Valdés L, Borchers DL. 2008. Using multinomial models to analyse data from Iberian sardine egg incubation experiments: a comparison with traditional techniques. *ICES Journal of Marine Science* 65, 51-59.
- Bernal, M. 1999. Preliminary results on a two stage modeling of sardine egg presence and abundance off the Spanish coast and its implication for stock assessment. WD ICES WGMHMSA, Copenhagen 9/1999.
- 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. *Can. J. Fish and Aquat. Sci.* 58, 2330-2340.
- Borchers, D. L., Buckland, S.T., Priede, I.G., Ahmadi, S. 1997. Improving the precision of the daily egg production method using generalized additive models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54, 2727-2742.



- Cahuin, S., Cubillos, L.A., Escribano, R., Blanco, J.L., Ñiquen, M., Serra, R. 2013 Sensitivity of recruitment rates anchovy (*Engraulis ringens*) to environmental changes in Southern Peru-Northern Chile. *J. Env. Dev.* 7, 88-101.
- 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: FIP 99-13 Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile. Informes Técnicos FIP – IT/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. Informe Final FIP 2000-09. Informes Técnicos FIP – IT/2000-09, 151 p.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Saavedra, A., Catasti, V., Núñez, S., Ortiz, J., Barría, P., Arraigada, G., Braun, M., Galindo, G. 2002a. Evaluación Hidroacústica del stock desovante de anchoveta y sardina común, Centro-Sur, 2001 Proyecto FIP Nº 2001-14.
- Castillo, J., Barbieri, M.A., Espejo, M., Saavedra, A., Catasti, V., Núñez, S., Ortiz, J., Barría, P., Arraigada, G., Braun, M., Galindo, G. 2002b. Evaluación acústica del reclutamiento de anchoveta y sardina común, centro-Sur, 2001-2002 Proyecto FIP Nº 2001-13.
- Castillo, J., Saavedra, A., Gávez, P., Barría, 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. Preinforme final FIP 2003-08.
- Castillo-Jordán C., Cubillos L.A., Paramo J., 2007. The spawning spatial structure of two co-occurring small pelagic fish off central southern Chile in 2005. *Aquat. Living Resour.* 20, 77-84.
- Chávez, F., Ryan, J., Lluch-Cota, S.E., Ñiquen, M. 2003. From anchovies to sardines and back: multidecadal change in the Pacific Ocean. *Science.* 299, 217-221.
- Checkley, D.M., Dotson, R.C., Griffith, D.A. 2000. Continuous, underway sampling of eggs of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) and northern anchovy (*Engraulis mordax*) in spring 1996 and 1997 off southern and central California. *Deep-Sea Research II* 47, 1139-1155.
- 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. Informes Técnicos FIP – IT/2006-19, 214 p.
- 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. *Fish. Res.* 160, 96-102
- Cressie, N.A.C. 1993. *Statistics for Spatial Data*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York. 900 p.
- 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). *Invest. Mar. Valparaíso*, 26, 3-14.



- 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? *Aquat. Living Resour.* 14, 115-124.
- Cubillos, L.A., Arcos, D.F. 2002. Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) in the 1990s, and impact of the 1997-98 El Niño. *Aquat. Living Resour.* 15, 87-94.
- Cubillos, L., Núñez, S., Ruiz, P., Véjar, F., Oliva, J., Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Muñoz, Y., Díaz, E., Oyarzún, C., Gacitúa, S., Aedo, G., Gonzalez, P., Valero, C., Daza, E., Leal, E., Castro, L., Roa, R., Veas, R., Rebollo, H., Pino, C., Sepúlveda, A., Alarcón, C. 2003a. 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., Núñez, S., Ruiz, P., Véjar, F., Oliva, J., Claramunt, G., Herrera, G., Pizarro, P., Muñoz, Y., Díaz, E., Oyarzún, C., Gacitúa, S., Aedo, G., Gonzalez, P., Valero, C., Daza, E., Leal, E., Castro, L., Roa, R., Veas, R., Rebollo, H., Pino, C., Sepúlveda, A., Alarcón, C. 2003b. Primer informe de avance Proyecto FIP2003-06 Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones. Informe Diciembre de 2003 presentado por Instituto de Investigación Pesquera a Instituto de Fomento Pesquero, 68p.
- Cubillos, L.A., 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.A., Castro, L., Claramunt, G., Oyarzún, C. 2006. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2005. Informe Final FIP 2005-02.
- 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. *Fish. Res.* 86, 228-240.
- Cubillos L.A., Castro L., Claramunt, G. 2008. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Región, año 2007. Informe Técnico FIP 2007-06 (<http://www.fip.cl/Archivos/Hitos/Informes/inffinal%202007-06.pdf>).
- Cubillos, L.A., 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 (<http://www.fip.cl/Archivos/Hitos/Informes/INFORME%20HITO%20FINAL389Adjunto1.pdf>).
- Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, E., Alarcón, C., Zúñiga, M.J., Castillo-Jordán, C., Pedraza, M., Rebollo, H. 2010. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2009. Informe Técnico FIP 2009-08 (<http://www.fip.cl/Archivos/Hitos/Informes/INFORME%20HITO%20FINAL112Adjunto1.pdf>).
- Cubillos, L.A., 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 (<http://www.fip.cl/Archivos/Hitos/Informes/INFORME%20HITO%20FINAL411Adjunto1.pdf>).



- Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, E. 2013. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2012. Informe Técnico FIP 2012-09  
(<http://www.fip.cl/Archivos/Hitos/Informes/INFORME%20HITO%20FINAL1076Adjunto1.pdf>).
- Cubillos, L.A., Castro, L.R., Claramunt, G., Navarro, E., 2015a. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2013. Informe Técnico FIP 2013-07.  
(<http://www.fip.cl/Archivos/Hitos/Informes/INFORME%20HITO%20FINAL%20CORREGIDO1193Adjunto1.pdf>).
- Cubillos, L.A., Castro, L., Claramunt, G., Navarro, E. 2015b. Evaluación de la biomasa desovante y descripción de las condiciones oceanográficas 2014. En: INFORME FINAL, Convenio Desempeño 2014 “Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2014” SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Octubre 2015, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, 190 p.
- Cubillos, L.A., Castro, L.R., Claramunt, G. 2016. Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2015. INFORME FINAL, Convenio Desempeño 2015 “Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2015” SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Octubre 2016, Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso.
- Cury, P., Roy, C. 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (4), 670-680.
- Cushing, D.H. 1975. Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press, Cambridge. 278 p.
- Eilers, P.H.C., Marx, B.D. 1996. Flexible smoothing with B-splines and penalties. Stat Sci. 11, 89-121.
- 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.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R. J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.McC., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K.S., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberón, J., Williams, S., Wisz, M.S., Zimmermann, N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. /Ecography. 29, 129 /151.
- Elith, J., Leathwick, J. 2009. Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. Annu Rev Ecol Evo Syst. 40, 677-697.
- Elith, J., Kearney, M., Phillips, S. 2010. The art of modelling range-shifting species. Methods Ecol. 1, 330-342.
- EU Study 99/080 Using environmental variables with improved DEPM methods to consolidate the series of sardine and anchovy estimates” (EU Study 99/080, <http://ruwpa-st.andrews.ac.uk/depmodel>)
- Fielding, A., Bell, J. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environ. Conserv. 24, 38–49.



- Fischer, W. 1958. Huevos, crías y primeras prelarvas de la anchoveta (*Engraulis ringens*), Jenyns. Rev. Biol. Mar. Oceanogr. 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.
- Fox, J., Monette, G. 1992. Generalized collinearity diagnostics. JASA. 87: 178–183.
- Fox, J. 1997. Applied Regression, Linear Models, and Related Methods. Sage.
- Ganias, 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.
- Guisan, A., Zimmermann, N. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecol. Modell. 135, 147-186.
- Guisan, A., Broennimann, O., Engler, R., Vust, M., Yoccoz, N.G., Lehmann, A., Zimmermann, N.E. 2006. Using niche-based distribution models to improve the sampling of rare species. Conserv. Biology. 20, 501–511.
- Herrera, G. E., Tarifeño, M.C. Orellana. 1987. Descripción de huevos y primeras fases larvales de la sardina común (*Strangomera bentincki*) y del machuelo (*Ethmidium maculatum*). Biología Pesquera. 16, 107-113.
- Hijmans, R.J., Phillips, S., Leathwick, J., Elith, J. 2015. Package ‘dismo’. Available online at: <http://cran.r-project.org/web/packages/dismo/index.html>.
- Hjort J., 1914. Fluctuations in the great fisheries of Northern Europe viewed in the light of biological research. Rapp. P. v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer. 20, 1-20.
- Hunter, J. R., Goldberg, S.R. 1980. Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish Bull., U.S. 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: Vol 83 Nº 2. 119-136.
- Hunter, J. R., Lo, N.C., 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. Bull. Mar. 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.
- Ibaibarriaga, L., Bernal, M., Motos, L., Uriarte, A., Borchers, D.L., Lonergan, M. E., Wood, S.N. 2007. Characterization of stage-classified biological processes using multinomial models: a case study of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) egg in the Bay of Biscay. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 64, 539–553.
- Kleinbaum, DG., Kupper, LL., Muller, KE. 1988. Applied regression analysis and other multivariate methods. PWS-Kent, Boston.
- 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.



- Leahy, K. 2001. Multicollinearity: When the solution is the problema. En Olivia Parr Rud (ed). Data Mining Cookbook. 106-108. John Wiley, New York.
- 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 continuos 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., Vol. 34. 112-121.
- Mallo, F. 2011. Modelo Multivariantes Internos de Medición de Riesgos de Crédito, Acuerdos con Basilea II. Tesis Doctoral. Departamento de Estadística. Universidad de Salamanca. 545p.
- Manel, S., Williams, H., Ormerod, S. 2001. Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account prevalence. J. Appl. Ecol. 38, 921-931.
- Marmion, M., Parviaainen, M., Luoto, M., Heikkilä, R., Thuiller, W. 2009. Evaluation of consensus methods in predictive species distribution modelling. Diversity and Distributions. 15, 59–69.
- MacCall A.D., 1990. Dynamic Geography of Marine Fish Population. Washington: University of Washington Press. 153 p.
- McGurk, M.D. 1986. Natural mortality of marine pelagic fish eggs and larvae: Role of spatial patchiness. Mar. Ecol. Prog. Ser. 34, 227-242.
- McGurk, M.D. 1987. Natural mortality and spatial patchiness: reply to Gulland. Mar. Ecol. Prog. Ser. 39, 201–206.
- Menard, S. 2002. Applied logistic regression analysis. 2da Ed. Thousand Oaks, Sage Publications. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences. 106 p.
- 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. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 140, 69-77.
- 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. PhD Thesis, Leioa, Spain.
- 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 Final FIP 99-10, Informes Técnicos FIP – IT / 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 Final FIP 2000-06, Informes Técnicos FIP – IT /2000-06, 116 p.



- Parker, R.L., Rice, J.A. 1985. Discussion on "some aspects of the spline smoothing approach to non-parametric regression curve fitting" (by B.W. Silverman). *J. R. Stat. Soc. Ser. B.* . 47, 40-42.
- Pepin, P. 1991. Effect of temperature and size on development, mortality and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 48, 503-518.
- Petitgas P., 1993. Use of disjunctive kriging to model areas of high pelagic fish density in acoustic fisheries surveys. *Aquatic Living Resources*. 6, 201-209.
- Phillips, S., Anderson, R., Schapire, R. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecol. Modell.* 190, 231-259.
- Picquelle, S.J., Stauffer, G. 1985. Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assessment. 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/>)
- Saavedra, A., Catasti, V., Leiva, F., Vargas, R. 2014 Evaluación hidroacústica de la biomasa de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones en el verano y otoño de 2014. En Informe Final FIP 2013-05.
- Santander, H., Alheit, J., 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., Núñez, S., Canales, T., Bucarey, D., Rojas, A. 2000. Antecedentes biológicos del stock desovante de anchoveta y sardina común de la V y IX regiones. Informe Final Projecto FIP 97-04: 1-200. [http://www.fip.cl/prog\\_recurso/1997/9704.htm](http://www.fip.cl/prog_recurso/1997/9704.htm).
- Sinclair, M. 1988. Marine populations: an essay on population regulation and speciation. University Washington Press. Seattle, Washington.
- 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.
- Somarakis, S., Koutsikopoulos, C., Machias, A., Tsimenides, N. 2002. Applying the daily egg production method (DEPM) to small stock in highly heterogeneous seas. *Fish. Res.* 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 J. Mar. Sci.* 61, 944-958.
- 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.
- Stratoudakis, Y., Bernal, M., Borchers, M.F. 2003. Changes in the distribution of sardine eggs and larvae off Portugal, 1985-2000. *Fish. Oceanogr.* 12, 49-60.



- Swets, K. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*. 240, 1285–1293.
- Thuiller, W. 2003. BIOMOD – optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*. 9, 1353–1362.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R., Arújo, M.B. 2009. BIOMOD- A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*. 32, 369–373.
- Van der Lingen, C.D., Castro, L., Drapeau, L., Checkley, D.M.J. 2005. Report of a GLOBEC-SPACC workshop on characterizing and comparing the spawning habitats of small pelagic fish. *GLOBEC Rep.* 21: 107 p.
- Venables, W.N., Ripley, B.D. 2002. Modern Applied Statistics with S, 4th ed. Springer-Verlag, New York.
- Wahba, G. 1980. Splines bases, regularization and generalized cross validation for solving approximation problems with large quantities of noisy data. In: Cheney, W. (Ed.) *Approximation Theory III*. Academic Press, New York.
- Wallace, R., Selman, K. 1981. Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. *Amer. Zool.* 21, 325-343.
- Wood, S.N. 2002. Modelling and smoothing parameter estimation with multiple quadratic penalties. *J. R. Stat. Soc. Ser. B*. 62:413-428.
- Wood, S.N. 2003. Thin plate regression splines. *J. R. Stat. Soc. Ser. 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.
- Zúñiga, MJ. 2011. Patrón Espacio-Temporal de Hábitat de desove realizado de Anchoveta (*Engraulis ringens*) y Sardina Común (*Strangomera bentincki*) en la zona Centro-sur de Chile. Tesis Magíster en Ciencias con mención Pesquerías. Universidad de Concepción.



## 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 especie (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 y 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), desarrolló 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 que 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 varía 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).



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

---

## **ANEXO II: Resoluciones Proyecto MPH 2016.**

---



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



INSTITUTO DE  
FOMENTO  
PESQUERO

ADJUDICA LICITACION ID 1049-31-LR16, CONTRATAR  
LOS SERVICIOS DE "**Evaluar el stock desovante de  
los recursos anchoveta y sardina común  
correspondiente al litoral de la V a la X Regiones**".

**0158**

RES. EX. N° \_\_\_\_\_

VALPARAÍSO, 20 DE JULIO 2016

VISTOS: Lo dispuesto en la Ley N° 20.882, de Presupuestos Generales de la Nación para el año 2016; Ley N° 19.886, Bases sobre contratos administrativos de suministro y prestación de servicios, y su Reglamento aprobado mediante D.S. N° 250/2004, del Ministerio de Hacienda, y sus modificaciones posteriores; Ley N° 20.238 que norma sobre la protección de los trabajadores y la libre competencia en la provisión de bienes y servicios a la Administración del Estado; la Resolución N° 1600 de 2008 de la Contraloría General de la República y Resolución Exenta N° 0140/2016 de fecha 7 de junio de 2016.

CONSIDERANDO:

Que, el Instituto de Fomento Pesquero requiere contratar los servicios de "**Evaluar el stock desovante de los recursos anchoveta y sardina común correspondiente al litoral de la V a la X Regiones**".

Que, por medio del portal mercado público y mediante la licitación ID 1049-31-LR16, el Instituto de Fomento Pesquero licitó públicamente por este servicio, el cual fue aprobada mediante Resolución Exenta N° 0140/2016 de fecha 7 de junio de 2016.

Que, a esta licitación se presentó la siguiente oferta:

**OFERTA 1: UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, RUT: 81.494.400-K**

Que, las propuestas fueron evaluadas por los siguientes funcionarios:

Nombre	Cargo	Institución
Jaime Letelier Pino	Jefe Depto. Oceanografía y Medio Ambiente	IFOP
Hernán Reyes Rivas	Investigador	IFOP
Ramón Muñoz Azúa	Analista de Licitaciones y Contratos	IFOP



### Criterios de Evaluación de las Ofertas

Se evaluarán las propuestas que lleguen al portal [www.mercadopublico.cl](http://www.mercadopublico.cl), sobre la base de los siguientes criterios:

La evaluación de la propuesta, considera los siguientes factores y ponderaciones:

- Oferta Técnica : 80%
- Oferta Económica : 15%
- Requisitos Formales : 5%

De las distintas propuestas y el correspondiente proceso de selección, se realizará en atención a los siguientes criterios o factores, pudiendo alguno de ellos ser evaluados en su totalidad según determinados subfactores, tal y como se señala en la siguiente tabla:

#### Oferta Técnica - subfactores y ponderaciones:

Item	Descripción	Ponderación
Metodología de Trabajo	<p>Cada sub-factor será evaluado con un puntaje de 0 a 100.</p> <p>Promedio de puntajes asignados a sub-factores evaluados.</p>	40%
Plan Actividades de	<p>Cada sub-factor será evaluado con un puntaje de 0 a 100.</p> <p>Promedio de puntajes asignados a sub-factores evaluados.</p>	20%
Equipo de Trabajo	<p>Cada sub-factor será evaluado con un puntaje de 0 a 100.</p> <p>Promedio de puntajes asignados a sub-factores evaluados.</p>	20%



Experiencia Anterior	Cada sub-factor será evaluado con un puntaje de 0 a 100. Promedio de puntajes asignados a sub-factores evaluados.	20%
----------------------	--	-----

#### Evaluación de la Oferta Económica

La evaluación de este factor se realizará con el valor de las propuestas revisadas y corregidas. Si es el caso se calificará en forma inversamente proporcional, es decir, la propuesta que ofrezca el precio más bajo tendrá el máximo puntaje. A las demás ofertas que excedan este precio se le asignará un puntaje proporcional.

La fórmula aplicar es la siguiente:

$$\frac{\text{Valor Propuesta Menor}}{\text{Valor Propuesta a evaluar}} \times 100$$

#### Evaluación de los Requisitos Formales

##### a) Requisitos Administrativos: 2,5%

- El proponente presenta dentro del plazo establecido, la totalidad de los antecedentes legales, declaraciones juradas y anexos requeridos en las bases, sin faltar uno solo, se calificará con 2,5 puntos.
- El proponente realiza una presentación incompleta de documentos relacionados con antecedentes legales, declaraciones juradas y anexos requeridos en las bases, sin faltar uno solo, se calificará con 1 punto.
- No se presenta antecedentes, se calificará con 0 puntos.

##### b) Requisitos técnicos: 2,5 %

- El proponente cumple con la claridad y completitud de la oferta técnica y económica hecha conforme a las bases (Anexos, etc.) y que no requieren de aclaración posterior a su presentación, se calificará con 2,5 puntos.
- En caso que los antecedentes presentados de oferta técnica y/o económica son incompletos o que requieran de aclaración posterior a su presentación, se calificará con 1 punto.
- No presenta antecedentes, se calificará con 0 puntos.



**EVALUACIÓN:**

OFERTA 1: **UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, RUT: 81.494.400-K**

EVALUACION TECNICA 80%	OFERTA	Oferta 1
		<b>Universidad de Concepción</b>
Metodología de Trabajo 40%		40
Plan de Actividades 20%		20
Equipo de Trabajo 20%		20
Experiencia anterior 20%		20
		<b>100 puntos lo que equivale a un 80%</b>

Criterio	Ponderación Máxima	Oferta 1
		<b>Universidad de Concepción</b>
OFERTA TÉCNICA	80	80
REQUISITOS FORMALES	5	5
OFERTA ECONÓMICA	15	15
TOTAL	100%	100%

Que, la propuesta Técnica, Económica y Requisitos Formales del proveedor: **UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, RUT: 81.494.400-K**, conforme al acta de evaluación, obtiene un 100% de la evaluación, son convenientes, por lo siguiente:

- Que su propuesta cumple con los requisitos establecidos en los Términos Técnicos de Referencia.
- Que su propuesta Económica se encuentra dentro de los márgenes sugeridos por el Instituto de Fomento Pesquero de acuerdo al presupuesto.
- Que los Requisitos Formales cumplen con todos los requerimientos requeridos.

**RESUELVO:**

Adjudíquese al proveedor **"UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, RUT: 81.494.400-K**, el servicio **"Evaluar el stock desovante de los recursos anchoveta y sardina común correspondiente al litoral de la V a la X Regiones"**, por un monto de \$285.000.000.- (doscientos ochenta y cinco millones de pesos) Exentos de Impuestos.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Procédase a la suscripción del contrato con el proveedor adjudicado de conformidad a lo establecido en las bases de licitación ID 1049-31-LR16.

Remítase copia de la presente Resolución a División de Investigación Pesquera, Departamento de Evaluación de Pesquerías, División de Administración y Finanzas, y Asesoría Jurídica, todos del Instituto de Fomento Pesquero.

ANÓTESE, COMUNÍQUESE, PUBLÍQUESE EN EL PORTAL DE MERCADO PÚBLICO Y ARCHÍVESE.





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

MINISTERIO DE ECONOMIA  
FOMENTO Y TURISMO

**SUBSECRETARIA DE PESCA Y ACUICULTURA**

PINV 194-2016 EVALUACIÓN STOCK

ANCHOVETA Y SARDINA

V-X REGIONES - SUBS. DE PESCA Y ACUICULTURA



AUTORIZA A LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN PARA  
REALIZAR PESCA DE INVESTIGACION QUE INDICA.

VALPARAISO, 16 AGO. 2016

R.EX. N° 2492

**VISTO:** Lo solicitado por la Universidad de Concepción remitido por la Dirección Zonal de Pesca y Acuicultura de la Región VIII del Bío Bío mediante C.I. SUBPESCA N° 9693 de 2016; lo informado por la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría en Memorándum Técnico (P.INV) N° 194/16, de fecha 08 de agosto de 2016; los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto denominado "*Evaluación del stock desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2016*", elaborados por el solicitante y aprobados por esta Subsecretaría; la Ley N° 19.880; la Ley General de Pesca y Acuicultura N° 18.892 y sus modificaciones posteriores cuyo texto refundido fue fijado por el D.S. N° 430 de 1991, lo dispuesto en el D.F.L. N° 5 de 1983, el D.S. N° 461 de 1995 y el Convenio de Desempeño suscrito entre la Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño y el Instituto de Fomento Pesquero, aprobado mediante Decreto Supremo N° 20 del 2016, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; los Decretos Exentos N° 943 de 2015, N° 346 y N° 530, ambos de 2016, todos del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; la Resolución Exenta N° 0158 de 2016, del Instituto de Fomento Pesquero; las Resoluciones Exentas N° 946 y N° 1183, ambas de 2014, N° 1972 de 2015, todas de esta Subsecretaría.

**CONSIDERANDO:**

Que la Universidad de Concepción ingresó una solicitud para desarrollar la pesca de investigación conforme los Términos Técnicos de Referencia denominado "*Evaluación del stock desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2016*".

Que mediante Memorándum Técnico (P.INV) N° 194/2016 citado en Visto, la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, informa que los objetivos y las actividades planteadas en la solicitud califican como pesca de investigación con carácter de pesca de prospección de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 2º N° 29 de la Ley General de Pesca y Acuicultura.

Que, en efecto los propósitos del estudio consisten en estimar las biomassas desovantes de los recursos y su distribución espacial a través del método de la Producción diaria de huevos (MPDH) en base al desarrollo de actividades coherentes con dichos objetivos y la metodología de estudio propuesta.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Que de acuerdo a lo anterior y de conformidad a lo dispuesto en los artículos 98 a 102 de la Ley General de Pesca y Acuicultura y en el D.S. N°S. N° 461 de 1995 del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, corresponde autorizar la pesca de investigación solicitada.

**R E S U E L V O:**

1.- Autorízase a la Universidad de Concepción, R.U.T. N° 81.494.400-K, domiciliada en calle Victor Lamas N° 1290, Concepción, para efectuar una pesca de investigación de prospección, de conformidad con los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto denominado "*Evaluación del stock desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2016*" elaborados por el solicitante y aprobados por esta Subsecretaría y el informe técnico citado en Visto, los cuales se consideran parte integrante de la presente resolución.

2.- El objetivo principal de la pesca de investigación que por la presente resolución se autoriza consiste en evaluar el stock desovante, mediante el método de producción diaria de huevos, de los recursos anchoveta y sardina común correspondientes al litoral entre la V y X Regiones.

3.- La pesca de investigación se efectuará en el área marítima comprendida entre la V y XIV Regiones, en el período comprendido entre la fecha de la presente Resolución y el 31 de octubre de 2016, ambas fechas inclusive.

4.- En la pesca de investigación que se autoriza, participarán, efectuando labores de muestreos de adultos, muestreos de huevos y larvas, en la Región que en cada caso se indica, las naves *Don Julián*, *Sebastian II* e *Isaac II*, inscritas en el Registro Pesquero Artesanal, secciones de pesquería de Anchoveta y Sardina común, podrán extraer en su conjunto una cuota máxima total de 5 toneladas de anchoveta *Engraulis ringens* y 5 toneladas de sardina común *Strangomera bentincki*:

Muestreos	Nº	Embarcación muestreo de adultos	RPA	Región a Monitorear
Embarcaciones muestreo de adultos	1	<i>Don Julián</i>	910367	VII-VIII
	2	<i>Sebastián II</i>	957821	VIII
	3	<i>Isaac II</i>	961132	IX y XIV
Embarcaciones muestreo de huevos y larvas	4	<i>Maria Elena II</i>	3888	V-VI
	6	<i>Gimar I</i>	923957	IX y XIV

Asimismo la nave *Kay-Kay II*, de propiedad de la Universidad de Concepción, Matrícula N° 5234, Capitanía de Puerto de Valdivia, destinada para fines de investigación, participará desarrollando actividades de muestreo de huevos y larvas en la VII y VIII Regiones.



5.- Las embarcaciones participantes no podrán efectuar lances de pesca comercial en el área de estudio, remitiéndose a efectuar muestreos biológicos de anchoveta y sardina común sólo con fines de investigación incluyendo la primera milla.

Por su parte las embarcaciones *Gimar I, María Elena II y Kay Kay II*, podrán realizar muestreos de huevos y larvas de los recursos Anchoveta y Sardina común, dando cumplimiento a lo siguiente:

a.- El servicio Nacional de Pesca y Acuicultura deberá certificar el zarpe y recalada de dichas embarcaciones.

b.- El mismo servicio procederá a sellar las bodegas y la red de cerco que porten dichas embarcaciones.

6.- Las capturas de los recursos antes indicados se imputarán a las fracciones reservadas con fines de investigación de la cuota global anual de Anchoveta y Sardina común V-X Regiones establecida mediante Decreto Exento N° 943 de 2015, modificado por el Decreto Exento N° 346 de 2016, ambos del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

7.- Los titulares de las naves autorizadas para operar en virtud de la presente pesca de investigación deberán cumplir con las siguientes obligaciones:

a) Realizar las labores de pesca de investigación con sujeción a los diseños operativos determinados en los Términos Técnicos de Referencia del proyecto.

b) Comunicar al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura los puertos, la fecha y la hora de zarpe y recalada de las naves participantes.

c) Informar y documentar las capturas efectivas y su destino conforme lo dispuesto en el artículo 63 de la Ley General de Pesca y Acuicultura y sus normas reglamentarias; y

d) En general dar cumplimiento a las obligaciones legales, reglamentarias y medidas de administración establecidas para la especie en estudio, con exclusión de aquellas expresamente exceptuadas mediante la presente pesca de investigación.

El incumplimiento de las obligaciones antes señaladas importará el término inmediato de la autorización otorgada a la nave infractora, sin que sea necesario formalizarlo.

8.- Para los efectos de la presente pesca de investigación, se exceptúa a las embarcaciones participantes del cumplimiento de la veda biológica reproductiva de los recursos Anchoveta y Sardina común, establecida mediante Decreto Exento N° 530 de 2016, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, y sus modificaciones posteriores.



9.- No le serán aplicables a las embarcaciones participantes las sanciones sobre descarte establecidas en la Ley General de Pesca y Acuicultura (LGPA), toda vez que den cumplimiento a las obligaciones establecidas en la Resoluciones Exentas N° 946 de 2014, N° 1972 de 2015 y N° 1183 de 2014, todas de la Subsecretaría que autorizaron la ejecución del programas de Investigación del Descarte para la pesquería de Anchoveta y Sardina común y su fauna acompañante en la VIII, IX y XIV Regiones respectivamente.

10.- Los resultados de la pesca de investigación deberán estar contenidos en el Informe Final de Resultados del proyecto "Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X regiones, año 2016", ejecutado por la Universidad de Concepción, desarrollado en el marco de Convenio aprobado mediante Decreto Supremo N° 20 de 2016, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

11.- Designase al Jefe de la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría como funcionario encargado de velar por el oportuno y debido cumplimiento de la obligación establecida en el numeral anterior.

12.- La Universidad designa como persona responsable de esta pesca de investigación, a su Rector, don Sergio Lavanchy Merino, R.U.T. N° 4.329.379-6, de su mismo domicilio.

13.- La presente resolución deberá publicarse en extracto en el Diario Oficial, por cuenta del interesado, dentro del plazo de 30 días hábiles contados desde su fecha.

14.- Esta autorización es intransferible y no podrá ser objeto de negociación alguna.

15.- La Universidad deberá dar cumplimiento a las obligaciones establecidas en los D.S. N° 430 de 1991 y N° 461 de 1995, ambos del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, sin perjuicio del cumplimiento de las obligaciones que se establecen en la presente Resolución. El incumplimiento hará incurrir al titular en el término inmediato de la pesca de investigación sin que sea necesario formalizarlo.

16.- La presente autorización es sin perjuicio de las que corresponda conferir a otras autoridades, de acuerdo a las disposiciones legales y reglamentarias vigentes o que se establezcan.

17.- La infracción a las disposiciones legales y reglamentarias sobre pesca de investigación, será sancionada con las penas y conforme al procedimiento establecido en la Ley General de Pesca y Acuicultura.

18.- El Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura deberá adoptar las medidas y efectuar los controles que sean necesarios para lograr un efectivo cumplimiento de las disposiciones de la presente resolución.

19.- La presente Resolución podrá ser impugnada por la interposición del recurso de reposición contemplado en el artículo 59 de la ley 19.880, ante esta misma Subsecretaría y dentro del plazo de 5 días hábiles contados desde la respectiva notificación, sin perjuicio de la aclaración del acto dispuesta en el artículo 62 del citado cuerpo legal, del recurso de revisión contemplado en el artículo 60 del mismo texto normativo y de las demás acciones y recursos que correspondan de acuerdo con la normativa vigente.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

20-. Transcribase copia de esta Resolución a la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, al Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura y a la División Jurídica de esta Subsecretaría.

**ANOTESE, NOTIFIQUESE POR CARTA CERTIFICADA Y PUBLIQUESE EN EXTRACTO EN EL DIARIO OFICIAL POR CUENTA DEL INTERESADO Y A TEXTO INTEGRAL EN EL SITIO DE DOMINIO ELECTRÓNICO DE LA SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA**





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



---

**INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO**

Sección Ediciones y Producción

Almte. Manuel Blanco Encalada 839

Fono 56-32-2151500

Valparaíso, Chile

[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)

---

A wide-angle photograph of a vast ocean meeting a dramatic sky at the horizon. The sky is filled with wispy, light-colored clouds against a deep blue background. A vibrant, multi-colored rainbow arches across the upper right portion of the image, transitioning from red to purple. The ocean's surface is a deep, dark blue, with subtle ripples and reflections of the sky.

[www.ifop.cl](http://www.ifop.cl)