



**INFORME FINAL**

Convenio de Desempeño 2015

Evaluación del stock desovante de anchoveta y  
sardina común entre la V y X Regiones, año 2015

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Septiembre 2016





## **INFORME FINAL**

Convenio de Desempeño 2015

Evaluación del stock desovante de anchoveta y  
sardina común entre la V y X Regiones, año 2015

SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Septiembre 2016

### **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  
**Claudio Bernal Larondo**

Investigador Responsable  
Departamento Oceanografía y Medio Ambiente  
**Vivian Valenzuela Cuevas**

### **ORGANISMO EJECUTOR**

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN – UDEC

Rector  
**Sergio Lavanchy Merino**

Decano Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas  
**Marcus Sobarzo Bustamante**

### **JEFE DE PROYECTO**

Luis Cubillos Santander





## SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT / Septiembre 2016

### **AUTORES**

Luis Cubillos Santander  
Leonardo Castro Cifuentes

### **SECCIÓN REPRODUCCIÓN Y BIOMASA DESOVANTE**

*Responsable*  
Luis Cubillos Santander

#### *Muestreo*

Germán Vásquez Vallejos  
Cristian Parra Venegas  
Roberto Torres Valenzuela  
René Riffó Canales

#### *Análisis*

Gabriel Claramunt Quiñones  
Gustavo Herrera Urzua  
Paola Moreno González  
María Cristina Pérez Cuesta  
Claudio Carrasco Vera  
Blanca Bustos Cid

### **SECCIÓN ICTIOPLANCTON E HIDROGRAFÍA**

*Responsable*  
Leonardo Castro Cifuentes

#### *Muestreos ictioplancton e hidrografía:*

Víctor Acuña Rivera  
Alejandro Ávila Santis  
Pamela Barrientos Cereceda  
Eduardo Escalona Castillo  
Elsa Fernández Herrera  
Daniel Pezo González  
Tania Ponce López  
Lenin San Martín Fariñas  
Samuel Soto Mendoza  
Germán Vásquez Valle  
Robinson Torres Salinas

*Separación de ictioplancton*  
Elsa Fernández Herrera

*Hidrografía y diagramación de Sección ictioplancton*  
Samuel Soto Mendoza





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

## PRESENTACIÓN

---

En el año 2015, 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 2015*, el que fue licitado en concurso público con fecha 17 de julio de 2015. 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.

Se presenta el Informe Final que incluye todas las actividades realizadas durante el desarrollo de este trabajo y los resultados obtenidos según la programación establecida en los Términos Técnicos de Referencia.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



## 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 (*Strangomera 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 – sur de Punta Galera (37°30'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 y estaciones separadas cada 4 millas náuticas. El crucero ictiolanctónico se realizó entre el 27 de septiembre y 25 de octubre de 2015 en los sectores centro y sur, y desde el 03 al 04 de noviembre de 2015 en el sector norte. El crucero de adultos se realizó en los estratos geográficos centro y sur entre el 26 de septiembre y el 11 de octubre de 2015. 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.

En el 2015, se observó que el número de estaciones con presencia de huevos de anchoveta y sardina común fue de 34,6 y 21,8%, respectivamente (n=376). La abundancia promedio de huevos de sardina común en las estaciones positivas de la zona centro fue de 66 huevos/0,05m<sup>2</sup>, y de 41,1 huevos/0,05m<sup>2</sup> en la zona sur. En el caso de la anchoveta, se registró una abundancia promedio de 47,9 huevos/0,05m<sup>2</sup> en la zona centro, mientras que en la zona sur fue de 28,6 huevos/0,05m<sup>2</sup>.

El crucero de adultos se caracterizó por una buena disponibilidad de sardina común en el área de estudio. En la VIII Región se obtuvieron 30 lances de pesca de sardina común, pero solamente 15 con anchoveta, capturándose ambas especies desde el norte de Dichato hasta Talcahuano, y sólo sardina común al interior del Golfo de Arauco. En tanto en la zona sur (IX-XIV Región) se realizaron 29 lances efectivos de pesca de sardina común, sin presencia de anchoveta.

La producción diaria de huevos por estrato geográfico indicó una mayor producción de huevos de sardina común en el sector centro con 757,7 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=14,4%) y una menor producción en el sector sur con 80,5 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=26,3%). La producción diaria de huevos de anchoveta fue también mayor en el sector centro, con 776,6 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=10,3%) y sólo 188,3 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=14,7%) para la zona sur.

La estructura de tallas mostró que el desove estuvo sustentado por ejemplares con longitud media de 14 cm en la zona centro, tanto de anchoveta como de sardina común. En el sector sur, en cambio se registraron ejemplares de sardina común con dos grupos de tamaño; uno con longitud modal de 9,5 cm y otro en los 13 cm. En la zona centro, el 100% de las hembras de anchoveta se encontraban



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

activas. En el caso de la sardina común, 99,4% de las hembras se encontraban activas en la zona centro, pero solamente 6,2% en la zona sur. En esta zona, 89,6% de las hembras fueron inmaduras y se descartaron de la estimación de los parámetros reproductivos.

Los parámetros reproductivos se presentaron dentro del rango observado en cruceros previos, y permitieron estimar la biomasa desovante de ambos recursos. El estimado estratificado de la biomasa desovante fue de 59886 toneladas de anchoveta (CV=14,6%) y 210694 toneladas de sardina común (CV=37,6%).



## II. ÍNDICE GENERAL

I	RESUMEN EJECUTIVO .....	iii
II	ÍNDICE GENERAL.....	v
III	ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS .....	vii
IV	ANTECEDENTES .....	1
V	OBJETIVOS .....	3
1	Objetivo general .....	3
2	Objetivos específicos .....	3
VI	METODOLOGÍA GENERAL .....	4
1	Actividades administrativas y operacionales.....	4
2	Área y periodo de estudio .....	4
3	Grilla de muestreo de huevos .....	5
3.1	Identificación de huevos y estadios .....	6
3.2	Muestreo estratificado de plancton con red Tucker.....	9
3.3	Muestreo oceanográfico.....	9
3.4	Determinación del área de crucero y de desove .....	10
3.5	Conteo, clasificación y asignación de edad .....	11
4	Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos.....	11
4.1	Producción diaria de huevos en el área de desove .....	13
5	Adultos .....	13
5.1	Muestreo a bordo y procedimientos en el laboratorio .....	14
5.2	Parámetros reproductivos de adultos.....	15
5.3	Fracción diaria de hembras desovantes .....	17
5.4	Peso promedio y proporción sexual .....	20
5.5	Fecundidad parcial .....	20
6.	Biomasa desovante .....	20
7	Profundidad de ubicación de los huevos.....	21
7.1	Antecedentes .....	21
7.2	Muestreo estratificado .....	22
7.3	Modelación de profundidad de ubicación de los huevos de anchoveta en terreno .....	23
8	Indice de abundancia de huevos .....	26
8.1	Relación huevo-recluta y huevo-biomasa desovante .....	27
VII	RESULTADOS.....	28
1	Distribución y abundancia de huevos.....	28
1.1	Estaciones con presencia de huevos .....	28
1.2	Abundancia de huevos.....	30
1.3	Distribución de huevos .....	31



1.4	Producción diaria de huevos.....	35
2	Parámetros reproductivos: Crucero de adultos .....	38
2.1	Lances de pesca .....	38
2.2	Composición por tallas .....	41
2.3	Estados de madurez y fracción diaria de hembras desovantes.....	43
2.4	Fecundidad .....	47
2.5	Peso promedio y proporción sexual .....	51
3	Biomasa desovante.....	51
4	Profundidad de ubicación de los huevos.....	52
4.1	Estaciones con presencia de huevos .....	52
4.2	Abundancia de huevos por estrato y perfiles de abundancia promedio .....	53
4.3	Relación abundancia - distribución de huevos con variables ambientales .....	53
4.4	Calculo de profundidad de los centroides y relación entre los centroides y las variables ambientales.....	56
4.5	Diagramación y análisis de la data histórica sobre la distribución vertical de huevos .....	57
5	Estimación de densidad de los huevos de anchoveta por edad de desarrollo .....	68
5.1	- Ajuste de la curva de calibración de las columnas experimentales para los diferentes meses de experimentación .....	68
5.2	- Densidad estimada de los huevos de anchoveta .....	68
5.3	Comparación de la distribución vertical de huevos de anchoveta <i>in situ</i> vs estimada .....	68
5.4	Transecta 29 (Frente a la costa de Dichato).....	68
5.5	Transecta 35 (Norte Golfo de Arauco) .....	69
5.6	Transecta 48 (Norte de la Isla Mocha) .....	70
5.7	Relación de la distribución vertical de huevos con variables ambientales .....	70
6.	Condiciones hidrográficas .....	76
6.1	Temperatura superficial del mar .....	76
7	Índice de abundancia de huevos .....	79
7.1	Relación huevo-recluta.....	81
<b>VIII</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>84</b>
<b>IX</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>89</b>
<b>X</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>90</b>

**ANEXOS:**

<b>Anexo I:</b> Determinación de edad .....	103
<b>Anexo II:</b> Bitácora administrativa y operativa del proyecto .....	107
<b>Anexo III:</b> Reporte de incidentes durante el crucero de evaluación en la zona centro.....	113
<b>Anexo IV:</b> Taller Difusión de Resultados .....	117
<b>Anexo V:</b> Base de Datos.	

(Incluida en Cd presentado al inicio del documento)



### III. ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

#### FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	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. ....	7
<b>Figura 2.</b>	Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de la producción diaria de huevos y mortalidad diaria de huevos.....	10
<b>Figura 3.</b>	Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de los parámetros reproductivos principales del MPDH.....	14
<b>Figura 4.</b>	Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total, entre los años 2002 - 2015. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie en el periodo 2002-2015.....	29
<b>Figura 5.</b>	Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las estaciones positivas por sector, serie histórica de evaluaciones por MPDH 2002-2014. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie en el periodo 2002-2014.....	31
<b>Figura 6.</b>	Distribución de huevos de anchoveta registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2013 (panel superior), 2014 (panel central) y 2015 (panel inferior).....	33
<b>Figura 7.</b>	Distribución de huevos de sardina común registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2013 (panel superior), 2014 (panel central) y 2015 (panel inferior).....	34
<b>Figura 8.</b>	Índice de dispersión-agregación de Lloyd por especie, zona, y cohorte diaria, 2015.....	35
<b>Figura 9.</b>	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.....	41
<b>Figura 10.</b>	Frecuencias de tallas de sardina común de la zona centro-sur de Chile.....	43



<b>Figura 11.</b>	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). ....	44
<b>Figura 12.</b>	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.....	46
<b>Figura 13.</b>	Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de anchoveta, año 2015.....	47
<b>Figura 14.</b>	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). ....	48
<b>Figura 15.</b>	Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de sardina común, año 2015.....	49
<b>Figura 16.</b>	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). ....	50
<b>Figura 17.</b>	Distribución vertical promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker). ....	61
<b>Figura 18.</b>	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker). ....	62
<b>Figura 19.</b>	Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker). ....	63
<b>Figura 20.</b>	Sobreposición de la profundidad de los centroides de huevos de anchoveta y sardina común sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker).....	64
<b>Figura 21.</b>	Sobreposición de la profundidad de los centroides de los grupo de desarrollo de huevos de anchoveta sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker). ....	65



<b>Figura 22.</b>	Sobreposición de la profundidad de los centroides de los grupo de desarrollo de huevos de sardina común sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker).....	66
<b>Figura 23.</b>	Distribución vertical promedio de huevos de anchoveta y sardina común frente a las costas de Dichato en los meses de marzo (2002) y septiembre-octubre (2010 y 2011) (Red Tucker).....	67
<b>Figura 24.</b>	Resultados de los experimentos de densidad de huevos de anchoveta realizados en agosto, octubre y noviembre 2011 (círculo negro: dato observado; círculo rojo: dato estimado).....	71
<b>Figura 25.</b>	Distribución vertical de huevos de anchoveta observada (barra negra: Observada (red Tucker)) y estimada (barra roja: Estimada (red Tucker); círculo azul: Estimada (red Calvet); triangulo azul: Promedio estimado (red Calvet)) frente a la costa de Dichato (Transecta 29). Los valores en paréntesis corresponden a la máxima abundancia (barra negra, barra roja y círculo azul) o abundancia promedio (triangulo azul) y profundidad.....	72
<b>Figura 26.</b>	Distribución vertical de huevos de anchoveta observada (barra negra: in situ (red Tucker)) y estimada (barra roja: Estimada (red Tucker); círculo azul: Estimada (red Calvet); triangulo azul: Promedio estimado (red Calvet)) al norte del Golfo de Arauco (Transecta 35). Los valores en paréntesis corresponden a la máxima abundancia (barra negra, barra roja y círculo azul) o abundancia promedio (triangulo azul) y profundidad.....	73
<b>Figura 27.</b>	Distribución vertical de huevos de anchoveta observada (barra roja: Estimada (red Tucker); círculo azul: Estimada (red Calvet); triangulo azul: Promedio estimado (red Calvet)) al norte de la Isla Mocha (Transecta 48). Los valores en paréntesis corresponden a la máxima abundancia (barra negra, barra roja y círculo azul) o abundancia promedio (triangulo azul) y profundidad.....	74
<b>Figura 28.</b>	Temperatura superficial del mar (°C) medida durante los cruceros de huevos, año 2010 al 2015 .....	78
<b>Figura 29.</b>	Índice de densidad de huevos de anchoveta (huevo/m <sup>2</sup> ) por años, según diferentes modelos para la estructura del error.....	80
<b>Figura 30.</b>	Relación huevo-recluta en sardina común, biomasa de recluta (izquierda) y número de reclutas (derecha) en el periodo 2002-2013.....	83
<b>Figura 31.</b>	Relación huevo-recluta en anchoveta, biomasa de recluta (izquierda) y número de reclutas (derecha) en el periodo 2002-2013 .....	83
<b>Figura 32.</b>	Periodo de muestreo en sectores centro y sur, 2010-2015. Periodo marcado del 2015 no incluye muestreo adicional posterior en sector norte de la VII región, ni el muestreo en la zona norte.....	84



<b>Figura 33.</b>	Proporción de folículos postovulatorios (FPO) encontrados en los cruceros del MPDH en la zona centro sur, en función del peso corporal medio del mismo año de anchoveta.....	87
<b>Figura 34.</b>	Proporción de folículos postovulatorios (FPO) encontrados en los cruceros del MPDH en la zona centro sur, en función del peso corporal medio del mismo año de sardina común.....	87
<b>Figura 35.</b>	Comparación de la biomasa desovante de sardina común y anchoveta evaluada con el método de la producción diaria de huevos, 2002-2015.....	88

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton en cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.....	4
<b>Tabla 2.</b>	Ubicación, número de estaciones y estratos muestreados con red Tucker Trawl, para determinar la distribución vertical del ictioplancton, en los sectores centro y sur.....	9
<b>Tabla 3.</b>	Embarcaciones utilizadas en los muestreos de adultos en cada sector, periodo de muestreo y número de lances por sector.....	14
<b>Tabla 4.</b>	Caracterización de los estadios ováricos de peces pelágicos, modificada para hembras de sardina común y anchoveta.....	16
<b>Tabla 5.</b>	Número de estaciones totales desarrolladas por sector en el 2015, 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.....	28
<b>Tabla 6.</b>	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.....	30
<b>Tabla 7.</b>	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> ). ....	36
<b>Tabla 8.</b>	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) y coeficiente de variación CV(P). Los números entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación de los estimados... 37

<b>Tabla 9.</b>	Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2015, sector centro. ....	39
<b>Tabla 10.</b>	Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2015, sector sur. ....	40
<b>Tabla 11.</b>	Composición por tallas de sardina común obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro-sur y sur de Chile, año 2015. ....	42
<b>Tabla 12.</b>	Composición por tallas de anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro de Chile, año 2015. ....	42
<b>Tabla 13.</b>	Número y porcentaje de hembras clasificadas por estadio de madurez ovárica, 2015.....	45
<b>Tabla 14.</b>	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.....	46
<b>Tabla 15.</b>	Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para anchoveta en cada año de aplicación del MPDH.....	47
<b>Tabla 16.</b>	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. ....	48
<b>Tabla 17.</b>	Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común, año 2009, 2010, 2011, 2013 y 2014. ....	50
<b>Tabla 18.</b>	Estimaciones de peso promedio de hembra madura por zona y área total, para sardina común año 2015. ....	51
<b>Tabla 19.</b>	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.....	52
<b>Tabla 20.</b>	Posiciones de las estaciones bio-geográficas (muestreo con red de plancton Tucker Trawl y CTD) realizadas en las zonas centro y sur del área de estudio. ....	54
<b>Tabla 21.</b>	Número de estaciones totales por estrato, estaciones con huevos de anchoveta y sardina común, y el porcentaje que representan las estaciones por estrato con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas en las a) transecta 29 (frente a Dichato), b) transecta 35 (norte de Golfo de Arauco) y c) Transecta 48 (norte de Isla Mocha).....	55
<b>Tabla 22.</b>	Número total de huevos de anchoveta, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones en cada estrato y	



considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos 100m <sup>-3</sup> ) y estrato, correspondiente a: a) transecta 29 (frente a Dichato), b) transecta 35 (norte de Golfo de Arauco) y c) Transecta 48 (norte de Isla Mocha).....	58
<b>Tabla 23.</b> Número total de huevos de sardina común, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones en cada estrato y considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos 100m <sup>-3</sup> ) y estrato, correspondiente a la transecta 29 (frente a Dichato), b) transecta 35 (norte de Golfo de Arauco) y c) Transecta 48 (norte de Isla Mocha).....	59
<b>Tabla 24.</b> Resultados de las comparaciones entre los grupos de desarrollo de huevos (Grupo I: estados 1 a 4 de Moser y Ahlstrom (1985); Grupo II: estados 5 a 7 de Moser y Ahlstrom (1985); Grupo III: estados 8 a 11 de Moser y Ahlstrom (1985)), especies (anchoveta y sardina común), y transecta (frente a Dichato (transecta 29), Norte Golfo Arauco (transecta 35), Norte Isla Mocha (transecta 48)) a través del test de Kruskal Wallis.....	60
<b>Tabla 25.</b> Resultados de las regresiones lineales para la calibración de los experimentos de densidad de huevos en los diferentes meses.....	75
<b>Tabla 26.</b> Resultados de las comparaciones de los diferentes experimentos de densidad de huevos a través del test de Kruskal Wallis (K-W). .....	75
<b>Tabla 27.</b> Resultados del ajuste entre la densidad del huevo y el tiempo de desarrollo de los diferentes experimentos (agosto, octubre y noviembre) a través de un modelo polinomial de cuarto orden. (ESR: Error estándar residual).....	75
<b>Tabla 28.</b> Valores de las variables oceanográficas obtenidas de la posición vertical (profundidad) del número promedio y máxima presencia de huevos de anchoveta... ..	76
<b>Tabla 29.</b> Desempeño estadístico de los modelos utilizados para estandarizar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (parámetros=16 coeficientes). .....	79
<b>Tabla 30.</b> Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG binomial negativo y enlace log. .....	80
<b>Tabla 31.</b> 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). .....	81
<b>Tabla 32.</b> Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de sardina común, zona centro-sur (2002-2013). .....	82
<b>Tabla 33.</b> Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de anchoveta, zona centro-sur (2002-2013).....	82



## 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, por 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 realizada. 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 producción de huevos realizada.

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), 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), y en septiembre-octubre de 2014 (MPH 2014).



## **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** Determinar la profundidad de ubicación de los huevos de anchoveta y sardina común.
- 2.7** Analizar 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 resume en el **Anexo II**, dando cuenta de los principales hitos que determinaron la postulación, evaluación, adjudicación y ejecución del estudio a la Universidad de Concepción. Después de la adjudicación, el 18 de agosto de 2016, se procedió a la gestión del permiso de pesca. De esta manera, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura autorizó a la Universidad de Concepción a realizar la pesca de investigación mediante Resolución Exenta N°2596 del 21 de septiembre de 2015, y sus modificaciones R.Ex.N°2754. En la resolución 2596 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 “Huracán I” 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 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 son indicados 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	Coordenadas	Período	Nº Estaciones
María Elena II	Norte	33°00' S – 34°00' S	03/11/2015 – 04/11/2015	14
		34°30' S – 34°40' S	27/09/2015	156
	Centro	35°55' S – 37°10' S	28/09/2015 – 02/10/2015	
Kay kay II	Centro	35°20'S – 35°50'S	11/11/2015 – 13/11/2015	
Huracán II	Sur	37°30' S – 41°20' S	19/10/2014 – 25/10/2015	206
Total				376



El muestreo del sector norte fue realizado con la embarcación artesanal María Elena II; el sector centro fue muestreado con la embarcación Gimar, y el sector sur fue muestreado con la embarcación Huracán II. Las tres embarcaciones habían desarrollado estos mismos cruceros en años anteriores.

Debido a que las resoluciones que autorizan el uso de las embarcaciones fueron comunicadas a fines de septiembre, todos los cruceros se iniciaron este año casi 3 semanas después, a diferencia del 2014, año en que se adelantó el muestreo en aproximadamente 2 semanas respecto a la serie histórica.

El crucero en los sectores centro, sur y norte se inició a fines de la cuarta semana de septiembre; tercera semana de octubre y primera semana de noviembre, respectivamente.

Los cruceros en la zona central y sur fueron realizados en dos etapas cada uno. La primera, del sector central, iniciado de norte a sur, con la embarcación GIMAR, tuvo que omitirse un área de la VII región (6 transectas), debido a problemas de fuerza mayor (**Anexo II**), lo que condujo a la realización de una segunda etapa, llevada a cabo la segunda semana de noviembre, por la embarcación científica KayKay II de la Universidad de Concepción. El crucero de la zona sur, se efectuó en dos etapas, debido a las condiciones climáticas y estado del mar.

### **3. Grilla de muestreo de huevos**

El área completa de estudio fue muestreada utilizando una grilla de 376 estaciones (2 estaciones más que el 2014), dispuestas en transectas perpendiculares a la costa. El límite occidental de las transectas, y por lo tanto su extensión, varió latitudinalmente a lo largo del área de estudio, dependiendo de la ubicación del quiebre de la plataforma continental (200 m), desde la cual se realizaron 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°00'S y terminando en los 34°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 2015 son las mismas utilizadas históricamente en el MPDH (excepto el 2011 en que no se muestreó la zona norte).
- 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. Se planificó 197 estaciones, incluyendo 10 estaciones adicionales ubicadas en el sector oeste de Isla Santa María. Del total planificado, sin embargo, y por las razones de seguridad en la VII Región (**Anexo II**), se muestreó solamente un total de 156 estaciones. Este número es, sin embargo, mayor al número de estaciones muestreadas en esta zona el 2013 (149 estaciones). El sector no muestreado (transectas del norte de la VII región) históricamente no ha presentado abundancias significativas de huevos.

- 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 206 estaciones planctónicas (5 estaciones menos que el año 2014). Este plan de muestreo incluyó una transecta adicional de 3 estaciones ubicada al sur de punta Lavapié.

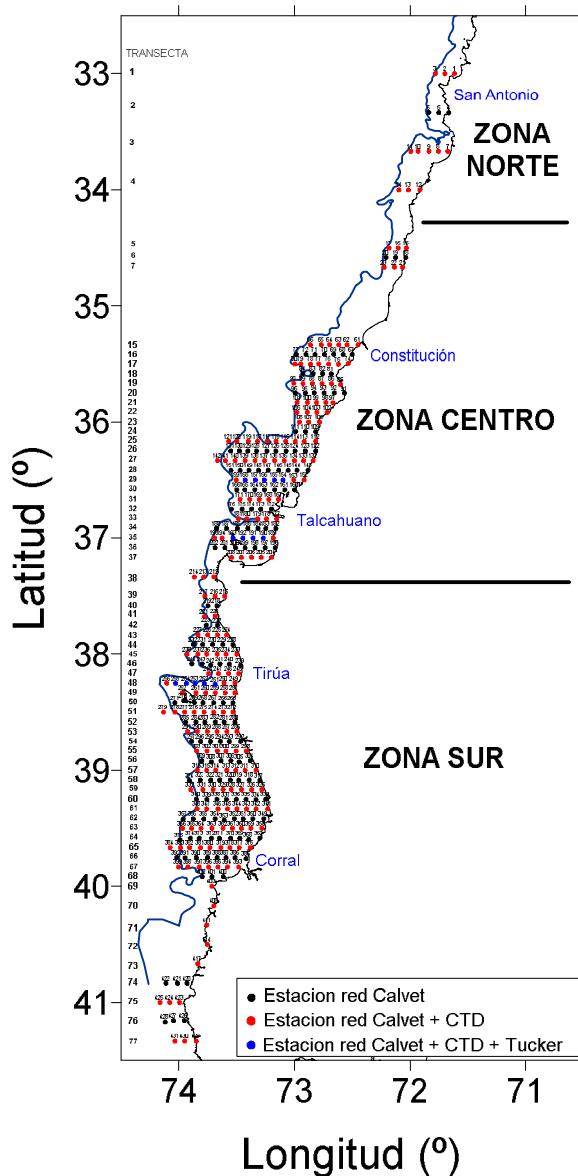
La colecta de huevos de anchoveta y sardina común en cada estación consistió en un arrastre vertical desde una profundidad máxima de 70 m, mientras que en aguas someras se realizó considerando un máximo de 5 m sobre el fondo. En el muestreo se utilizó una red PAIROVET, consistente en dos redes CALVET (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, siendo huevos y larvas de anchoveta y sardina común identificados, separados y cuantificados 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 utilizó los criterios establecidos por Sepúlveda *et 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:



**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.



**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.



### 3.2 Muestreo estratificado de plancton con red Tucker

Además del muestreo de la grilla regular 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 se realizó con una red Tucker Trawl (50x50 cm de área de boca, 300 um trama, con flujómetro digital), para los estratos: 10-0m, 20-10m, 30-20m, 40-30m, 50-40m, 60-50m y 70-60m. Dos transectas fueron muestreadas en sectores que históricamente han presentado 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.

<b>Red Tucker Trawl</b>						
Sector	Transecta	Nº estaciones muestreadas	Nº estratos muestreados			
	Nº		<u>Estación</u>			
			1	2	3	4
Centro	29	5	7	7	7	7
	35	4	4	6	6	4
Sur	48	5	5	7	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 del 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.

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 involucran a un conjunto de métodos y criterios que se describen a continuación.



**Figura 2.** Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de la producción diaria de huevos y mortalidad diaria de huevos.

### 3.4 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  $m^2$  por día, así 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, consideró 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 fue 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  $km^2$ , 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).

### 3.5 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 m<sup>2</sup>, 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 se estimó que 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. 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 m<sup>2</sup> por día),  $P_0$  es la producción diaria de huevos por 0,05 m<sup>2</sup> 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 realizó con un modelo lineal generalizado (MLG), según:

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

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

En el procedimiento de ajuste del MLG se utilizó la distribución binomial negativa con enlace logaritmo natural, que resulta ser adecuada para el caso de la variación de la densidad de huevos con la edad (Bernal *et al.* 2001). La distribución binomial negativa tiene un parámetro extra (de dispersión), el cual se estimó 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 un MLG ponderado por un índice de agregación. Este enfoque se basa en McGurk (1986, 1987), quien sostiene que la agregación espacial explica significativamente la mortalidad natural diaria de organismos pelágicos marinos, particularmente la mortalidad de los huevos de peces pelágicos y larvas en etapa temprana. Para ello se calculó el índice de agregación de Lloyd para cada cohorte diaria de huevos sobre, i.e.,

$$w_i = 1 + (\sigma_i^2 \mu_i^{-1} - 1) \mu_i^{-1} \quad (3)$$

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

Por último, se estimó los parámetros  $\log(P_0)$  y  $Z$  con un tercer MLG que utilizó la familia binomial negativa y enlace log a la datación con el modelo multinomial (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 fue obtenida directamente del error estándar de la pendiente del MLG. Se utilizó la biblioteca MASS (Venables y Ripley 2002), escrita para el lenguaje y software R (R Core Team 2014).

#### 4.1 Producción diaria de huevos en el área de desove

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

En el Método de la Producción Diaria de Huevos, la secuencia de actividades involucradas con la campaña de adultos se resume en la **Figura 3**. Cada una de estas actividades involucra metodologías y criterios que se describen a continuación.

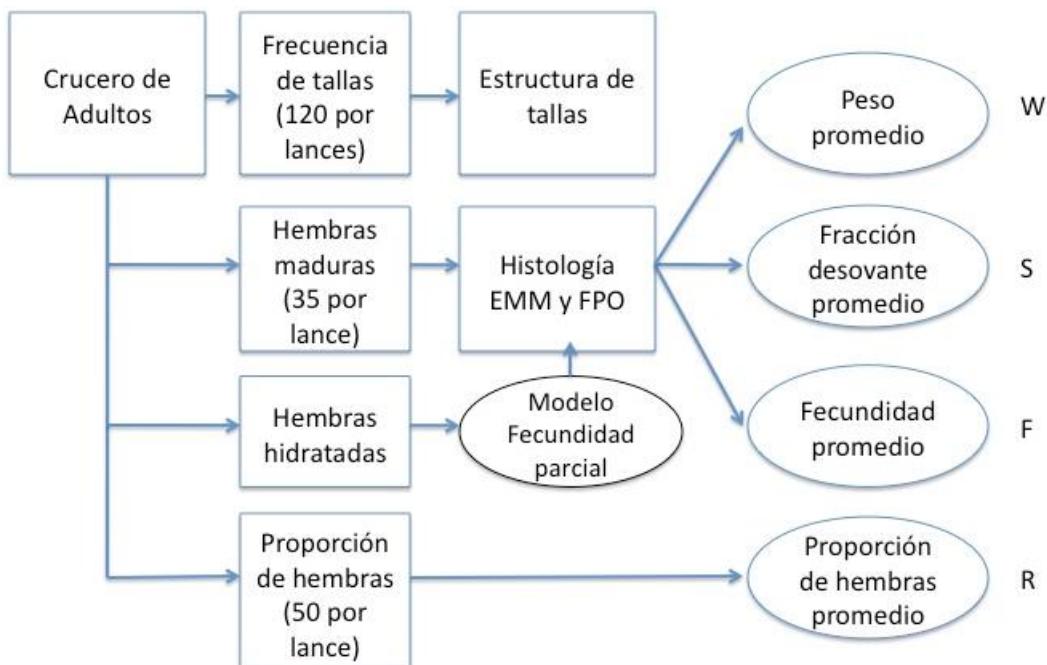


Figura 3. Esquema de la secuencia de actividades involucradas en la estimación de los parámetros reproductivos principales del MPDH.

### 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	06 Oct - 08 Oct	15
Sebastián II	Centro	VIII Sur	01 Oct - 03 Oct	15
Noemí Simoney	Sur	IX Región	26 Sep - 11 Oct	32



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.

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).

## 5.2 Parámetros reproductivos de adultos

Los parámetros de la población adulta fueron calculados por el estimador de razón dado por Picquelle y Stauffer (1985), es decir,

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



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

ESTADIO OVÁRICO	CITOLOGIA E HISTOMORFOLOGIA OVÁRICA
Estadio I: Virginal	Ovario con numerosos nidos ovogonales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo intersticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos.
Estadio II: Inmaduro (reincidente)	Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas células foliculares. Vesícula germinativa grande y de posición central, con prominentes nucléolos esféricos, próximos a la membrana nuclear. El citoplasma es escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos previtelogénicos tardíos se observan pequeñas vesículas periféricas.
Estadio III: Parcialmente vitelado	Predominio de ovocitos en estado temprano de 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.



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.,

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

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

### 5.3 Fracción diaria de hembras desovantes

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 tuvo un desove reciente, la noche anterior o dos noches antes de la captura (Cubillos *et al.* 2005), lo que permite estimar con mayor precisión la 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 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.

#### 5.5 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:

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

donde  $F_{ij}$  es la fecundidad estimada de la hembra  $j$  en el lance de pesca  $i$ , calculado de la ecuación (11).

### 6. 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):

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



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):

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

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:

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

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

### 7.1 Antecedentes

La distribución vertical de huevos y estadios de desarrollo temprano son un factor importante dentro de la historia de los peces e invertebrados acuáticos por cuanto ésta puede modificar sus posibilidades de sobrevivencia en el medio. La ubicación de estos estadios en determinados estratos de la columna de agua puede significar transporte o retención en un área geográfica si los estratos se mueven en direcciones contrastantes (Castro *et al.* 2011; Montecinos *et al.* 2012; Soto-Mendoza



*et al.* 2010; Contreras *et al.* 2014); puede afectar las tasas de mortalidad si en ciertos estratos se presentan predadores o características físico químicas limitantes, tales como bajas concentraciones de oxígeno o alta radiación ultravioleta (Pavez *et al.* 2006; Vásquez *et al.* 2015); o pueden afectar las tasas metabólicas, de desarrollo y crecimiento dependiendo de características ambientales tales como temperatura o presencia de alimento adecuado para la nutrición larval (Contreras *et al.* 2014).

El conocimiento de las profundidades a las que se encuentran estos estadios tempranos en la columna de agua es importante pero, sin embargo, un aspecto poco desarrollado en la mayoría de las especies de peces por cuanto las distribuciones en la vertical no son constantes en el medio, sino que pueden variar marcadamente, producto de condiciones locales, así como de acuerdo al desarrollo de los organismos. Adicionalmente, existen también limitaciones importantes que son impuestas por los métodos de muestreo convencional en el mar, ya que normalmente están más enfocados en obtener estimaciones de la variabilidad espacial de los organismos en la dimensión horizontal que en la vertical. A estos aspectos limitantes, hay que agregar que las variaciones en las características hidrográficas que pueden afectar la distribución del plancton, tienden a variar más marcadamente y en menores distancias en la vertical que en la horizontal.

La serie de aspectos antes señalados conllevan a que muchas veces no se pueda generalizar, sobre la distribución vertical de los estadios de desarrollo temprano en peces, y consecuentemente, se necesite muestrear en más de un área geográfica, para poder obtener una aproximación más realista de la distribución vertical en áreas extensas. Si a estas condiciones se agregan posibles cambios en la hidrografía como consecuencia de la influencia de aguas de distinta salinidad por ejemplo, por aportes de aguas dulce en la cercanía de desembocadura de ríos, la necesidad de muestrear en zonas geográficas de características contrastantes se hace aún más evidente, especialmente en zonas costeras (Soto-Mendoza *et al.* 2010).

## 7.2 Muestreo estratificado

Se propuso focalizar los esfuerzos de muestreo en tres zonas de conocida alta abundancia de huevos de las dos especies objetivo y que presentan características hidrográficas contrastantes. De norte a sur estas zonas son: zona costera al norte de bahía Concepción (zona de marcada influencia de procesos de surgencia; Transecta 29), frente al Golfo de Arauco (Transecta 35), y zona costera entre Corral e Isla Mocha (zona con mayor influencia de aguas dulce proveniente de ríos en sector de Corral). Por motivos climáticos y de estado del mar esta última transecta fue movida al sector norte de Isla Mocha (Transecta 48).

En cada una de estas zonas se llevaron a cabo muestreos estratificados oblicuos de plancton con una red tipo Tucker Trawl (área de boca 0.5x0.5 m; 300 um trama, con flujómetro), a lo largo de una transecta de 5 estaciones bio-oceanográficas desde la costa hasta el quiebre de la plataforma continental. Los estratos muestreados con la red Tucker Trawl fueron: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60 y 60-70 m de profundidad. La información previa existente en el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval, sobre distribución vertical de huevos de las especies



objetivo, señala que las mayores abundancias de huevos han ocurrido entre los 30 y 50m de profundidad, al menos en la zona costera de la VIII región. Las muestras de plancton fueron fijadas a bordo, en formalina al 10% y almacenadas para el posterior análisis en laboratorio. En cada estación de muestreo, adicionalmente, se obtuvo perfiles hidrográficos con CTD (Seabird 19Plus V2 y Seabird 25) equipados con sensores para oxígeno disuelto y fluorescencia, hasta una profundidad de 100m. 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, siendo los huevos de anchoveta y sardina común identificados, separados y cuantificados bajo lupa estereoscópica. Los huevos de ambas especies fueron clasificados de acuerdo a su estado de desarrollo, según las características descritas por Moser y Ahlstrom (1985), Santander *et al.* (1984), y Herrera *et al.* (1987).

Para la determinación de la distribución vertical de los huevos de ambas especies se desarrollaron diversos métodos: 1) se diagramaron perfiles con las abundancias promedio por estrato de los huevos de las 2 especies objetivo en las 3 zonas de altas abundancias de huevos. Paralelamente, 2) se diagramaron secciones verticales de características hidrográficas (temperatura, salinidad, densidad, oxígeno disuelto) (ODV, versión 4.6.4), sobreponiendo las abundancias de huevos (abundancias escaladas en círculos de distinto tamaño) (Surfer v.10.0) de las especies objetivo, a lo largo de las transectas. Finalmente, 3) se determinó la profundidad de los centroides de los huevos de cada especie (todos los estadios en conjunto y cada estadio por separado) en cada estación a lo largo de las transectas, representándose también sobre las secciones de características hidrográficas.

Paralelamente, mediante tests no paramétricos (Kruskal-Wallis) se determinó si hubo diferencias: i) en las profundidades de los centroides entre estadios de desarrollo de huevos de una misma especie, ii) en las profundidades de los centroides entre las 2 especies objetivo (todos los estadios de cada especie en conjunto) y, iii) en las profundidades de los centroides de cada especie entre las transectas ubicada en distintas zonas.

Finalmente, se comparó las distribuciones verticales obtenidas en este crucero con registros previos de distribuciones de huevos de ambas especies en la zona central de Chile, obtenidos de los distintos proyectos de investigación (FONDECYT).

### 7.3 Modelación de profundidad de ubicación de los huevos de anchoveta en terreno

La densidad de los huevos de peces afecta directamente su flotabilidad, los cuales se clasifican de acuerdo a su boyantez, en huevos demersales (flotabilidad reducida o nula) y huevos pelágicos (flotabilidad positiva) (Cerda, 2002; Fuiman & Werner, 2002; Ospina-Álvarez, 2012). Las variaciones en densidad se pueden asociar, entre otros factores, al contenido de agua que presenten y al grosor de corion. Estas características biológicas y un conjunto de interacciones entre propiedades físicas del agua de mar (e.g., densidad, viscosidad, turbulencia y estructura hidrográfica vertical)



determinarían su distribución vertical y sobrevivencia (Petitgas *et al.*, 2006; Goarant *et al.*, 2007; Ospina-Álvarez *et al.*, 2012).

La flotabilidad se puede medir experimentalmente usando una columna de gradiente de densidad (Coombs, 1981; Coombs *et al.*, 1985) o puede ser derivada a partir de la velocidad de ascenso observada en los huevos en columnas homogéneas (Zeldis *et al.*, 1995; Cambalik *et al.*, 1998). Por otro lado, en el ambiente varios modelos han sido utilizados para describir la distribución vertical de los huevos de peces pelágicos (Sundby, 1983; Page *et al.*, 1989; Westgard, 1989; Cambalik *et al.*, 1998; Boyra *et al.*, 2003; Curtis *et al.*, 2007; Ospina-Álvarez, *et al.* 2013; Sundby & Kristiansen, 2015).

En la costa de la VIII región de Chile, Espinoza (2010) determinó que la densidad de los huevos de anchoveta presenta variaciones significativas, con un mayor incremento de la densidad ( $1024 \text{ g/cm}^3$  a  $1027 \text{ g/cm}^3$ ) en el último periodo de desarrollo (antes de eclosionar). Esta variaciones, junto con la profundidad del desove y el transporte diferencial de las zonas de desove, afectarían la distribución vertical de los huevos y más tarde, la posición de las larvas con saco vitelino (Soto, 2009; Soto-Mendoza *et al.*, 2012).

Contar con información sobre las variaciones en la densidad de huevos de peces durante su desarrollo en los meses de actividad reproductiva es relevante desde el punto de vista ecológico, ya que permitiría asociar cambios de densidad de huevos a los cambios de densidad de agua de mar, de este modo predecir los efectos que éstas últimas tendrían en la distribución vertical de los huevos. En el presente estudio se desarrolló un modelo de distribución vertical para los huevos de anchoveta en la zona central de Chile, el cual se comparó con las observaciones de campo.

### 7.3.1 Estimación de densidad de los huevos de anchoveta por edad de desarrollo

Para estimar la densidad de los huevos en las distintas etapas del desarrollo se utilizó la información generada en experimentos de boyantez de huevos de anchoveta, llevados a cabo durante agosto, octubre y noviembre de 2011 frente a bahía Coliumo ( $36.5^\circ\text{S}$ ). Con el objetivo de desarrollar experimentos de boyantez, se construyó un sistema de columnas de gradientes de densidad elaborados en base a un gradiente de salinidad entre 30 a 37 psu, y mantenidas en una incubadora a  $12^\circ\text{C}$  (columnas de gradiente de densidad de Coombs, 1981). Para la calibración de las columnas se utilizaron cuatro flotadores de vidrio (Martin Instrument Co) de densidades conocidas, cuyos valores oscilan entre  $1.0205 \text{ g/cm}^3$  a  $1.0277 \text{ g/cm}^3$ .

Para determinar la densidad del huevo a distintos tiempos durante su desarrollo, se midió la posición a la cual queda sumergido dentro de la columna, al mismo tiempo en el cual se obtienen las medidas de los flotadores de vidrio. Con esta información se calculó la densidad a través de una regresión lineal:

$$y = a + bx \quad (17)$$



Donde  $\gamma$  es la densidad del flotador de vidrio ( $\text{g/cm}^3$ ),  $x$  la altura de la columna (cm) y  $a$  y  $b$  son parámetros.

Posteriormente, a los huevos se aplicó el modelo de asignación de edad (Lo, 1987) ajustado para la zona centro-sur de Chile (Claramunt et al., 2007):

$$E_{i,T} = 9.214 \times \exp(-0.117 + 0.170(i)) \times t^{2.331} \quad (18)$$

Este modelo incluye 11 estados de desarrollo donde,  $E_{i,T}$ , es la edad de huevos de anchoveta del estadio  $i$  a una temperatura  $T$ . La ecuación describe el desarrollo en función de la combinación entre la temperatura y estado.

Finalmente se aplicó un modelo polinomial con el fin de obtener la densidad de los huevos en función a la edad:

$$D_E = a_0 + a_1 E + a_2 E^2 + \dots + a_n E^n \quad (19)$$

Donde  $D_E$  es la densidad del huevo a una determinada edad ( $E$ ) y  $a_0, a_1, a_2$ , y  $a_n$  son parámetros del modelo.

### 7.3.2 Profundidad de los huevos de anchoveta en terreno

La metodología utilizada para obtener la profundidad del promedio y máxima abundancia de huevos de anchoveta en función a su densidad se resume de la siguiente manera:

Se realizó un muestreo estratificado de plancton (10-0; 20-10; 30-20; 40-30; 50-40; 60-50; 70-60m) con una red Tucker Trawl (300 um; 0,25 m<sup>2</sup> área de boca) acompañado de un muestreo de la columna de agua integrada (0-70 m con red Calvet (150 um trama) en 3 transectas de la grilla de muestreo del crucero MPDH 2015 (transectas 29, 35 y 48).

Desde cada muestra, se identificó y separó los huevos de anchoveta y luego se realizó una estimación de la edad de los mismos (ecuación 2).

Posteriormente, se aplicó el modelo de densidad (ecuación 3) a los datos de edad de los huevos de anchoveta obtenidos en las muestras.

Los valores de densidad de cada huevo obtenido por el modelo polinomial se relacionaron con el perfil oceanográfico (estación de muestreo), con el fin de estimar la profundidad donde se distribuyen los huevos basados en su densidad.



Basado en esa data, se llevó a cabo la construcción de perfiles de abundancia de huevos de anchoveta para cada estación. A partir de esos perfiles de abundancia se determinó la profundidad de máxima abundancia y la profundidad a la cual se ubicarían los huevos con un valor de densidad correspondiente al promedio de todos los huevos de esa estación.

A partir de esta información, se obtuvo los valores de las variables oceanográficas (medidas en terreno) de la profundidad del promedio de densidad y de máxima abundancia de huevos de anchoveta.

Los experimentos de boyantes de los diferentes meses se contrastaron a través del test de Kruskal Wallis (K-W), con el fin de explorar potenciales diferencias de flotabilidad. Los ajustes y comparaciones se realizaron en el programa R (versión 2.15).

## 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 de Chile, se puede tomar ventaja del muestreo estratificado del desove. En efecto, en el sector sur ocurre una zona de desove recurrente entre los 38°30'S y 39°30'S, y que se extiende hasta el veril de los 100 m. En esta zona de desove la producción de huevos se ha medido con mayor precisión que en el estrato central (34°20'S-37°00'S), comprendido entre Constitución y el Golfo de Arauco, donde el desove se expresa con una variabilidad interanual alta.

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:

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

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,  $\alpha_i$  representan los coeficientes asociados a los años como desviaciones de  $\mu$ ,  $\beta_j$  representan los coeficientes asociados a los estratos geográficos, y  $\gamma_k$  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 contendrá un predictor lineal que ayudará a identificar los cambios temporales en la densidad de huevos de anchoveta y sardina común. El modelo fue esencialmente el mismo y sólo varió 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 Relación huevo-recluta y huevo-biomasa desovante

Con el objeto de buscar indicadores del reclutamiento a partir del índice de abundancia de huevos se estableció la relación funcional entre el reclutamiento y la densidad/abundancia de huevos, utilizando regresión lineal. Se obtuvo series de tiempo de biomasa y abundancia de sardina común y anchoveta evaluada acústicamente durante enero de cada año por IFOP.



## VII. RESULTADOS

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

#### 1.1 Estaciones con presencia de huevos

Del total de 376 estaciones de la grilla regular del 2015 en que se realizó muestreo con red Pairovet, 130 estaciones presentaron huevos de anchoveta, lo que representa un 34,6% del total de estaciones, y 80 estaciones presentaron huevos de sardina común que corresponden a un 21,3% del total de estaciones (**Tabla 5**). Comparado con el 2014, ocurrió un aumento de un 6,3% de estaciones positivas con huevos de anchoveta y un porcentaje similar de estaciones positivas con huevos de sardina común (21,3% y 21,9%, el 2015 y 2014 respectivamente).

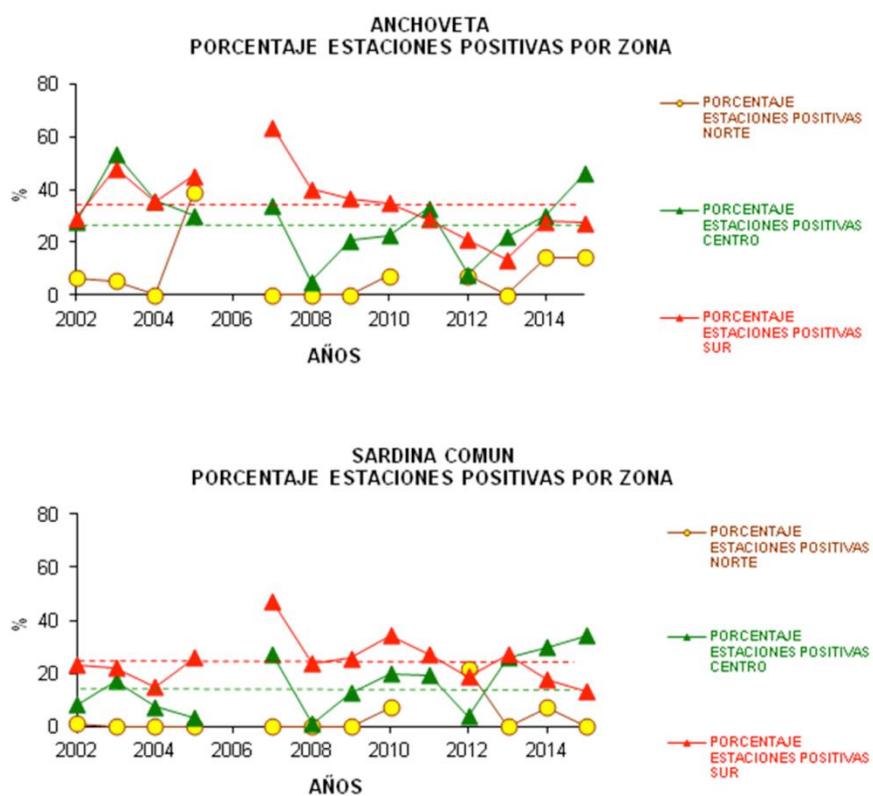
El número de estaciones positivas con huevos de anchoveta en el sector norte estuvo en el rango histórico (2 estaciones positivas; 0-3 estaciones entre 2002-2015). El número de estaciones positivas en el sector central (72) este año fue mayor que en el sector sur (56) siendo la proporción de estaciones positivas del total en el sector central (46,2%) mayor que en el sector sur (27,2%) (Tabla 3). Comparando con el 2014, en el 2015 aumentó notoriamente la proporción de estaciones positivas en la zona central (de 30,2% a 46,2) y se mantuvo en la zona sur (de 28% vs 27%, el 2014 y 2015, respectivamente).

No hubo huevos de sardina común en el sector norte. En el sector central hubo 53 estaciones positivas y 27 en el sector sur, correspondiendo a porcentajes de 34,0% y 13,1% de estaciones positivas de las zonas centro y sur, respectivamente (**Tabla 5**). Respecto del 2014, en el 2015 habría habido un aumento de estaciones positivas en los sectores central (de 29,5% el 2014 a 34,0% el 2015) y una disminución en el sector sur (de 17,5% a 13,1%, desde el 2014 al 2015, respectivamente).

**Tabla 5.** Número de estaciones totales desarrolladas por sector en el 2015, 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	0	0
Centro	156	72	46,2	53	34,0
Sur	206	56	27,2	27	13,1
Total	376	130	34,6	82	21,8

La serie de tiempo desde el 2002 muestra que i) en las zonas norte y sur los porcentaje de estaciones con huevos de anchoveta el 2015 se mantuvieron relativamente semejantes al año anterior, ii) que en la zona central el aumento en estaciones positivas (46,2%) habría sobrepasado largamente el promedio histórico de proporción de estaciones positivas (28,3%) siendo el 2015 el tercer año consecutivo en que aumentó el número de estaciones positivas y, iii) el porcentaje de estaciones positivas de huevos de anchoveta en la zona sur, se mantendría por quinto año consecutivo nuevamente inferior (27%) al promedio de la serie (34,7%) cuyo máximo se alcanzó el año 2007 (**Figura 4**).



**Figura 4.** Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total, entre los años 2002 - 2015. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie en el periodo 2002-2015.

Los porcentajes de estaciones positivas de huevos de sardina común disminuyeron en los sectores norte y sur. En el sector sur, por segundo año consecutivo había disminuido el porcentaje de estaciones positivas (13,1%), siendo los valores del 2015 inferiores al promedio histórico (24,6%) de la serie 2002-2015. En la zona central, por el contrario, el porcentaje de estaciones positivas aumentó (34%) nuevamente durante el 2015 (tercer año consecutivo de aumento) y sobrepasando el promedio histórico (16%) de porcentaje de estaciones positivas (**Figura 4**).



## 1.2 Abundancia de huevos

Un total de 5057 huevos de anchoveta y 4610 huevos de sardina común fueron colectados en el área completa de estudio este año 2015, aumentando en ambas especies desde un total de 2728 de anchoveta el 2014 (aumento a casi el doble) y desde 3535 a 4610 huevos de sardina común el año 2015. Ambas especies, de este modo, presentaron un mayor número de huevos en el sector central, lo difiere con los patrones de ambas especies que se daban hasta hace un par de años atrás (**Tabla 6**).

La abundancia promedio de huevos de anchoveta por estación (**Tabla 6**) fue menor en el sector norte (2,5 huevos/0,05m<sup>2</sup>) pero similar entre los sectores centro y sur (27,2 y 25,4 huevos/0,05m<sup>2</sup>). Las abundancias máximas por estación en las estaciones positivas siguieron el patrón histórico aumentando de norte a sur. Considerando la serie completa 2002-2014 (**Figura 5**), el promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas de la zona central en el 2014 (27,2 huevos/0,05m<sup>2</sup>) sería cercano al promedio histórico (25,8 huevos/0,05m<sup>2</sup>), mientras que en la zona sur (25,4 huevos/0,05m<sup>2</sup>) seguiría bajo el promedio histórico (50,0 huevos/0,05m<sup>2</sup>) en esa zona.

**Tabla 6.** 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 Suma Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	32	2,3	8,27	16,0	21,21	31
Centro	3449	22	70,84	47,9	98,50	712
Sur	1576	7,7	26,35	28,6	44,72	190

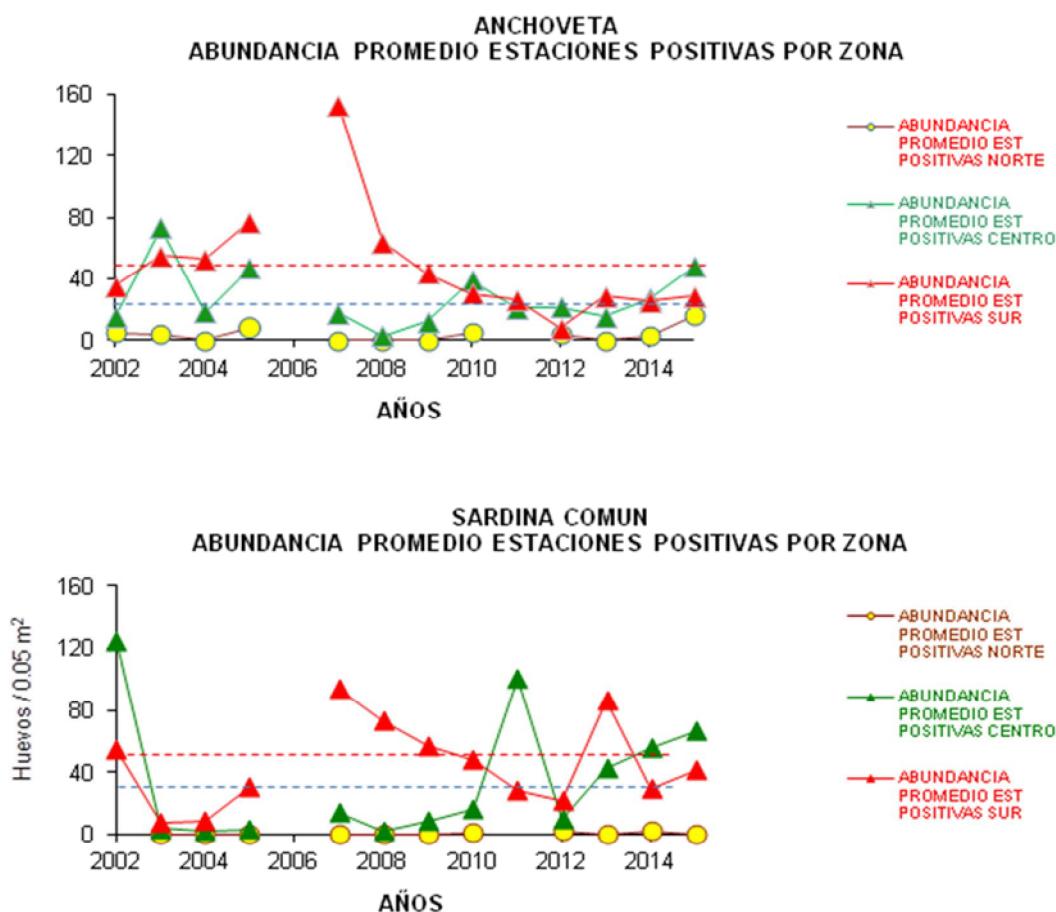
SARDINA COMÚN						
	Promedio Suma Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
Norte	0	0	-	0	-	-
Centro	3499	22,0	91,96	66,0	149,25	679
Sur	1111	5,4	55,09	41,1	149,66	771

La abundancia promedio de huevos de sardina común del 2014 en las estaciones positivas de la zona central (55,6 huevos/0,05m<sup>2</sup>) (**Tabla 6**) aumentó por segundo año consecutivo desde el 2012, mostrando valores sobre las abundancias promedios de la serie histórica 2002 - 2014 (promedios históricos zona central =31,6 h/0,05m<sup>2</sup>) mientras que la abundancia promedio en la zona sur (29,4

$h/0,05m^2$ ) (Figura 5) disminuyó drásticamente respecto el 2013 (86,0 huevos/ $0,05m^2$ ), ubicándose bajo el promedio histórico (44,8 huevos/ $0,05m^2$  en la zona sur).

### 1.3. Distribución de huevos

En el sector norte, los huevos de anchoveta fueron colectados solo en dos estaciones costeras, siendo las mismas donde se encontraron huevos de esta especie el año 2014. Huevos de sardina común no se observaron en el sector norte.



**Figura 5.** Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las estaciones positivas por sector, serie histórica de evaluaciones por MPDH 2002-2014. Las líneas punteadas corresponden a los promedios de estaciones positivas de cada especie en el periodo 2002-2014.

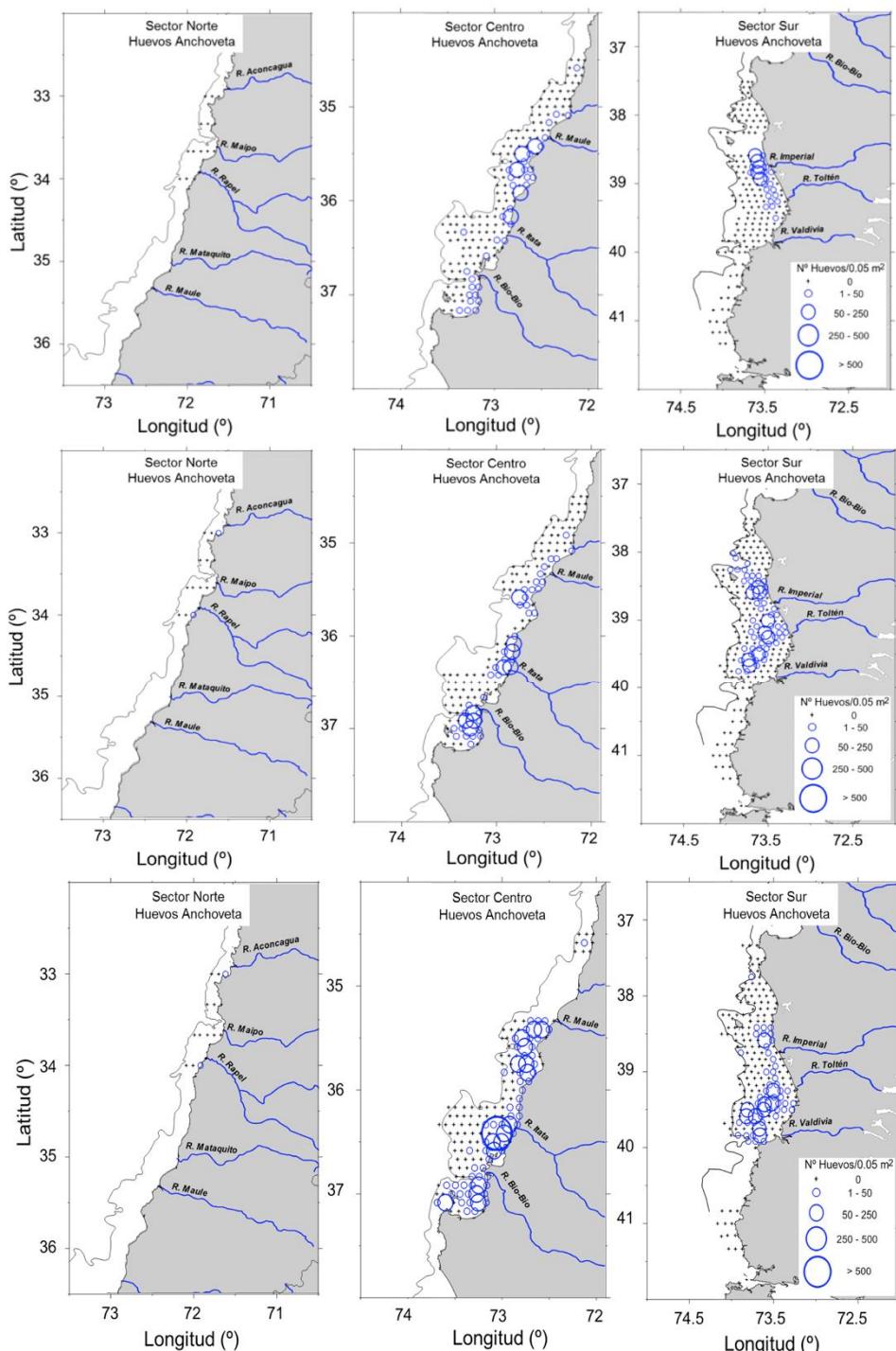


Los huevos de anchoveta en el sector central (**Figura 6**) ocurrieron a lo largo de toda la franja costera y más abundantemente frente a punta Nugurne (35°30'S), frente y al norte de la desembocadura del río Itata y en el Golfo de Arauco, siendo en las dos primeras zonas mencionadas las más altas abundancias. Comparado con los dos años anteriores, se observó el año 2015 un notorio aumento en las abundancias, particularmente en las zonas punta Nugurne e Itata, y el mantenimiento del patrón de desove costero.

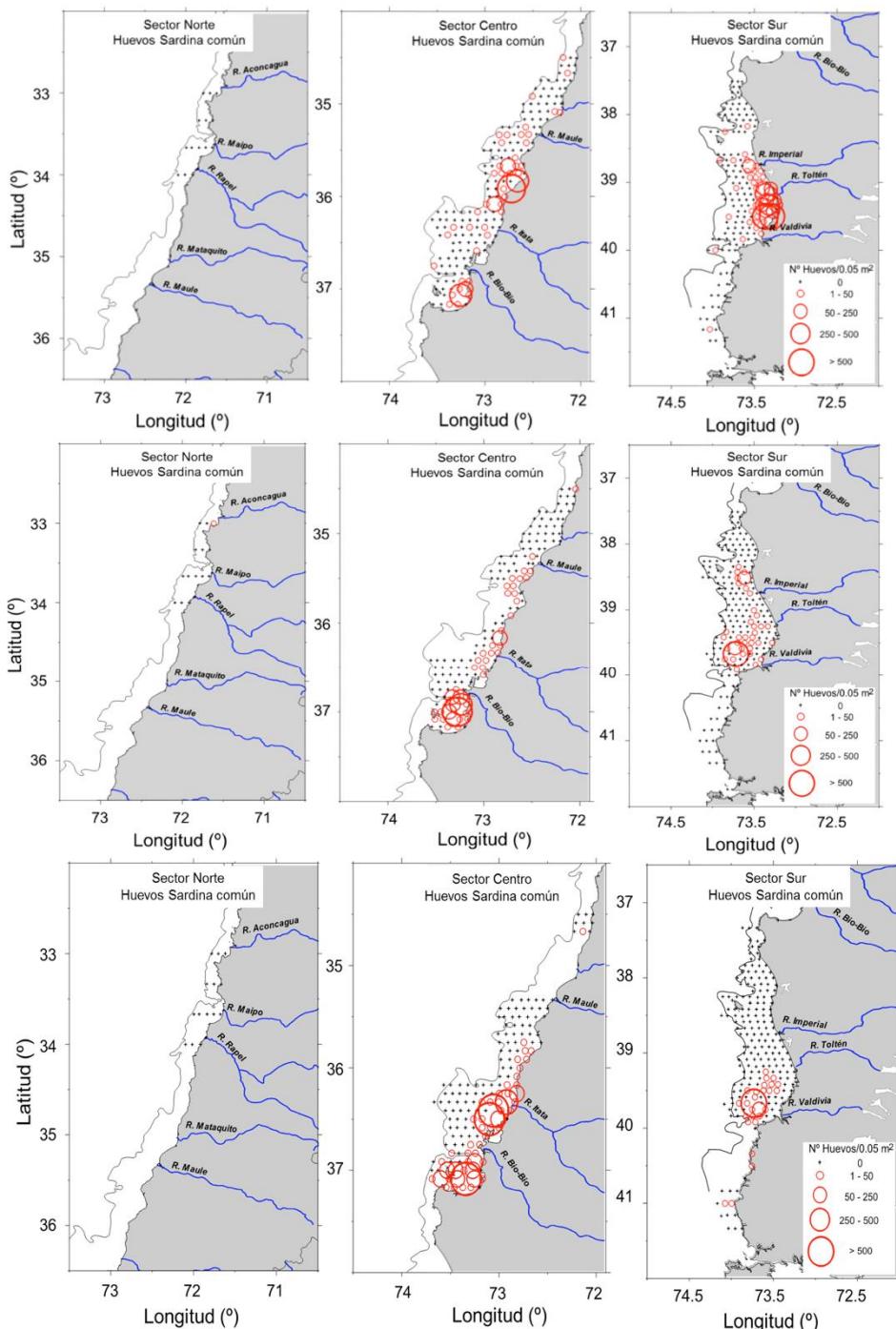
En el sector sur, las mayores agregaciones de huevos de anchoveta se ubicaron desde los 38°30'S a los 39°50'S, pero con una zona intermedia de menores abundancias, alrededor de los 39°S. Las mayores abundancias en el sector sur, ocurrieron separadas de la costa, patrón que sería recurrente interanualmente en el sector sur. Comparado con las distribuciones de los dos años previos, la distribución en el sector sur fue similar al 2014, pero con una zona intermedia de menor abundancia de huevos, más marcada el 2015 (**Figura 6**).

Los huevos de sardina común, en el sector central, ocurrieron solo al sur de los 35°30' S. Su distribución fue costera y las mayores abundancias se registraron al sur de la desembocadura del río Itata y en el Golfo de Arauco. En el año 2014, los huevos de esta especie ocurrieron hasta más al norte que en el 2015 (al norte de desembocadura del río Maule) (**Figura 7**).

En el sector sur, los huevos de sardina común fueron más escasos que en años anteriores y solo se ubicaron en mayores densidades un par de estaciones fuera de la costa en la zona frente a Corral (39°45' S), zona correspondiente al límite sur de donde históricamente se ubican las mayores abundancias (Isla Mocha a Corral). La extensión latitudinal hacia el sur aumentó el 2015, llegando por sobre los 41°S (**Figura 7**).



**Figura 6.** Distribución de huevos de anchoveta registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2013 (panel superior), 2014 (panel central) y 2015 (panel inferior).

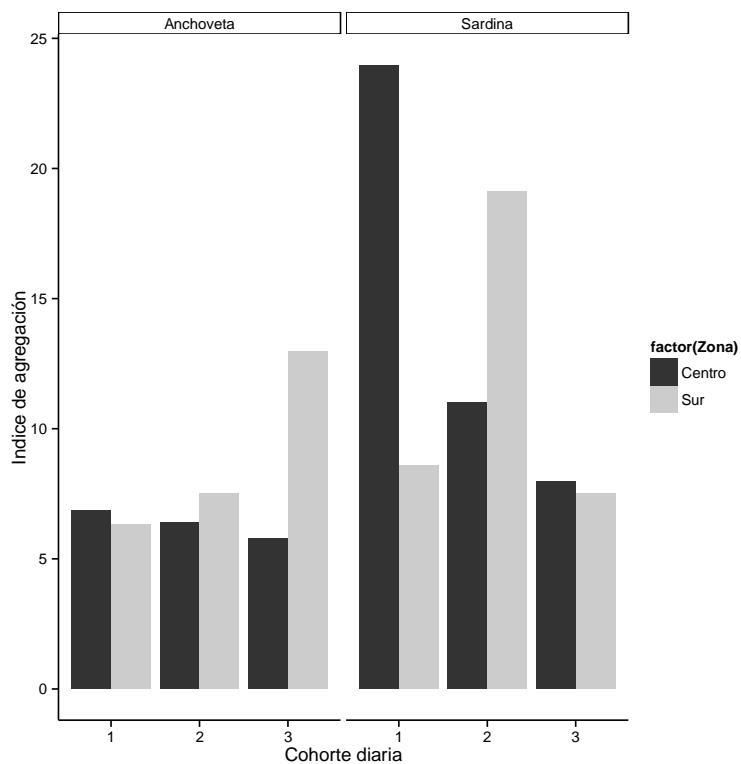


**Figura 7.** Distribución de huevos de sardina común registrados en los sectores norte, centro y sur, en los años 2013 (panel superior), 2014 (panel central) y 2015 (panel inferior).

## 1.4 Producción diaria de huevos

Los parámetros del GLM que fueron estimados a partir de la curva de mortalidad de huevos se resumen en la **Tabla 7**, según 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 siempre negativa para ambas especies. El modelo multinomial fue menos preciso para ambas especies, ya que el error estándar del logaritmo de Po fue mayor. Además, en el caso de la sardina común, no se encontraron resultados satisfactorios con el modelo multinomial ya que la producción de huevos fue negativa y la tasa de mortalidad cero.

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, se muestra la **Figura 8**. El índice fue más bajo en la anchoveta que en la sardina común, y a su vez más similar entre las cohortes diarias de huevos. En anchoveta, se observó que la cohorte 3 (más de a 72 horas) se presentó más agregada en la zona sur, mientras que en la sardina común fue la cohorte 2. No obstante, en la zona centro, el índice disminuye con la edad.



**Figura 8.** Índice de dispersión-agregación de Lloyd por especie, zona, y cohorte diaria, 2015.



**Tabla 7.** 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)	6.609	0.296	2.232	0.000
		Z	-0.026	0.006	-4.250	0.000
	Sur	Log(P0)	5.255	0.427	1.222	0.000
		Z	-0.005	0.009	-5.522	0.581
MLG 2: Bin. Neg. ponderada con índice de aggregación	Centro	Log(P0)	6.654	0.103	6.455	0.000
		Z	-0.027	0.002	-1.322	0.000
	Sur	Log(P0)	5.237	0.147	3.554	0.000
		Z	-0.005	0.003	-1.625	0.104
Modelo: Multinomial	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	7.190	0.445	16.156	0.000
		Z	-0.044	0.012	-3.602	0.000
	Sur	Log(P0)	5.759	0.576	9.986	0.000
		Z	-0.012	0.013	-0.911	0.364
b) Sardina común:						
Modelo: Lo	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	6.606	0.427	15.442	0.000
		Z	-0.013	0.008	-1.553	0.120
	Sur	Log(P0)	7.411	1.021	7.255	0.000
		Z	-0.005	0.022	-2.549	0.010
GLM 2: Bin. Neg. ponderada con índice de aggregación	Centro	Log(P0)	6.630	0.144	45.950	0.000
		Z	-0.014	0.002	-5.060	0.000
	Sur	Log(P0)	7.532	0.263	28.617	0.000
		Z	-0.060	0.006	-9.185	0.000
Modelo: Multinomial	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Intercepto	7.278	0.632	11.517	0.000
		Pendiente	-0.037	0.017	-2.176	0.031
	Sur	Intercepto	-2.385	0.349	-68.2	0.000
		Pendiente	0.000	0.008	0.000	1.000

Los coeficientes de la **Tabla 7**, 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 8**. 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  $(1+1/n)$  (Piquelle y Staufer, 1985) reduciendo aún más el coeficiente de variación (CV(P)).

La tasa de mortalidad diaria de los huevos de anchoveta fluctuó entre  $0,127 \text{ d}^{-1}$  (sector sur) y  $0,662 \text{ d}^{-1}$  (sector centro), mientras que en el caso de la sardina común la tasa de mortalidad diaria fluctuó entre  $0,339$  y  $1,459 \text{ d}^{-1}$ , en el sector centro y sur, respectivamente (**Tabla 8**).

**Tabla 8.** 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) y coeficiente de variación CV(P). Los números entre paréntesis se refieren al coeficiente de variación de los estimados.

	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Área de estudio ( $A$ , $\text{km}^2$ )	10350	13315	10350	13315
Área de desove, $A_1$ ( $\text{km}^2$ )	4482	3477	3278	1591
Número de estaciones	156	206	156	206
Número de estaciones positivas	72	56	53	27
a) Datación con Lo:				
$P_0$ (huevo/ $0,05 \text{ m}^2/\text{día}$ )	38,828 (0,103)	9,414 (0,147)	37,88 (0,144)	93,372 (0,263)
$Z$ ( $\text{día}^{-1}$ )	-0,662 (0,075)	-0,127 (0,615)	-0,339 (0,197)	-1,459 (0,109)
$P_0$ (huevo/ $\text{m}^2/\text{día}$ )	776,56 (0,103)	188,28 (0,147)	757,69 (0,144)	80,55 (0,263)
$P$ ( $10^{11}$ huevos/ $\text{día}$ )	34,809	6,547	24,839	29,714
CV(P)	0,068	0,076	0,081	0,091



## 2 Parámetros reproductivos: Crucero de adultos

### 2.1 Lances de pesca

En la zona centro del área de estudio, la campaña de adultos comenzó el 01 de octubre y se extendió hasta el 08 de octubre de 2015, considerando dos sectores en la región del Biobío. El sector norte de la VIII Región fue realizado por la embarcación Don Julián, entre el 06 al 08 de octubre; y el sector sur de la VIII Región fue cubierto por la embarcación Sebastián II, del 01 al 03 de octubre. Se logró 30 lances de pesca efectivos de sardina común, y sólo 15 lances de pesca con anchoveta (**Tabla 9**).

En el sector sur, la campaña de adultos se desarrolló entre el 26 de septiembre y 11 de octubre de 2015, 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 Noemí Simoney. Obteniéndose 32 lances de pesca, de los cuales 29 fueron efectivos para sardina común y ninguno para anchoveta (**Tabla 10**).

Durante la campaña 2015, los lances de pesca de sardina común y anchoveta se distribuyeron desde el norte de Dichato hasta el Golfo de Arauco, con la disponibilidad de anchoveta localizada desde Talcahuano al norte (**Figura 9**). En el sector sur, solo se capturó sardina común frente al litoral de Corral hasta el límite sur de la IX Región (**Figura 9**).



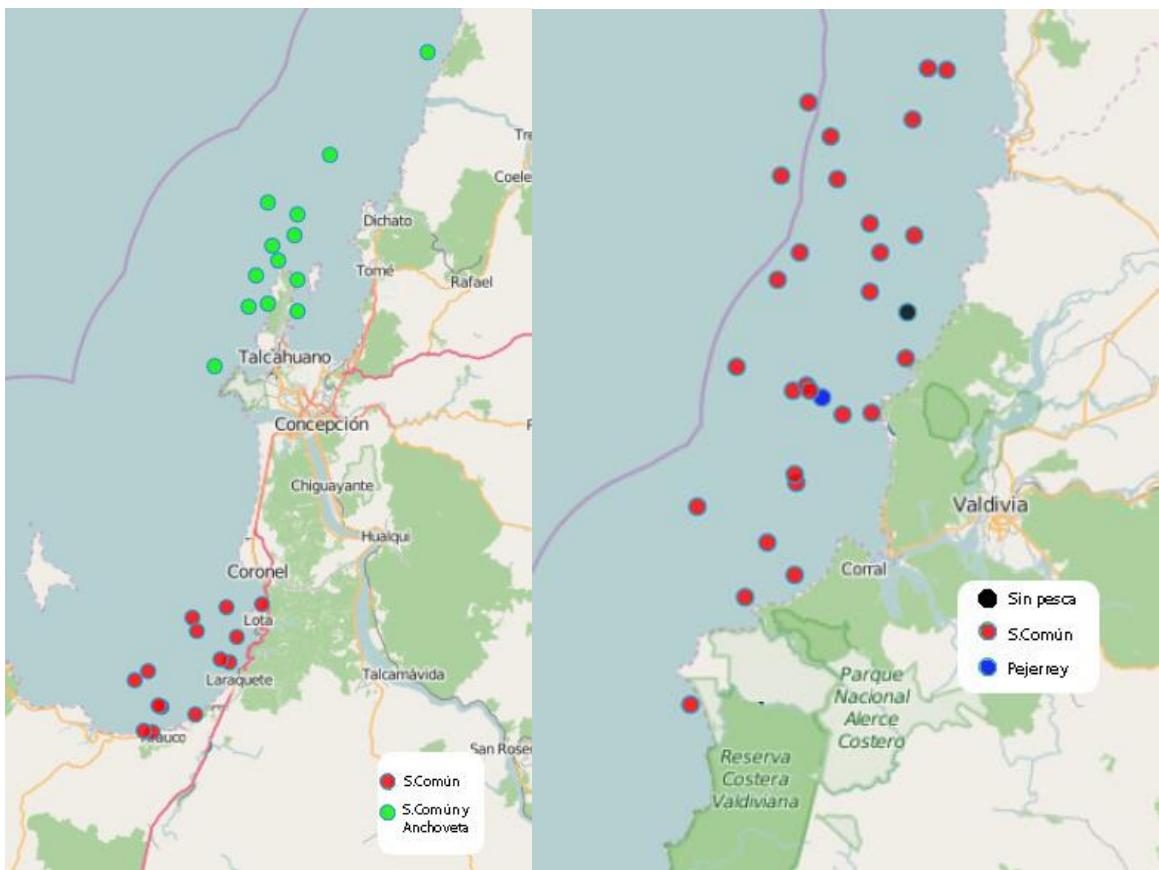
**Tabla 9.** Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2015, sector centro.

Región	Embarcación	N Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Captura (kg)	Especie dominante (%)
VIII	Sebastian II	1	01-10-15	12:17	3710.12	7322	20	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	2	01-10-15	14:35	3712.18	7319.17	30	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	3	01-10-15	16:10	3713.78	7320.14	20	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	4	02-10-15	8:10	3714.17	7321.05	70	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	5	02-10-15	10:01	3708.43	7312.15	100	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	6	02-10-15	11:40	3712.57	7315.43	50	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	7	02-10-15	13:50	3709.23	7320.36	70	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	8	02-10-15	17:00	3712.12	7319.38	70	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	9	02-10-15	20:40	3703.58	7309.4	150	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	10	02-10-15	22:00	3704.68	7316.5	200	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	11	03-10-15	7:30	3705.72	7315.35	40	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	12	03-10-15	9:25	3704.18	7312.37	20	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	13	03-10-15	10:10	3708.27	7313.12	30	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	14	03-10-15	12:40	3706.42	7311.34	10	S.común (100%)
VIII	Sebastian II	15	03-10-15	14:10	3707.505	7314.55	20	S.común (100%)
VIII	Don Julian	1	06-10-15	8:27	3631.823	7300.831	10	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	2	06-10-15	10:22	3630.942	7300.297	20	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	3	06-10-15	13:18	3628.487	7255.741	10	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	4	06-10-15	16:00	3619.7	7252.009	30	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	5	06-10-15	19:45	3625.592	7257.656	40	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	6	07-10-15	9:25	3629.145	7258.628	120	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	7	07-10-15	12:20	3627.29	7256.364	200	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	8	07-10-15	14:40	3626.833	7257.803	300	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	9	07-10-15	16:30	3625.442	7255.618	150	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	10	07-10-15	17:51	3624.936	7256.742	200	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	11	07-10-15	19:27	3627.419	7255.642	100	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	12	07-10-15	21:10	3628.631	7254.125	150	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	13	08-10-15	7:02	3625.741	7256.813	200	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	14	08-10-15	9:18	3627.639	7254.687	60	Sc (90%); Anch (10%)
VIII	Don Julian	15	08-10-15	10:42	3628.731	7256.561	20	Sc (90%); Anch (10%)



**Tabla 10.** Bitácora de lances de pesca efectivos de sardina común y anchoveta durante el crucero de adultos 2015, sector sur.

Región	Embarcación	N Lance	Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Captura (kg)	Especie dominante (%)
XIV	Noemy Simoney	1	26-09-15	9:58	3937.274	7325.275	30	Pejerrey (100%)
XIV	Noemy Simoney	2	26-09-15	12:23	3935.43	7321.064	-	Sin Pesca
XIV	Noemy Simoney	3	29-09-15	10:30	3947.905	7327.505	-	Sin Pesca
XIV	Noemy Simoney	4	29-09-15	12:03	3946.081	7325.405	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	5	29-09-15	13:11	3944.671	7325.676	25	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	6	30-09-15	11:14	3937.866	7321.806	25	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	7	30-09-15	13:23	3936.453	7321.113	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	8	01-10-15	13:41	3936.407	7321.402	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	9	01-10-15	15:00	3934.765	7319.775	10	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	10	01-10-15	17:47	3929.46	7318.438	30	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	11	01-10-15	19:00	3927.849	7317.909	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	12	01-10-15	20:10	3931.587	7319.718	25	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	13	01-10-15	21:25	3933.082	7320.322	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	14	08-10-15	10:58	3922.914	7316.027	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	15	08-10-15	12:00	3921.97	7316.329	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	16	08-10-15	13:15	3921.26	7316.887	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	17	09-10-15	20:31	3952.627	7330.667	25	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	18	09-10-15	21:50	3952.099	7332	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	19	10-10-15	9:00	3921.756	7317.992	15	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	20	10-10-15	10:35	3919.8	7316.255	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	21	10-10-15	11:40	3920.227	7317.704	15	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	22	10-10-15	12:50	3920.702	7319.754	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	23	10-10-15	14:38	3917.133	7317.89	15	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	24	10-10-15	15:15	3916.868	7319.145	10	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	25	10-10-15	16:50	3922.282	7320.493	15	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	26	10-10-15	17:45	3923.523	7321.204	10	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	27	10-10-15	19:05	3924.893	7321.65	15	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	28	10-10-15	20:30	3926.26	7322.667	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	29	11-10-15	8:05	3939.219	7325.09	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	30	11-10-15	9:40	3941.006	7326.279	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	31	11-10-15	14:12	3934.331	7327.604	20	S.común (100%)
XIV	Noemy Simoney	32	11.10.2015	16:30	3949.02	7326.872	20	S.común (100%)



**Figura 9.** 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.

## 2.2 Composición por tallas

En la zona centro se muestrearon 3573 individuos de sardina común en los 30 lances efectivos. De estos ejemplares, 58,8% fueron machos y 41,1 % hembras. En la **Tabla 11**, se presentan los estadígrafos de la composición de tallas de sardina común, observándose la presencia de ejemplares adultos sobre los 10 cm de longitud total. En el caso de la anchoveta, se registraron 1867 individuos en 15 lances, con una longitud promedio de 14,1 cm y una proporción de machos de 60% (**Tabla 12**). En la zona sur, en los 29 lances efectivos de sardina común se muestrearon 3592 individuos, de los cuales 51,3% fueron machos, con un rango de tallas de 8 a 16 cm y una longitud promedio de 11,78 cm (**Tabla 11**).

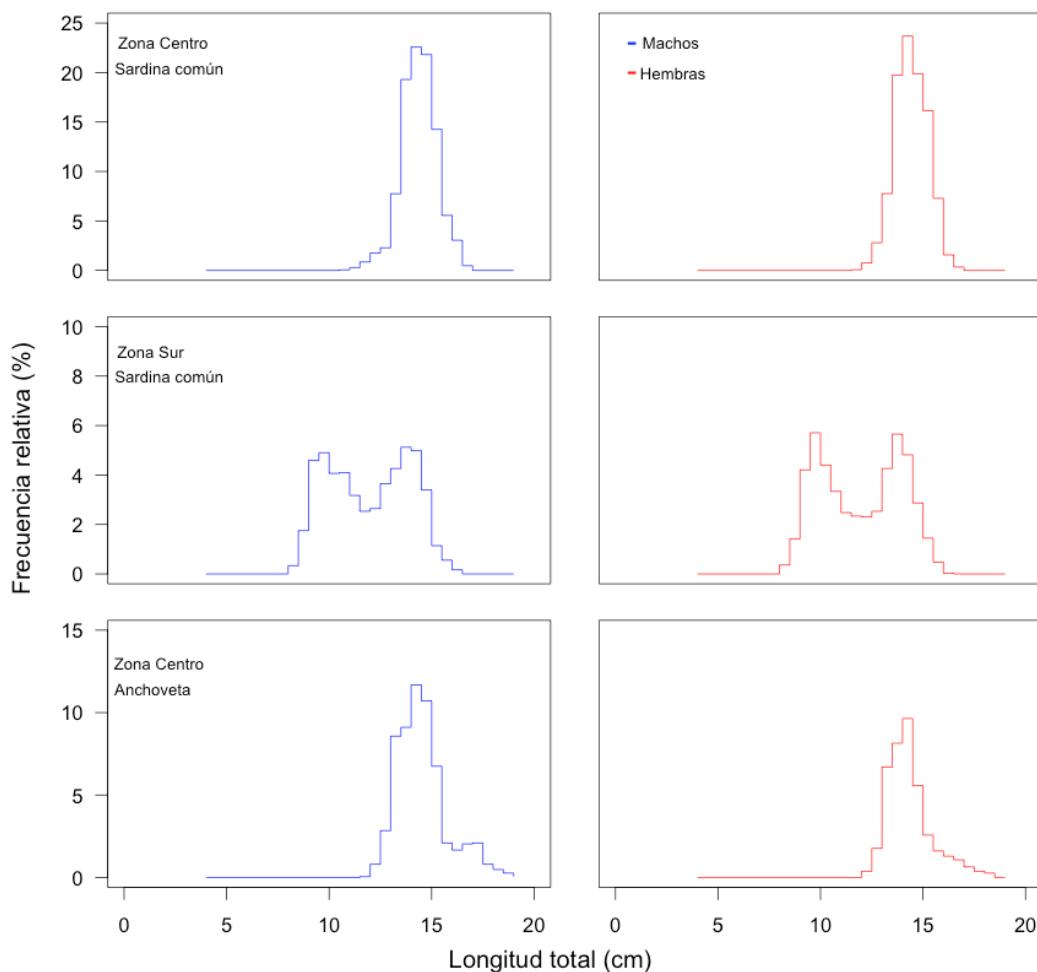
La distribución de tallas de sardina común y anchoveta se presenta en la **Figura 10**, para cada zona evaluada.

**Tabla 11.** Composición por tallas de sardina común obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro-sur y sur de Chile, año 2015.

Zonas	Centro			Sur			
	Sex	Macho	Hembra	Total	Macho	Hembra	Total
n		2104	1469	3573	1845	1747	3592
Moda (cm)		14	14	14	13,5	13,5	13,5
$\bar{L}$ (cm)		14,13	14,17	14,15	10,28	13,93	11,78
$s^2$ (cm)		0,79	0,65	0,73	5,28	10,62	4,00
(cm)		0,89	0,81	0,86	2,30	3,26	2,00
CV(%)		6,28	5,70	6,05	22,34	23,39	16,96
max(L) (cm)		10,5	11,5	10,5	8,0	8,0	8,0
min(L) (cm)		16,5	16,5	16,5	16,0	16,0	16,0

**Tabla 12.** Composición por tallas de anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro de Chile, año 2015.

Parámetro	Anchoveta		
	Centro		
Sex	Macho	Hembra	Total
n	1120	747	1867
Moda (cm)	14,0	14,0	14,0
$\bar{L}$ (cm)	14,18	14,08	14,14
$s^2$ (cm)	1,55	1,20	1,42
(cm)	1,25	1,10	1,19
CV(%)	8,79	7,79	8,43
max(L) (cm)	11,5	12,0	11,5
min(L) (cm)	19,0	18,0	19,0



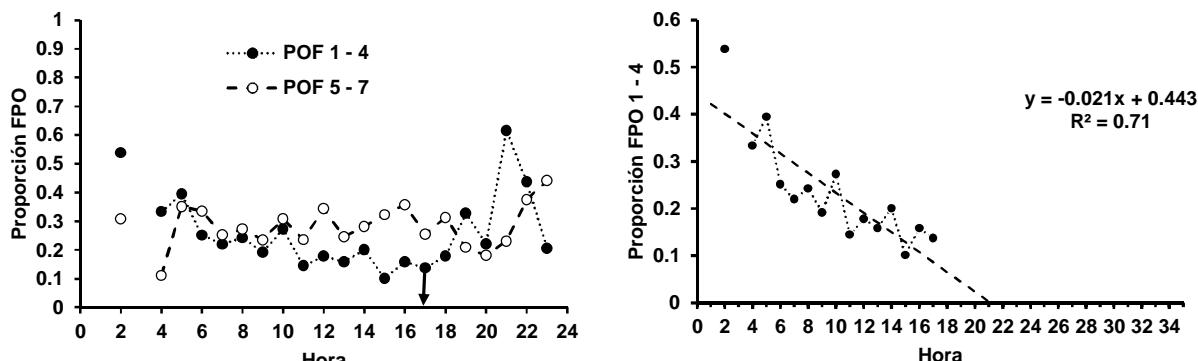
**Figura 10.** Frecuencias de tallas de sardina común de la zona centro-sur de Chile.

### 2.3 Estados de madurez y fracción diaria de hembras desovantes

En la anchoveta, se analizaron 593 hembras correspondientes a 15 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.

A modo de validar la edad de los FPO, se utilizó toda la base de datos de las aplicaciones del MPDH en que se ha utilizado la escala de 7 estadios de FPO (2007 al 2012), calculando la proporción por hora de los estadios de FPO. Los resultados indican que los estadios 1-4 muestran un decaimiento sostenido de la 0:00 a 17:00 horas (**Figura 11**), 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 11**).



**Figura 11.** 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%. Considerando los FPO de I al IV (Excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 AM) como correspondientes hembras que desovaron la noche anterior, o sea con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estimó en 0,245 con una varianza 0,0015 y un CV=15,8%. Test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones ( $t_{\text{calc}} = 0,567$ ,  $t_{\text{tabla}} = 2,145$ ). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,261, con varianza 0,00029 y CV=6,5%.

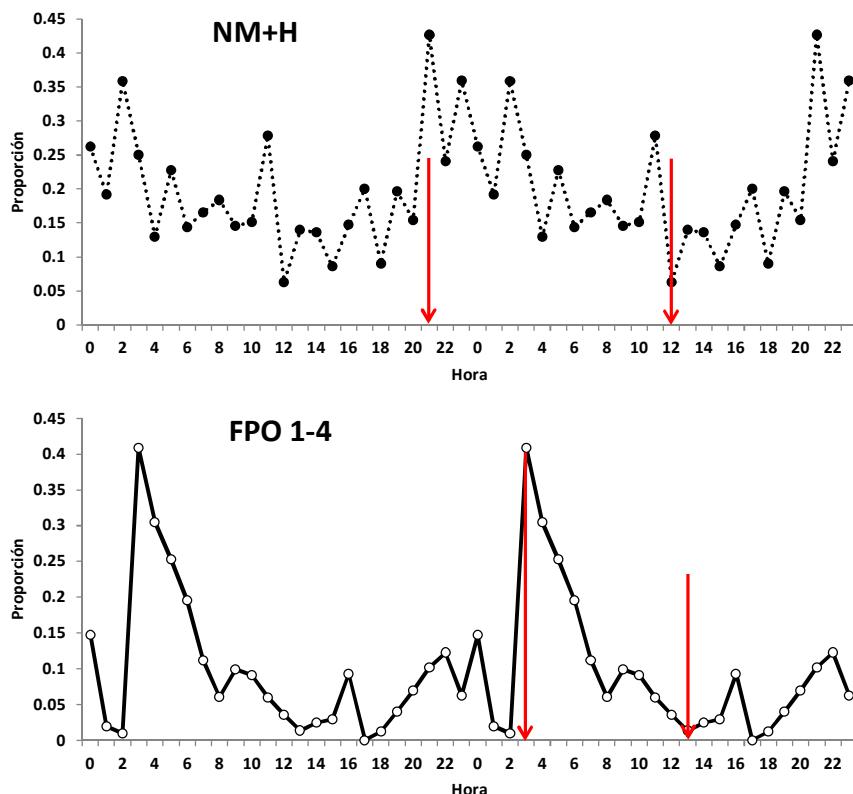
En el caso de la sardina común, se analizaron 2180 hembras, correspondientes a 59 lances provenientes de la pesca de investigación. Del total, 1179 hembras (30 lances) fueron obtenidas en la zona centro y 1010 en la zona sur (29 lances). El análisis histológico de los ovarios indicó que 56,6% se encontraban activas (EMM 3 al 7) en el área total. En la zona centro, 99,4% fueron hembras activas y en la zona sur se encontró solamente 6,2% de hembras activas. En la zona sur, la fracción de hembras inmaduras fue de 89,6% (**Tabla 13**). Para los cálculos de los parámetros de adultos (W,F y S), las hembras inmaduras fueron descartadas. Esta situación limitó el número de hembras maduras disponibles para el análisis.

**Tabla 13.** Número y porcentaje de hembras clasificadas por estadio de madurez ovárica, 2015.

Estadio	Centro		Sur		Total	
	Frec. (n)	Frec. (%)	Frec. (n)	Frec. (%)	Frec. (n)	Frec. (%)
1 Inmaduro	-	-	301	30,07	301	13,81
2 Reposo	-	-	601	60,04	601	27,57
3 Parcialmente vitalado	27	2,29	6	0,60	33	1,51
4 Vitelado	989	83,88	56	5,59	1045	47,94
5 Núcleo migrante	93	7,89	-	-	93	4,27
6 Hidratado	63	5,34	-	-	63	2,89
8 Desovado	7	0,59	37	3,70	44	2,02
Total	1179	100	1001	100	2180	100
Activas	1172	99,4	62	6,2	1234	56,6

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) indica que el estadio Núcleo Migrante (NM) e Hidratado (H) tienen su máxima expresión alrededor de las 21 horas, para luego decaer hasta el mediodía. Posteriormente parece haber un nuevo ciclo de hidratación. Similar situación se observa en los FPO 1-4, pero. Ambos grupos (NM+H y FPO 1-4) muestran el patrón descrito dentro de un ciclo de 24 horas, lo que avala su utilización para efectos de cálculo de fracción diaria de hembras desovantes (**Figura 12**).

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 0,122. Para la zona centro, la fracción desovante se estimó en 0,154 y en 0,02 para la zona sur (**Tabla 14**). Considerando los FPO de I al IV (Excepto los estadios IV entre 18:00 y 2:00 AM) como correspondientes hembras que desovaron la noche anterior, o sea con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estimó en 0,165. Test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones, por lo que se pudieron combinar. Las estimaciones por zona y total se entregan en **Tabla 14**. La baja estimación de la zona sur se explica por una alta presencia de individuos virginales.



**Figura 12.** 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.

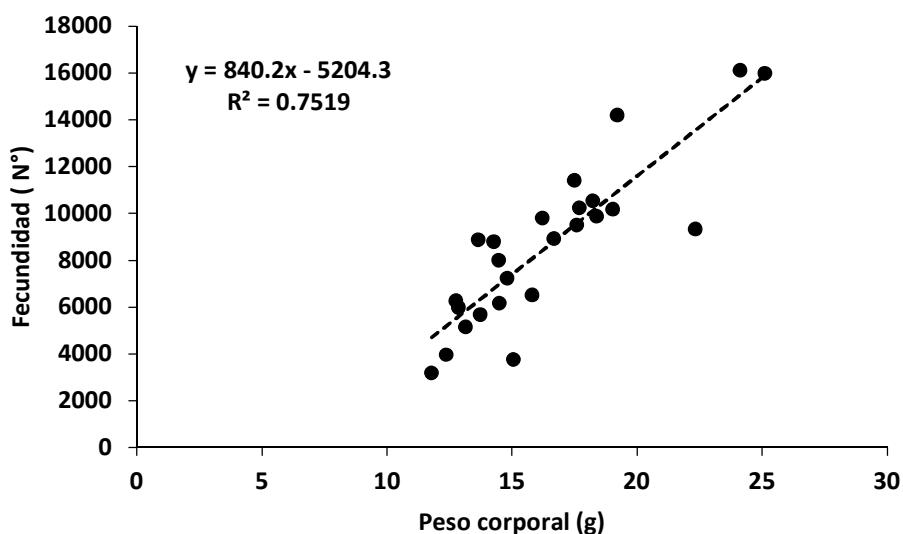
**Tabla 14.** Estimaciones de fracción diaria de hembras desovantes por zona y área total para sardina común año 2015. t calculado para Ho: FPO 0 = FPO 1.

Zona	Estimado	Varianza	CV	t calculado FPO 0 = FPO 1
Centro	FPO 0	0.133	0.00044	0.158
	FPO 1	0.175	0.00023	0.086
	FPO 0+1	0.154	0.00015	0.080
Sur	FPO 0	0		
	FPO 1	0.04	0.00043	0.514
	FPO 0+1	0.02	0.00011	0.514
Area total	FPO 0	0.122	0.00038	0.159
	FPO 1	0.165	0.00020	0.086
	FPO 0+1	0.143	0.00014	0.082



## 2.4 Fecundidad

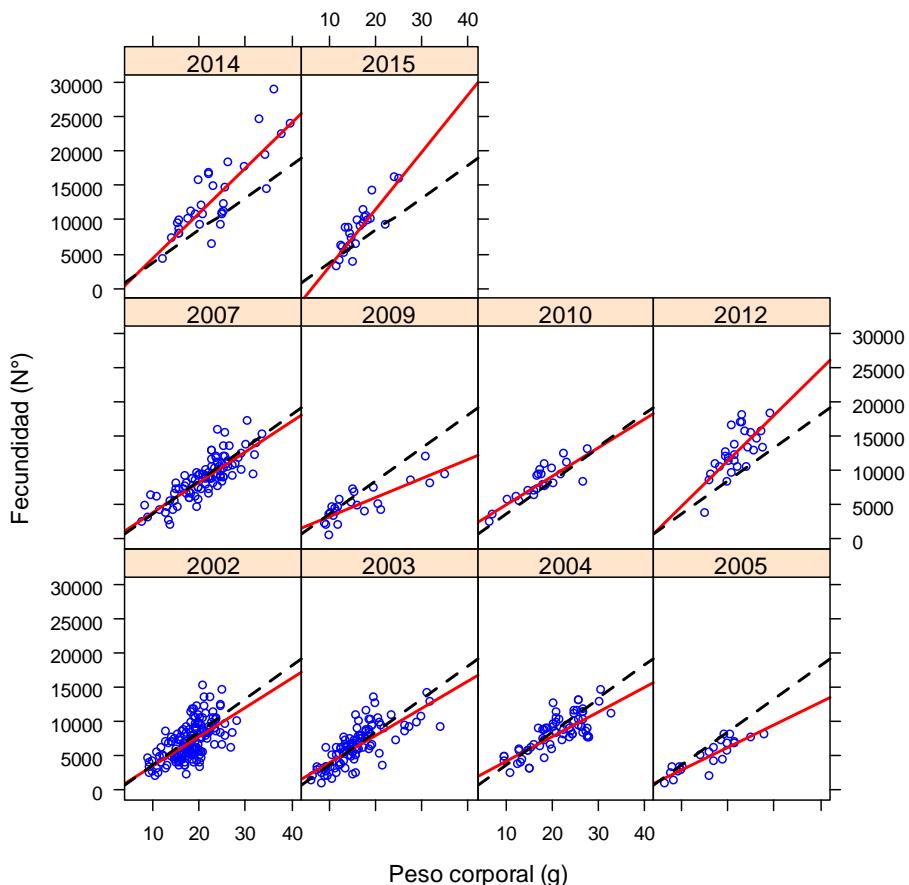
En la anchoveta, la relación entre fecundidad parcial y el peso corporal de las hembras se muestra en la **Figura 13**, siendo muy similar a la estimada para el año 2012 y 2014 (**Tabla 15; Figura 14**). Lamentablemente no se tiene información del año 2013, pues en dicho crucero no se contó con hembras hidratadas para estimar la relación entre la fecundidad parcial y el peso corporal. En 2015, el intercepto de la relación fue significativamente distinto de cero (**Tabla 15, Tabla 16, Figura 14**). La fecundidad media poblacional resultó en 8844 ovocitos, con una varianza de 332593 y un CV=6,5% (**Tabla 19**).



**Figura 13.** Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de anchoveta, año 2015.

**Tabla 15.** 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
Intercepto (a)	-613.40	122.00	600.21	-311.16	-574.21	896.29	925.94	-1735.73	-2186.58	-5204.32
S <sub>a</sub>	824.669	580.495	864.321	677.800	734.85	717.11	1033.82	2892.33	1937.27	1692.66
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
Pendiente (b)	422.38	395.12	360.86	331.17	445.11	266.90	415.17	660.96	660.72	840.20
S <sub>b</sub>	44.286	34.071	39.082	40.183	33.36	38.98	56.69	130.60	78.49	100.63
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	0.00
Error típico	2156.15	1877.71	1787.19	1138.15	1807.76	1419.77	1408.88	2418.68	3210.50	1747.91
r <sup>2</sup>	0.37	0.58	0.56	0.76	0.66	0.69	0.71	0.50	0.70	0.75
n	158	100	68	23	92	23	24	28	32	25



**Figura 14.** 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 16.** 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
Intercepto (a)	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	537.48524
S <sub>b</sub>	9.199	10.968	9.762	13.815	8.54	16.30	15.70	20.39	23.10	24.1662621
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	1.5873E-17
Error típico	2153.078	1868.621	1780.270	1117.552	1803.89	1437.79	1402.81	2389.85	3224.65	2032.55894
r <sup>2</sup>	0.37	0.58	0.56	0.76	0.66	0.67	0.70	0.49	0.95	0.95372766
n	158	100	68	23	92	23	24	28	32	25

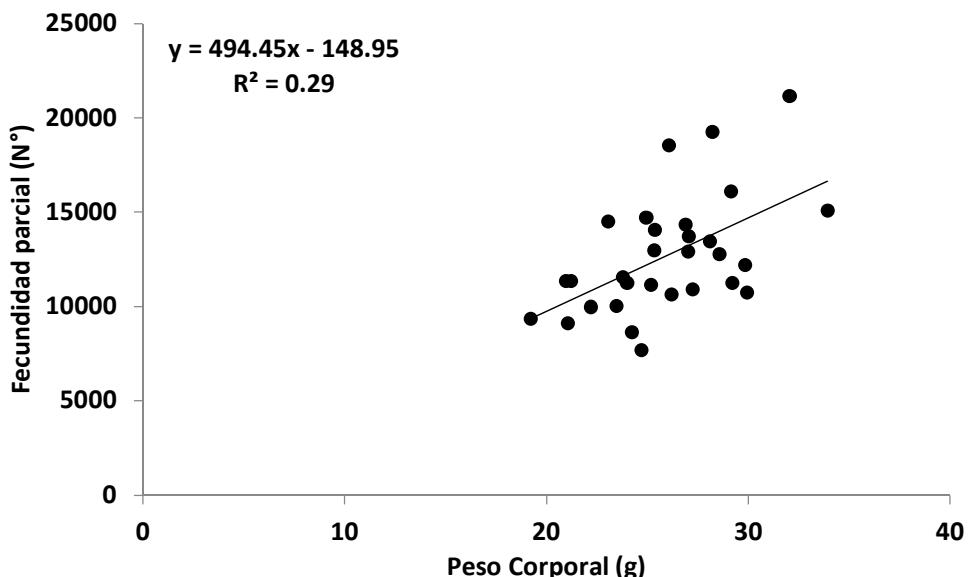


En la sardina común, la fecundidad parcial se estimó en base a 35 hembras en estado hidratado, y varió de 6098 a 10837 ovocitos por hembra (**Figura 15**). La pendiente de la relación fue muy similar a la del 2013, y mayor que la del periodo 2009- 2013 (**Figura 16, Tabla 17**).

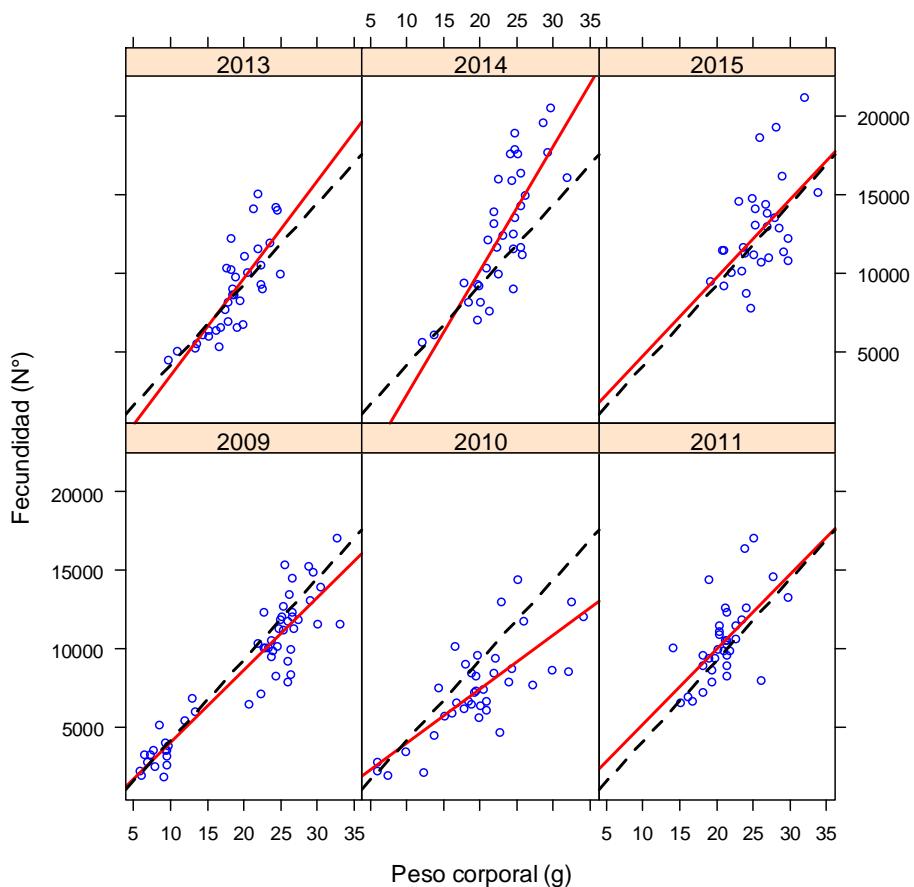
Para el área sur, la fecundidad parcial promedio por lance, utilizando el ajuste correspondiente al año 2015 varió de 5730 a 12550 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional resulta en 10801 ovocitos, con una varianza de 377964 y un coeficiente de variación de 5,7% (**Tabla 19**).

Para el área centro, la fecundidad parcial promedio por lance, utilizando el ajuste correspondiente al año 2015 varió de 11252 a 13301 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional resulta en 12359 ovocitos, con una varianza de 236119 y un coeficiente de variación de 3,9% (**Tabla 19**).

Para el área total, la fecundidad parcial promedio por lance, utilizando el ajuste correspondiente al año 2015 varió de 5730 a 13300 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional resulta en 12238 ovocitos, con una varianza de 321076 y un coeficiente de variación de 4,6%.



**Figura 15.** Relación entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial de sardina común, año 2015.



**Figura 16.** 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 17.** Parámetros de las regresiones entre el peso corporal (g) y la fecundidad parcial para sardina común, año 2009, 2010, 2011, 2013 y 2014.

	2009	2010	2011	2013	2014	2015	LP
<b>Intercepto (a)</b>	-629.76	552.32	447.82	-2793.88	-5655.36	-148.95	-883.06
<b>Sa</b>	568.833	1021.54	2305.40	1580.82	2534.70	3814.94	603.59
<b>P(a=0)</b>	0.27	0.59	0.85	0.09	0.03	0.97	0.15
<b>Pendiente (b)</b>	460.13	343.46	474.20	619.16	791.71	494.45	503.60
<b>Sb</b>	25.83	48.89	108.20	82.88	107.85	145.81	28.12
<b>P(b=0)</b>	8.64E-24	3.04E-08	1.12E-04	1.38E-08	1.99E-08	0.002	4.83E-43
<b>Error típico</b>	1601.33	1972.78	2051.32	1784.05	2546.53	2669.81	2392.73
<b>r<sup>2</sup></b>	0.86	0.58	0.37	0.62	0.62	0.29	0.62
<b>n</b>	54	38	35	35	35	30	197



## 2.5 Peso promedio y proporción sexual

En la anchoveta, el peso promedio del cuerpo de las hembras maduras, fluctuó de 14,1 a 20,3 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 17,7 gramos, con una varianza de 0,3498 y un coeficiente de variación de 3,335%.

En la sardina común, las estimaciones de peso promedio de hembra madura por zona y total se entregan en **Tabla 18**. Para el área total, el peso promedio fue de 26,3 g.

La proporción de hembras en peso, tanto para anchoveta como para sardina común. se presenta en la **Tabla 18**.

**Tabla 18.** Estimaciones de peso promedio de hembra madura por zona y área total, para sardina común año 2015.

Parámetro	Especie	Zona	Estimado	Varianza	CV
Peso promedio (W)	Anchoveta	Centro	17,7	0,3498	0,033
	Sardina	Centro	26,6	0,0643	0,010
	Común	Sur	22,7	0,4849	0,031
		Total	26,3	0,0635	0,010
Proporción hembras (R)	Anchoveta	Centro	0,50	0,0040	0,131
	Sardina	Centro	0,47	0,0066	0,171
	común	Sur	0,45	0,0047	0,153
		Total	0,46	0,0048	0,149

## 3. Biomasa desovante

La biomasa del stock desovante se sustenta en la producción diaria de huevos de cada estrato geográfico, los cuales se consideran independientes (**Tabla 19**). En este caso, los estimadores puntuales permiten señalar que la mayor biomasa desovante de sardina común fue mayor en la zona sur, con 125083 toneladas (CV=61,0%). En la zona centro, se estimó una biomasa desovante de 85611 toneladas de sardina común (CV=25,0%). Aunque en la zona sur hubo lances efectivos de sardina común, con aultos desovantes, hubo una gran incidencia de inmaduros lo generó la menor precisión en la estimación.

En el caso de la anchoveta, la biomasa desovante fue estimada en 50404 t (CV=11,5%) 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 9480 t (CV=11,9%) (**Tabla 19**).



Al considerar la suma de las biomasa por estratos geográficos, la biomasa desovante de anchoveta se estima en 59886 t (CV=9,8%), y en 210694 t (CV=40,2%) para la sardina común (**Tabla 19**).

**Tabla 19.** 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.

Parámetros	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Fracción desovante, S	0,277 (0,10)	0,277*	0,133 (0,16)	0,040 (0,51)
Peso promedio, W (g)	17,7 (0,03)	17,7*	26,6 (0,01)	22,7 (0,03)
Proporción de hembras, R	0,50 (0,)	0,50*	0,47 (0,17)	0,45 (0,15)
Fecundidad media, F	8844 (0,07)	8844*	12359 (0,04)	10802 (0,06)
Fecundidad relativa, RF (huevo g <sup>-1</sup> )	498,6	498,6*	464,1	476,4
Área de estudio, A (km <sup>2</sup> )	10350	13315	10350	13315
P <sub>0</sub> (huevo/m <sup>2</sup> /día)	776,6	188,3	757,7	80,5
Biomasa desovante, B (t)	50404 (0,158)	9480 (0,162)	85611 (0,250)	125083 (0,610)
Biomasa total, B (t)	59886 (0,146)		210694 (0,376)	

IC: 43883 - 75886

IC: 54617 - 366772

## 4. Profundidad de ubicación de los huevos

### 4.1 Estaciones con presencia de huevos

Las estaciones con muestreo estratificado se resumen en la **Tabla 20**. Los porcentajes de estratos con presencia de huevos de anchoveta y sardina común más altos se detectaron en las estaciones de la transecta 35 (norte Golfo Arauco), hallándose huevos de ambas especies en todos los estratos (10-0; 20-10; 30-20; 40-30; 50-40; 60-50m) (**Tabla 21**). En la transecta 29 (frente Dichato), los estratos más utilizados fueron el de 60-70m (anchoveta, 60% de las estaciones) y 20-30m (sardina común, 80% de las estaciones). Los estratos con mayor frecuencia de ocupación por huevos de anchoveta en la transecta 48 (norte Isla Mocha) fueron los de 0-10m y 40-50m,



correspondiente a solo una estación. De sardina común no hubo presencia de huevos en esta transecta (**Tabla 21**).

#### 4.2 Abundancia de huevos por estrato y perfiles de abundancia promedio

La mayor abundancia promedio por estrato (estaciones positivas) de huevos de anchoveta se detectó en el estrato somero (0-10m) de la transecta 35 (67.269 huevos\*100m<sup>-3</sup>) (**Tabla 22; Figura 17**). En ese estrato se alcanzó también la abundancia máxima de huevos (262.045 huevos\*100m<sup>-3</sup>) de todo el crucero. Lo sigue en abundancia promedio el estrato 30-40m de la transecta 29 con 35.764 huevos\*100m<sup>-3</sup>. En ese estrato se presentó la mayor abundancia observada de esa transecta (71.480 huevos\*100m<sup>-3</sup>). La transecta 48 presentó la menor abundancia de huevos de anchoveta por estrato (< 8 huevos\*100m<sup>-3</sup>) (**Tabla 22**).

En sardina común, la mayor abundancia promedio de huevos ocurrió en el estrato 10-20m de la transecta 35 (274.113 huevos\*100m<sup>-3</sup>), estrato en que también ocurrió el máximo de todo el crucero (951.329 huevos\*100m<sup>-3</sup>) (**Tabla 23, Figura 17**). Este valor de abundancia de huevos de sardina común fue mayor que el máximo de huevos de anchoveta. En la transecta 29, la mayor abundancia promedio de huevos de sardina común (201.723 huevos\*100m<sup>-3</sup>) se presentó a una mayor profundidad (40-50m). En la transecta 48, no se observaron huevos de sardina común (**Tabla 23**).

#### 4.3 Relación abundancia - distribución de huevos con variables ambientales

Las mayores abundancias de huevos de anchoveta y sardina común en la transecta 29, se presentaron en la estación más costera (154), asociadas a temperatura menor a 13°C y salinidad mayor a 33 psu (**Figuras 18 y 19**). Los valores de oxígeno disuelto en que se encontró huevos oscilaron entre 1 y 6 mL/L. En la transecta 35 se detectaron huevos de ambas especies en todas las estaciones, en agua con temperatura desde temperaturas (13.5°C) más altas que frente a Dichato, y desde menores salinidades (mayor a 32). El rango de oxígeno en que se encontró huevos de ambas especies fue 1 a 6 mL/L. En la transecta 48, solo se presentaron huevos de anchoveta, asociados a temperaturas entre 13.5° y 12.5°C, salinidad entre 32.5 a 34.5 y densidad entre 24.5 a 26.5. La concentración de oxígeno fue más alta que en las otras zonas, fluctuando entre 2.5 y 5.5 mL/L (**Figuras 18 y 19**).

**Tabla 20.** Posiciones de las estaciones bio-geográficas (muestreo con red de plancton Tucker Trawl y CTD) realizadas en las zonas centro y sur del área de estudio.

Sector	Transecta	Estación	Latitud	Longitud	Fecha	Tipo muestreo	Estrato (m)	
							Tucker	CTD
Frente Dichato	29	154	36°30'1.65"	73°05'57.80"	29-09-2015	Tucker/CTD	10-0; 20-10; 30- 20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-80
Frente Dichato	29	155	36°30'1.32"	73°10'1.37"	29-09-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-90
Frente Dichato	29	156	36°30'1.60"	73°15'44.70"	29-09-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-100
Frente Dichato	29	157	36°30'1.64"	73°20'23.10"	29-09-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-100
Frente Dichato	29	158	36°30'1.20"	73°25'42.00"	29-09-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-100
Norte Golfo Arauco	35	190	37°00'1.90"	73°16'15.3"	01-10-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50 10-0; 20-10; 30-	0-45
Norte Golfo Arauco	35	191	37°00'1.90"	73°21'30.3"	01-10-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50 10-0; 20-10; 30-	0-65
Norte Golfo Arauco	35	192	37°00'1.90"	73°26'47.00"	01-10-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50 10-0; 20-10; 30-	0-65
Norte Golfo Arauco	35	193	37°00'1.90"	73°32'0.00"	01-10-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50 10-0; 20-10; 30-	0-45
Norte Isla Mocha	48	251	38°15'33.0"	73°41'8.90"	23-10-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-85
Norte Isla Mocha	48	252	38°15'7.68"	73°46'50.0"	23-10-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-100
Norte Isla Mocha	48	253	38°15'6.52"	73°51'36.4"	23-10-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-100
Norte Isla Mocha	48	254	38°15'8.80"	73°56'6.00"	23-10-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-100
Norte Isla Mocha	48	255	38°15'8.00"	74°01'43.0"	23-10-2015	Tucker/CTD	20: 40-30; 50- 40; 60-50; 70-60 10-0; 20-10; 30-	0-55



**Tabla 21.** Número de estaciones totales por estrato, estaciones con huevos de anchoveta y sardina común, y el porcentaje que representan las estaciones por estrato con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas en las a) transecta 29 (frente a Dichato), b) transecta 35 (norte de Golfo de Arauco) y c) Transecta 48 (norte de Isla Mocha).

## a) TRANSECTA 29

Estrato	ANCHOVETA			SARDINA COMÚN	
	Estaciones totales	Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%
0-10m	5	2	40	2	40
10-20m	5	2	40	2	40
20-30m	5	2	40	4	80
30-40m	5	2	40	2	40
40-50m	5	1	20	3	60
50-60m	5	2	40	2	40
60-70m	5	3	60	3	60

## b) TRANSECTA 35

Estrato	ANCHOVETA			SARDINA COMÚN	
	Estaciones totales	Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%
0-10m	4	4	100	4	100
10-20m	4	4	100	4	100
20-30m	4	4	100	4	100
30-40m	4	4	100	4	100
40-50m	2	2	100	2	100
50-60m	2	2	100	2	100

## c) TRANSECTA 48

Estrato	ANCHOVETA			SARDINA COMÚN	
	Estaciones totales	Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%
0-10m	5	1	20	0	0
10-20m	5	0	0	0	0
20-30m	5	0	0	0	0
30-40m	5	0	0	0	0
40-50m	5	1	20	0	0
50-60m	4	0	0	0	0
60-70m	4	0	0	0	0



#### 4.4 Cálculo de profundidad de los centroides y relación entre los centroides y las variables ambientales

Con el fin de visualizar si existían diferencias entre las distribuciones verticales de los huevos totales, por estadio (Grupo I, II, III), especies y transectas, se calcularon las profundidades de los centroides en cada estación a lo largo de las transectas muestreadas con red Tucker Trawl (frente Dichato, Norte Golfo Arauco, Norte Isla Mocha). Previo a la realización de los análisis considerados en este estudio, se procedió a la verificación de normalidad (Test de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Test de Bartlett). Los análisis de normalidad, homogeneidad de varianza y Kruskal-Wallis se realizaron con el programa R (versión 2.15.3) utilizando la librería stats.

Los resultados señalan que no hubo diferencias significativas en la profundidad de los centroides entre los diferentes grupos de desarrollo (Grupos I, II, III) de huevos de anchoveta y tampoco de sardina común (**Tabla 24**). La profundidad de los centroides de huevos de las especies objetivos mostró diferencias significativas entre las distintas transectas (**Tabla 24**). La profundidad de los centroides de huevos no presentaron diferencias significativas entre especies a lo largo de una misma transecta (**Tabla 24**).

La profundidad de los centroides de huevos totales (todos los estadios sumados) por estación y de grupos de desarrollo (I, II, III) de huevos de las dos especies a lo largo de las tres transectas, se muestran sobre las secciones de temperatura, salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno disuelto (**Figuras 20, 24 y 25**).

En la transecta 29, la profundidad de los centroides de los huevos (totales) de ambas especies se ubicaron en agua de temperaturas inferiores a 12.5°C, salinidades mayores a 34.5, densidades superior a 26.5, y concentraciones de oxígeno entre 1.5 a 2.5mL/L (**Figura 20**). En cambio en la transecta 35, la profundidad de los centroides se asoció a temperaturas (12.5° - 13°C) y valores de oxígenos (2.5 - 5.5mL/L) más altos, con salinidades (33.5 - 34.5) y densidades (24.5 - 26.5) menores. En la transecta 48, solo se encontraron huevos de anchoveta, y la profundidad del centroide se asoció a una temperatura de 12.5°C, salinidad de 33.5, densidad de 25.5 ( $\sigma_t$ ) y oxígeno de 4.5mL/L (**Figura 20**).

En anchoveta, la profundidad de los centroides por grupo de desarrollo de huevos de anchoveta a lo largo de la transecta 29 (**Figura 21**) osciló entre 15 y 60m de profundidad, con rangos de temperaturas de 11.5° a 12.5°C, salinidades de 33.5 a 34.5, densidades de 25.5 a 26.5 ( $\sigma_t$ ) y concentraciones de oxígeno entre 1 a 3.5 mL/L. El centroide más profundo de esta transecta (y también el más somero) correspondió a huevos en estadio III. En la transecta 35, las profundidades de los centroides de todos los 3 estados de anchoveta fueron más homogéneas fluctuando solo entre 10 y 30m de profundidad, ubicándose en agua de temperaturas más cálidas (11.5° - 13°C), con salinidades (33.5 - 34) y densidades (25 - 26) menores. Los valores de oxígeno disuelto fueron mayores (2.5 - 5.5mL/L). Finalmente en la transecta 48, solo se encontraron grupos en estados I y III cuyos centroides se ubicaron en un rango de profundidades entre los 5 a 25m. La temperatura a



esas profundidades presentó valores entre 12.5 y 13.5°C, las salinidades entre 32.5 a 33.5, las densidades entre 24.5 a 25.5 y las concentraciones de oxígeno fluctuaron entre 4 y 5.5mL/L (**Figura 21**). El centroide más profundo de esta transecta correspondió al de huevos en estado III.

Los centroides de los grupos de desarrollo de huevos de sardina común (**Figura 22**), se localizaron en profundidades entre 25 y 60m (transecta 29). La temperatura en ese rango de profundidades varió de 11.5° a 12°C, con salinidades entre 34 y 34.5 y densidades de 25.5 - 26.5 relativamente altas. El oxígeno disuelto presentó valores entre 1.5 a 5.5mL/L. En la transecta 35, el rango de profundidad de los centroides fue de 10 a 30m de profundidad, con valores de temperaturas altas (11.5° a 13°C) y salinidades (33.5 a 34.5) y densidades (25 a 26) relativamente bajas. La concentración de oxígeno en ese rango de profundidades abarcó valores entre 3.5 y 5.5mL/L (**Figura 22**).

#### 4.5 Diagramación y análisis de la data histórica sobre la distribución vertical de huevos

Se presenta información sobre distribución vertical de huevos de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile obtenidos durante los años 2002, 2010 y 2011. Los cruceros fueron desarrollados en el marco de proyectos financiados por FONDECYT desarrollados en el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL) de la Universidad de Concepción. Para efectos comparativos, la data utilizada para la construcción de los perfiles corresponde a estaciones de muestreo frente a Bahía Coliumo, cercanas a las transectas desarrolladas en esta investigación en dos periodos: fines de verano (marzo) y en primavera (mismo periodo del presente estudio).

La distribución vertical de los huevos de anchoveta y sardina común durante el crucero en marzo 2002 incluyó estratos más amplios (10-0m; 25-10; 50-25m; 75-50m) muestreados frente a Bahía Coliumo. En esta transecta los huevos de sardina común se presentaron en mayor abundancia (> 800 huevos 100m<sup>-3</sup>) en el estrato más somero (10-0m). La abundancia de huevos de anchoveta fue baja (< 10 huevos 100m<sup>-3</sup>) en los distintos estratos (10-0m; 25-10m; 52-25m) (**Figura 23**).

Durante los cruceros llevados a cabo en septiembre-octubre 2010 frente Bahía Coliumo, la mayor abundancia de huevos de anchoveta (~140 huevos 100m<sup>-3</sup>) se presentó en el estrato intermedio (30-20m) y los huevos de sardina común (~110 huevos 100m<sup>-3</sup>) se localizaron en el estrato más profundo (50-40m) (**Figura 23**).

Finalmente, en la misma zona, se realizaron otros cruceros en septiembre-octubre 2011, en los cuales se observó que las mayores abundancias de huevos de ambas especies se registraron en el estrato intermedio (20-30 m) tanto para anchoveta (> 4000 huevos 100m<sup>-3</sup>) como para sardina común (< 1000 huevos 100m<sup>-3</sup>) (**Figura 23**), coincidiendo de este modo, las distribuciones de huevos de ambas especies con las observadas en el presente crucero 2015 para la misma zona.



**Tabla 22.** Número total de huevos de anchoveta, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones en cada estrato y considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos 100m<sup>-3</sup>) y estrato, correspondiente a: a) transecta 29 (frente a Dichato), b) transecta 35 (norte de Golfo de Arauco) y c) Transecta 48 (norte de Isla Mocha).

a) TRANSECTA 29 - ANCHOVETA

Estrato	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
0-10m	1.451	290	626	726	968	1.410	41
10-20m	3.661	732	1.562	1.830	2.396	3.525	136
20-30m	52.539	10.508	23.434	26.270	36.994	52.428	111
30-40m	71.527	14.305	31.962	35.764	50.511	71.480	47
40-50m	28.817	5.763	12.887	28.817	0	28.817	-
50-60m	3.215	643	1.346	1.608	2.037	3.048	168
60-70m	23.062	4.612	10.104	7.687	12.990	22.687	154

b) TRANSECTA 35 - ANCHOVETA

Estrato	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
0-10m	269.075	67.269	129.859	67.269	129.859	262.045	1.029
10-20m	56.283	14.071	18.928	14.071	18.928	41.343	238
20-30m	14.067	3.517	4.858	3.517	4.858	10.799	854
30-40m	7.287	1.822	1.515	1.822	1.515	3.540	220
40-50m	308	154	122	154	122	240	67
50-60m	550	275	211	275	211	424	126

c) TRANSECTA 48 - ANCHOVETA

Estrato	Suma	Promedio Total estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
0-10m	7	1	3	7	0	7	-
10-20m	0	0	0	0	0	0	0
20-30m	0	0	0	0	0	0	0
30-40m	0	0	0	0	0	0	0
40-50m	4	1	2	4	0	4	-
50-60m	0	0	0	0	0	0	0
60-70m	0	0	0	0	0	0	0



**Tabla 23.** Número total de huevos de sardina común, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones en cada estrato y considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos 100m<sup>3</sup>) y estrato, correspondiente a la transecta 29 (frente a Dichato), b) transecta 35 (norte de Golfo de Arauco) y c) Transecta 48 (norte de Isla Mocha).

a) TRANSECTA 29 - SARDINA COMUN

Estrato	Suma	Promedio Total estaciones	Total estaciones	SDEV Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
0-10m	2.435	487	1.084	1.218	1.709	2.426	9
10-20m	9.953	1.991	4.369	4.976	6.828	9.804	148
20-30m	96.201	19.240	42.926	24.050	47.986	96.029	13
30-40m	269.177	53.835	120.275	134.588	190.072	268.990	187
40-50m	605.169	121.034	270.632	201.723	349.383	605.156	3
50-60m	28.760	5.752	12.634	14.380	19.757	28.350	410
60-70m	318.439	63.688	142.106	106.146	183.380	317.895	64

b) TRANSECTA 35 - SARDINA COMUN

Estrato	Suma	Promedio Total estaciones	Total estaciones	SDEV Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
0-10m	263.986	65.997	72.598	65.997	72.598	159.171	8.366
10-20m	1.096.452	274.113	453.638	274.113	453.638	951.329	7.473
20-30m	85.691	21.423	18.639	21.423	18.639	37.963	2.575
30-40m	47.244	11.811	18.563	11.811	18.563	39.647	1.974
40-50m	1.848	924	1.014	924	1.014	1.641	207
50-60m	2.180	1.090	1.110	1.090	1.110	1.875	305

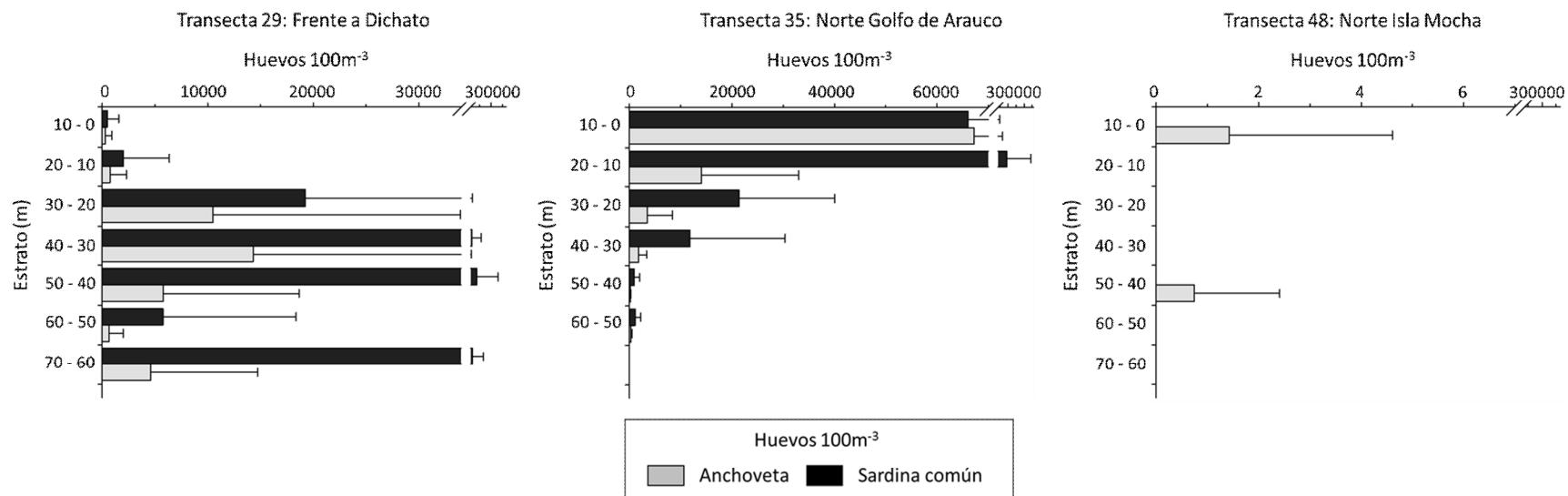
c) TRANSECTA 48 - SARDINA COMÚN

Estrato	Suma	Promedio Total estaciones	Total estaciones	SDEV Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	Mínima abundancia
0-10m	0	0	0	0	0	0	0
10-20m	0	0	0	0	0	0	0
20-30m	0	0	0	0	0	0	0
30-40m	0	0	0	0	0	0	0
40-50m	0	0	0	0	0	0	0
50-60m	0	0	0	0	0	0	0
60-70m	0	0	0	0	0	0	0

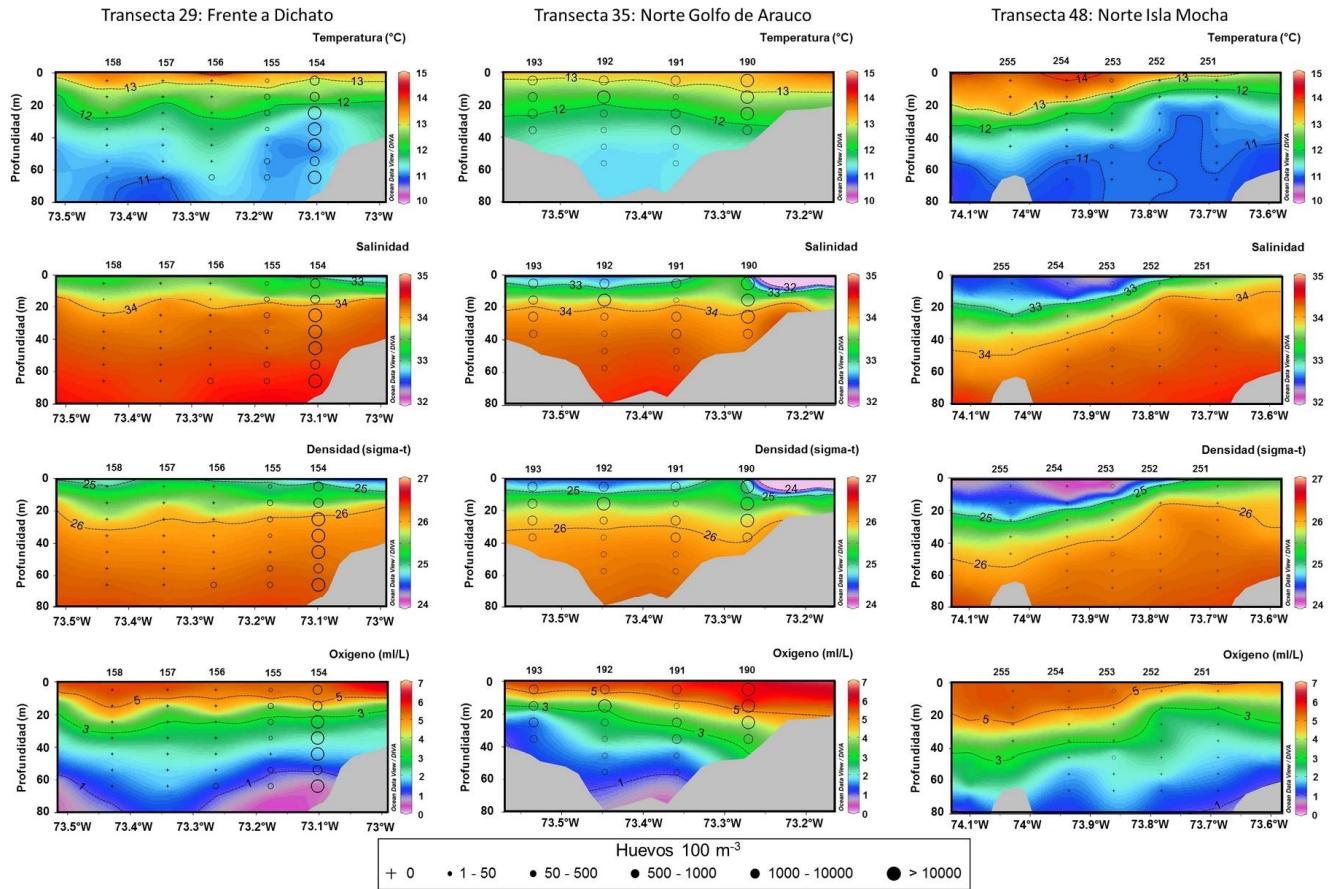


**Tabla 24.** Resultados de las comparaciones entre los grupos de desarrollo de huevos (Grupo I: estados 1 a 4 de Moser y Ahlstrom (1985); Grupo II: estados 5 a 7 de Moser y Ahlstrom (1985); Grupo III: estados 8 a 11 de Moser y Ahlstrom (1985)), especies (anchoveta y sardina común), y transecta (frente a Dichato (transecta 29), Norte Golfo Arauco (transecta 35), Norte Isla Mocha (transecta 48)) a través del test de Kruskal Wallis.

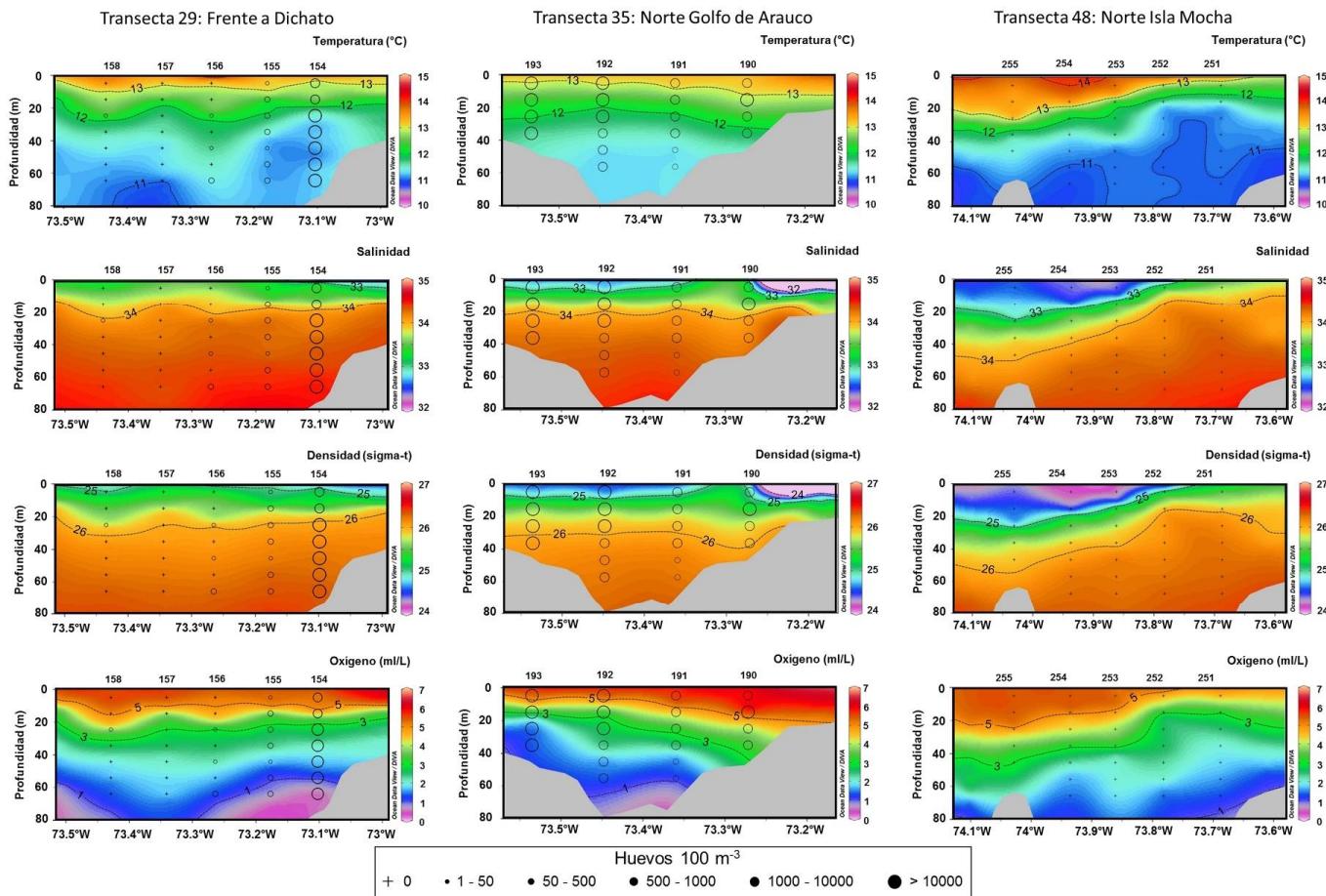
Kruskal Wallis (W-K)					
Especie	Comparación	$\chi^2$	Df	p-valor	Descripción
anchoveta		0.519	2	0.7716	No hay diferencias significativas en la profundidad de los centroides de los huevos de anchoveta entre los diferentes grupos de desarrollo.
	Grupos I, II, III				
sardina común		0.655	2	0.7207	No hay diferencias significativas en la profundidad de los centroides de los huevos de sardina común entre los diferentes grupos de desarrollo.
anchoveta		6.060	2	0.0483	Hay diferencias significativas en la profundidad de los centroides de los huevos de anchoveta entre las distintas zonas de estudio.
	Transectas				
sardina común		4.083	1	0.0433	Hay diferencias significativas en la profundidad de los centroides de los huevos de sardina común entre las distintas zonas de estudio.
anchoveta Vs sardina común	Especies Frente a Dichato	0.3373	1	0.5614	No hay diferencias significativas entre la profundidad de los centroides de los huevos de anchoveta y sardina común en la zona frente a Dichato.
	Especies Norte Golfo Arauco	0.3333	1	0.5637	No hay diferencias significativas entre la profundidad de los centroides de los huevos de anchoveta y sardina común en la zona Norte Golfo Arauco.



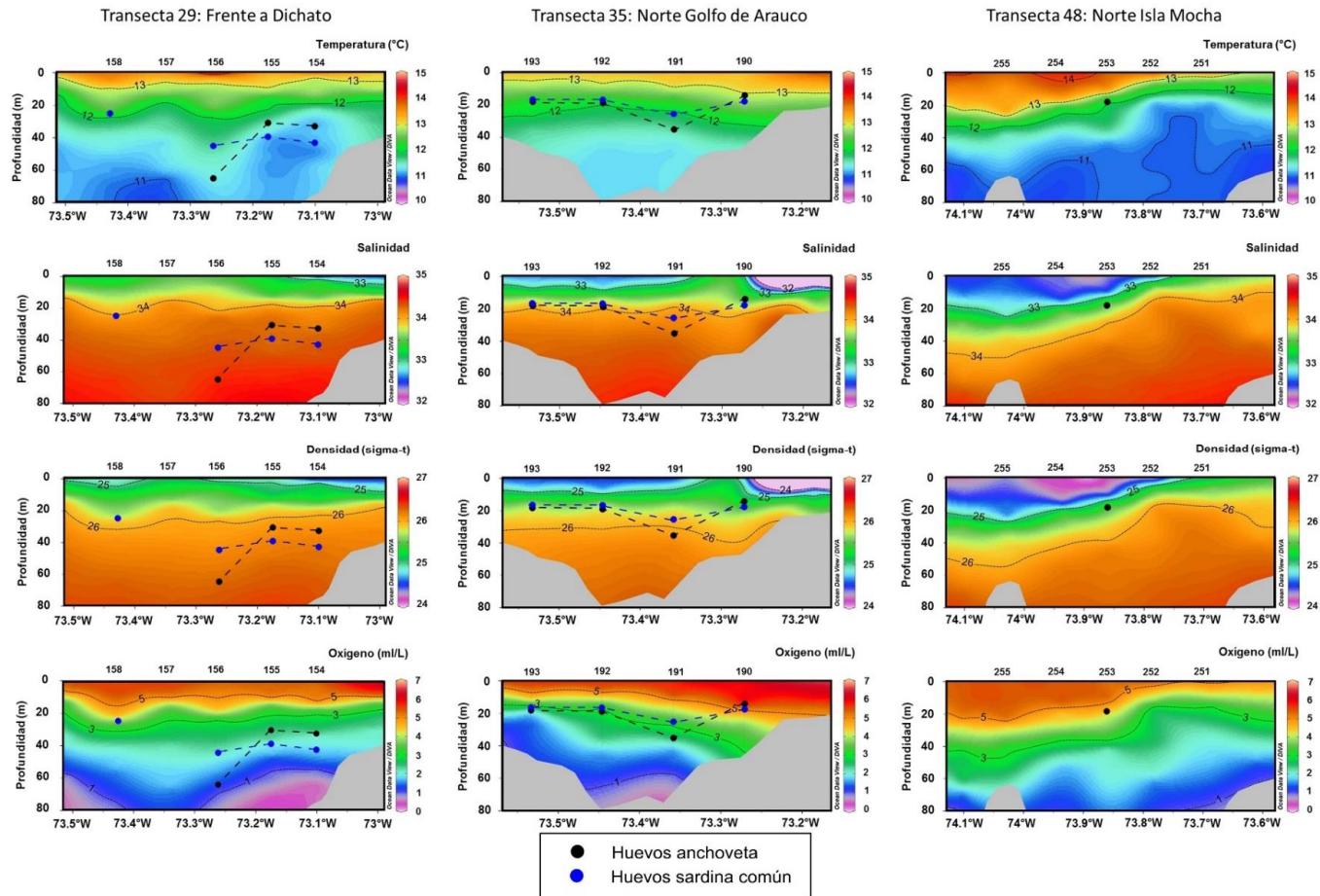
**Figura 17.** Distribución vertical promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker).



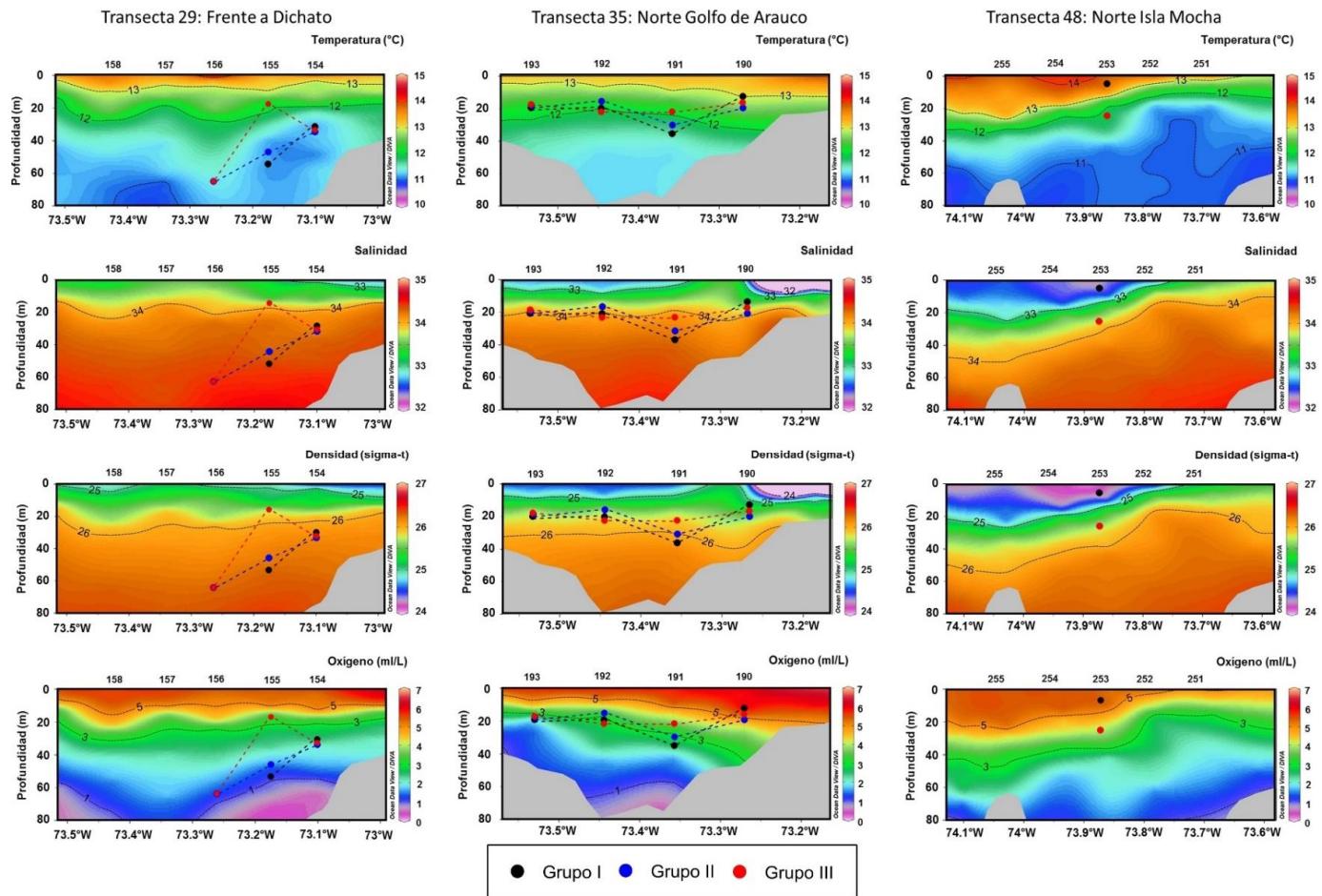
**Figura 18.** Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta sobre las secciones de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker).



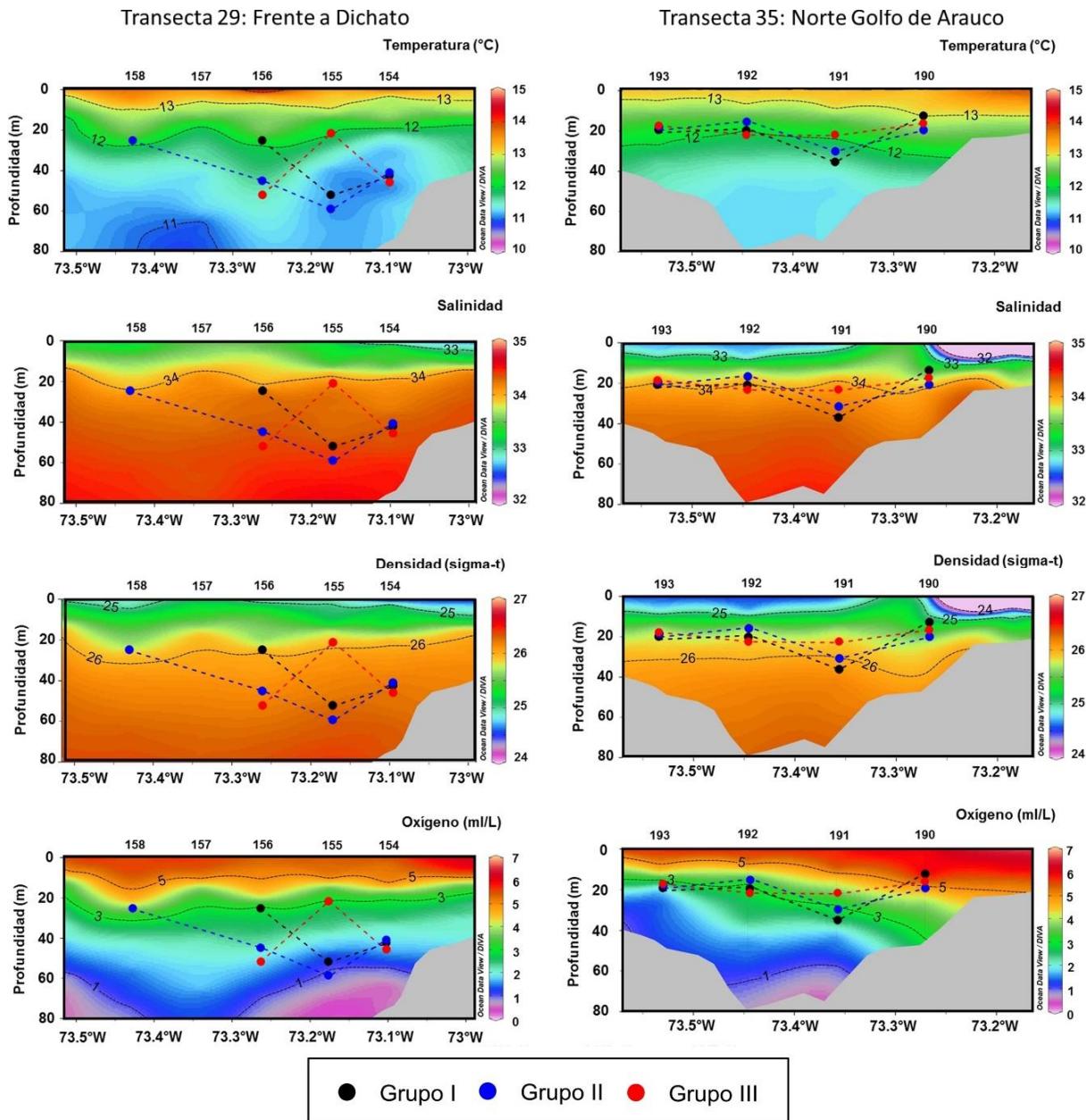
**Figura 19.** Sobreposición de abundancia de huevos de sardina común sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker).



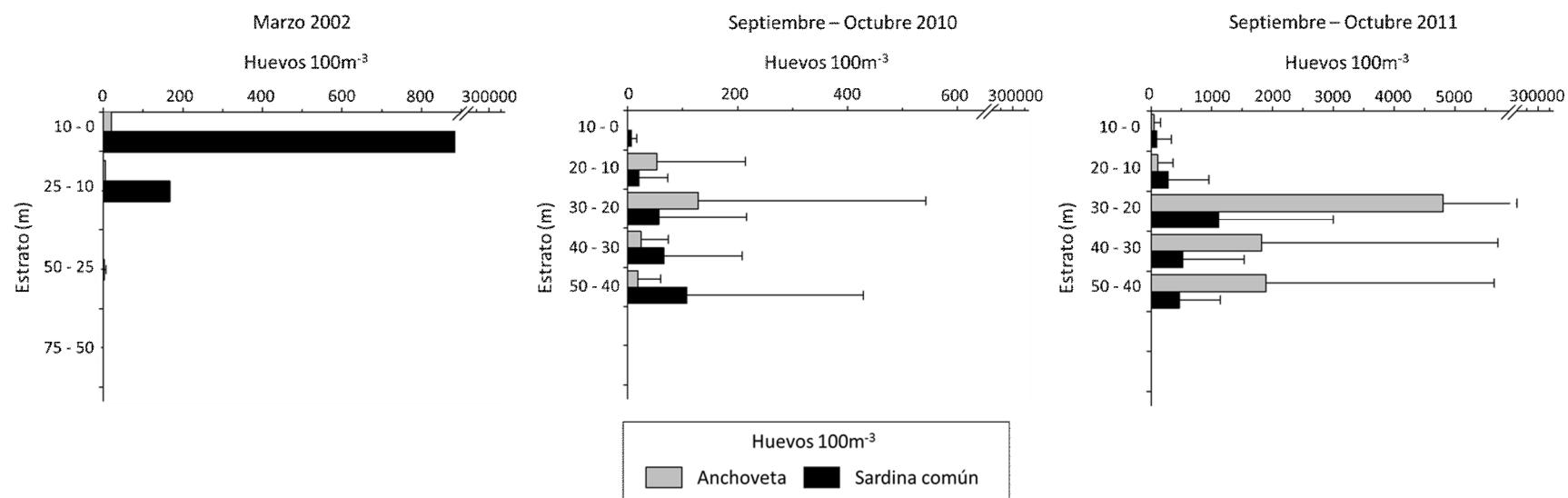
**Figura 20.** Sobreposición de la profundidad de los centroides de huevos de anchoveta y sardina común sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker).



**Figura 21.** Sobreposición de la profundidad de los centroides de los grupo de desarrollo de huevos de anchoveta sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad (sigma-t) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker).



**Figura 22.** Sobreposición de la profundidad de los centroides de los grupo de desarrollo de huevos de sardina común sobre las secciones de temperatura (°C), salinidad, densidad ( $\sigma_t$ ) y oxígeno (mL/L) en las transectas 29 (Frente Dichato), 35 (Norte Golfo Arauco) y 48 (Norte Isla Mocha) (Red Tucker).



**Figura 23.** Distribución vertical promedio de huevos de anchoveta y sardina común frente a las costas de Dichato en los meses de marzo (2002) y septiembre-octubre (2010 y 2011) (Red Tucker).



## 5. Estimación de densidad de los huevos de anchoveta por edad de desarrollo

### 5.1 Ajuste de la curva de calibración de las columnas experimentales para los diferentes meses de experimentación

La densidad de los huevos de anchoveta durante su desarrollo en los experimentos de cada mes fue estimada midiendo la altura en que se ubicaban los huevos en la columna de agua e interpolando su densidad desde la regresión lineal ( $R^2 > 0.95$ ) construida entre la densidad de los flotadores de vidrio y su altura en la columna experimental (**Tabla 25**).

- Comparación de la densidad estimada de los huevos durante los meses experimentales

Las densidades de los huevos obtenidos en los meses de octubre, noviembre y diciembre, se compararon a través de un análisis estadístico de Kruskal-Wallis el cual mostró que las densidades no presentaron cambios significativos entre los distintos meses ( $p > 0.05$ ) (**Tabla 26**).

### 5.2 Densidad estimada de los huevos de anchoveta

Un modelo polinomial de cuarto orden describió adecuadamente las variaciones de la densidad de los huevos en el tiempo (edad) (**Tabla 27**). En términos generales, la densidad de los huevos de anchoveta no presenta grandes cambios a lo largo del desarrollo embrionario temprano (24.8 a 25.8 sigma-t), sino que solamente se observa una marcada tendencia al aumento en la densidad en el momento próximo a la eclosión (~ 26.8 sigma-t); esta tendencia se aprecia claramente en todos los meses (**Figura 24; Tabla 27**).

### 5.3 Comparación de la distribución vertical de huevos de anchoveta *in situ* vs estimada

La distribución vertical de huevos observada *in situ* se obtuvo de los *muestreos estratificados* con la red Tucker y, paralelamente, se estimó desde el modelo de densidad los perfiles de distribución vertical en cada estación. Con la red Calvet (*muestreo integrado*) también se estimó su distribución vertical de los huevos a través del modelo de densidad y de los perfiles de densidad en cada estación.

### 5.4 Transecta 29 (Frente a la costa de Dichato)

En la estación 154, la distribución vertical observada y estimada (*muestreo estratificado*) mostró la presencia de huevos de anchoveta en toda la columna de agua, con un mayor número a 25m (observado) y 26.4m (estimado) de profundidad. La distribución vertical de huevos estimada a partir del *muestreo integrado*, mostró que la mayor abundancia de huevos se presentó a una profundidad de 19m de profundidad y el número promedio de huevos se presentó a una profundidad de 18m (**Figura 25**).



En la estación 155, la distribución vertical observada y estimada (*muestreo estratificado*) de huevos es similar, se observa que el mayor número de huevos se presentó a 15m y 16.9m de profundidad, respectivamente. La distribución estimada a partir del *muestreo integrado*, mostró que la mayor abundancia y el promedio de huevos se concentró a 17.5m y 20m de profundidad respectivamente (**Figura 25**).

En la estación 156, los resultados de la distribución vertical observada y estimada (*muestreo estratificado*) revelan presencia de huevos solo en el estrato más profundo (70-60m), es decir se observan a una profundidad de 65m (*observado*) y 61.1m (*estimado*). En el *muestreo integrado* con red Calvet no se registraron huevos de anchoveta en toda la columna de agua (**Figura 25**).

### 5.5 Transecta 35 (Norte Golfo de Arauco)

En la estación 190, la distribución vertical de huevos tanto observada como estimada (*muestreos estratificados*) se registra desde 5m a 47m de profundidad. El mayor número de huevos se presentó en 15m (*observada*) y 15.6m (*estimado*) de profundidad. La distribución vertical de huevos estimada obtenida a partir de un *muestreo integrado*, abarcó toda la columna de agua (7m a 33m de profundidad), con una máxima presencia de huevos a una profundidad de 15.8m y el número promedio de huevos se situó a 16m de profundidad (**Figura 26**).

En la estación 191, la distribución vertical de huevos observada como estimada (*muestreo estratificado*) se sitúa entre 5m y 58m de profundidad. La mayor presencia de huevos se encontró a 35m (*observado*) y 40.3m (*estimado*) de profundidad. En el *muestreo integrado*, la distribución vertical estimada abarcó una profundidad entre 11m y 55m, con una máxima presencia de huevos a 29.3m de profundidad y el valor promedio de huevos se centró a una profundidad de 21.1m (**Figura 26**).

En la estación 192, los resultados de la distribución vertical observada como estimada (*muestreo estratificado*) mostraron que los huevos de anchoveta se distribuyeron entre 5m y 68m de profundidad. El máximo número de huevos se presentó a profundidad de 13.6m (*estimado*) y 15m (*observado*) de profundidad. La distribución vertical estimada a partir de un *muestreo integrado*, mostró que los huevos se encuentran desde 9m a 68m de profundidad, con un número máximo y promedio de huevos situados a una profundidad de 12.9m y 18.5m respectivamente (**Figura 26**).

En la estación 193, la distribución vertical, tanto observada como estimada (*muestreo estratificado*) de huevos se localiza entre 5 y 42m de profundidad, con una máxima presencia cercana a los 15m de profundidad. La distribución vertical estimada a partir de un *muestreo integrado* revela que la presencia de huevos se sitúa entre 8m y 49m de profundidad, con una máxima abundancia a 12.2m de profundidad y promedio de huevos a 20.1m de profundidad (**Figura 26**).



## 5.6 Transecta 48 (Norte de la Isla Mocha)

En la estación 253, la distribución vertical observada y estimada (*muestreo estratificado*) exhibieron el mayor número de huevos en el estrato superficial (10-0m). La estimación de la distribución vertical de huevos a partir del *muestreo integrado*, no se pudo desarrollar por ausencia de huevos de anchoveta (**Figura 27**).

Finalmente, se compararon las distribuciones verticales observadas y estimadas (*muestreo estratificado e integrado*) en base a la profundidad de la máxima presencia de huevos de anchoveta a través del test de Kruskal-Wallis (K-W). Los resultados de las transectas 29 y 35, revelan que la profundidad de máxima presencia de huevos no exhibió cambios significativos (Transecta 29:  $x^2 = 0.472$ ;  $p = 0.789$  y Transecta 35:  $x^2 = 0.507$ ;  $p = 0.776$ ) entre los valores observados y simulados.

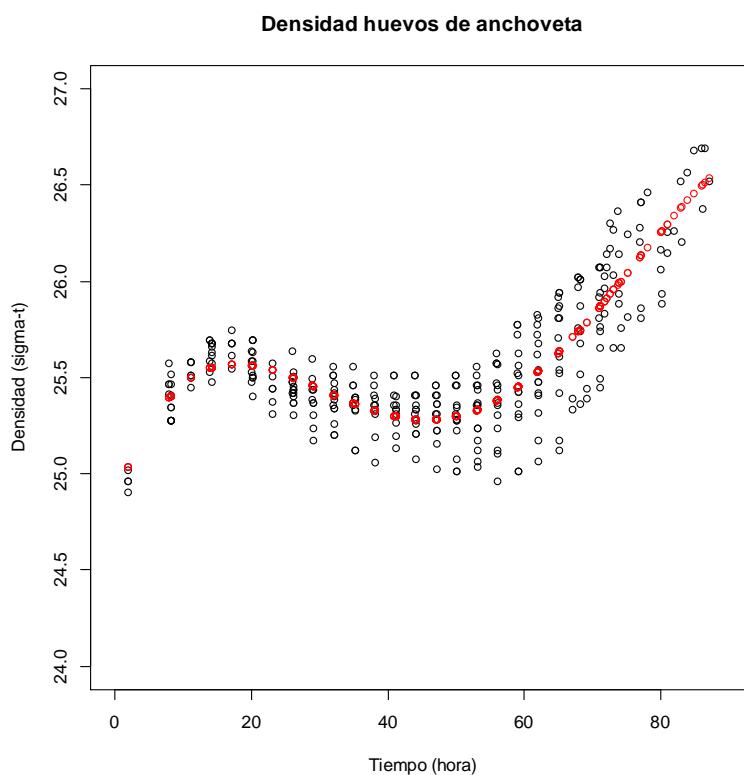
## 5.7 Relación de la distribución vertical de huevos con variables ambientales

En la transecta 29, se observó que el mayor valor en el promedio (*muestreo integrado*) y máxima presencia (*muestreo estratificado e integrado*) de huevos se presentaron en la estación más costera (E-154), asociados a temperaturas entre 11.39° y 12.19°C, y salinidad (> 33.947) y densidad (> 25.738, sigma-t) relativamente altas. Seguida en abundancia se encuentra la estación 155, donde el promedio y máxima presencia de huevos se presentaron en aguas cálidas (> 12.05°C), salinidad (< 34.068) y densidad (< 25.852) bajas (**Tabla 28**).

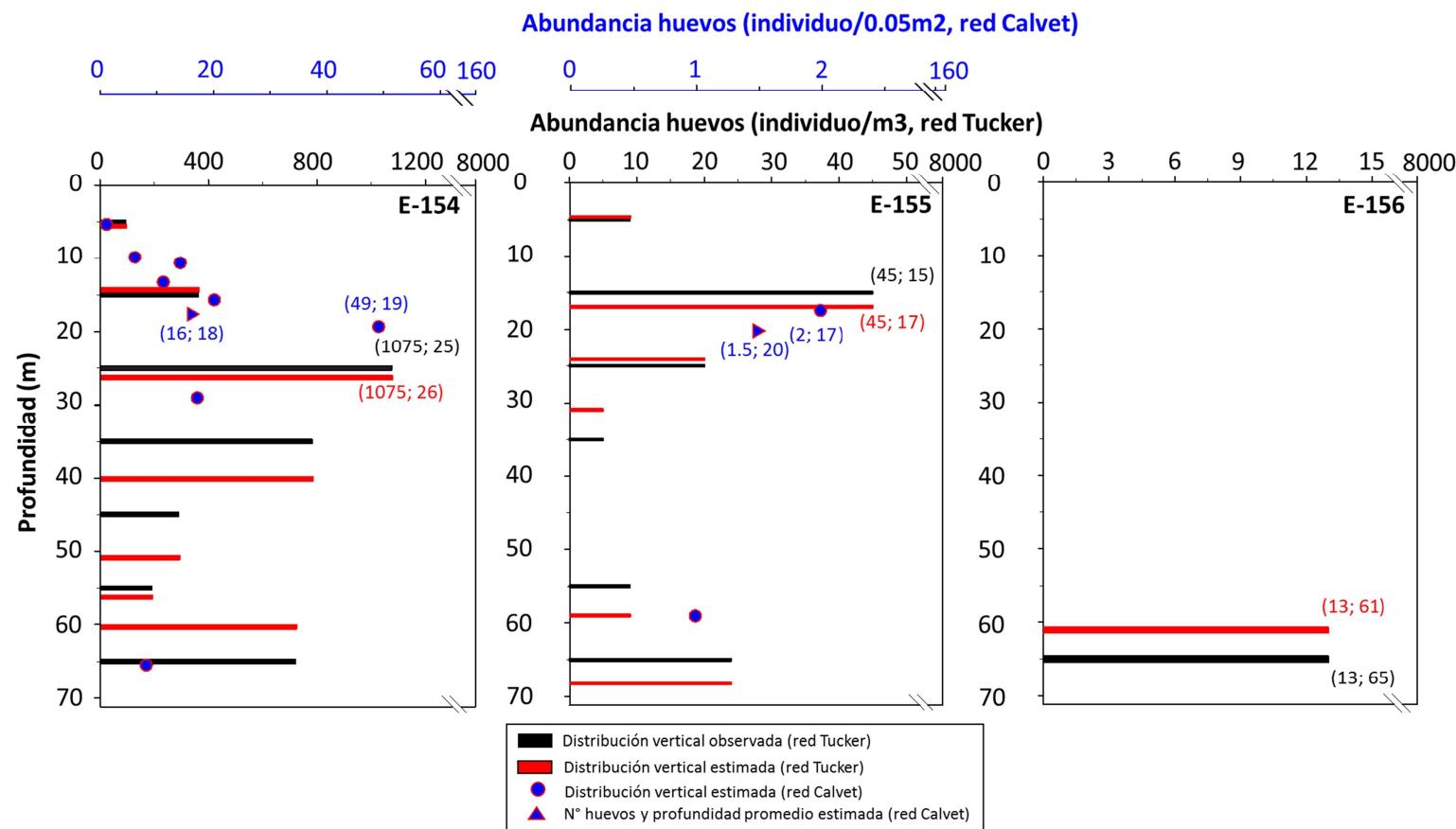
En la transecta 35, los mayores valores se observan en el promedio (*muestreo integrado*) y máxima presencia (*muestreo estratificado e integrado*) de huevos en la estación costera (E-190) asociados a temperaturas altas (> 12.82°C), y salinidad (< 33.517) y densidad (< 25.318) relativamente bajas. La presencia de huevos disminuye hacia las estaciones más oceánicas (E-193), con incremento de la temperatura (11.45° a 12.57°C), y disminución de la salinidad (34.296 a 33.497) y densidad (26.146 a 25.315) (**Tabla 28**).

En la estación 253 (transecta 48), la máxima presencia de huevos se asoció a temperaturas altas (> 13), con baja salinidad (< 32.5) y densidad (< 24.3) (**Tabla 28**).

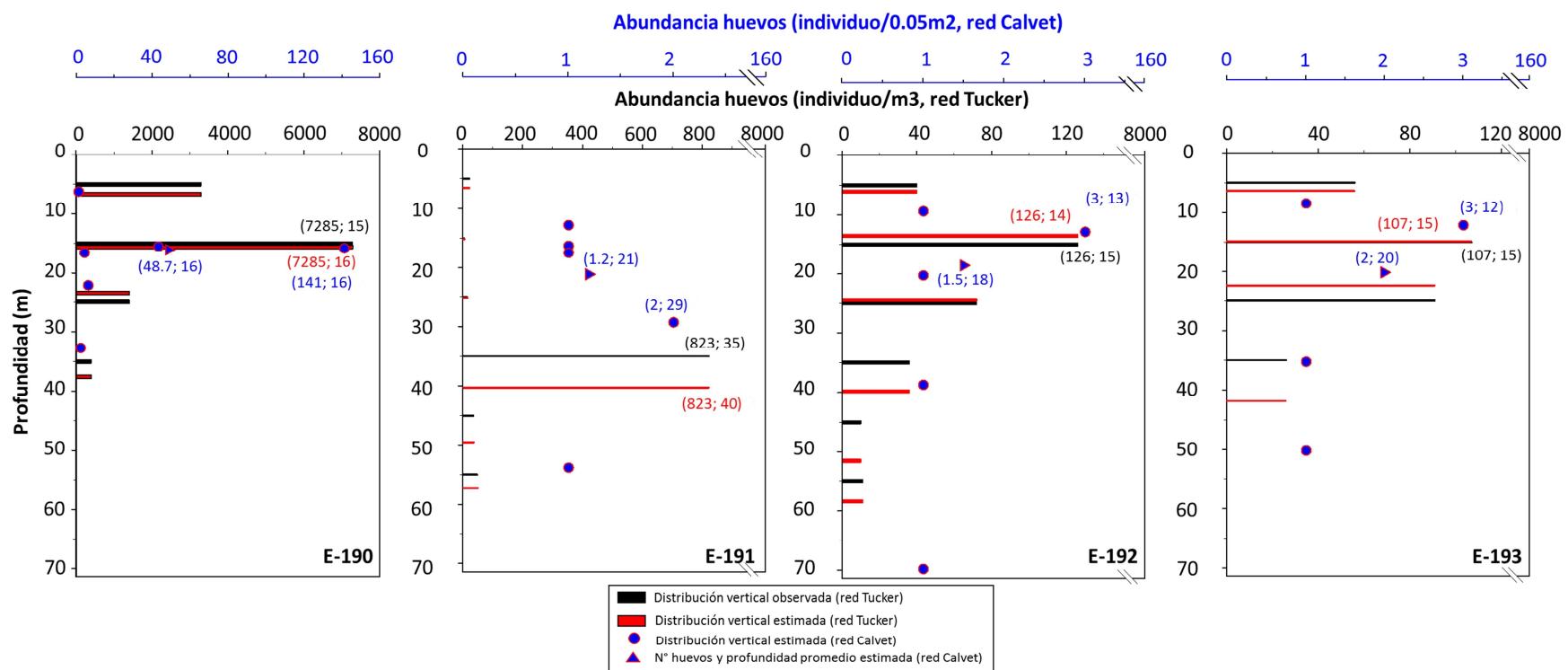
En resumen, los rangos de distribución vertical *in situ* y estimados de huevos de anchoveta son similares. La profundidad *in situ* y estimada de máxima abundancia de huevos no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). En el muestreo integrado (red Calvet) no se encontraron huevos de anchoveta en las estaciones 156 (transecta 29) y 253 (transecta 48). La mayor abundancia de huevos de anchoveta se detectó en la zona costera, asociada a profundidades entre 15m y 25m, con valores bajos de temperatura, salinidad y densidad relativamente altas.



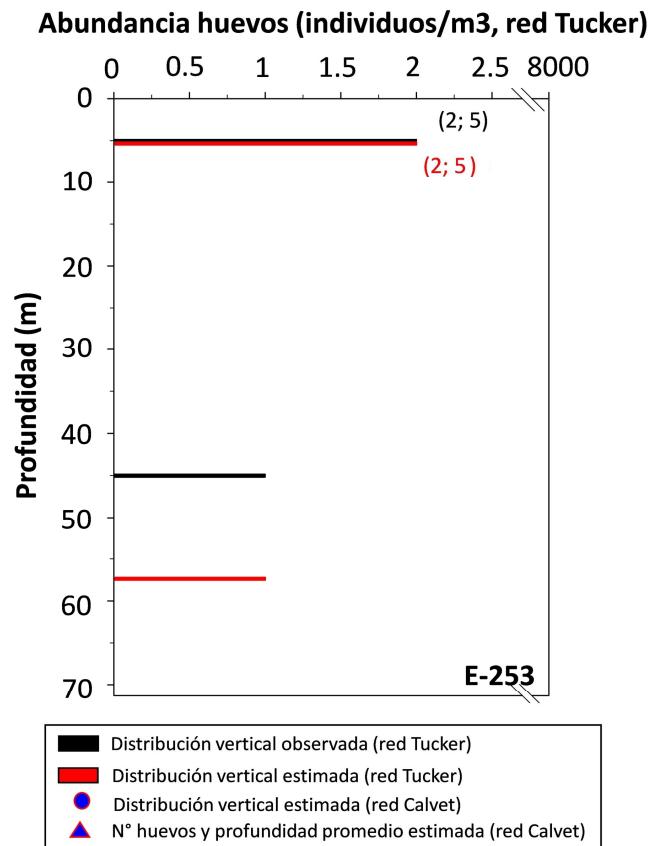
**Figura 24.** Resultados de los experimentos de densidad de huevos de anchoveta realizados en agosto, octubre y noviembre 2011 (círculo negro: dato observado; círculo rojo: dato estimado).



**Figura 25.** Distribución vertical de huevos de anchoveta observada (barra negra: Observada (red Tucker)) y estimada (barra roja: Estimada (red Tucker); círculo azul: Estimada (red Calvet); triángulo azul: Promedio estimado (red Calvet)) frente a la costa de Dichato (Transecta 29). Los valores en paréntesis corresponden a la máxima abundancia (barra negra, barra roja y círculo azul) o abundancia promedio (triángulo azul) y profundidad.



**Figura 26.** Distribución vertical de huevos de anchoveta observada (barra negra: in situ (red Tucker)) y estimada (barra roja: Estimada (red Tucker); círculo azul: Estimada (red Calvet); triángulo azul: Promedio estimado (red Calvet)) al norte del Golfo de Arauco (Transecta 35). Los valores en paréntesis corresponden a la máxima abundancia (barra negra, barra roja y círculo azul) o abundancia promedio (triángulo azul) y profundidad.



**Figura 27.** Distribución vertical de huevos de anchoveta observada (barra roja: Estimada (red Tucker); círculo azul: Estimada (red Calvet); triangulo azul: Promedio estimado (red Calvet)) al norte de la Isla Mocha (Transecta 48). Los valores en paréntesis corresponden a la máxima abundancia (barra negra, barra roja y círculo azul) o abundancia promedio (triangulo azul) y profundidad.



**Tabla 25.** Resultados de las regresiones lineales para la calibración de los experimentos de densidad de huevos en los diferentes meses.

Coeficientes	Agosto		Octubre		Noviembre	
	Valor	Error Estándar	Valor	Error Estándar	Valor	Error Estándar
Intercepto	1.0279	8.154e-2	1.0278	1.7e-4	1.0279	5.73e-4
Pendiente	-1.33e-5	1.096e-2	-1.12e-5	5.5e-7	-1.55e-5	2.48e-6
ESR	7.088e-4		1.952e-4		6.15e-4	
R <sup>2</sup>	0.95		0.99		0.95	

**Tabla 26.** Resultados de las comparaciones de los diferentes experimentos de densidad de huevos a través del test de Kruskal Wallis (K-W).

Coeficientes	Valor	df	Valor P	Observación
X <sup>2</sup>	19.03	2	7.363e-2	similares

**Tabla 27.** Resultados del ajuste entre la densidad del huevo y el tiempo de desarrollo de los diferentes experimentos (agosto, octubre y noviembre) a través de un modelo polinomial de cuarto orden. (ESR: Error estándar residual).

Coeficientes	Valor	Error Estándar	Valor P	Significancia
Intercepto	24.87	8.154e-2	< 2e-16	***
Tiempo	9.647e-2	1.096e-2	< 2e-16	***
Tiempo <sup>^2</sup>	-4.279e-3	4.633e-4	< 2e-16	***
Tiempo <sup>^3</sup>	6.592e-5	7.577e-6	< 2e-16	***
Tiempo <sup>^4</sup>	-3.098e-7	4.199e-8	1.45e-12	***
ESR	0.173			
R <sup>2</sup>	0.73			

**Tabla 28.** Valores de las variables oceanográficas obtenidas de la posición vertical (profundidad) del número promedio y máxima presencia de huevos de anchoveta.

Transecta	Estación	Tipo Muestreo	Red	Presencia Huevos	Profundidad (m)		Temperatura (°C)	Salinidad	Densidad (sigma-t)
					in situ	Estimada			
29	154	estratificado	Tucker	Máxima	25	-	11.41	34.128	26.023
					-	26	11.39	34.147	26.038
		integrado	Calvet	Promedio	-	19	12.02	34.033	25.834
					-	18	12.19	33.947	25.738
29	155	estratificado	Tucker	Máxima	15	-	12.32	33.875	25.658
					-	17	12.05	33.998	25.807
		integrado	Calvet	Promedio	-	17	12.05	33.998	25.807
					-	20	12.07	34.068	25.852
29	156	estratificado	Tucker	Máxima	65	-	11.35	34.440	26.277
					-	61	11.41	34.429	26.258
		integrado	Calvet	Promedio	-	-	-	-	-
					-	-	-	-	-
35	190	estratificado	Tucker	Máxima	15	-	12.87	33.517	25.270
					-	16	12.82	33.568	25.318
		integrado	Calvet	Promedio	-	16	12.82	33.568	25.318
					-	16	12.82	33.568	25.318
35	191	estratificado	Tucker	Máxima	35	-	11.64	34.209	26.044
					-	40	11.45	34.296	26.146
		integrado	Calvet	Promedio	-	29	11.76	34.169	25.989
					-	21	12.21	34.119	25.868
35	192	estratificado	Tucker	Máxima	15	-	12.35	33.794	25.586
					-	14	12.41	33.731	25.525
		integrado	Calvet	Promedio	-	13	12.46	33.683	25.479
					-	18	12.11	33.950	25.754
35	193	estratificado	Tucker	Máxima	15	-	12.33	33.844	25.630
					-	15	12.33	33.844	25.630
		integrado	Calvet	Promedio	-	12	12.57	33.497	25.315
					-	20	12.15	33.997	25.782
48	253	estratificado	Tucker	Máxima	5	-	13.74	32.420	24.247
					-	5	13.74	32.420	24.247
		integrado	Calvet	Promedio	-	-	-	-	-
					-	-	-	-	-

## 6. Condiciones hidrográficas

### 6.1. Temperatura superficial del mar

En las estaciones de la grilla regular (transecta por medio) se realizaron perfiles hidrográficos con CTD equipado con un sensor de oxígeno. Los lances hidrográficos se realizaron hasta 100 metros de profundidad o hasta 10 metros del fondo, según la batimetría del lugar. Adicionalmente, en todas las estaciones de la grilla, se midió la temperatura superficial del mar a bordo con termómetros digitales. Una inspección de la sección horizontal de temperatura superficial, muestra los valores



(>13°C en el sector norte y centro y menores temperaturas (<13°C) hacia el sur. Respecto a otros años, sin embargo, hubo un cambio notable: el rango de temperaturas fue más alto este año, con la mayor parte de los valores de temperatura superficial sobre 13°C, incluso en la zona costera donde normalmente los focos de surgencia presentan valores menores a 12°C. Este año, el área de punta Lavapié - Lebu (37° - 37°30'S), sector donde normalmente se aprecian cambios notorios entre la zona central y sur, presentó valores alrededor de los 14° y dentro del Golfo de Arauco fue entre los 13°C. En el área alrededor de Isla Mocha y también en medio de la zona de desove histórica sur (38.5-39.0°S), se observaron valores sobre 14°C (**Figura 28**).

Las temperaturas superficiales del mar de este año 2015 fueron las más altas de la serie de años 2010-2015 (**Figura 28**). El muestreo en las zonas centro y sur (sin tomar en cuenta las estaciones norte de la VII región) del 2015 fue aproximadamente en el mismo o solo una semana más tarde periodo del año (excepto el 2014, que fue antes) comparado con los demás años de la serie por lo que las condiciones generales del 2015 se vislumbran como más cálidas que en años anteriores durante el periodo de desove de la anchoveta y sardina común en la zona centro-sur (**Figura 28**).

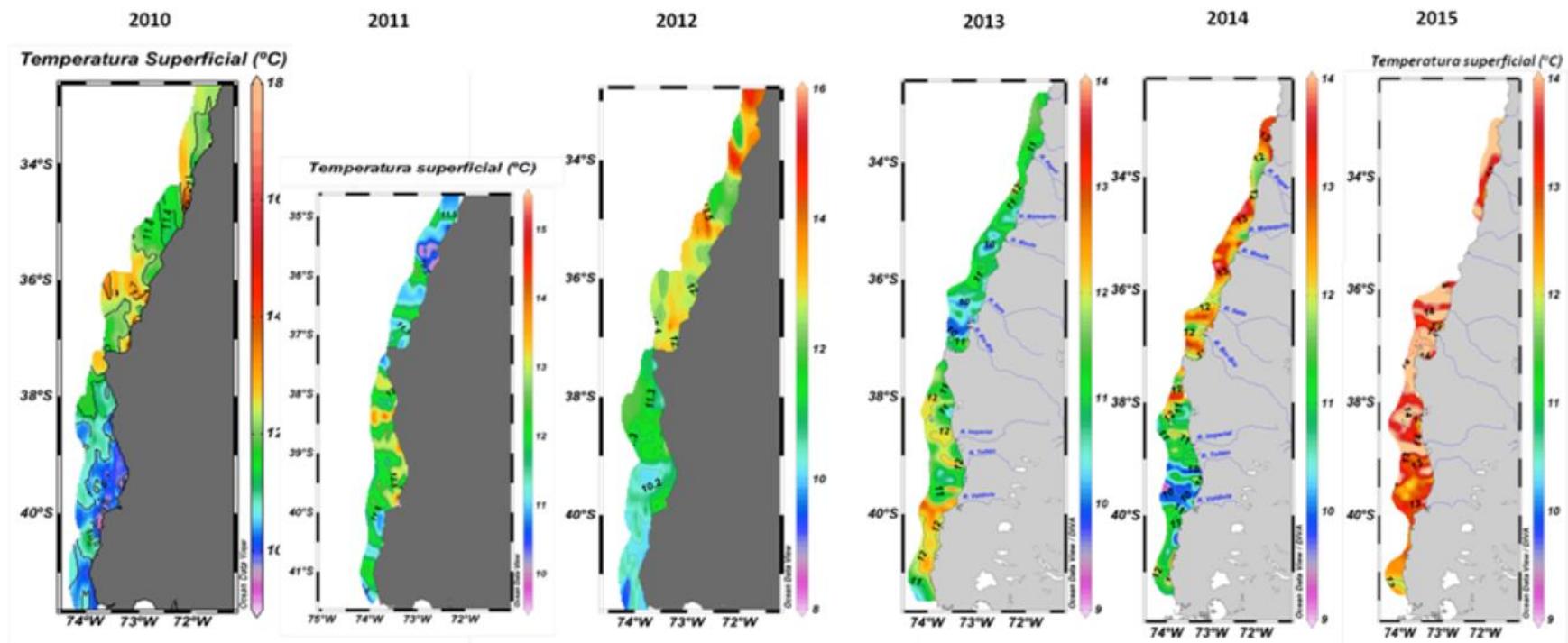


Figura 28. Temperatura superficial del mar ( $^{\circ}\text{C}$ ) medida durante los cruceros de huevos, año 2010 al 2015.



## 7. Índice de abundancia de huevos

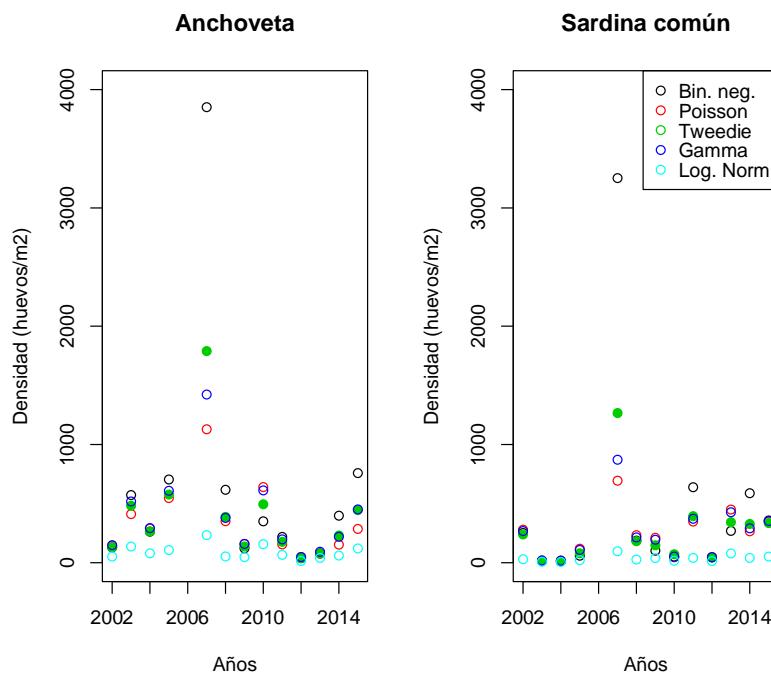
El índice de densidad de huevos fue analizado según tres núcleos de desove históricamente identificados, tanto para sardina común como para anchoveta; y en función de tres estratos de profundidad. De esta manera, los factores fijos fueron los años (2002 al 2015, excepto 2006 en que no hubo crucero MPDH), 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 29**). Una comparación visual de la densidad esperada de huevos se muestra en la **Figura 29**, mientras que en la **Tabla 30** se resume el índice de huevos estandarizado, según el modelo Tweedie para el estrato de profundidad somero y zona sur.

**Tabla 29.** Desempeño estadístico de los modelos utilizados para estandarizar la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (parámetros=16 coeficientes).

Modelo	Especie	g.l.	Dev. Nula	Dev. Res.	Dev.Expl (%)
Bin. Neg.	Anchoveta	4874	4057.6	2897.1	28.6
	Sardina	4877	2752.7	1942.7	29.4
Poisson	Anchoveta	4874	373134	269638	27.7
	Sardina	4877	287159	227149	20.9
Tweedie	Anchoveta	4874	75255	52568	<b>30.1</b>
	Sardina	4877	72451	51851	<b>28.4</b>
Gamma	Anchoveta	1435	4853.6	4132.6	14.9
	Sardina	904	3452.1	2994.3	13.3
Log-Normal	Anchoveta	1435	4545.2	4067.7	10.5
	Sardina	904	3059.0	2781.5	9.1
Binomial*	Anchoveta	4874	5910.3	4742.2	19.8
	Sardina	4877	4679.7	3849.7	17.7

\*presencia-ausencia



**Figura 29.** Índice de densidad de huevos de anchoveta (huevo/m<sup>2</sup>) por años, según diferentes modelos para la estructura del error.

**Tabla 30.** Índice de densidad de huevos estandarizado de anchoveta y sardina común obtenido con MLG binomial negativo y enlace log.

Años	Anchoveta			Sardina común		
	Densidad (huevo/m <sup>2</sup> )	Error Estándar	CV	Densidad (huevo/m <sup>2</sup> )	Error Estándar	CV
2002	130.9	31.7	0.242	238.3	64.1	0.269
2003	482.3	113.6	0.235	16.8	7.9	0.471
2004	265.2	89.0	0.336	12.4	8.2	0.665
2005	580.9	175.3	0.302	79.7	39.5	0.496
2007	1783.7	396.2	0.222	1265.4	354.1	0.280
2008	386.9	106.9	0.276	181.8	67.8	0.373
2009	137.6	43.8	0.318	148.0	56.1	0.379
2010	495.3	277.5	0.560	69.7	66.1	0.947
2011	176.9	56.1	0.317	393.4	133.9	0.340
2012	40.0	16.1	0.401	43.0	20.6	0.478
2013	77.0	27.9	0.363	342.1	118.7	0.347
2014	229.1	69.0	0.301	327.5	113.0	0.345
2015	438.5	120.9	0.276	337.4	116.7	0.346



## 7.1 Relación huevo-recluta

La evaluación acústica de biomasa total y de reclutas, tanto de sardina común como de anchoveta, realizadas en enero de cada año (excepto en 1995 y 1999 que se realizó en diciembre), se resume en la **Tabla 31**. En este contexto, la biomasa como la abundancia de reclutas de enero se relacionó con el índice de densidad de huevos del año anterior (ver **Tabla 30**), exceptuando el 2006 ya que en ese año no se realizó un 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 32** para sardina común y en la **Tabla 33** 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 33,1% ( $F=3,949$ ,  $P=0,082$ ) y el modelo de Ricker explicó 31,2% de la tasa de reclutamiento ( $F=3,63$ ,  $P=0,093$ ). La relación entre el número de reclutas y la densidad de huevos tuvo un menor desempeño, tanto del modelo potencial ( $r^2= 26,9\%$ ,  $F=2,945$ ;  $P=0,1245$ ) como de Ricker ( $r^2= 20,3\%$ ,  $F=2,036$ ;  $P=0,1915$ ) (**Figura 30**).

**Tabla 31.** 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 (t)	Biom. Reclutas (t)	Abundanc ia (n)	Reclutas (n)	Biomasa total (t)	Biom. Reclutas (t)	Abundanc ia (n)	Reclutas (n)
1995	9512	53143	44209	11410	9724	205165	204733	61894	61796
2000	9912	370184	131469	61810	51107	252601	252601	193708	177336
2001	0101	412103	209535	76668	64875	567819	562786	174879	174579
2002	0201	1508426	129451	96804	38371	858800	580746	154433	144233
2003	0301	250294	152228	46445	41633	477998	172736	42475	26622
2004	0401	1244668	168013	89109	36665	351125	306660	70577	68405
2005	0501	931140	311369	100806	75512	633136	132906	43082	24503
2006	0601	668370	289608	101882	75512	2064639	1328433	544170	516457
2007	0701	897777	274714	76628	41808	2134043	248770	122878	32845
2008	0801	1040062	105259	61942	24274	4813144	1887932	544253	440886
2009	0901	184774	142707	43355	41797	1555625	1295782	319469	304067
2010	1001	17550	14317	6905	6747	2614793	2070907	984610	953506
2011	1101	25864	7348	2750	2010	3594644	3578735	1216427	1215458
2012	1201	100147	63756	13215	11216	3789403	3034662	1746799	1705978
2013	1301	71376	13734	5303	2652	1133477	213086	87069	37395



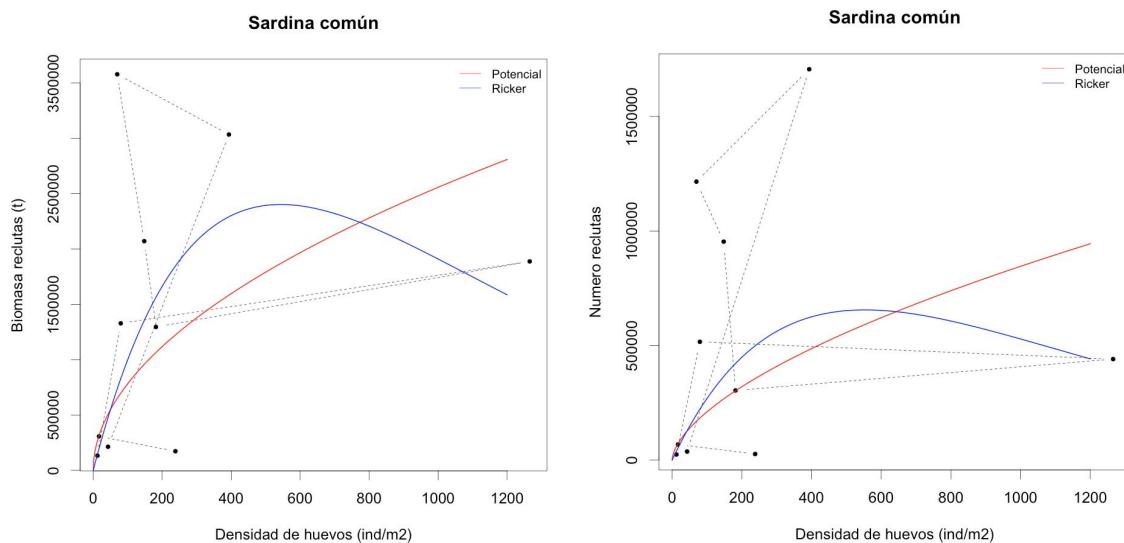
En la anchoveta, el modelo potencial entre la biomasa de reclutas y huevos logró un coeficiente de determinación de 14,7% ( $F=1,382$ ,  $P=0,2732$ ) y el modelo de Ricker explicó 19,5% de la tasa de reclutamiento ( $F=1,932$ ,  $P=0,202$ ). La relación entre el número de reclutas y la densidad de huevos tuvo mejor desempeño, tanto del modelo potencial ( $r^2= 15,8\%$ ,  $F=1,501$ ;  $P=0,254$ ) como de Ricker ( $r^2= 22,6\%$ ,  $F=2,333$ ;  $P=0,1652$ ) (**Figura 31**).

**Tabla 32.** Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de sardina común, zona centro-sur (2002-2013).

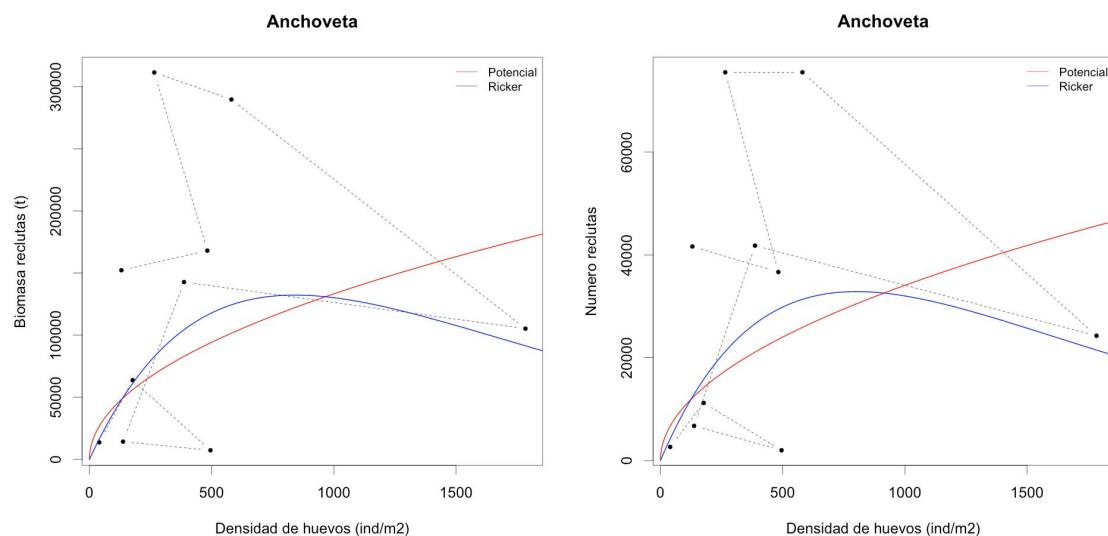
Sardina comun		Biomasa de reclutas (t)		
Potencial	Estimate.	Std Error	t value	Pr(> t )
a	11,20	1,253	8,94	1.940241e-05
b	0,514	0,259	1,99	0,0822
Ricker		Numero de Reclutas		
a	9,39	0,419	22439	1,65e-08
b	-0,00184	0,00096	-1905	0,0932
Potencial		Numero de Reclutas		
a	9,48	1,70	5.567003	0.00053
b	0,604	0,352	1.716195	0,1244
Ricker				
a	8.08	0.549356	14703	4.5e-07***
b	-0.00181	0.001267	-1427	0,191

**Tabla 33.** Ajuste de modelos para la relación huevo-recluta de anchoveta, zona centro-sur (2002-2013).

Anchoveta		Biomasa de reclutas (t)		
Potencial	Estimate.	Std Error	t value	Pr(> t )
a	8,35	2.43	3.430	0.0089
b	0,499	0.425	1.175	0.2736
Ricker		Numero de reclutas		
a	6,06	0,56	10.82	4,7e-06
b	-0.0012	0.00086	-1.39	0,202
Potencial		Numero de reclutas		
a	6,95	2,36	2.940584	0.0186
b	0,505	0,412	1.224973	0.2554
Ricker				
a	4,71	0,53	8822	2.15e-05
b	-0.0012	0,00082	-1527	0,165



**Figura 30.** Relación huevo-recluta en sardina común, biomasa de recluta (izquierda) y número de reclutas (derecha) en el periodo 2002-2013.

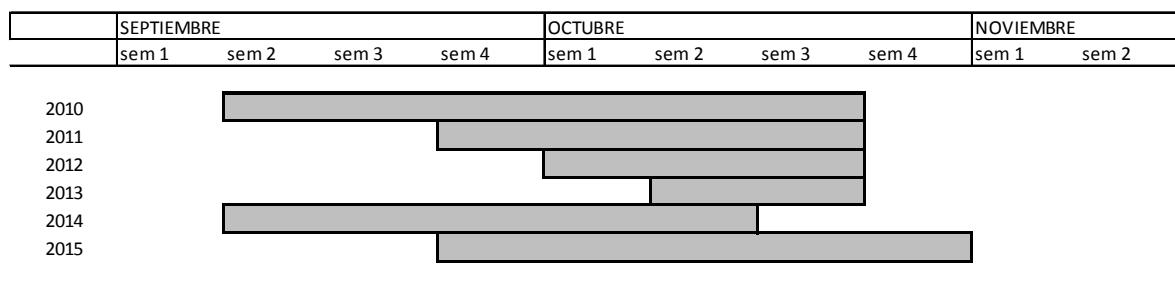


**Figura 31.** Relación huevo-recluta en anchoveta, biomasa de recluta (izquierda) y número de reclutas (derecha) en el periodo 2002-2013.



## VIII. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El crucero de evaluación del stock desovante se desarrolló entre los meses de septiembre y octubre de 2015. El periodo cubierto fue similar al periodo de estudio de los últimos 5 años (**Figura 32**), durante el periodo de máxima actividad reproductiva. En este contexto, los resultados son comparables con el desempeño del desove realizado en años previos.



**Figura 32.** Período de muestreo en sectores centro y sur, 2010-2015. Período marcado del 2015 no incluye muestreo adicional posterior en sector norte de la VII región, ni el muestreo en la zona norte.

En la campaña de muestreo 2015, y por primera vez en la historia de estos cruceros, la L/M Gimar fue atacada, lo que por seguridad, se decidió abandonar la zona de estudio (Anexo II). Este hecho circunstancial, obligó a volver a visitar la zona con el buque oceanográfico Kay kay de la Universidad de Concepción. Sin embargo, esta embarcación tuvo solamente disponibilidad de 4 días, pudiéndose cubrir algunas de las transectas sin muestrear.

Una manera de evaluar el probable efecto de esta limitación sobre la producción diaria de huevos, será: a) simular presencia y densidad de huevos por estadios de sardina común y anchoveta con técnicas geoestadísticas, utilizando campos gaussianos, y muestrear dichos datos simulados con el objeto de evaluar la fracción del desove que no se observó (ver por ejemplo Claramunt *et al.* 2007); y b) realizar una corrección por sesgo, comparando el efecto empíricamente a partir de cruceros previos. Ambos enfoques serán de utilidad para evaluar la sensibilidad de la estimación de la producción diaria de huevos, ante circunstancias como las ocurridas durante el 2015, y que deberán incorporarse al protocolo de análisis de futuras evaluaciones del MPDH.

Hasta el 2011, la distribución de la abundancia de huevos ocurrió en zonas características y protegidas, tal como el golfo de Arauco, norte de bahía Concepción, y al sur de la desembocadura del río Itata, para la zona centro; y en el sector comprendido entre Lebu y los 39°10'S, para la zona sur. 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. Sin embargo, el 2013 se retoma el patrón histórico de zonas de desove recurrentes, con el núcleo de desove localizado a los 39°S. En efecto, las zonas de desove de anchoveta y sardina común han sido características y con persistencia interanual (Zúñiga, 2011).

En el caso de la anchoveta, se identifica una zona de desove que presenta una forma continua principalmente desde los 35°S hasta el golfo de Arauco (37°10'S) (con una mayor abundancia entre Constitución y la desembocadura del río Itata); y otra zona de desove localizada desde los 37°30'S hasta los 40° S, con una mayor abundancia entre los 38°S y 39,7° S. En la sardina común, en cambio, se identifican zonas de desove más discretas, reconociéndose un núcleo de desove en los alrededores de Constitución, otro entre la desembocadura del río Itata y la bahía Concepción, y otro en el fondo del saco del golfo de Arauco. Sin embargo, la mayor zona de desove para este recurso se presenta entre los 38° y 40° S. En ambas especies, se identifica el sector sur como la principal área de desove, esto es entre 38°20'S y 40°S.

En el caso de la anchoveta, a partir de 2013 se observó una recuperación del desove en la zona centro, particularmente el centro de desove localizado entre los 34°30'S y 35°35'S; y además volvió a ser importante el centro de desove localizado alrededor de los 39° S en la zona sur. Sin embargo, en el 2014 y 2015, en sardina hay una mayor presencia de huevos en el golfo de Arauco y en la zona sur, se pierde de cierta forma el foco central de huevos mostrado en el 2013, en el área comprendida entre la desembocadura del río Imperial y el río Valdivia (38°5-40° 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 a la campaña previa, 2014, y es consistente con los monitoreos realizados por el Instituto de Fomento Pesquero para este recurso en el área de Corral.

Por otra parte, 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, 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.*, 2015).

En la campaña 2015 la sardina común, presentó dos estructuras de tallas distintas entre la zona centro y la zona sur. En la zona centro, el tamaño promedio de la sardina fue de 14,1 cm y refleja



que el stock desovante estuvo sustentado por adultos. Sin embargo en el sector sur, la estructura de talla presenta dos modas importantes; una en 9,5 cm y la otra en 13 cm de longitud total.

La variabilidad interanual en las estimaciones de fracción diaria de hembras desovantes se explica en un alto grado 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 33 y 34**), ratificando el efecto de la talla/peso sobre la frecuencia de desove reportada por Claramunt *et al.* (2007).

A pesar que el muestreo fue en fechas similares a la de cruceros previos, la temperatura superficial del mar en el 2015 fue la más cálida de los últimos cinco años, siguiendo con la tendencia observada a partir de 2014.

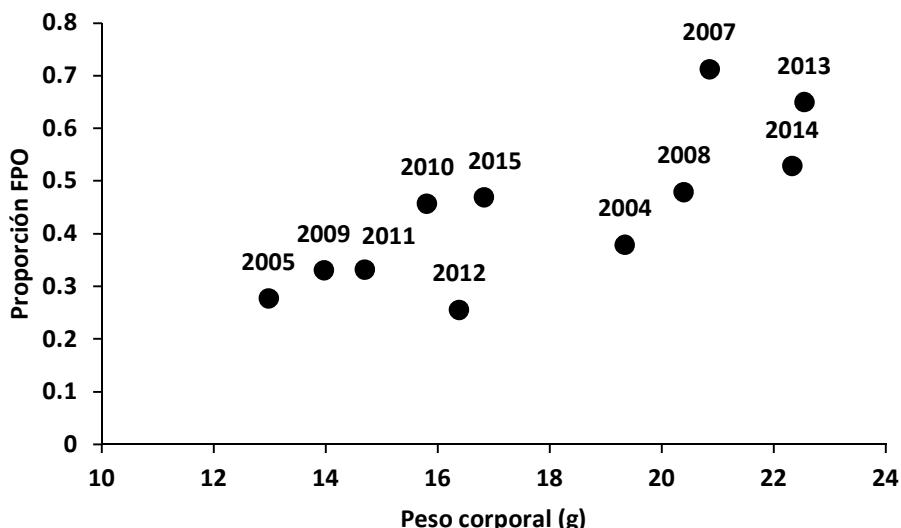
El índice de densidad de huevos de anchoveta indica una recuperación desde el 2012 al 2015, con una tendencia creciente; para la sardina, en cambio, muestra una estabilidad en valores altos. Sin embargo, el caso de la sardina común muestra un desove entre el sur del Itata y el Golfo de Arauco, y otro frente a Corral en el 2015; similar al año 2014. En el caso de la anchoveta, la recuperación se debería a un fortalecimiento del desove en la zona centro.

La relación entre el índice de densidad de huevo 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 explicó cerca de 33% de la varianza del reclutamiento, lo que en parte se pudo deber al efecto de una densidad alta de huevos en 2007.

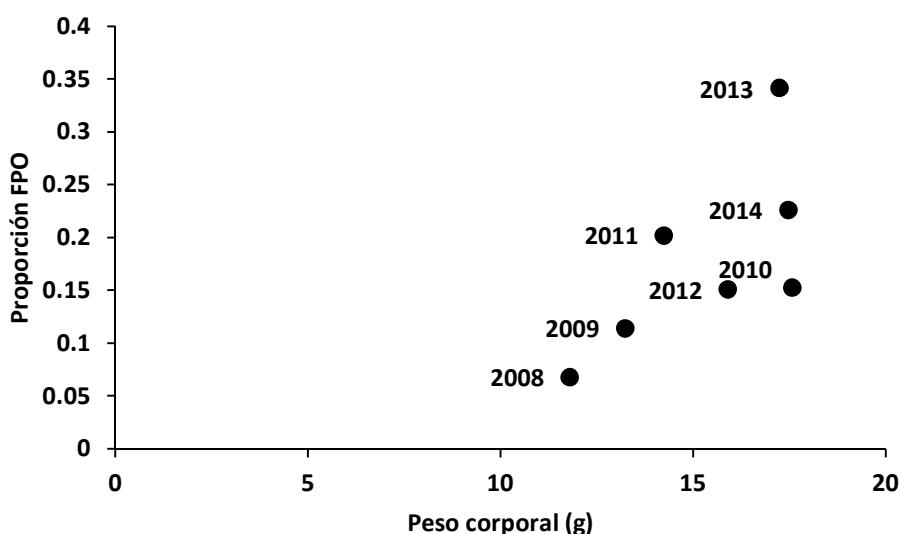
En consecuencia, la construcción de un índice idóneo para la evaluación de stock debería estar basado en información correlacionada. La producción de huevo podría ser estimada a partir de la densidad promedio de huevos, y teniendo el área de desove, se podría construir un índice de biomasa considerando la relación con la biomasa desovante evaluada. La pendiente sería un estimador de la fecundidad específica diaria promedio y podrían agregarse algunos factores que expliquen el desempeño de desove. Se sugiere, evaluar alternativas en el marco de una investigación independiente tal que permita orientar la investigación hacia el modelo de evaluación de stock.

Al respecto, en este estudio se destaca un procedimiento que permite reducir de manera importante el coeficiente de variación de la producción diaria de huevos, al ponderar la estimación por el índice de agregación de Lloyd de las cohortes 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 otra 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. Al respecto, será necesario desarrollar un estudio que permita corregir los altos valores de los coeficientes de variación que fueron reportados en los

estudios previos, y con esto mejorar significativamente el aporte que la biomasa desovante debería tener en la evaluación de stock integrada.



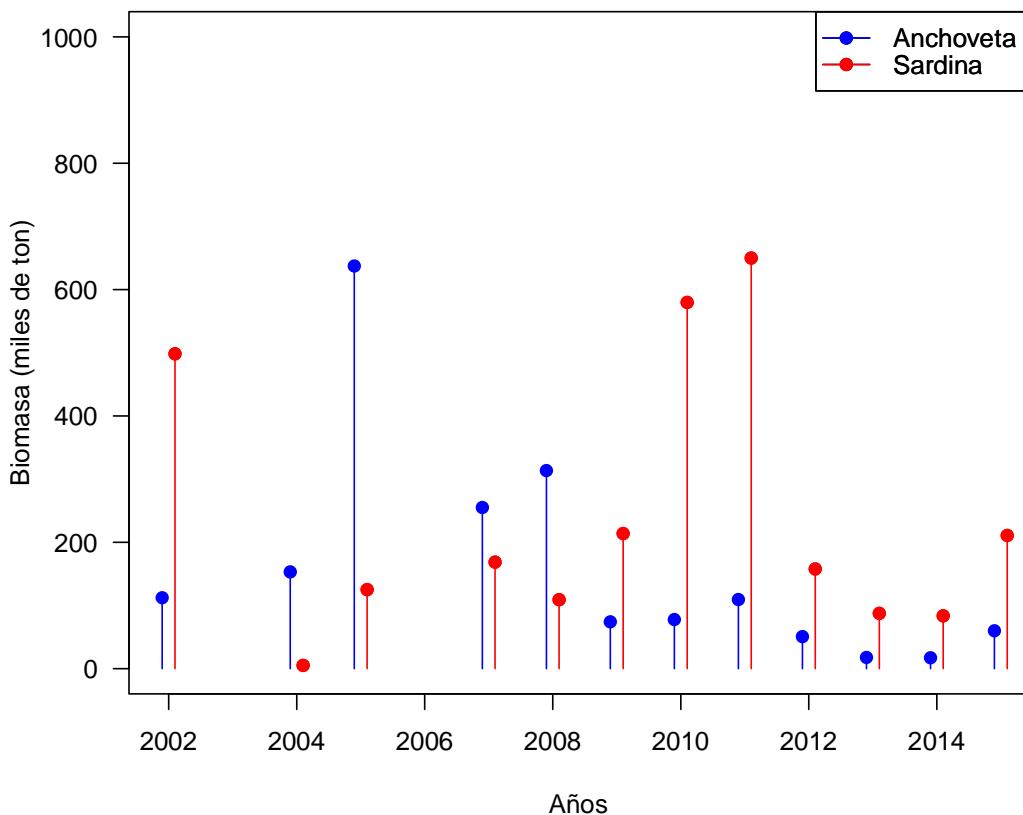
**Figura 33.** Proporción de folículos postovulatorios (FPO) encontrados en los cruceros del MPDH en la zona centro sur, en función del peso corporal medio del mismo año de anchoveta.



**Figura 34.** Proporción de folículos postovulatorios (FPO) encontrados en los cruceros del MPDH en la zona centro sur, en función del peso corporal medio del mismo año de sardina común.



En términos de la estimación del stock desovante, la magnitud de la biomasa en 2015 se encuentra dentro del rango de biomasa histórico, observándose una recuperación en anchoveta y sardina común respecto de 2014 (**Figura 35**).



**Figura 35.** Comparación de la biomasa desovante de sardina común y anchoveta evaluada con el método de la producción diaria de huevos, 2002-2015.



## IX CONCLUSIONES

---

1. En 2015, se observó una recuperación en abundancia de los focos de desove localizados en la zona centro tanto en anchoveta como sardina común, siendo más notorio en sardina común. A su vez, en la zona sur la distribución de huevos se observó más alejada de la costa y una disminución de la abundancia de huevos de sardina común.
2. La producción diaria de huevos por estrato geográfico indicó una mayor producción de huevos de sardina común en el sector centro con 757,7 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=14,4%) y una menor producción en el sector sur con 80,5 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=26,3%). La producción diaria de huevos de anchoveta fue también mayor en el sector centro con 776,6 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=10,3%) y sólo 188,3 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=14,7%) para la zona sur.
3. La precisión de los estimados de producción diaria de huevos se mejoró aplicando un método innovativo 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 han 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, si bien se contó con muestras, la fracción de peces adultos más pequeños y cercanos a la talla de primera madurez permaneció inmadura en el sector sur.
5. El estimado estratificado de biomasa desovante fue de 59.886 toneladas de anchoveta y de 210.694 toneladas de sardina común.



## X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alday A, Uriarte A, Santos M, Martín I, Martínez de Murgua A, Motos L (2008). Degeneration of postovulatory follicles of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasiculus* L.). *Scientia Marina* 72, 565-575.
- Alheit J (1985) Spawning frequency of Peruvian anchovies taken with a purse seine. In: R. Lasker (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US Dep Commer, NOAA Tech Rep NMFS 36, 59-61.
- Arcos DF, Navarro N. (1986). Análisis de un índice de surgencia para la zona de Talcahuano, Chile (Lat. 37°S). *Invest Pesq (Chile)* 33, 91-98.
- 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.
- Bernal C. et al. (2004) Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones. FIP 2003-06, Fondo de Investigación Pesquera.
- 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 DL, Valdés L, Lanzós AL, Buckland ST (2001) A new ageing method for eggs of fish species with daily spawning synchronicity. *Can J Fish Aquat Sci* 58, 2330-2340.
- Bernal M, Ibaibarriaga 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.
- Bertrand A., A. Chaigneau, S. Peralta, J. Ledesma, M. Graco, F. Monetti, F. Chavez (2011). Oxygen: A Fundamental Property Regulating Pelagic Ecosystem Structure in the Coastal Southeastern Tropical Pacific. *PLoS ONE* 6(12): e29558. doi:10.1371/journal.pone.0029558
- Blaxter JHS, Hunter JS. (1982). The biology of the clupeoid fishes. *Adv Mar Biol* 20, 201-223.



Bombace, G. (2001). Influence of climatic changes on stocks, fish species and marine ecosystems in the Mediterranean Sea. *Archivio di Oceanografia e Limnologia*, 22:67-72.

Borchers DL, Buckland ST, Priede IG, Ahmadi S (1997) Improving the precision of the daily egg production method using generalized additive models. *Can J Fish Aquat Sci* 54, 2727-2742.

Boyra, G., Rueda, L., Coombs, S.H., Sundby, S., Dlansvik, B. A., Santos, M., Uriarte, A. (2003). Modelling the vertical distribution of eggs of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*). *Fisheries Oceanography*. 12 (4/5): 381–395.

Brochier, T., Lett, C., Tam, J., Fréon, P., Colas, F., Ayón, P. (2008). An individual-based model study of anchovy early life history in the northern Humboldt Current system. *Progress in Oceanography*.

Cambalik, J.J., Checkley, D.M., Jr., Kamykowski, D. (1998). A new method to measure the terminal velocity of small particles: a demonstration using the ascending eggs of the Atlantic menhaden (*Brevoortia tyrannus*). *Limnol. Oceanogr.* 43:1722–1727.

Castillo J, Barbieri MA, 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 MA, 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 MA, Espejo M, Saavedra A, Catasti V, Núñez S, Ortiz J, Barría P, Arriagada G, Braun M, Galindo G. (2002a). Evaluacion hidroacustica del stock desovante de anchoveta y sardina común, Centro-Sur, 2001 Proyecto FIP Nº 2001-14.

Castillo J, Barbieri MA, Espejo M, Saavedra A, Catasti V, Núñez S, Ortiz J, Barría P, Arriagada 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, Gálvez P, Barría P, Espejo M, Barbieri MA. (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. Pre-informe final FIP 2003-08.



Castillo-Jordán C, Cubillos LA, Paramo J. (2007). The spawning spatial structure of two co-occurring small pelagic fish off central southern Chile in 2005. *Aquatic Living Resources* 20, 77-84.

Castro L, Roa R, Figueroa D, Arancibia H, Sobarzo M, Quiñones R, Retamal M. (1997). Áreas de desove de anchoveta y sardina común. Proyecto FIP 96-11. Áreas de desove de la anchoveta y sardina común en Chile central. Universidad de Concepción. Chile.

Castro LR, Hernández E.H. (2000). Early life survival of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile during the 1995 and 1996 winter spawning seasons. *Trans Amer Fish Soc* 129, 1107-1117.

Castro LR, Salinas GR, Hernández EH. (2000). Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. *Marine Ecology Progress Series* 197, 247-258.

Castro, L.R., Cáceres, M.A., Silva, N., Muñoz, M.I., León, R., Landaeta, M.F., Soto-Mendoza, S., (2011). Short-term variations in mesozooplankton, ichthyoplankton, and nutrients associated with semi-diurnal tides in a Patagonian Gulf. *Continental Shelf Research* 31(3-4), 282-292.

Cerda, J. (2002). Physiological mechanisms during egg hydration in teleosts: towards the development of new cryopreservation methods. *Boletín. Instituto Español de Oceanografía*. 18: 145-152.

Checkley DM Jr, Dotson RS, Griffith DA. (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 R.J, Flores I.A, Moreno G.P, Riquelme K, Castillo J.C, Valero C. (2007). Mejoramiento del Método de Producción Diaria de Huevos aplicado en pelágicos pequeños. Informe Técnico FIP 2006-38. 212pp.

Claramunt G, Cubillos L, Braun M, Serra R, Canales M, Sánchez J, Flores A, Moreno P, Riquelme K, Castillo C, Valero C. (2007a). Mejoramiento del método de producción de huevos aplicado a pelágicos pequeños en Chile. Informes Técnicos FIP – IT/2006-38, 214 p.

Claramunt G, Serra R, Castro LR, Cubillos L. (2007b). Is the spawning frequency dependent on female size? Empirical evidence in *Sardinops sagax* and *Engraulis ringens* off northern Chile. *Fisheries Research* 85, 248-257.



Cochran WG (1980). Técnicas de muestreo. Compañía Editorial Continental SA de CV México.

Contreras T., L Castro, S. Montecinos, HE González, S Soto, M. Muñoz, S Palma. (2014). Environmental conditions, early life stages distributions and larval feeding of Patagonian sprat *Sprattus fuegensis* and common sardine *Strangomera bentincki* in fjords and channels of the northern Chilean Patagonia. Progress in Oceanography. 129: 136–148

Coombs, S.H. (1981). A density gradient column for determining the specific gravity of fish eggs, with particular reference to eggs of the mackerel *Scomber scombrus*. Mar. Biol. 63:101–106.

Coombs, S.H., Fosh, C.A., Keen, M.A. (1985). The buoyancy and vertical distribution of eggs of sprat (*Sprattus sprattus*) and pilchard (*Sardina pilchardus*). J. Mar. Biol. Assoc. UK 65:461–474.

Coombs, S., Boyra, G., Rueda, L., Uriarte, A., Santos, M., Conway, D., Halliday, N. (2004). Buoyancy measurements and vertical distribution of eggs of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*). Marine Biology. 145: 959–970.

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, 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, Canales M, Bucarey D, Rojas A, Alarcón R. (1999). Época reproductiva y talla media de primera madurez sexual de *Strangomera bentincki* y *Engraulis ringens* en la zona centro-sur de Chile en el período 1993-1997. Invest Mar Valparaíso 27, 73-86.

Cubillos LA, Arcos DF, 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 Resource 14, 115-124.

Cubillos LA, Arcos DF. (2002). Recruitment of common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) in the 1990s, and impact of the 1997-98 El Niño. Aquatic Living Resources 15, 87-94.

Cubillos L et al. (2003). Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2002. Informe Final FIP 2002-14, 127 p.



Cubillos L, 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, 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 LA, Ruiz P, Claramunt G, Gacitúa S, Núñez S, Castro LR, Riquelme K, Alarcón C, Oyarzún C, Sepúlveda A. (2007). Spawning, daily egg production, and spawning stock biomass estimation for common sardine (*Strangomera bentincki*) and anchovy (*Engraulis ringens*) off central southern Chile in 2002. *Fisheries Research* 86, 228-240.

Cubillos LA, Castro L, Claramunt G. (2009). Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2008. Informe Final FIP 2008-02.

Cubillos LA, Castro L, Claramunt G, Navarro E, Alarcón C, Zuñiga MJ, Castillo-Jordán C, Pedraza M, Rebolledo H. (2010). Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2009. Informe Final FIP 2009-02.

Cubillos LA, Castro L, Claramunt G, Navarro E. (2011). Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2010. Informe Final FIP 2010-02.

Cubillos LA, 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 Final FIP 2012-09.

Cubillos LA, Castro L, Claramunt G, Navarro E. (2015). Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2013. Informe Final FIP 2013-07.

Cubillos, L.A., Curin-Osorio, S., Castro, L., Bustos, B. (2015). Improving the precision of the daily egg production and mortality rates with a patchiness index in two small pelagic fish of the central-southern area of Chile. *Marine Ecology Progress Series* (MS in litteris).

Curtis K., Checkley, D., Pepin, P. (2007). Predicting the vertical profiles of anchovy (*Engraulis mordax*) and sardine (*Sardinops sagax*) eggs in the California Current System. *Fisheries Oceanography*. 16 (1): 68-84.

Dickerson TL, Macewicz BJ, Hunter JR. (1992). Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel, *Scomber japonicus*, during 1985. *Calif Coop Oceanic Fish Invest Rep* 33, 130-140.



- Drinkwater, K. F., Frank, K.T. (1994). Effects of river regulation and diversion on marine fish and invertebrates. *Aquatic Conservation: Freshwater and Marine Ecosystem*. 4: 135-151.
- Eilers PHC, Marx BD. (1996). Flexible smoothing with B-splines and penalties (with discussion). *Statistical Science* 11, 89-121.
- Emery WJ, Thomas AC, Collins MJ, Crawford WR, Mackas DL. (1986). An objective method for computing advective surface velocities from sequential infrared satellite images. *J of Geophys Res* 91, C11 12865-12878, Nov 15.
- Espinosa, R. (2010). Variación ontogenética en la densidad de huevos de anchoveta *Engraulis ringens* en las zonas de desove de la VIII región Chile. Tesis Pregrado para optar al título de Biólogo Marino con Mención en Pesquería y Acuicultura. Departamento de Oceanografía. Universidad de Concepción, Concepción. 44pp.
- Fitzhugh GR, Hettler WF. (1995). Temperature influence on postovulatory follicle degeneration in Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus*. *Fish Bull* 93, 568-572.
- Fuiman, J., Werner, R. (2002). The unique contribution of early life stage. First Published by Blackwell Sciencie Ltda. USA. 322pp.
- Ganias K, Somarakis S, Machias A, Theodorou AJ (2003) Evaluation of spawning frequency in a Mediterranean sardine population (*Sardina pilchardus sardina*). *Mar Biol* 142, 1169-1179.
- Ganias K. (2008). Ephemeral spawning aggregations in the Mediterranean sardine, *Sardina pilchardus*: a comparison with other multiple-spawning clupeoids. *Mar Biol* 155, 293–301.
- Garcia CAE, Robinson IS. (1989). Sea surface velocities in shallow seas extracted from sequential coastal zone color scanner satellite data. *J Geophys Res* 94, C9, 12681–12691, Sep 15.
- Goarant, A., P Petitgas, P Bourriau. (2007). Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) egg density measurements in the Bay of Biscay: evidence for the spatial variation in egg density with sea surface salinity. *Marine Biology*. 151: 1907-1915.
- Herrera G, Tarifeño E, Orellana MC (1987). Descripción de huevos y primeras fases larvales de la sardina común (*Strangomera bentincki*) y del machuelo (*Ethmidium maculatum*). *Biología Pesquera* 16, 107-113.
- Hunter JR, Goldberg SR (1980). Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. *Fish Bull* 77, 641-652.



Hunter JR (1985). Preservation of Northern anchovy in formaldehyde solution. In: Lasker R (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US Dep Commer, NOAA Tech. Rep. NMFS 36, 63-66.

Hunter JR, Macewicz BJ (1985). Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish Bull 83, 119-136.

Hunter JR, Lo NC-H, Leong RJH (1985). Batch fecundity in multiple spawning fishes. In: Lasker R (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US Dep Commer, NOAA Tech Rep NMFS 36, 67-77.

Hunter J, Lo NC-H (1993). Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. Bulletin of Marine Science 53, 723-727.

Hunter J, Lo NC-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.

Katara, I., Pierce, G. J., Illian, J., Scott, B. E. (2011). Environmental drivers of the anchovy/sardine complex in the Eastern Mediterranean. Hydrobiologia. 670(1):49-65.

Koutsikopoulos, C., Le Can, B. (1996). Physical processes and hydrological structures related to the Bay of Biscay anchovy. Scientia Marina. 60(2):9-19.

Lasker R (ed.) (1985). An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. In: Lasker R (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US Dep Commer, NOAA Tech Rep NMFS 36.

Lejeusne, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C. F., Pérez, T. (2010). Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. Trends in Ecology and Evolution. 25(4):250-260.

Lo NC-H (1985). A model for temperature-dependent northern anchovy egg development. In: Lasker R (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish:



- application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US Dep Commer, NOAA Tech Rep NMFS 36, 43-50.
- Lo, N. (1987). A model for temperature – dependent Northern anchovy egg development and an automated procedure for the assignment of age to staged eggs. In. R. Lasker (ed.). A egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: Application to the northernn anchovy, *Engraulis mordax*, p. 43-50. US Dep. Commerce., NOAA Tech. Rep. NMFS 36.
- Lo NC-H, Hunter JR, 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.
- Lo NCH, Macewicz BJ, Griffith DA (2005). Spawning biomass of Pacific sardine (*Sardinops sagax*), from 1994-2004 off California. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports 46, 93-112.
- Macewicz B, Hunter JR (1993). Spawning frequency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California durig 1991. CalCOFI Rep 34, 112-121.
- Macewicz BJ, Castro-González JJ, Coteró-Altamirano CE, Hunter JR. (1996). Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports 37, 140-151.
- Mangor-Jensen, A., Huse, I. (1991). On the changes in buoyancy of halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (L.), larvae caused by hatching—a theoretical view. J Fish Biol. 39: 133–135.
- Massé, J. (1996). Acoustic observations in the Bay of Biscay: schooling, vertical distribution, species assemblages and behaviour. Scientia Marina. 60(S2): 227-234.
- McGurk, M.D. (1986). Natural mortality of marine pelagic fish eggs and larvae: role of spatial patchiness. Mar. Ecol. Progr. Ser. 34, 227-242.
- McGurk, M.D. (1987). Natural mortality and spatial patchiness: reply to Gulland. Mar. Ecol. Progr. Ser. 39, 201-206.
- Marcotte D. (1991). Cokrigeage with MATLAB. Computers and Geosciences 17, 1265-1280.
- Miranda A, Cal RM, Iglesias J. (1990). Effect of temperature on the development of eggs and larvae of sardine \textit{Sardina pilchardus} (Walbaum) in captivity. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 140, 69-77.



Montecinos S., L Castro & MI Muñoz. (2012). Distribución de huevos y larvas de sardina común (*Strangomera bentincki*) en los fiordos y canales del sur de Chile. Cienc. Tecnol. Mar, 35, 71-90, 2012.

Moser HG, Ahlstrom EH. (1985). Staging anchovy eggs. In: Lasker R (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US 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.

Navarro E, Schneider W, Letelier J. (2004). Estimation of onshore-offshore transport off central Chile by means of maximum cross-correlation using satellite derived SST. Gayana 68, 427-431.

Navarro E, Schneider W, Letelier J. (2006). Estimación de transporte costa-océano frente a Chile centro-sur por medio del Método de máxima correlación cruzada sobre imágenes SST. XVII Congreso de Ciencias del Mar. Iquique, Chile.

Nissling A, Westin L. (1991). Egg buoyancy of Baltic cod (*Gadus morhua*) and its implications for cod stock fluctuations in the Baltic. Mar Biol. 111: 33–35.

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. Informes Técnicos FIP – IT /2000-06, 116 p.

Ospina-Álvarez, A. (2012). Early life history dynamics of European anchovy in the Western Mediterranean: an Individual-Based Modelling approach. A thesis submitted for the degree of Doctor by the University of Barcelona. 212pp.

Ospina-Álvarez, A., Palomera, I., Parada, C. (2012). Changes in egg buoyancy during development and its effects on the vertical distribution of anchovy eggs. Fisheries Research 117–118: 86–95.

Ospina-Álvarez, A., Bernal, M., Catalán, IA., Roos, D., Bigot, J-L. (2013). Modeling Fish Egg Production and Spatial Distribution from Acoustic Data: A Step Forward into the Analysis of Recruitment. PLoS ONE 8(9): e73687. doi:10.1371/journal.pone.0073687

Page, F.H., Frank, K.T., Thompson, K.R. (1989). Stage dependent vertical distribution of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) eggs in a stratified water column: observations and model. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 (Suppl. 1):55–67.



- Parada, C., Lingen, C., Mullon, C., Penven, P. (2003). Modelling the effect of buoyancy on the transport of anchovy (*Engraulis capensis*) eggs from spawning to nursery grounds in the southern Benguela: an IBM approach. *Fisheries Oceanography* 12 (3): 170-184.
- Parada, C., Colas, F., Soto-Mendoza, S., Castro, L. (2012). Effects of across- and alongshore transport seasonal variability of anchoveta (*Engraulis ringens*) larvae on modeled-based pre-recruitment indices off central Chile. *Progress in Oceanography* (92-95). doi:10.1016/j.pocean.2011.07.015.
- Parker RL, Rice JA. (1985). Discussion on “some aspects of the spline smoothing approach to non-parametric regression curve fitting” (by B.W. Silverman). *Royal Statistical Society Series B* 47, 40-42.
- Pavéz MA, LR Castro & HE González. (2006). Across-shelf predatory effect of *Pleurobrachia bachei* (Ctenophora) on the small-copepod community in the coastal upwelling zone off northern Chile (23°S). *Journal of Plankton Research*. 28(2):115-129.
- Petitgas, P., Magri, S., Lazure, P. (2006). One-dimensional biophysical modelling of fish egg vertical distributions in shelf seas. *Fisheries Oceanography*. 15: 413-428.
- Petitgas P (2001). Geostatistics in fisheries survey design and stock assessment: models, variances and applications. *Fish and Fisheries* 2, 231-249.
- Picquelle S (1985). Sampling requirements for the adult fish survey. In: Lasker R (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US Dep Commer, NOAA Tech Rep NMFS 36, 55-57.
- Picquelle SJ, Stauffer G (1985). Parameter estimation for an egg production method of northern anchovy biomass assesment. In: Lasker R (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US Dep Commer, NOAA Tech Rep NMFS 36, 7-15.
- Pineda, J., Hare, J. A., Sponaugle, S. (2007). Larval transport and dispersal in the coastal ocean and consequences for population connectivity. *Oceanography*. 20(3):22-39.
- Richardson, S.L. (1981). Spawning biomass and early life of northern anchovy, *Engraulis mordax*, in the northern subpopulation off Oregon and Washington. *Fishery Bulletin*. 78(4): 855-875.
- 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 PE (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.

Seber GHF (1973) The estimation of animal abundance and related parameters. Hafner Press NY, 506 p.

Selman K, Wallace R. (1989). Cellular aspects of oocyte growth in teleosts. Zoological Science 6, 211-231.

Sepúlveda A, et al. (2000). Antecedentes biológicos del stock desovante de anchoveta y sardina común de la V a IX Regiones. Informes Técnicos FIP – IT/97-04, 199 p.

Smith PE, Flerx W, Hewitt RP. (1985). The CalCOFI vertical egg tow (CalVET) net. In: Lasker R (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US Dep Commer, NOAA Tech Rep NMFS 36, 27-32.

Smith PE, Hewitt RP. (1985). Sea survey design and analysis for an egg production method of anchovy biomass assessment. In: Lasker R (ed.), An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. US Dep Commer, NOAA Tech Rep NMFS 36, 17-26.

Solemdal, P., Sundby, S. (1981). Vertical distribution of pelagic fish eggs in relation to species, spawning behavior and wind conditions. ICES CM. 198(1):1-27.

Somarakis S, Koutsikopoulos C, Machias A, Tsimenides N. (2002). Applying the daily egg production method (DEPM) to small stock in highly heterogeneous seas. Fisheries Research 55, 193-204.

Somarakis S, Palomera I, García A, Quintanilla L, Koutsikopoulos C, Uriarte A, Motos L (2004). Daily egg production of anchovy in European waters. ICES Journal of Marine Science, 61, 944-958.

Soto, S. (2009). Modelación de procesos biofísicos y el transporte-retención de los estados tempranos de vida de *Engraulis ringens* desde las zonas de desove a zonas de crianza en la zona centro-sur de Chile. Tesis de Magíster en Ciencias con Mención en Pesquerías. Departamento de Oceanografía. Universidad de Concepción. 159pp.

Soto-Mendoza S, LR Castro & A Llanos-Rivera. (2010). Variabilidad espacial y temporal de huevos y larvas de *Strangomerabentincki* y *Engraulis ringens*, asociados a la desembocadura del río Itata, Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 45(3):471-487.



Soto-Mendoza, S., Parada, C., Castro, L., Colas, F., Schneider, W. (2012). Modeling transport and survival of anchoveta eggs and yolk-sac larvae in the coastal zone off central-south Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. *Progress in Oceanography* 92(1), 178-191.

Stauffer GD, Picquelle SJ. (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 MF. (2003). Changes in the distribution of sardine eggs and larvae off Portugal, 1985-2000. *Fisheries Oceanography* 12, 49-60.

Stratoudakis Y, Bernal M, Ganias K, Uriarte A (2006). The daily egg production method: recent advances, current applications and future challenges. *Fish and Fisheries* 7, 35-57.

Stenevik, EK., Sundby, S., Cloete, R. (2001). Influence of buoyancy and vertical distribution of sardine *Sardinops sagax* eggs and larvae on their transport in the northern Benguela ecosystem. *S Afr J Mar Sci.* 23: 85–97.

Stenevik, E. K., Sundby, S., Cloete, R. (2007). Diel vertical migration of anchovy *Engraulis encrasicolus* larvae in the northern Benguela. *African Journal of Marine Science.* 29(1):127-136.

Sundby, S. (1983). A one dimensional model for the vertical distribution of pelagic fish eggs in the mixed layer. *Deep-Sea Res.* 30:645–661.

Sundby, S. (1997). Turbulence and ichthyoplankton: influence on vertical distributions and encounter rates. *Scientia Marina.* 61(S1):159-176.

Sundby, S., Kristiansen, T. (2015). The Principles of Buoyancy in Marine Fish Eggs and Their Vertical Distributions across the World Oceans. *PLoS ONE* 10 (10): e0138821. doi:10.1371/journal.

Tanaka, Y., Franks, PJS. (2008). Vertical distributions of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) eggs: comparison of observations and a wind-forced Lagrangian mixing model. *Fish Oceanogr.* 17(2): 89–100.

Tarifeño E, Carmona M, Llanos-Rivera A, Castro LR (2008). Temperature effects on the anchoveta *Engraulis ringens* egg development: do latitudinal differences occur? *Environmental Biology of Fishes* 81, 387-395



Vásquez, P.; A. Llanos-Rivera; LR Castro, C. Fernández. (2015). UV radiation effects on the embryos of anchoveta *Engraulis ringens* and common sardine *Strangomera bentincki* off Central Chile. *Marine and Freshwater Research*. <http://dx.doi.org/10.1071/MF14038>

Venables WN, Ripley BD (2002) Modern Applied Statistics with S, 4th ed. Springer-Verlag, NY.

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.

Westgaard, T. (1989). Two models of the vertical distribution of pelagic fish eggs in the turbulent upper layer of the ocean. *Rap. P.-v Reun. Cons. Int. Explor. Mer* 191: 195–200.

Wood SN. (2002). Modelling and smoothing parameter estimation with multiple quadratic penalties. *Journal of the Royal Statistical Society (B)* 62, 413-428.

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

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

Zeldis, J.R., Grimes, P.J., Ingerson, J.K.V. (1995). Ascent rates, vertical distribution, and a thermal history model of development of orange roughy, *Hoplostethus atlanticus*, eggs in the water column. *Fish. Bull. US* 93:373–385.

Zuñiga 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 Magister en Ciencias con mención Pesquerías. Universidad de Concepción.

Zuñiga MJ, Canales C. (2014a). Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables en sardina común zona centro-sur y sardina austral, zona de aguas interiores, año 2014. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). 153 p.

Zúñiga M, Canales C. (2014b). Investigación del estatus y posibilidades de explotación biológicamente sustentables en anchoveta zona centro-sur, año 2014. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). 78 p.



## ANEXO I: Determinación 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 un 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:

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

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).

**ANEXO II:  
Bitácora administrativa y operativa del Proyecto MPH 2015.****MPDH 2015 - CONTROL ADMINISTRATIVO**

Actividades	Responsable	Fecha Inicio	Fecha Termino
<b>1. Proyecto Licitación</b>	<b>IFOP</b>	<b>17-07-2015</b>	<b>30-07-2015</b>
1.1. Apertura	IFOP	17-07-2015	30-07-2015
1.2. Cierre	IFOP	30-07-2015	30-07-2015
1.3. Adjudicación	UDEC	30-07-2015	18-08-2015
<b>Actividades</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha Termino</b>
<b>2. Gestión Administrativa</b>	<b>IFOP - UDEC</b>	<b>31-07-2015</b>	<b>20-11-2015</b>
2.1. Resolución de Adjudicación	IFOP	18-08-2015	18-08-2015
2.2. Contrato	IFOP	19-08-2015	26-08-2015
2.3. Documentos (Contrato, Factura, Garantía)	UDEC	27-09-2015	10-09-2015
2.4. Pago Primera Cuota	IFOP	11-09-2015	22-09-2015
2.5. Contratos Embarcaciones	UDEC	03-09-2015	29-09-2015
2.6. Pago Embarcaciones (1 etapa)	UDEC	22-09-2015	02-10-2015
2.7. Pago Embarcaciones (2 etapa)	UDEC	06-10-2015	20-11-2015
<b>Actividades</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha Termino</b>
<b>3. Gestión Permiso de Pesca</b>	<b>SUBPESCA - UDEC</b>	<b>31-08-2015</b>	<b>07-10-2015</b>
3.1. Solicitud	UDEC	31-08-2015	-
3.2. Permiso de Pesca de Investigación	SUBPESCA	01-09-2015	07-10-2015
3.3. Pago Publicación Diario Oficial	UDEC	10-10-2015	10-10-2015
3.4. Publicación Diario Oficial	DIARIO OFICIAL	10-10-2015	20-10-2015
<b>Actividades</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha Inicio</b>	<b>Fecha Termino</b>
<b>4. Embarcaciones</b>	<b>UDEC</b>	<b>26-09-2015</b>	<b>13-11-2015</b>
4.1. Zarpes Huevos Norte	MARIA HELENA	03-11-2015	07-11-2015
4.2. Zarpes Huevos Centro	GIMAR I	26-09-2015	02-10-2015
4.3. Zarpes Huevos Sur	HURACAN	29-09-2015	29-10-2015
4.4. Zarpes Adultos Centro	SEBASTIAN II	30-09-2015	03-10-2015
4.5. Zarpes Adultos Centro	DON JULIAN	04-10-2015	08-10-2015
4.6. Zarpes Adultos Sur	NOEMY SIMONEY	08-10-2015	12-10-2015
4.7. Zarpes Huevos Centro	KAY KAY	10-11-2015	14-11-2015



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

MPDH 2015 - CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Responsable	2015																										
		julio				agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
1. Proyecto Licitación	IFOP		17				18																					
1.1. Apertura	IFOP		17	30																								
1.2. Adjudicación	IFOP			30		18																						
<hr/>																												
Actividades	Responsable	2015																										
		julio				agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
2. Gestión Administrativa	IFOP - UDEC			31																			20					
2.1. Resolución de Adjudicación	IFOP			31		18																						
2.2. Contrato	IFOP					19	26																					
2.3. Documentos (Contrato, Factura, Garantía)	UDEC					27	10																					
2.4. Pago Primera Cuota	IFOP						11	22																				
2.5. Contratos Embarcaciones	UDEC					3	29																					
2.6. Pago Embarcaciones (1 etapa)	UDEC					22	2																6		20			
2.7. Pago Embarcaciones (2 etapa)	UDEC																											
<hr/>																												
Actividades	Responsable	2015																										
		julio				agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
3. Gestión Permisos de Pesca	SUBPESCA - UDEC						31																					
3.1. Solicitud	UDEC						31																					
3.2. Permiso de Pesca de Investigación	SUBPESCA							1	22																			
3.3. Pago Publicación Diario Oficial	UDEC									10																		
3.4. Publicación Diario Oficial	DIARIO OFICIAL									20																		
<hr/>																												
Actividades	Responsable	2015																										
		julio				agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre						
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
4. Embarcaciones	UDEC										26												14					
4.1. Zarpes Huevos Norte	MARIA HELENA											2											7					
4.2. Zarpes Huevos Centro	GIMAR I										26	2																
4.3. Zarpes Huevos Sur	HURACAN										29																	
4.4. Zarpes Adultos Centro	SEBASTIAN II										30	3											8					
4.5. Zarpes Adultos Centro	DON JULIAN																						12					
4.6. Zarpes Adultos Sur	NOEMY SIMONEY																							14				
4.7. Zarpes Huevos Centro	KAY KAY																											



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO Y TURISMO

SUBSECRETARÍA DE PESCA Y ACUICULTURA

PINV 189-2015 ANCHOVETA-SARDINA COMÚN

U. DE CONCEPCIÓN V Y X REGS. 2015



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

VALPARAISO,

21 SET. 2015

RES. EX.

2596

**VISTO:** Lo solicitado por la Universidad de Concepción mediante carta, C.I. SUBPESCA 10437 de fecha 03 de septiembre de 2015; lo informado por la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría en Memorándum Técnico (P.INV) N°189/2015, de fecha 09 de septiembre de 2015; los Términos Técnicos de Referencia del Proyecto denominado "*Evaluación del stock desovante de Anchoveta y Sardina Común entre la V y X Regiones, año 2015*", elaborados por la solicitante y aprobados por esta Subsecretaría; lo dispuesto en el D.F.L. N° 5 de 1983; la Ley N° 19.880, la Ley General de Pesca y Acuicultura N° 18.892 y sus modificaciones cuyo texto refundido fue fijado por el D.S. N° 430 de 1991, del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo; el D.S. N° 461 de 1995, los Decretos Exentos N° 952 de 2014 y N° 598 de 2015, todos del actual Ministerio de Economía, Fomento y Turismo y las Resoluciones Exentas N° 946 y N° 1183 ambas de 2014 y N° 1972 de 2015 , todas de esta Subsecretaría

#### CONSIDERANDO:

Que mediante presentación citada en Visto, la Universidad de Concepción solicitó a esta Subsecretaría la autorización para desarrollar una pesca de investigación 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 2015*".

Que asimismo, mediante Memorándum Técnico (P.INV) N° 189/2015, citado en Visto, la Jefa de División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, informa que las actividades planteadas en la solicitud califican como pesca de investigación 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 objetivos del estudio propuesto permitirán estimar las biomassas desovantes de los recursos Anchoveta *Engraulis ringens* y Sardina Común *Strangomerma bentincki* y su distribución espacial a través del Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH).

I



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Que dicha solicitud cumple con las exigencias dispuestas en el D.S. N° 430 de 1991, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, que establece los requisitos que deben cumplir las solicitudes de Pesca de investigación.

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, corresponde autorizar la pesca de investigación solicitada.

**RESUELVO:**

1.- Autorízase a la Universidad de Concepción, R.U.T. N° 81.494.400-K, con domicilio en calle Víctor Lamas, N° 1290, Concepción, para efectuar una pesca de investigación 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 2015*" elaborados por la solicitante y aprobados por esta Subsecretaría.

2.- El objetivo principal de la pesca de investigación que por la presente resolución se autoriza consiste en evaluar el stock desovante 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 período comprendido entre la fecha de la presente resolución y se prolongará hasta el día 21 de octubre de 2015, en el área marítima comprendida entre la VII a XIV Regiones.

4.- Podrán participar en la presente pesca de investigación las embarcaciones artesanales, inscritas en el Registro Pesquero Artesanal de la VII a XIV Regiones según corresponda, sección pesquería de las especies objeto de estudio, "**DON JULIÁN**", "**SEBASTIÁN II**", "**NOEMI SIMONEY**", "**GIMAR I**" y "**HURACÁN I**", en calidad de titulares, las que se individualizan a continuación:

Muestreos	Nº	Embarcación muestreo de adultos	RPA	Región a Monitorear
Embarcaciones muestreo de adultos	1	<b>DON JULIÁN</b>	910367	VII-VIII
	2	<b>SEBASTIÁN II</b>	957821	VIII
	3	<b>NOEMI SIMONEY</b>	950786	IX y XIV
Embarcaciones muestro de huevos	4	<b>GIMAR I</b>	923957	VII-VIII
	5	<b>HURACÁN I</b>	956912	IX y XIV

En ningún caso se podrán realizar lances de pesca comercial en el área de estudio, remitiéndose únicamente a efectuar muestreos biológicos de los recursos anchoveta y sardina común con fines de investigación, incluyendo la primera milla.



5.- En cumplimiento del objetivo de la presente pesca de investigación, las embarcaciones **DON JULIAN, SEBASTIAN II** y **NOEMI SIMONEY** en su conjunto, podrán extraer, con arte cerco, red anchovetera de 200 x 20 brazas, una cuota máxima total de 5 toneladas de muestreo de adultos del recurso Anchoveta *Engraulis ringens* y 5 toneladas de muestreo de adulto del recurso sardina común, en las regiones indicadas, según tabla del numeral 4.

6.-Por su parte, las embarcaciones **GIMAR I** y **HURACAN I**, podrán realizar muestreo de huevos y larva, con red CalVet del tipo PAIROVET mediante arrastres verticales desde los 70 metros de profundidad hasta la superficie, de los recursos Anchoveta *Engraulis ringens* y sardina común *Strangomeria bentincki*, en las regiones indicadas, según tabla del numeral 4. Para estos efectos:

- 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.

7.- Las capturas efectuadas en el marco de la presente pesca de investigación se imputarán a la fracción reservada con fines de investigación de las cuotas globales anuales de Anchoveta y Sardina común V-X Regiones, establecida mediante Decreto Exento N° 952 de 2014, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

8.- Para los efectos de la presente pesca de investigación, se exceptúa del cumplimiento de la veda biológica reproductiva vigente de los recursos anchoveta y sardina común, establecida mediante Decreto Exento N° 115 de 1998, y sus modificaciones.

9.-Las embarcaciones artesanales participantes en la presente pesca de investigación no les serán aplicables las sanciones sobre descarte establecidas en la Ley General de Pesca y Acuicultura, siempre que den estricto cumplimiento a las obligaciones contempladas en las Resoluciones Exentas N° 946 y N° 1183, ambas de 2014 y 1972 de 2015, citadas en Visto, que autorizaron de Programas de Investigación del Descarte para las pesquerías en estudio, y su fauna acompañante, en las Regiones VIII, IX y XIV, según corresponda.

10.- La Universidad de Concepción designa como persona responsable de esta pesca de investigación, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 102 del D.S. N° 430 de 1991, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, a su rector don Sergio Lavanchy Merino, R.U.T. 4.329.379-6, con su mismo domicilio.

11.- La presente resolución deberá publicarse en extracto en el Diario Oficial, por cuenta de la interesada, dentro del plazo de 30 días contados desde su fecha, quedando sin efecto de no publicarse en el plazo señalado.

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



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

13.- La peticionaria deberá dar cumplimiento a las obligaciones establecidas en los D.S. Nº 430 de 1991 y Nº 461 de 1995, ambos del 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.

14.- 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.

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

16.- Designase a la Jefa de la División de Administración Pesquera de esta Subsecretaría como funcionaria encargada de velar por el oportuno y debido cumplimiento de la obligación establecida en el numeral anterior.

17.- 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 y de las demás acciones y recursos que correspondan de acuerdo con la normativa vigente.

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

**ANÓTESE, NOTIFIQUESE POR CARTA CERTIFICADA Y PUBLÍQUESE EN EXTRACTO EN EL DIARIO OFICIAL POR CUENTA DE LA INTERESADA.**





---

## **ANEXO III: Reporte de incidentes durante el crucero de evaluación en la zona centro.**

---

Sr. Ricardo Cartes Alarcón

Capitán de Puerto de Lirquén

Lirquén

De mi mayor consideración:

Por intermedio de la presente, como Capitán de la embarcación GIMAR I, matrícula N°1994 Corral. Informo los hechos ocurridos el día domingo 27 de septiembre, día en el cual nos encontrábamos realizando trabajos científicos con personal técnicos del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción, en la VII y VIII regiones, actividades en el marco del proyecto “Evaluación del stock desovante de la anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2015”, actividades autorizadas por la Subsecretaría de Pesca, según Resolución 2596 con fecha 21 de septiembre del año 2015.

El día Domingo 27 de septiembre, en la localidad de ILOCA, VII región, nos encontrábamos realizando muestreos con red de plancton, cuando se acercaron aproximadamente a las 16:30 horas, una embarcación de fibra de 10 metros de largo, con motor fuera de borda marca Evinrude, sin matrícula visible y cuatro individuos en su interior con capuchas en su rostro, quienes nos preguntaron que andábamos haciendo en la zona y quien nos había autorizado. Procedí a mostrarle la resolución de pesca y los sellos de red y bodega, puestos por serapesca, también les señale que teníamos el posicionador satelital encendido, lo que garantizaba la legalidad de nuestra presencia en la zona, del mismo modo el personal científico procedió a mostrar los instrumentos que estábamos utilizando para realizar el muestreo, red de plancton e instrumento para medir variables oceanográficas. A pesar de que demostramos que teníamos nuestros papeles en regla, nos obligaban a irnos de la VII región, argumentando que la región no obtenía ningún beneficio de los estudios científicos pesqueros y no representaban lo que realmente sucedía en la zona, tampoco aceptarían que hiciéramos estudios en VII región ya que la embarcación pertenecía a la VIII región.

Transcurridos unos 20 minutos, en el cual les explicamos el trabajo que hacíamos en la zona y la importancia de llevarlo a cabo, estas cuatro personas nos amenazaron con escopetas y municiones, las cuales usarían si no nos marchábamos de la VII región. Según ellos, si seguíamos en la zona durante la noche, llamarían a más personas y la situación sería más peligrosa, haciendo referencia al uso de armas. En ese momento reporte la situación en la que nos encontrábamos a Capitanía de Puerto de Constitución y Capitanía de Puerto de Tomé. Por seguridad del Personal técnico Científico y de la tripulación decidimos eliminar las estaciones más costeras de la VII región.



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

Después de 1 hora aproximadamente y a 10 millas náuticas de navegación, nuevamente se acerco la misma lancha con los mismos cuatro individuos encapuchados, con las armas de fuego en la mano apuntando hacia la embarcación, realizando tres disparos, uno de los cuales impacto en la popa del barco. Nuevamente nos amenazaron y obligaron a salir de la VII región, alejándose rápidamente hacia la costa. Por el actuar temerario de los individuos, las amenazas recibidas y la seguridad de la tripulación, aconseje al jefe científico, encargado de las labores de muestreo, retirarnos de la VII región y continuar en una zona más segura dentro de la VIII región.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Ricardo Reyes".

Felipe Ricardo Reyes Reyes

Capitán GIMAR I

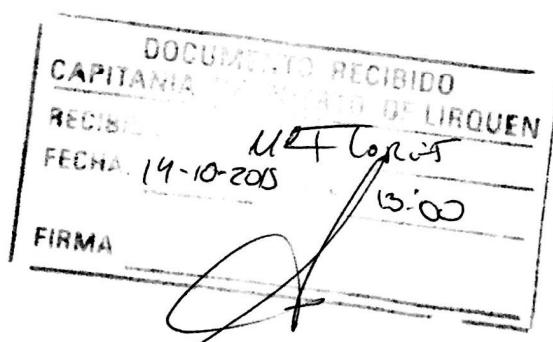
Rut: 6.814.443-4

Cc:

Srs. Capitanía de Puerto de Constitución / Constitución

Srs. Alcaldía de Mar Tomé / Tomé

Dr. Leonardo Castro Cifuentes / Departamento de Oceanografía –Universidad de Concepción





Concepción, Octubre 14 de 2015

Sr. Ricardo Cartes Alarcón  
Capitán de Puerto de Lirquén  
Lirquén

De mi mayor consideración:

Por intermedio de la presente, como jefe científico del personal técnico del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción a bordo de la embarcación GIMAR I, matrícula N°1994 Corral, y responsable de las actividades de investigación realizadas en terreno en la VII y VIII regiones, informo los acontecimientos ocurridos el día domingo 27 de septiembre que impidieron el desarrollo normal de las actividades de muestreo programadas en la VII región. Las actividades consistían en la recolección de muestras de plancton y obtención de datos oceanográficos, actividades en el marco del proyecto “Evaluación del stock desovante de la anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2015”, actividades autorizadas por la Subsecretaría de Pesca, según Resolución 2596 con fecha 21 de septiembre del año 2015.

El pasado día domingo 27 de septiembre del presente año, cercanos a la localidad de Iloca, VII región, mientras nos encontrábamos realizando muestreos con red de plancton Calvet y toma de datos oceanográficos con CTD 19 Plus, se acercó aproximadamente a las 16:30 horas, una embarcación de 10 metros de largo, con motor fuera de borda, sin matrícula visible y en su interior cuatro personas con rostro cubierto, quienes, con actitud desafiante, nos solicitaron información de las actividades que estábamos realizando en la zona y el lugar de origen de la embarcación. Procedimos a mostrar los permisos correspondientes (Resolución Pesca de Investigación de la Subsecretaría de Pesca, solicitud del SHOA, red de pesca y bodega sellada por Sernapesca) e instrumentos que estábamos usando para realizar el estudio. Sin mostrar interés en lo que decíamos y en los documentos que presentábamos, nos obligaban a irnos de la zona y de la VII región, aludiendo que todos los estudios de índole pesquero que se realizan región no les importaban ya que eran inútiles, que solo beneficiaban a unos pocos y no representaban la realidad pesquera de la zona, por lo tanto, no tolerarían que una embarcación pesquera de otra región hiciera estudios en esa área. Sorprendidos por los argumentos de estos cuatro individuos, recalcamos la legalidad de la labor que estábamos realizando. Luego de 20 minutos, en los cuales estuvimos explicando la labor que en ese momento llevábamos a cabo, los individuos nos amenazaron mostrándonos armas de fuego y municiones, obligándonos a marcharnos de la zona de inmediato o de lo contrario harían uso de las armas. Según ellos, si seguíamos trabajando durante la noche la situación sería peor, ya que vendrían más individuos en lanchas y harían lo necesario para que nos



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas  
Departamento de Oceanografía



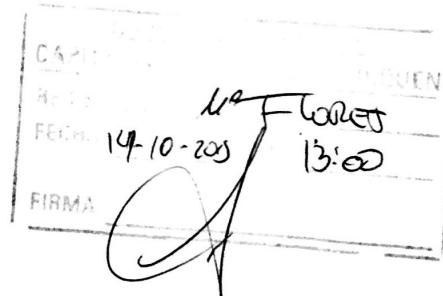
fuéramos, haciendo referencia al uso las armas y municiones. En ese momento el capitán de la embarcación Sr. Felipe Ricardo Reyes Reyes, reportó la situación en la que nos encontrábamos a las autoridades marítimas de Constitución y Tomé, y en vista de las amenazas recibidas, por seguridad decidimos suspender la transecta en la que estábamos trabajando y las estaciones más costeras de la VII región. Transcurrida 1 hora aproximadamente y a 10 millas náuticas del área donde se produjo el incidente inicial con estos individuos, se acercó nuevamente la misma embarcación a toda velocidad pero esta vez venían con el arma de fuego en la mano, apuntando en dirección al barco y realizando tres disparos, uno de los cuales impactó en la parte trasera del barco. Nuevamente nos amenazaron e instaron a que abandonásemos la zona de la VII región, alejándose hacia la costa. En vista de los hechos acontecidos, amenazas y la determinación en el actuar de los individuos, decidimos suspender las labores de muestreo en la VII región y retomarlas en un área más segura dentro de la VIII región, con el fin de cuidar la integridad del personal de la Universidad de Concepción y tripulación a bordo. Nuevamente esta situación fue informada por el capitán de la embarcación Sr. Felipe Ricardo Reyes Reyes a la Capitanía de Puerto de Constitución y Tomé.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,

Eduardo Escalona Castillo

Jefe de crucero científico

Rut: 16.513.384-6



Cc:

Srs. Capitanía de Puerto de Constitución / Constitución

Srs. Alcaldía de Mar Tomé / Tomé

Sr. Felipe Reyes Reyes / Capitán GIMAR I

Dr. Leonardo Castro Cifuentes / Departamento de Oceanografía –Universidad de Concepción

Casilla 160-C, Concepción, Chile / Tel +56-41-2204502  
[www.oceanografia.udec.cl](http://www.oceanografia.udec.cl)



## **ANEXO IV:** **Taller de Difusión de Resultados**

El Taller de Difusión de Resultados del Proyecto se realizó el 5 de mayo de 2016, en el Auditorio Marcos Espejo Vidal, Instituto de Fomento Pesquero (IFOP), Blanco 839, Valparaíso. El taller fue convocado por IFOP, mediante la siguiente invitación:



### **Programa**

El Programa del Taller consistió en las siguientes presentaciones:

- 9:30 – 10:30 : Distribución de huevos de anchoveta y sardina común durante el crucero 2015.  
Leonardo Castro R, Samuel Soto M.
- 10:30 – 11:00 : Parámetros reproductivos de los adultos de anchoveta y sardina común, año 2015.  
Gabriel Claramunt Q.
- 11:00 – 11:15 : Café
- 11:15 – 12:15 : Producción de huevos y biomasa desovante de anchoveta y sardina común 2015.  
Luis Cubillos S.

### **Participantes**

Se registraron 22 asistentes, de los cuales tres fueron expositores, tal y como se respalda a continuación:

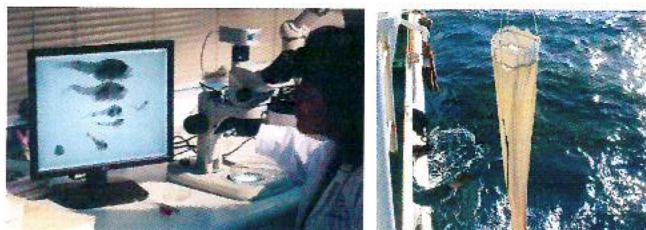


## Taller Presentación de Resultados

Proyecto: "Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V a X Regiones,

## Asistencia

Nº	Nombre	Mail	Institución	Firma
01	Cerdeño Felicón	cecerdone@economia.d.minecon	MINECON	
02	Gabriel Alvarado	g.alvarado@unap.cl	UNAP	
03	Luis Cubillos	lucubillos@udec.cl	UDEC	
04	Samuel Soto	s.soto@udec.cl	UDEC	
05	Sandra Curin	sacurin@gmail.com	UDEC	
06	NICOLE MERMOUD	N.MERMOUD@SUBPESCA.CL	SUBPESCA	
07	Silvia Hernandez	shernandez@sobpesca.cl	SOBPESCA	
08	Catherine Grendi	catherine.grendi@ifop.cl	IFOP	
09	Vasile Kuentz	vasile.kuentz@ifop.cl	IFOP	
10	Hernán Reyes	hernan.reyes@ifop.cl	IFOP	
11	HERNAN MILES	planceta	IFOP	
12	JORGE ANTONIO ALLOS	jorge.allos@ifop.cl	IFOP	
13	ANDRES RUIZ MAMBRÉ	andres.ruiz@ifop.cl	IFOP	
14	Vivian Diaz Leyzaola		IFOP	
15	M. Gabriela Bohrn	gabriela.bohrn@ifop.cl	IFOP	

**Taller Presentación de Resultados**

Proyecto: "Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V a X Regiones"

**Asistencia**

Nº	Nombre	Mail	Institución	Firma
16	MARÍA CRISTINA PEREZ GUERRA	maria.cristina.perez@ifop.cl	IFOP	
17	Benjamín Suárez	benjamín.suarez@ifop.cl	IFOP	
18	Mauricio Ibáñez	mauricio.ibanez@ifop.cl		
19	EISON LEAL F.	elson.leal@ifop.cl	IFOP	
20	ALFONSINA ALARCÓN	alfonsina.alarcon@gmail.com		
21	CLAUDIO BEMBO	claudio.bembo@ifop.cl	IFOP	
22	CAROLINA LANGE	carolina.lange@ifop.cl	IFOP	
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				



INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

30-08-16

**COPAS**  
Sur - Austral

**MPH 2015**

**EVALUACION DEL STOCK DESOVANTE  
DE LA ANCHOVETA Y SARDINA COMUN ENTRE LA V Y X REGIONES,  
AÑO 2015**

**DISTRIBUCION DE HUEVOS  
DE ANCHOVETA Y SARDINA COMUN  
DURANTE EL CRUCERO 2015**

*Samuel Soto M. & Leonardo Castro C.*

*Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL)  
Departamento de Oceanografía – Programa Financiamiento Basal COPAS SUR-AUSTRAL  
Universidad de Concepción*

<b>PERSONAL SECCIÓN ICTIOPLANCTON</b>	<b>Responsable</b> Leonardo Castro C.
	<b>Muestreos ictioplancton e hidrografía:</b> Víctor Acura Alejandro Ávila Pamela Barrientos Eduardo Escalona Elsa Fernández Daniel Pezo Tania Ponce Lenín San Martín Samuel Soto Germán Vásquez Robinson Torres
	<b>Separación de ictioplancton</b> Elsa Fernández
	<b>Estados de desarrollo de huevos</b> Alejandra Llanos
	<b>Hidrografía y diagramación</b> Samuel Soto



30-08-16

## ACTIVIDADES

## Terreno:

- Recolección de muestras de plancton, a partir de :
  - a) Muestreos verticales con Red Calvet en grilla regular de estaciones MPH
  - b) Muestreo estratificado con Red Tucker Trawl en 3 Transectas dentro de la grilla regular
- Obtención de data hidrográfica a lo largo de la grilla de muestreo

## Laboratorio

- Identificación y separación de huevos de anchoveta y sardina común
- Clasificación de los huevos basado en 11 estados de desarrollo
- Descripción de distribución horizontal y vertical de los huevos de ambas especies

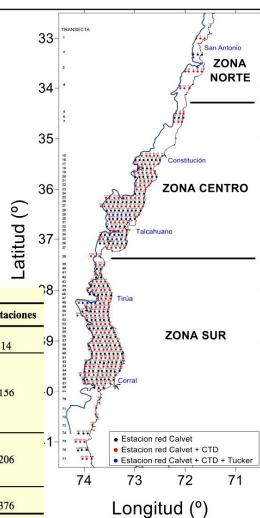
## Adicionales:

- Análisis retrospectivo de data de distribución vertical de huevos de sardina común y anchoveta en zona central de Chile
- Elaboración de modelo de distribución vertical de huevos de anchoveta basado en densidad específica y perfiles de CTD

MUESTREO GRILLA REGULAR MPH			
2014	Sector	Periodo	Nº Estaciones
Maria Elena II	Norte	22/10/2014 – 23/10/2014	14
Gimar	Centro	10/09/2014 – 12/09/2014 21/09/2014 – 24/09/2014	149
Huracán I	Sur	10/09/2014 – 14/09/2014 30/09/2014 – 15/10/2014	211
Total			374

2015		Coordinadas	Periodo	Nº estaciones
Maria Elena II	Norte	33°00' S - 34°00' S	03/11/2015 - 04/11/2015	14
Gimar I	Centro	34°30' S - 34°40' S 35°55' S - 37°10' S	27/09/2015 28/09/2015 - 02/10/2015	156
Kay kay II		35°20' S - 35°50' S	11/11/2015 - 13/11/2015	
Huracán I	Sur	37°20' S - 41°20' S	03/10/2015 - 07/10/2015 19/10/2015 - 25/10/2015	206
Total				376



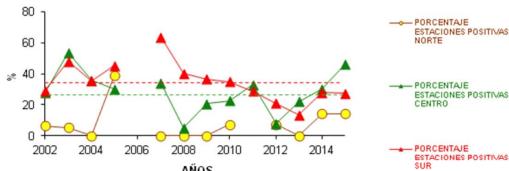


30-08-16

## RESULTADOS : ESTACIONES CON HUEVOS

2015		ANCHOVETA			SARDINA COMÚN	
Sector	Estaciones totales (n)	Estaciones positivas (n)	%	Estaciones positivas (n)	%	
Norte	14	2	14.3	0	0	
Centro	156	72	46.2	53	34.0	
Sur	206	56	27.2	27	13.1	
Total	376	130	34.6	82	21.8	

2014		ANCHOVETA			SARDINA COMÚN	
Sector	Estaciones totales	Estaciones positivas	%	Estaciones positivas	%	
Norte	14	2	14.3	1	7.1	
Centro	149	45	30.2	44	29.5	
Sur	211	59	28.0	37	17.5	

ANCHOVETA  
PORCENTAJE ESTACIONES POSITIVAS POR ZONA



30-08-16

ANCHOVETA: ABUNDANCIA DE HUEVOS POR ESTACION ( h/0.05m <sup>2</sup> )						
2015 ANCHOVETA						
	Promedio Suma estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	
Norte	32	2.3	8.27	16.0	21.21	31
Centro	3449	22	70.84	47.9	98.50	712
Sur	1576	7.7	26.35	28.6	44.72	190

2014 ANCHOVETA						
	Promedio Suma estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	
Norte	5	0.4	1.08	2.5	2.12	4
Centro	1226	8.2	26.82	27.2	43.48	217
Sur	1497	7.1	26.84	25.4	46.22	226

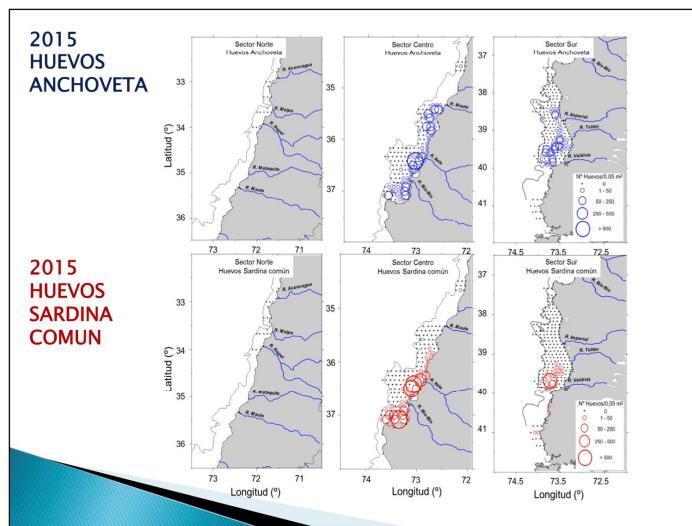
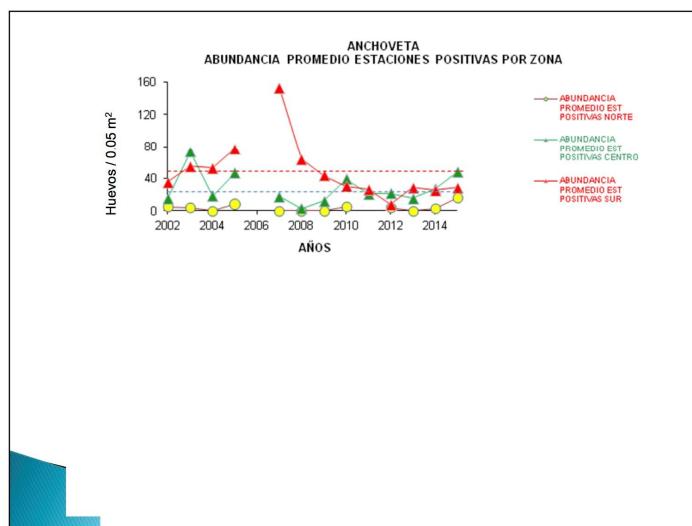
SARDINA COMUN : ABUNDANCIA DE HUEVOS POR ESTACION ( h/0.05m <sup>2</sup> )						
2015 SARDINA COMÚN						
	Promedio Suma estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	
Norte	0	0	-	0	-	-
Centro	3499	22.0	91.96	66.0	149.25	679
Sur	1111	5.4	55.09	41.1	149.66	771

2014 SARDINA COMUN						
	Promedio Suma estaciones	SDEV Total estaciones	Promedio Estaciones Positivas	SDEV Estaciones Positivas	Máxima abundancia	
Norte	2	0.1	0.53	2	0	2
Centro	2446	16.4	105.64	55.6	190.22	1224
Sur	1087	5.2	40.22	29.4	93.31	564

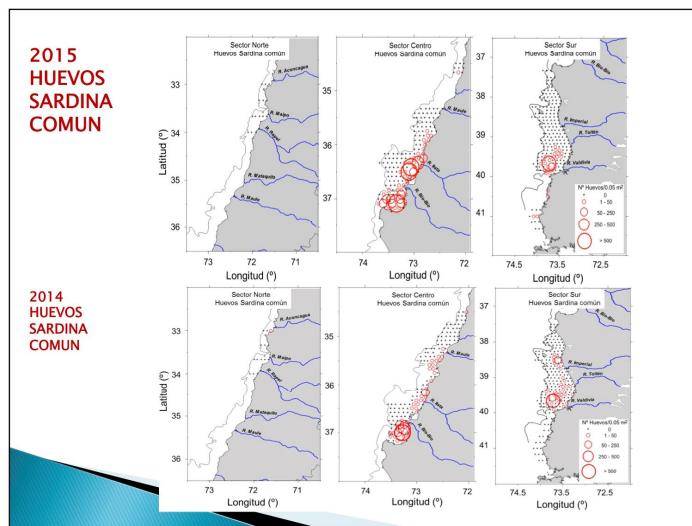
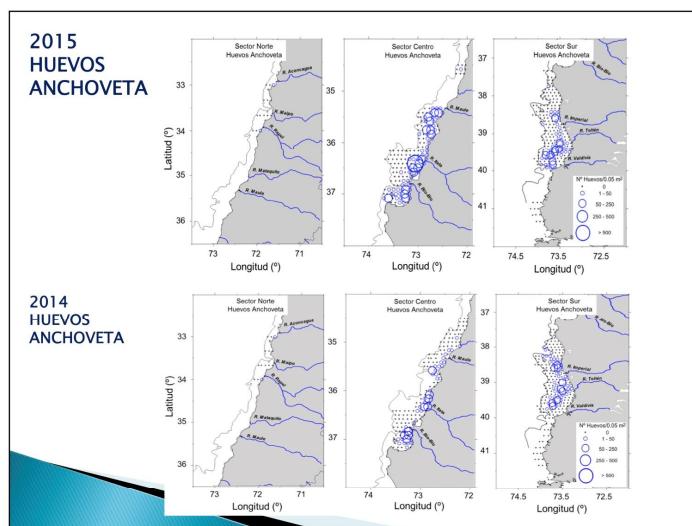


30-08-16





30-08-16





30-08-16

#### RESUMEN RESULTADOS

##### ANCHOVETA

La serie de tiempo 2002-2015 de huevos de anchoveta muestra que:

\* el 2015 es tercer año consecutivo en que hay una **mayor proporción de estaciones positivas en la zona central** comparada con la zona sur.

\* mientras en el 2015 la **zona central sobre pasa el promedio histórico de estaciones positivas**, la zona sur mantiene proporción de estaciones positivas bajo el promedio histórico.

\* mientras la **abundancia de huevos promedio sigue aumentando levemente en la zona central**, ubicándose sobre el promedio histórico el 2015, la abundancia de huevos en la zona sur se mantiene similar y bajo el promedio histórico por más de 7 años.

**Latitudinalmente, el 2015:**

\* núcleos históricos en zona central se mantienen pero aumenta abundancia en sector Punta Nugurune. En zona sur núcleo extenso desde Corral a Isla Mocha se mantiene pero disminuyen abundancias en sector adyacente a Isla Mocha.

#### RESUMEN RESULTADOS (cont.)

##### SARDINA COMUN

Desde el 2013 al 2015:

\* mientras en la **zona central se mantiene tendencia de aumento en las estaciones positivas**, en la **zona sur se observa una tendencia sostenida a la disminución** en proporción de estaciones positivas

\* se observa un **aumento sostenido en la abundancia de huevos en zona central**. En la zona sur, en cambio, no se observa una tendencia clara en las fluctuaciones de abundancia promedio de huevos en estaciones positivas

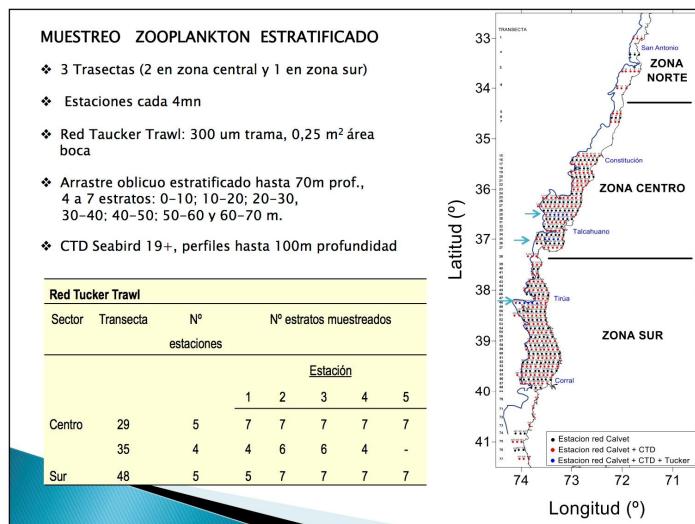
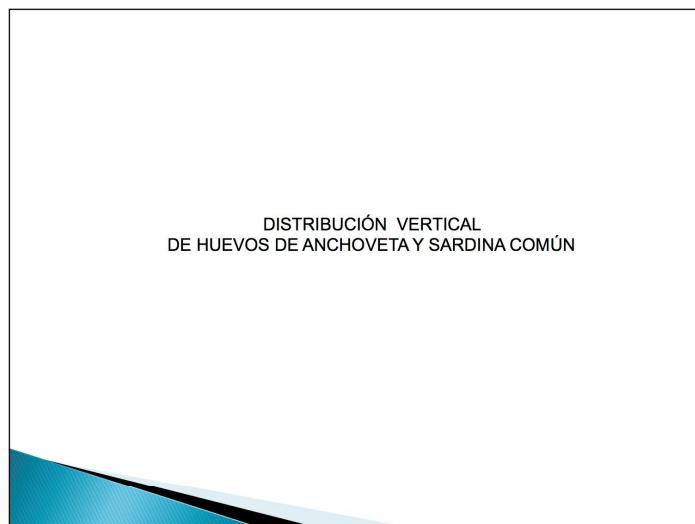
**Latitudinalmente, el año 2015:**

\* solo 2 de los 3 núcleos históricos de abundancia de la zona central se observan el 2015 (Golfo Arauco y costa entre desembocadura del río Itata y Bahía Concepción)

\* núcleo histórico extenso de la zona sur se reduce a solo la sección más sureña frente a Corral y en forma separado de la costa

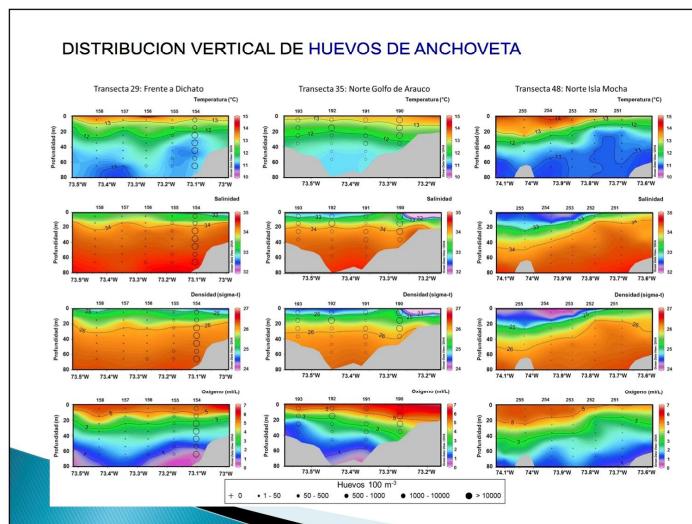
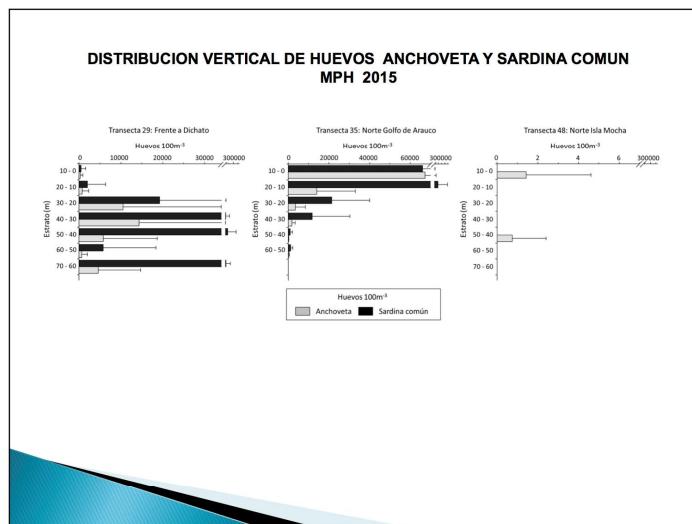


30-08-16





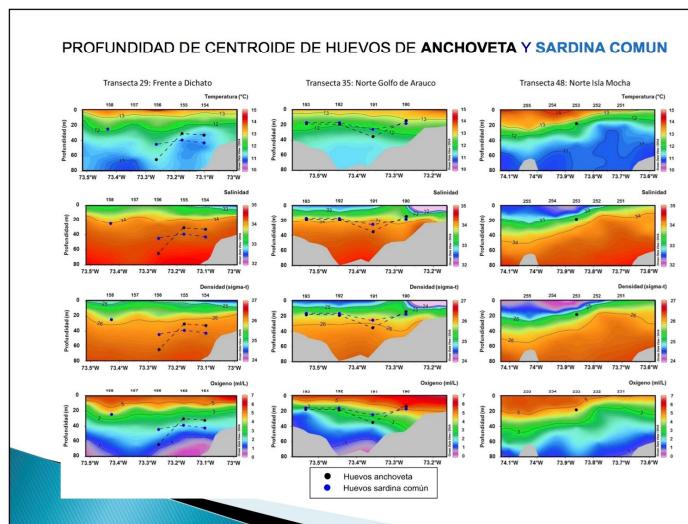
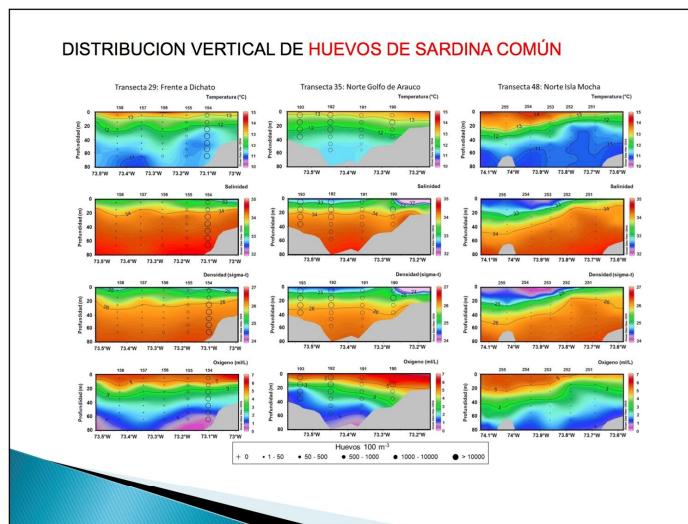
30-08-16



10

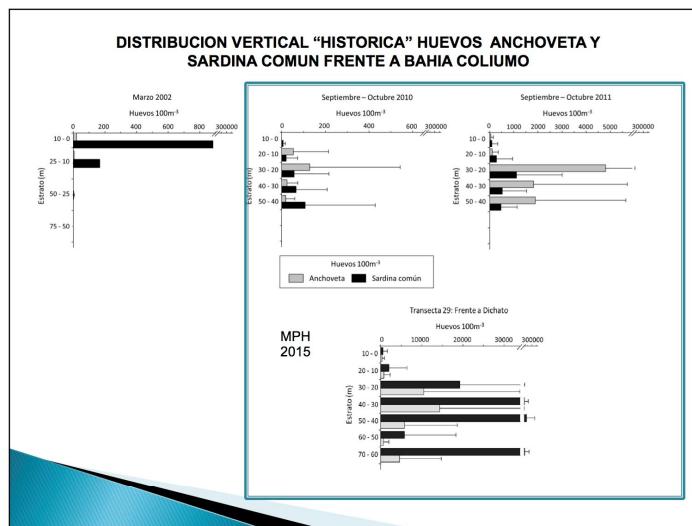


30-08-16



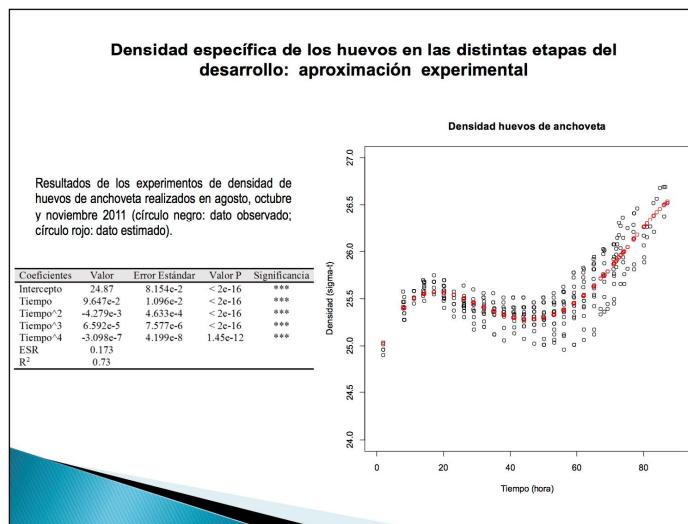
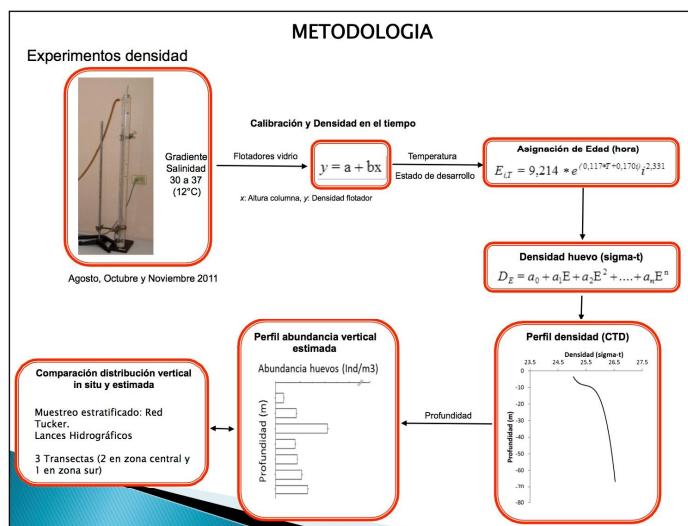


30-08-16



**Modelación de profundidad de ubicación de los huevos de anchoveta en terreno**

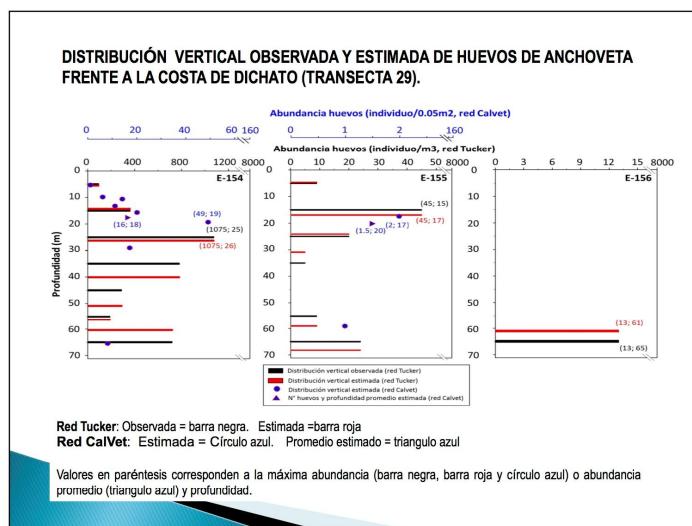
30-08-16



13



30-08-16



Valores de las variables oceanográficas obtenidas de la posición vertical (profundidad) del número promedio y máxima presencia de huevos de anchoveta

Transecta	Estación	Tipo Muestreo	Red	Presencia Huevos	Profundidad (m)		Temperatura (°C)	Salinidad	Densidad (sigma-t)
					in situ	Estimada			
29	154	estratificado	Tucker	Máxima	25	—	11.41	34.128	26.023
		integrado	Calvet	Promedio	—	26	11.39	34.147	26.038
29	155	estratificado	Tucker	Máxima	—	19	12.02	34.039	25.834
		integrado	Calvet	Promedio	—	18	12.13	33.947	25.834
29	156	estratificado	Tucker	Máxima	15	—	12.32	33.875	25.658
		integrado	Calvet	Promedio	—	17	12.05	33.998	25.807
29	156	estratificado	Tucker	Máxima	—	17	12.05	33.998	25.807
		integrado	Calvet	Promedio	65	20	12.07	34.040	25.807
29	156	estratificado	Tucker	Máxima	—	61	11.35	34.440	26.277
		integrado	Calvet	Promedio	—	—	—	—	—



30-08-16

**RESUMEN DE RESULTADOS:  
DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE HUEVOS Y MODELACION**

- Rango de distribución de huevos de ambas especies va desde estrato más somero (0-10m) a estrato más profundo muestreado (60-70m)
- La profundidad de los centroides de huevos de las especies objetivos mostró diferencias significativas entre distintas transectas (más somera frente a Golfo de Arauco y más profunda frente a Bahía Coliumo).
- La profundidad de los centroides de huevos no presentaron diferencias significativas entre especies a lo largo de una misma transecta.
- No hubo diferencias significativas en la profundidad de los centroides entre diferentes grupos de desarrollo (Grupos I, II, III) de huevos de anchoveta ni de sardina común.
- ❖ Distribuciones verticales históricas de huevos de anchoveta frente a Bahía Coliumo muestran similitud durante estación primaveral pero diferencias entre estaciones del año.
- ❖ En la modelación, los rangos de distribución vertical in situ y estimados de huevos de anchoveta son similares. La profundidad in situ y estimada de máxima abundancia de huevos no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ).

**GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN**

Ahora ya sabes.....no hay que "mirar a huevo"....

....los huevos de sardinas y anchovetas





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

30-08-16



## EVALUACIÓN DEL STOCK DESOVANTE DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN ENTRE LA V Y X REGIÓN, AÑO 2015

### PARÁMETROS REPRODUCTIVOS

## Fracción diaria de hembras desovantes

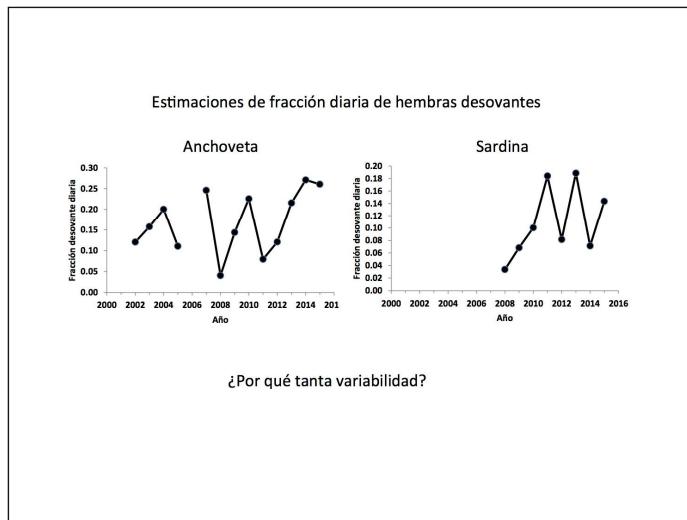
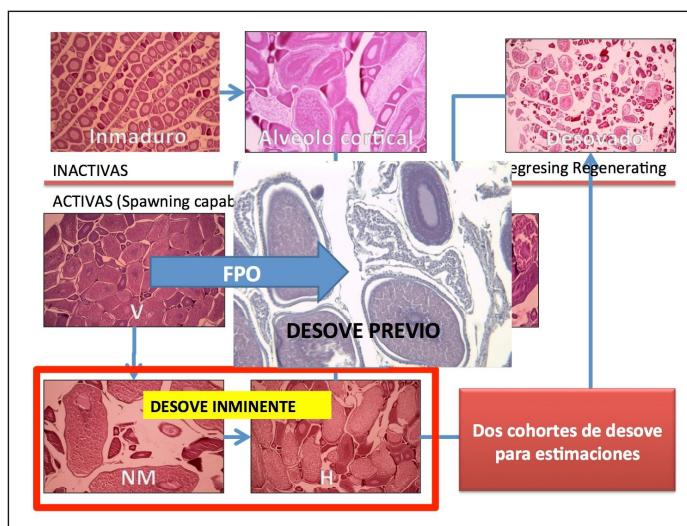
1

134

CONVENIO DE DESEMPEÑO 2015 – IFOP / SUBSECRETARÍA DE ECONOMÍA Y EMT. INFORME FINAL:  
"EVALUACIÓN DEL STOCK DESOVANTE DE ANCHOVETA Y SARDINA COMÚN ENTRE LA V Y X REGIONES, AÑO 2015"

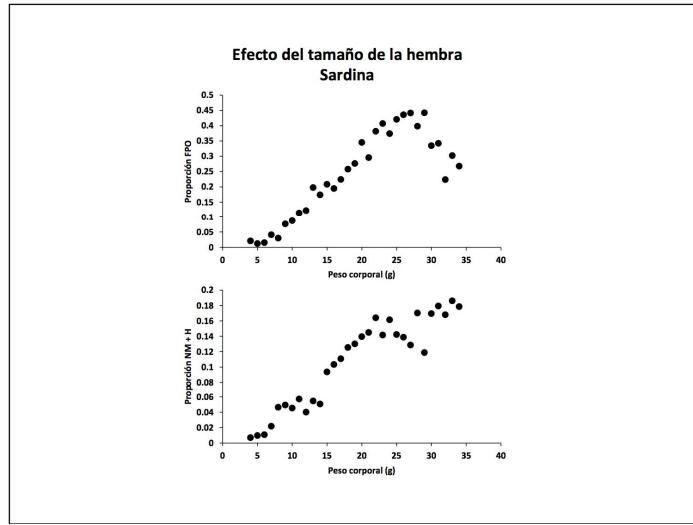
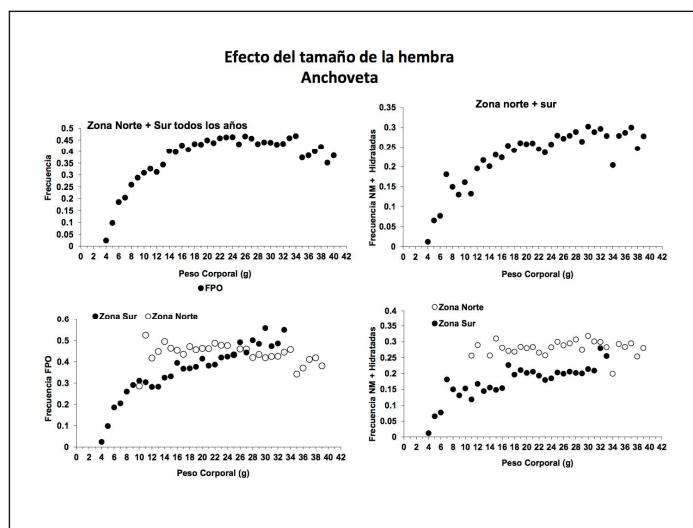


30-08-16



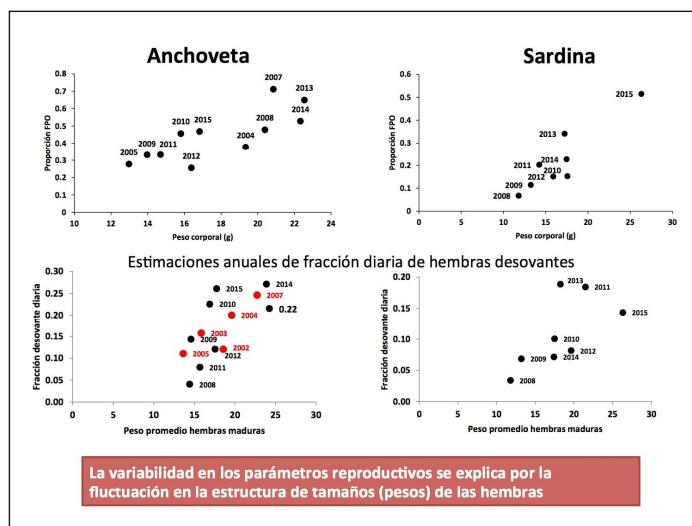


30-08-16





30-08-16



## Datación de los FPO



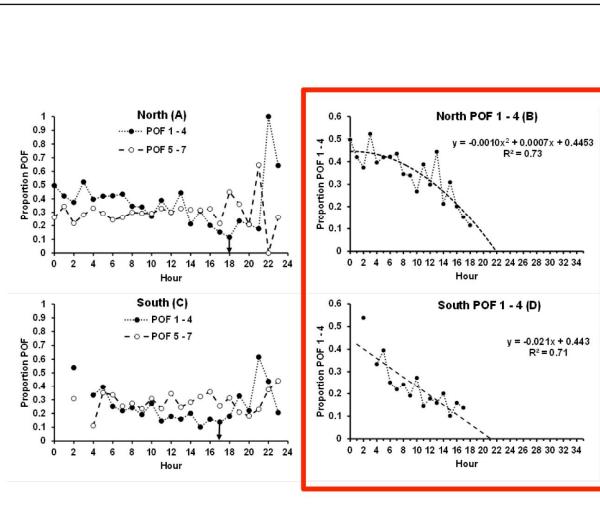
30-08-16

La clasificación y datación de los Folículos Postovulatorios (FPO) tanto de la zona norte como de la zona centro sur cambiaron el año 2007.

Antes del 2007, el observador (histólogo) clasificaba los FPO como pertenecientes a cohortes diarias, conociendo la hora de la captura:

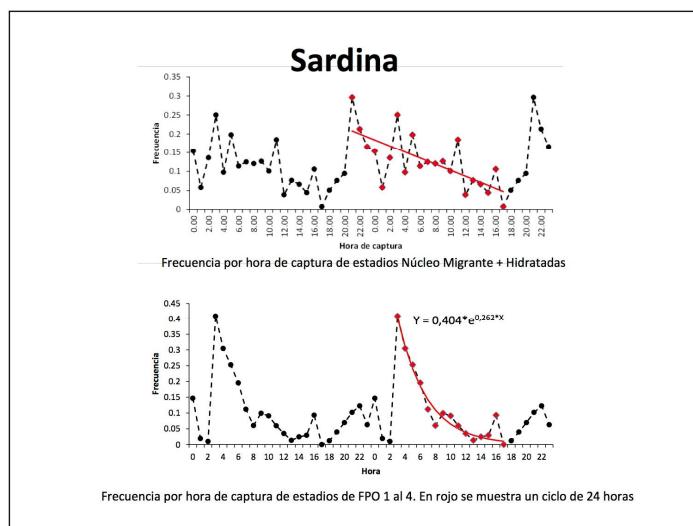


Después del 2007, el observador clasifica el FPO en uno de los 7 posibles estadios de degeneración. No conoce la hora de la captura. Datación y asignación en cohortes diaria es posterior.





30-08-16



## RESULTADOS ANCHOVETA 2015

Se analizaron 593 hembras correspondientes a 15 lances.

100% de las hembras se encontraban activas (EMM 3 al 7).

**NM + H:** fracción desovante se estima en **0,277**, con una varianza de **0,00069** y un coeficiente de variación de **9,5%**.

**FPO de I al IV:** fracción diaria de hembras desovantes se estima en **0,245** con una varianza de **0,0015** y un coeficiente de variación de **15,8%**.

Test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones ( $t_{\text{calc}} = 0,567$ ,  $t_{\text{tabla}} = 2,145$ ).

Al combinar ambas estimaciones, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de **0,261**, una varianza de **0,00029** y un coeficiente de variación de **6,5%**



30-08-16

## RESULTADOS SARDINA 2015

Se analizaron 2180 hembras correspondientes a 59 lances. 1179 hembras (30 lances) provienen de la zona centro y 1010 ejemplares (29 lances) de la zona sur.

El análisis histológico de los ovarios indicó que el **56,6%** de las hembras se encontraban activas (EMM 3 al 7) en el área total. Para la zona Centro se encuentra un **99,4%** y en la zona sur solo un **6,2%** de hembras activas.

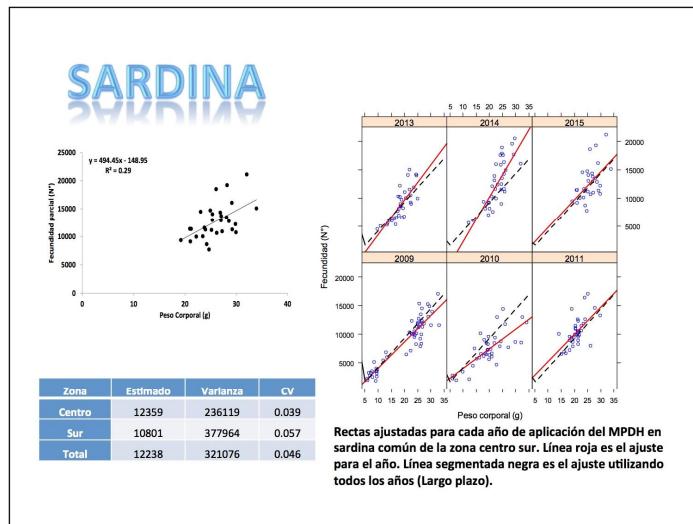
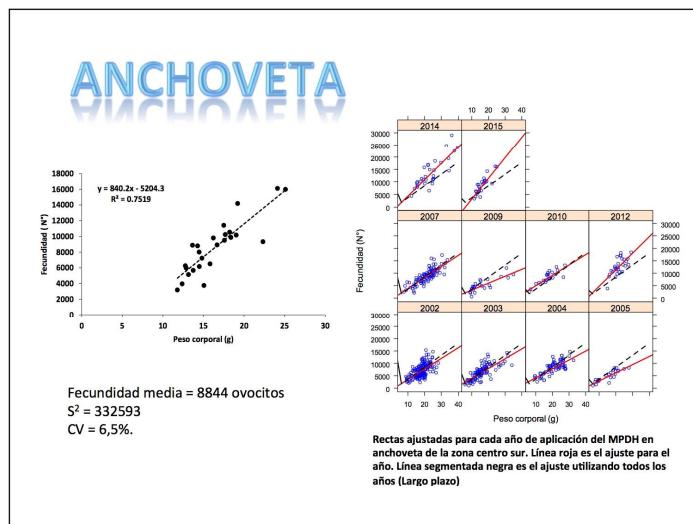
Estimaciones de fracción diaria de hembras desovantes por zona y área total para sardina común año 2015. t calculado para  $H_0: FPO\ 0 = FPO\ 1$ .

Zona		Estimado	Varianza	CV	t calculado
					FPO 0 = FPO 1
Centro	FPO 0	0.133	0.00044	0.158	
	FPO 1	0.175	0.00023	0.086	
	FPO 0+1	0.154	0.00015	0.080	1.58
Sur	FPO 0	0			
	FPO 1	0.04	0.00043	0.514	
	FPO 0+1	0.02	0.00011	0.514	1.72
Área total	FPO 0	0.122	0.00038	0.159	
	FPO 1	0.165	0.00020	0.086	
	FPO 0+1	0.143	0.00014	0.082	1.69

## FECUNDIDAD PARCIAL



30-08-16





INSTITUTO DE FOMENTO PESQUERO / DIVISIÓN INVESTIGACIÓN PESQUERA

30-08-16

**Gracias**

**Peso promedio de hembras maduras**

	Anchoveta	
	W	CV
2002	18.6	5.84
2003	15.8	2.92
2004	19.6	3.92
2005	13.6	6.70
2006		
2007	22.7	3.20
2008	14.4	20.09
2009	14.6	7.31
2010	16.9	3.25
2011	15.7	4.88
2012	17.6	4.07
2013	24.2	3.23
2014	23.9	2.25
2015	17.7	3.33

	Sardina	
	W	CV
2008	11.8	12.04
2009	13.2	6.42
2010	17.5	7.50
2011	21.5	3.23
2012	19.6	4.01
2013	18.3	4.73
2014	17.4	5.84
2015	26.3	0.96



30-08-16



Taller  
Taller de Difusión del estudio "Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2016"  
5 de Mayo de 2016  
Auditorio Marco Espejo  
Instituto de Fomento Pesquero - Valparaíso

Producción de huevos y biomasa desovante de anchoveta y sardina común, año 2015.

Luis A. Cubillos

Universidad de Concepción

Producción diaria de huevos y biomasa desovante:



Producto Reproductivo

$P_0 = [Fecundidad] * [Fracción Desovante] * [Fracción de Hembras] * [Abundancia Pop.]$

$P_0 = [F] * [S] * [R] * [N]$

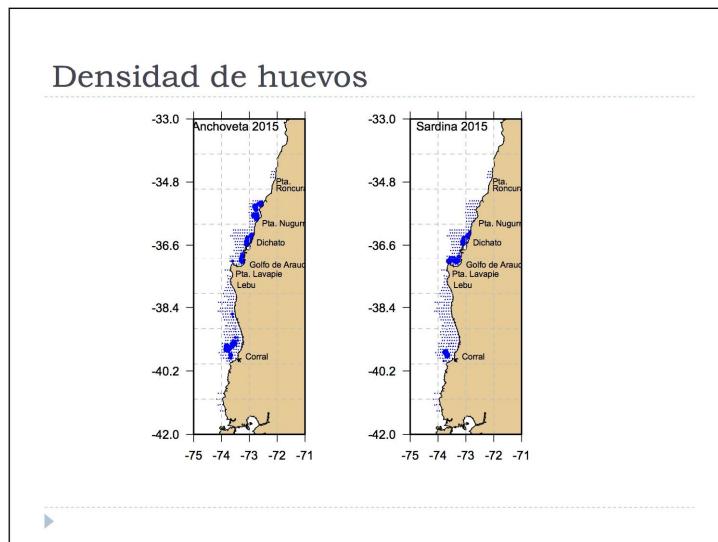
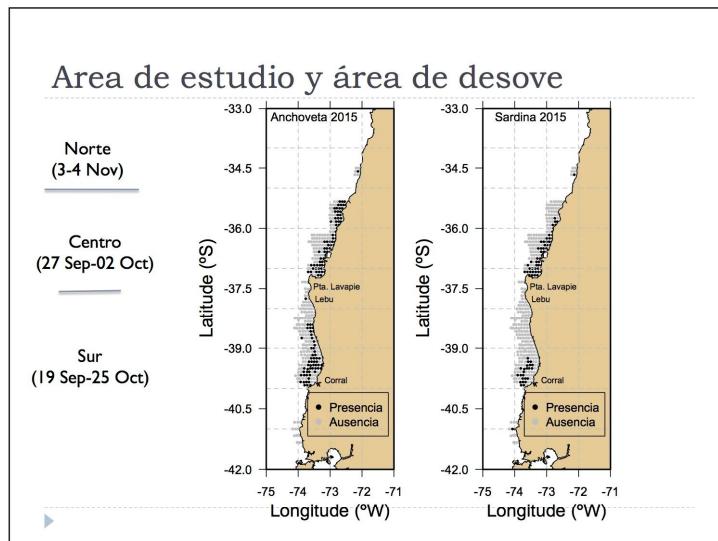
$N = P_0 / [F] * [S] * [R]$

$B = N * W$

$B = P_0 W / [F] * [S] * [R]$

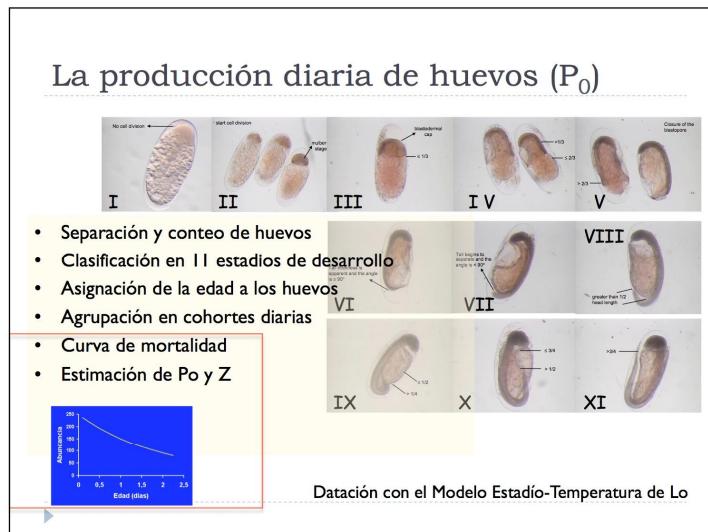
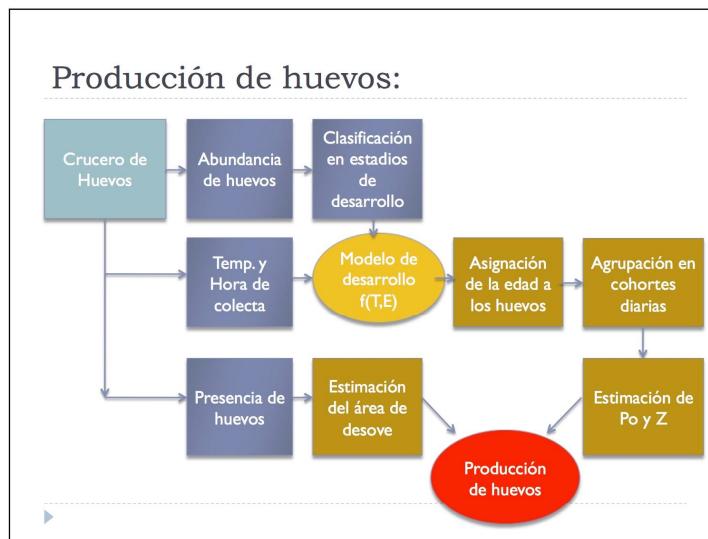


30-08-16





30-08-16





30-08-16

### Procedimientos de asignación de edad:

#### • Método de Lo

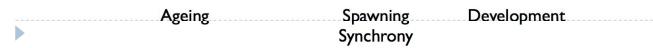
- Modelo de Lo
- Duración de cada estadio
- Synchrony: Hora del desove (fija)

#### • Método iterativo

- Modelo multinomial para estadios de desarrollo
- Probabilidad de la edad dado un estadio, la temperatura, y la hora de colecta:

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

$$p(\text{age} | \text{stage, temp, time}) \propto f(\text{age} | \text{time}) p(\text{stage} | \text{age,temp})$$

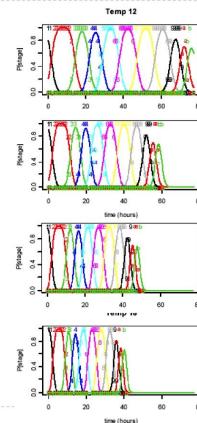


#### • Modelo Multinomial

$$N_{i,t} \sim \text{Mult}(N, p_{i,t})$$

$$p_{i,t} = f(\text{age}, \text{temperature})$$

Probabilidad o proporción del estadio i al tiempo t, en función de la edad y temperatura





30-08-16

### Mortalidad de huevos

► GLM:

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

GLM 1: binomial negativa con enlace “log”

GLM 2: binomial negativa ponderada por un índice de agregación de Lloyd

$$P_i = 1 + (\sigma_i^2 \mu_i^{-1} - 1) \mu_i^{-1}$$



### Producción diaria de huevos:

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

Strato h=1=Area de desove  
Area de crucero

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



30-08-16

## Producción diaria de huevos: anchoveta

## a) Anchoveta

Modelo: Lo	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	6.609	0.296	2.232	0.000
		Z	-0.026	0.006	-4.250	0.000
	Sur	Log(P0)	5.255	0.427	1.222	0.000
		Z	-0.005	0.009	-5.522	0.581
MLG 2: Bin. Neg. ponderada con índice de agregación	Centro	Log(P0)	6.654	0.103	6.455	0.000
		Z	-0.027	0.002	-1.322	0.000
	Sur	Log(P0)	5.237	0.147	3.554	0.000
		Z	-0.005	0.003	-1.625	0.104
Modelo: Multinomial	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	7.190	0.445	16.156	0.000
		Z	-0.044	0.012	-3.602	0.000
	Sur	Log(P0)	5.759	0.576	9.986	0.000
		Z	-0.012	0.013	-0.911	0.364

## Producción diaria de huevos: sardina

## b) Sardina común:

Modelo: Lo	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Log(P0)	6.606	0.427	15.442	0.000
		Z	-0.013	0.008	-1.553	0.120
	Sur	Log(P0)	7.411	1.021	7.255	0.000
		Z	-0.005	0.022	-2.549	0.010
GLM 2: Bin. Neg. ponderada con índice de agregación	Centro	Log(P0)	6.630	0.144	45.950	0.000
		Z	-0.014	0.002	-5.060	0.000
	Sur	Log(P0)	7.532	0.263	28.617	0.000
		Z	-0.060	0.006	-9.185	0.000
Modelo: Multinomial	Zona	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	Pr(> z )
MLG 1: Bin. Neg.	Centro	Intercepto	7.278	0.632	11.517	0.000
		Pendiente	-0.037	0.017	-2.176	0.031
	Sur	Intercepto	-2.385	0.349	-6.82	0.000
		Pendiente	0.000	0.008	0.000	1.000



30-08-16

## Indice de agregación de Lloyd:

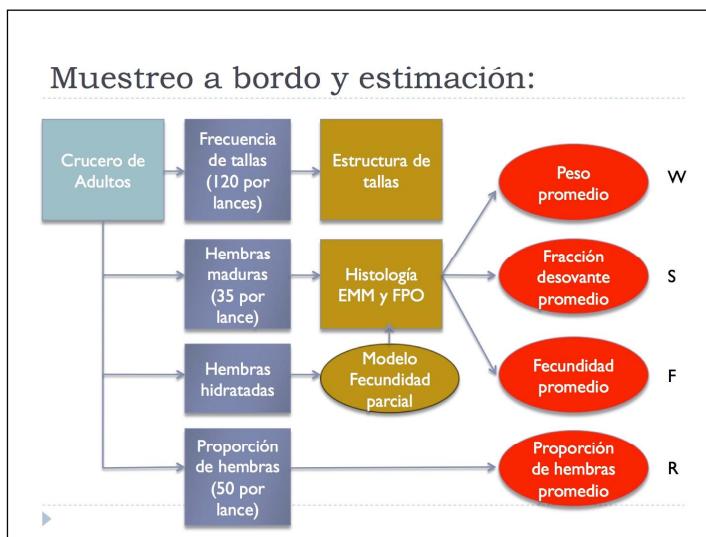
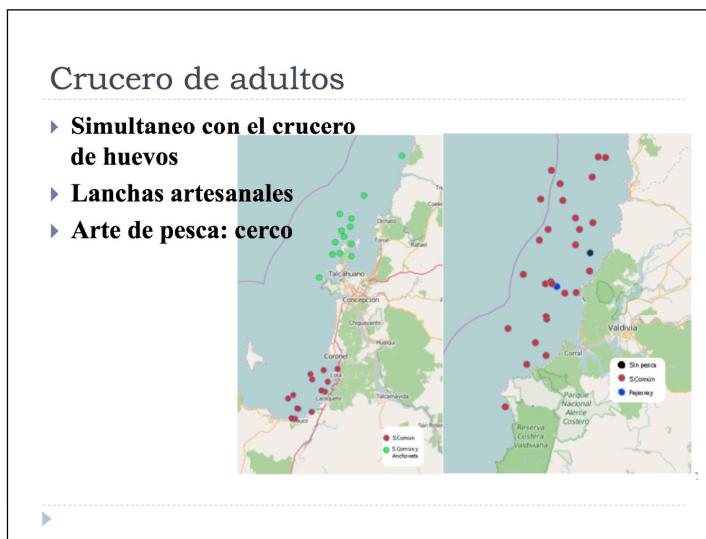
Sp	Cohort	Avg	Var	P	Zona	Year
Anchoveta	1	18.8	2969.6	9.3	Centro	2015
Anchoveta	2	16.5	1141.2	5.1	Centro	2015
Anchoveta	3	5.6	345.6	11.7	Centro	2015
Anchoveta	1	10.2	884.8	9.4	Sur	2015
Anchoveta	2	4.1	110.7	7.5	Sur	2015
Anchoveta	3	8.2	410.0	7.0	Sur	2015
Sardina	1	27.3	6886.5	10.2	Centro	2015
Sardina	2	19.8	1535.9	4.9	Centro	2015
Sardina	3	15.8	3526.2	15.0	Centro	2015
Sardina	1	28.5	13762.0	17.9	Sur	2015
Sardina	2	6.6	1016.0	24.0	Sur	2015
Sardina	3	1.9	21.0	6.4	Sur	2015

## Producción diaria de huevos

	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Área de estudio (A, km <sup>2</sup> )	10350	13315	10350	13315
Área de desove, A <sub>t</sub> (km <sup>2</sup> )	4482	3477	3278	1591
Número de estaciones	156	206	156	206
Número de estaciones positivas	72	56	53	27
a) Datación con Lo:				
P <sub>0</sub> (huevo/0,05 m <sup>2</sup> /día)	38,828 (0,103)	9,414 (0,147)	37,88 (0,144)	93,372 (0,263)
Z (día <sup>-1</sup> )	-0,662 (0,075)	-0,127 (0,615)	-0,339 (0,197)	-1,459 (0,109)
P <sub>0</sub> (huevo/m <sup>2</sup> /día)	776,56 (0,103)	188,28 (0,147)	757,69 (0,144)	80,55 (0,263)
P (10 <sup>11</sup> huevos/día)	34,809	6,547	24,839	29,714
CV(P)	0,068	0,076	0,081	0,091



30-08-16





30-08-16

**En el Lab:**

- Histología de ovarios
- Fracción desovante (POF of día-I)
- Fecundidad en función del peso del cuerpo (hidratadas)
- Peso promedio de hembras, y
- Proporción de hembras en peso



I : Virginal



IV: Vitelado



VII: En desove



II: Inmaduro



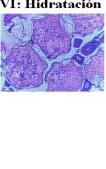
V: Próximo hidratación



VIII: Postdesovante



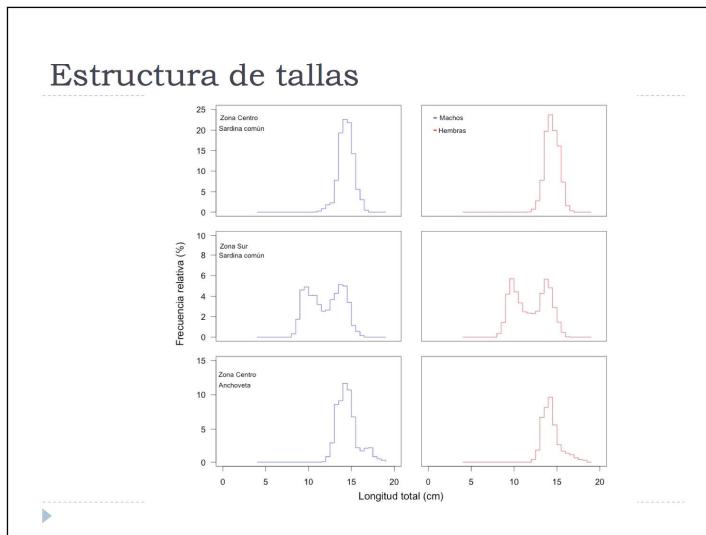
III: Parcial vitelado



VI: Hidratación



IX: Desovado





30-08-16

### Estados de madurez y fracción desovante

Anchoveta: 593 hembras en 15 lances, 100% hembras activas (EMM 3 a 7)  
Sardina: 2180 hembras en 59 lances (1179 hembras zona centro, 1010 sur).

Sardina:

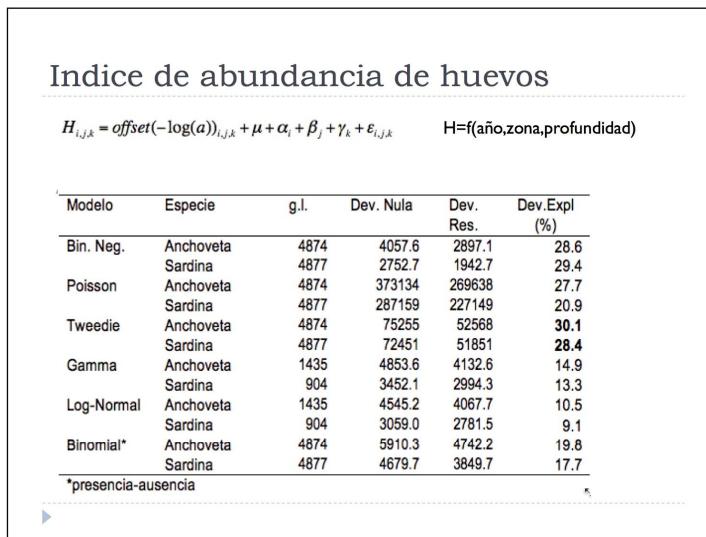
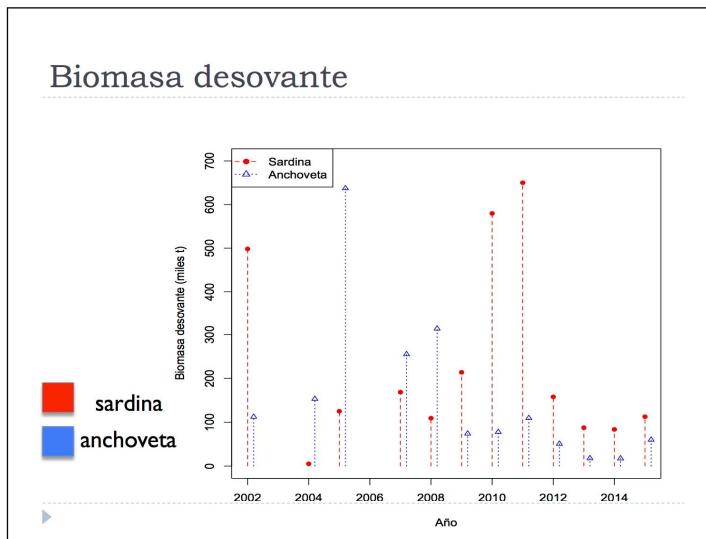
Estadio	Centro		Sur		Total	
	Frec. (n)	Frec. (%)	Frec. (n)	Frec. (%)	Frec. (n)	Frec. (%)
1 Inmaduro	-	-	301	30,07	301	13,81
2 Reposo	-	-	601	60,04	601	27,57
3 Parcialmente vitalado	27	2,29	6	0,60	33	1,51
4 Vitelado	989	83,88	56	5,59	1045	47,94
5 Núcleo migrante	93	7,89	-	-	93	4,27
6 Hidratado	63	5,34	-	-	63	2,89
8 Desovado	7	0,59	37	3,70	44	2,02
Total	1179	100	1001	100	2180	100
Activas	1172	99,4	62	6,2	1234	56,6

### Parámetros reproductivos y Biomasa desovante

Parámetros	Anchoveta		Sardina común	
	Centro	Sur	Centro	Sur
Fracción desovante, S	0,277 (0,10)	0,277*	0,133 (0,16)	0,040 (0,51)
Peso promedio, W (g)	17,7 (0,03)	17,7*	26,6 (0,01)	22,7 (0,03)
Proporción de hembras, R	0,50 (0,0)	0,50*	0,50 (0,0)	0,50
Fecundidad media, F	8844 (0,07)	8844*	12359 (0,04)	10802 (0,06)
Fecundidad relativa, RF (huevo g <sup>-1</sup> )	498,6	498,6*	464,1	476,4
Área de estudio, A (km <sup>2</sup> )	10350	13315	10350	13315
P <sub>0</sub> (huevo/m <sup>2</sup> /día)	776,6	188,3	757,7	80,5
Biomasa desovante, B (t)	50404 (0,115)	9480 (0,119)	80475 (0,181)	112575 (0,525)
Biomasa total, B (t)	59886 (0,098)		193049 (0,315)	

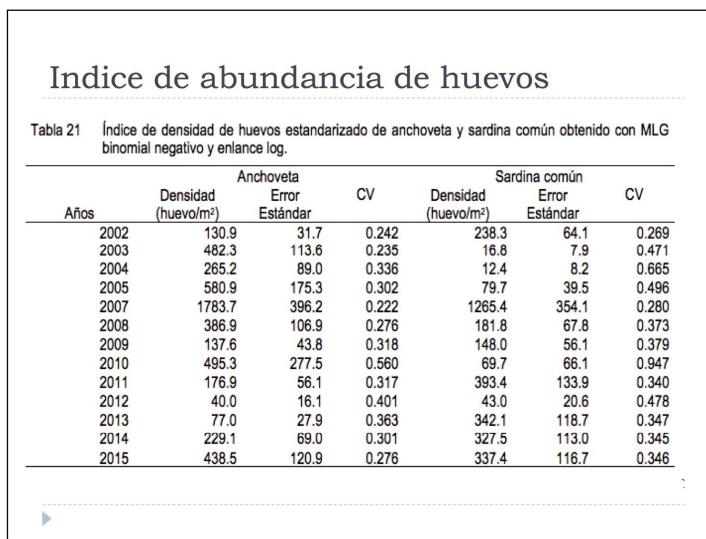
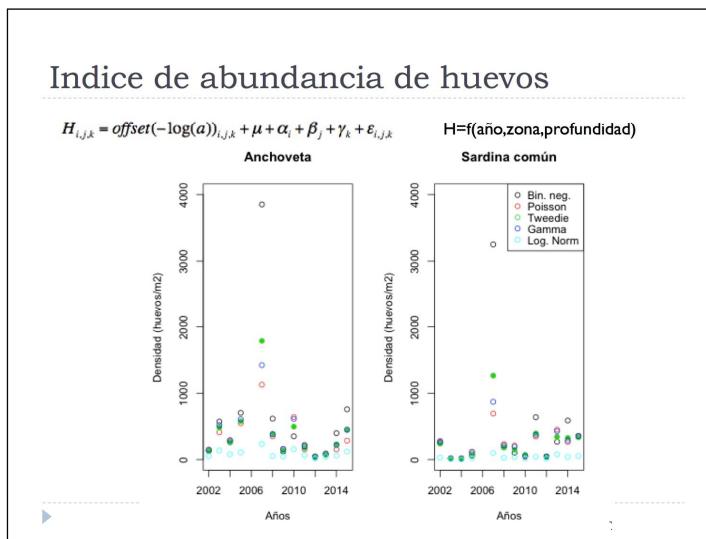


30-08-16





30-08-16





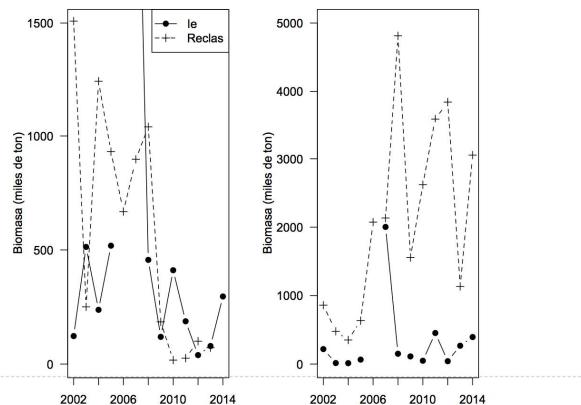
30-08-16

## RECLAS

Tabla 22 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).

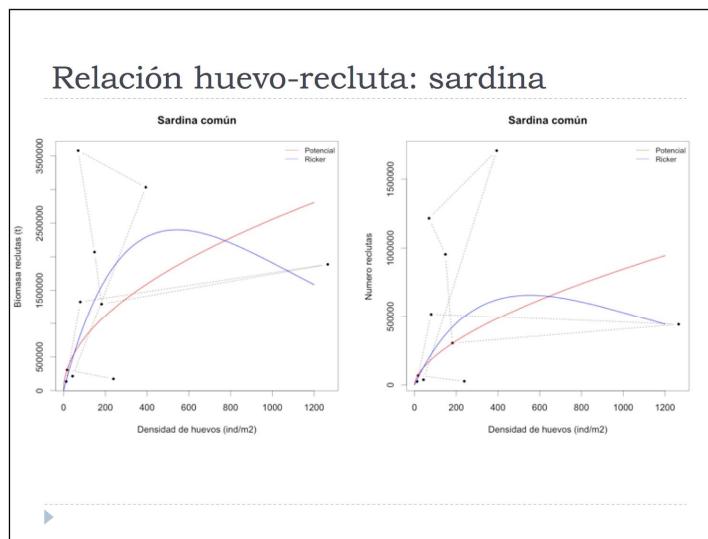
Años	Crucero	Sardina común				Anchoveta			
		Biomasa total (t)	Reclutas (t)	Abundan cia (n)	Reclutas (n)	Biomasa total (t)	Reclutas (t)	Abundan cia (n)	Reclutas (n)
1995	9512	53143	44209	11410	9724	205165	204733	61694	61796
2000	9912	370184	131469	61810	51107	252601	252601	193708	177336
2001	0101	412103	209535	76668	64875	567819	562786	174879	174579
2002	0201	1508426	129451	96804	38371	858800	580746	154433	144233
2003	0301	250294	152228	46445	41633	477998	172736	42475	28622
2004	0401	1244668	168013	89109	36665	351125	306660	70577	68405
2005	0501	931140	311369	100806	75512	633136	132906	43082	24503
2006	0601	668370	289608	101882	75512	2064639	1328433	544170	516457
2007	0701	897777	274714	76628	41808	2134043	248770	122878	32845
2008	0801	1040462	105259	61942	24274	4813144	1887932	544253	440886
2009	0901	184774	142707	43355	41797	1555625	1295782	319469	304067
2010	1001	17550	14317	6905	6747	2614793	207097	984610	953506
2011	1101	25864	7348	2750	2010	3594644	3578735	1216427	1215458
2012	1201	100147	63756	13215	11216	3789403	3034682	1746799	1705978
2013	1301	71376	13734	5303	2652	1133477	213086	87069	37395

## Relación índice de huevos-reclas





30-08-16

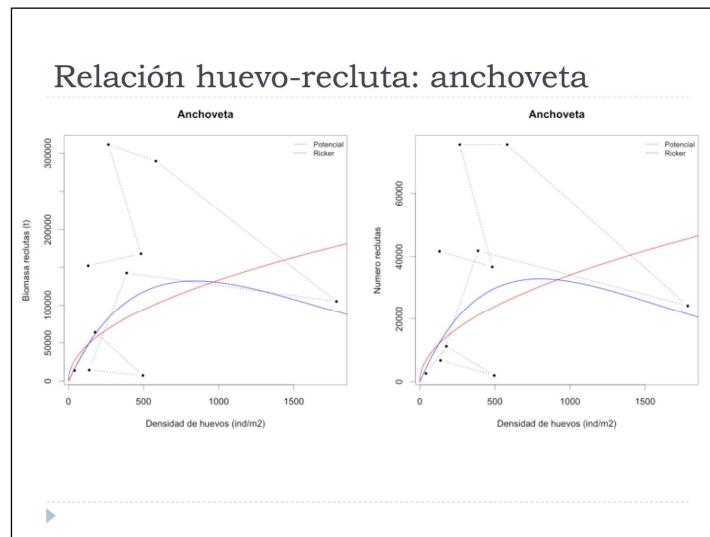


### Parametros:

Sardina comun		Biomasa de reclutas (t)		
Potencial	Estimate.	Std Error	t value	Pr(> t )
a	11,20	1,253	8,94	1.940241e-05
b	0,514	0,259	1,99	0,0822
Ricker				
a	9,39	0,419	22439	1,65e-08
b	-0,00184	0,00096	-1905	0,0932
Potencial		Número de Reclutas		
a	9,48	1,70	5.567003	0.00053
b	0,604	0,352	1.716195	0,1244
Ricker				
a	8,08	0,549356	14703	4.5e-07***
b	-0,00181	0,001267	-1427	0,191



30-08-16



### Parámetros

Anchoveta		Biomasa de reclutas (t)		
Potencial	Estimate.	Std Error	t value	Pr(> t )
a	8,35	2,43	3,430	0,0089
b	0,499	0,425	1,175	0,2736
Ricker				
a	6,06	0,56	10,82	4,7e-06
b	-0,0012	0,00086	-1,39	0,202
Potencial		Número de reclutas		
a	6,95	2,36	2,940584	0,0186
b	0,505	0,412	1,224973	0,2554
Ricker				
a	4,71	0,53	8,822	2,15e-05
b	-0,0012	0,00082	-1,527	0,165



30-08-16

## Conclusiones

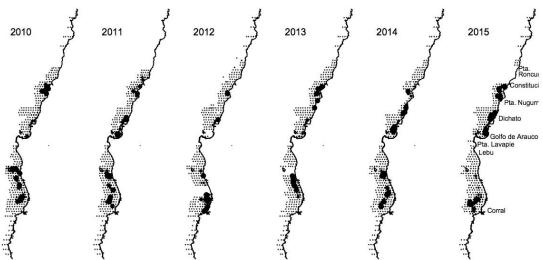
- ▶ Recuperación del desove en la zona centro para ambos recursos, y disminución del desove en el sector sur particularmente en sardina común.
- ▶ La producción diaria de huevos de sardina fue mayor en el sector centro con 757,7 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=14,4%) y una menor producción en el sector sur con 80,5 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=26,3%). La producción diaria de huevos de anchoveta fue también mayor en el sector centro con 776,6 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=10,3%) y sólo 188,3 huevos/m<sup>2</sup>/día (CV=14,7%) para la zona sur.
- ▶ El estimado estratificado de biomasa desovante fue de 59886 toneladas de anchoveta y de 193049 toneladas de sardina común



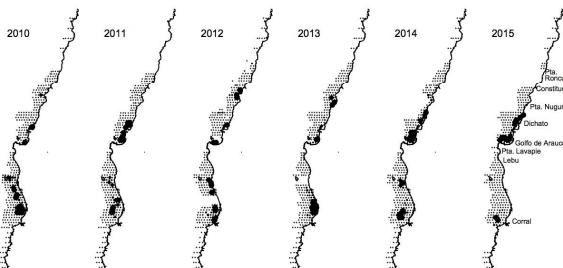


30-08-16

### Anchoveta

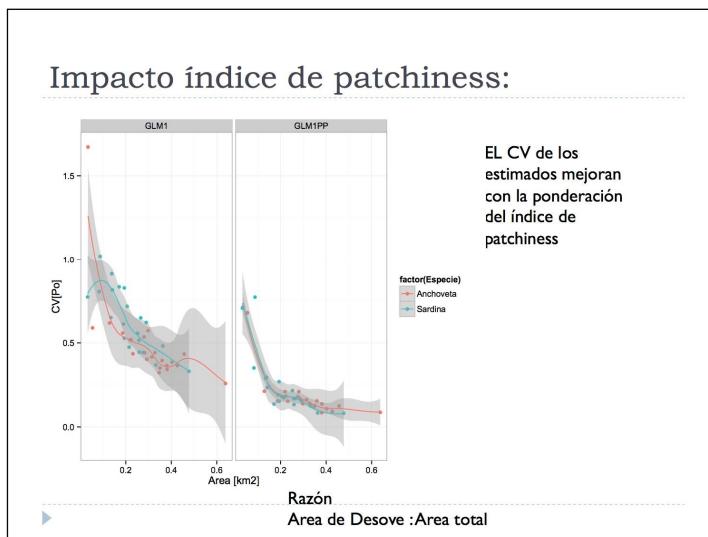
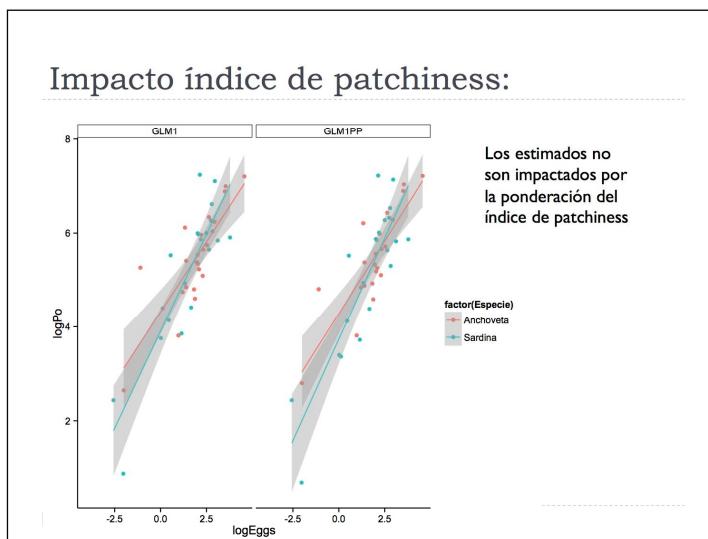


### Sardina





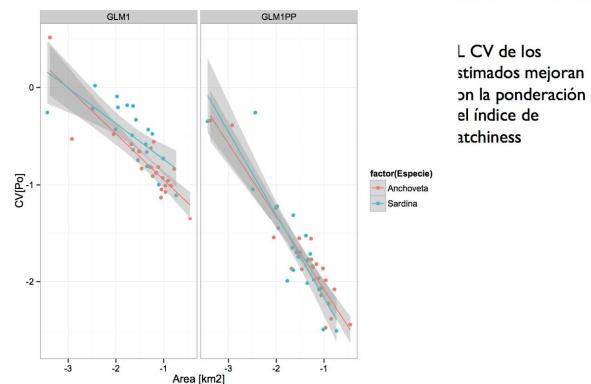
30-08-16





30-08-16

### Impacto índice de patchiness:





## **Anexo V**

---

**Base de Datos**

(Incluida en Cd presentado al inicio del documento)





---

**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 dynamic, layered clouds in shades of blue, white, and yellow. A bright, multi-colored rainbow arc is visible on the right side, transitioning from red at the top to violet at the bottom. The ocean's surface is a deep, dark blue, with subtle ripples and reflections of the sky.

**www.ifop.cl**