

Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas Departamento de Oceanografía

INFORME FINAL Version 1

PROYECTO FIP 2012-09

Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2012

Concepción - 2013



EVALUACION DE POBLACIONES MARINAS Laboratorio de L.A. Cubillos http://www.udec.cl/lucubillos

PROYECTO FIP 2012-09

Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2012 Fondo de Investigación Pesuqera - Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

Evaluación del Stock Desovante de Anchoveta y Sardina común entre la V y X Regiones, año 2012

LA Cubillos, L Castro, G Claramunt, E Navarro

Autores

Universidad de Concepción, Casilla 160-C, Concepción, Chile Concepción - 2013



Programa Sur-Austral Ciencia y Desarrollo para el sur de Chile sur-austral.udec.cl Presentación de autores por función o tema desarrollado:

Autor	Función
Luis A. Cubillos	Estimación de la producción diaria de huevos,
	biomasa desovante, y análisis espacial.
Leonardo Castro	Abundancia y distribución de huevos, y su,
	asociación con condiciones ambientales.
Gabriel Claramunt	Parámetros reproductivos de adultos.
Eduardo Navarro	Condiciones ambientales generales.

PROYECTO

Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2012 Subsecretaría de Pesca y Acuicultura

Colaboradores:

Carolina Alarcón, Cristian Azócar, Aldo Barba, Pamela Barrientos, Claudio Carrasco, Leticia Cisternas, María José Cuevas, Sandra Curin, Eduardo Escalona, Gustavo Herrera, Paola Moreno, Francisca Muñoz, María I Muñoz, Milton Pedraza, María C. Pérez, Cristian Parra, Daniel Pezo, Hernán Rebolledo, Francisco Santacruz, Samuel Soto, Roberto Torres, Paulina Vásquez, Germán Vásquez, Alejandro Yáñez



EVALUACION DE POBLACIONES MARINAS Laboratorio de L.A. Cubillos http://www.udec.cl/lucubillos



Programa Sur-Austral Ciencia y Desarrollo para el sur de Chile sur-austral.udec.cl

Resumen

Se aplicó el Método de la Producción Diaria de Huevos (MPDH) para evaluar el stock desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile ($33^{\circ}S - 41^{\circ}20^{\circ}S$). El crucero de huevos se desarrolló mediante la evaluación del desove en tres estratos geográficos: a) sector norte, sur de Valparaíso – norte de Constitución ($33^{\circ}00^{\circ}S - 34^{\circ}00^{\circ}S$), b) sector centro, entre Constitución y Golfo de Arauco ($34^{\circ}30^{\circ}S - 37^{\circ}10^{\circ}S$), y c) sector sur, entre el sur de Lebu – sur de Punta Galera ($37^{\circ}30^{\circ}S - 41^{\circ}20^{\circ}S$), a través de 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 MPDH se realizó entre el 6 y 21 de octubre en los sectores centro y sur, y desde el 7 al 9 de noviembre en el sector norte. El crucero de adultos se realizó en los estratos geográficos centro y sur. Los lances de pesca cubrieron una amplia área geográfica entre Constitución y Corral, hasta 5 millas náuticas de la costa.

En la zona centro, la distribución de la abundancia estuvo restringida a pocas estaciones. En el caso de la anchoveta, el área de desove cubrío 4 % en el sector sur y 20 % en el sector sur. La sardina común, por su parte, cubrió 9 % en el sector centro y 25,7 % en el sector sur. En el sector sur, la distribución de huevos estuvo restringida al norte de Corral, observandose una alta incidencia de juveniles inmaduros. La producción diaria de huevos por estrato geográfico, indica una mayor producción de huevos de anchoveta en la sector sur con 56,1 huevos m⁻²× d⁻¹ respecto del sector centro (8,5 m⁻²× d⁻¹). En la zona centro, hubo un aumento significativo de la producción diaria de huevos de sardina común con 126,4 huevos m⁻²× d⁻¹ contra solamente 22,5 m⁻²× d⁻¹ en el sector sur. Los parámetros reproductivos estuvieron dentro del rango esperado para cada especie, siendo la fracción desovante el parámetro menos preciso. Asimismo la fracción diaria de hembras desovantes fue baja, probablemente debido a la estructura de tallas juvenilizada del stock de sardina común. El estimado estratificado de la biomasa desovante fue de 50772 toneladas de anchoveta (CV=1,65), y de 157893 toneladas de sardina común (CV=2,62).

Índice general

1. Antecedentes

2.	Met	odología	a general	17
	2.1.	Area de	e estudio y descripción del crucero	17
	2.2.	Huevos	s	19
		2.2.1.	Estadios de desarrollo y determinación de la edad de los huevos	19
		2.2.2.	Producción diaria de huevos	20
			2.2.2.1. Area de estudio y área de desove	20
			2.2.2.2. Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos	20
	2.3.	Adulto)8	21
		2.3.1.	Muestreo de adultos y procedimientos de laboratorio	21
		2.3.2.	Parámetros reproductivos de los adultos	22
			2.3.2.1. Fracción diaria de hembras desovantes	23
			2.3.2.2. Peso promedio y proporción sexual	25
			2.3.2.3. Fecundidad parcial	25
	2.4.	Bioma	sa desovante	26
	2.5.	Distrib	ución de huevos y su asociación con variables hidrográficas	27
		2.5.1.	Hidrografía	27
		2.5.2.	Información satelital	27
			2.5.2.1. Análisis histórico	28
			2.5.2.2. Advección	28

		2.5.3.	Dependencia espacial	28
3.	Resu	iltados	3	50
	3.1.	Produc	ción de huevos	60
		3.1.1.	Presencia, abundancia y distribución de huevos	60
			3.1.1.1. Presencia de huevos	60
			3.1.1.2. Abundancia de huevos	52
			3.1.1.3. Distribución espacial	52
		3.1.2.	Producción diaria de huevos	3
	3.2.	Paráme	etros reproductivos de los adultos	55
		3.2.1.	Lances de pesca	5
		3.2.2.	Composición por tallas	55
		3.2.3.	Estadios de madurez sexual	6
		3.2.4.	Fracción diaria de hembras desovantes	8
			3.2.4.1. Anchoveta	\$8
			3.2.4.2. Sardina común	2
		3.2.5.	Fecundidad parcial	3
			3.2.5.1. Anchoveta	3
			3.2.5.2. Sardina común	4
		3.2.6.	Peso promedio v proporción sexual	4
			3261 Anchoveta 4	4
			3262 Sardina común	15
	33	Bioma	sa desovante	16
	3.4	Distrib	ución de huevos y condiciones hidrográficas	16
	5.4.	2 4 1		.0 16
		2.4.2	Las condiciones embientales en invierre y primeyere de 2012	.0 .0
		5.4.2.	2.4.2.1 Temperature superficiel del mor	0
			3.4.2.1. remperatura superficial del mar 5 2.4.2.2. Clorofle a superficial 6	0
			5.4.2.2. Cloronia- <i>a</i> superficial	0
			3.4.2.3. Transporte Ekman	13

	3.4.3. Cambios ambientales 2003-2012	63
	3.4.4. Advección	68
	3.5. Dependencia espacial	71
4.	Análisis de los resultados	82
5.	Conclusiones	89
	Referencias	91
A.	Producción diaria de huevos y biomasa desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, añ 2011	0
	A.1. Introducción	, 1
	A.2. Materiales y Métodos	2
	A.3. Area de estudio y descripción del crucero	2
	A.4. Huevos	3
	A.4.1. Estadios de desarrollo y determinación de la edad de los huevos	3
	A.4.2. Producción diaria de huevos	4
	A.4.2.1. Area de estudio y área de desove	4
	A.4.2.2. Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos	5
	A.5. Adultos	6
	A.5.1. Muestreo de adultos y procedimientos de laboratorio	6
	A.5.2. Parámetros reproductivos de los adultos	6
	A.5.2.1. Fracción diaria de hembras desovantes	7
	A.5.2.2. Peso promedio y proporción sexual	8
	A.5.2.3. Fecundidad parcial	8
	A.6. Biomasa desovante	9
	A.7. Resultados	10
	A.7.1. Producción de huevos	10
	A.7.1.1. Presencia y abundancia de huevos	10
	A.7.1.2. Distribución espacial	. 10

		A.7.2. Producción diaria de huevos	12
		A.7.3. Parámetros reproductivos de los adultos	13
		A.7.3.1. Estadios de madurez	14
		A.7.3.2. Fracción diaria de hembras desovantes	14
		A.7.3.3. Fecundidad parcial	16
		A.7.3.4. Peso promedio y proporción sexual	17
	A.8.	Biomasa desovante	18
	A.9.	Discusión	18
B.	Malf	formaciones de huevos, ambiente y tamaño	20
	B .1.	Introducción	21
	B.2.	Ocurrencia de malformaciones y variabilidad interanual	21
	B.3.	Distribución de huevos anómalos asociados a variables ambientales	23
		B.3.1. Distribución de huevos anómalos	24
	B.4 .	Relación de la densidad de huevos anómalos y el medioambiente	25
	B.5.	Sobreposición del área de distribución de huevos anómalos de anchoveta y sardina común	27
	B.6.	Variación temporal del tamaño de los huevos de anchoveta y sardina común	29
	B .7.	Referencias	31
C.	Fact	ores de corrección de la longitud y peso de anchoveta y sardina común debido a la fijación por formalina	34
	C .1.	Introducción	34
	C.2.	Metodología	35
	C.3.	Resultados	36
	C.4.	Referencias	39
D.	Talle	er de Difusión y Discusión de Resultados	43
	D.1.	Término de Referencia	43
	D.2.	Participantes	43
		D.2.1. Expositores	43
		D.2.2. Asistentes	43

D.3.	Desarro	ollo de la reunión	45
	D.3.1.	Programa	45
	D.3.2.	Síntesis de las presentaciones	45
D.4.	Difusić	ón del evento	46

E. Informe y base de datos

48

Índice de tablas

2.1.	Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton en cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.	19
3.1.	Número de estaciones totales, sector, estaciones con huevos de anchoveta y sardina común, y fracción por- centual que representan las estaciones con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector.	30
3.2.	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 sólo las estaciones positivas, máxima y mínima abundancia de huevos por estación (huevos por 0.05 m^{-2}) en cada sector.	32
3.3.	Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlance log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos por m^2) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h^{-1}) .	35
3.4.	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 en el área de desove (A_1) de cada estrato geográfico. El coeficiente de variación se muestra entre paréntesis.	36
3.5.	Número de lances efectivos para sardina común y anchoveta obtenidos durante el crucero de adultos en la zona centro-sur de Chile, año 2012. El asterísco indica las lanchas que realizaron lances una vez terminado el crucero de huevos.	37
3.6.	Composición por tallas de sardina común y anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro-sur de Chile, año 2012.	38
3.7.	Fracción de estadios de madurez sexual microscópicos de anchoveta y sardina común durante el período de estudio, año 2012.	39
3.8.	Distribución horaria de la frecuencia (%) de los estadios de Folículos Postovulatorios y Estadios de Madurez Ovárica (Núcleo Migrante e Hidratados). Información acumulada del 2004 al 2010.	41

3.9.	Parámetros del ajuste de un modelo de distribución tipo Gamma y Normal a la frecuencia de FPO por hora (Hora acumulada a partir de las 12:00 AM). <i>a</i> y <i>b</i> : Parámetros de la función Gamma. SCE: Suma de cuadrados del error.	42
3.10.	. Parámetros de la regresión lineal entre la fecundidad parcial y peso corporal (gr) de anchoveta en cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos.	44
3.11.	. Parámetros de la regresión lineal entre la fecundidad parcial y peso corporal (gr) de sardina común en cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos.	45
3.12.	. Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común (Septiembre-Octubre 2012). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa (* se utiliza las estimaciones de la zona centro 2012).	46
3.13.	. Años de ocurrencia de eventos El Niño y La Niña, clasificcados según el Indice Oceánico de El Niño (NOI), NOAA, en la Región Niño 3.4 del Pacífico Ecuatorial.	73
3.14.	. Resumen de los modelos GAM utilizados para la temperature superficial del mar y la profundidad de fondo.	73
3.15.	. Resumen de los modelos aplicados (GAM) para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos m^{-2}) en función de la longitud (<i>x</i>), latitud (<i>y</i>), temperatura (<i>T</i>) y profundidad de fondo (<i>Z</i>) en el 2012. AIC es el Criterio de Información de Akaike, se asumie una distribución binomial negativa, con parámetros de dispersión 1, (Sector centro: n=174; sur: n=182).	80
4.1.	Resumen de los parámetros reproductivos de anchoveta para el método de producción diaria de huevos en el periodo 2002-2012.	86
4.2.	Resumen de los parámetros reproductivos de sardina común para el método de producción diaria de huevos en el periodo 2002-2012.	87
4.3.	Resumen de las estimaciones de biomasa desovante de anchoveta y sardina común por el MPDH convencio- nal, periodo 2002-2012	88
A.1.	Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton en cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.	4
A.2.	Número de estaciones totales, sector, estaciones con huevos de anchoveta y sardina común, y fracción por- centual que representan las estaciones con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por	11
A.3.	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 sólo las estaciones positivas, máxima y mínima	11
	abundancia de huevos por estación (huevos por $0,05 \text{ m}^{-2}$) en cada sector	11

A.4.	Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlance log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos por m^2) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h^{-1}) .	13
A.5.	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 en el área de desove (A_1) de cada estrato geográfico. El coeficiente de variación se muestra entre paréntesis.	14
A.6.	Composición por tallas de sardina común y anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro-sur de Chile, año 2011.	15
A.7.	Fracción de estadios de madurez sexual microscópicos de anchoveta y sardina común durante el período de estudio, año 2011.	16
A.8.	Parámetros de la regresión lineal entre la fecundidad parcial y peso corporal (gr) de anchoveta en cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos.	17
A.9.	Parámetros de la regresión lineal entre la fecundidad parcial y peso corporal (gr) de sardina común en cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos.	17
A.10	D. Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común (Septiembre-Octubre 2011). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa (* se utilizan las estimaciones de la zona centro 2011, excepto S en que se usó la de 2012).	19
B.1.	Número de estaciones totales desarrolladas por año, sector, estaciones con huevos anómalos de anchoveta y sardina común, y el porcentaje que representan las estaciones con huevos anómalos (HA) de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector	21
B.2.	Número total de huevos anómalos de anchoveta por año, sector, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones y considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos $0,05 \text{ m}^{-2}$) en cada sector.	24
B.3.	Resumen de los modelos aplicados (GAM) para la densidad de huevos anómalos de anchoveta y sardina común (huevos m ⁻²) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S) y oxígeno disuelto (O) en 2011 y 2012; r^2 : Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general, (2011: n=357; 2012: n=361).	27
B.4.	Parámetros de los modelos aditivos generalizados seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos anómalos de anchoveta y sardina común (huevos m^{-2}) en función de la longitud (<i>x</i>), latitud (<i>y</i>), temperatura (<i>T</i>), salinidad (<i>S</i>) y oxígeno disuelto (<i>O</i>) en 2011 y 2012	30
B.5.	Límite inferior y superior de las variables predictoras obtenidas de los GAMs, asociados a la densidad de huevos anómalos de anchoveta y sardina común por año.	31

B.6 .	Sobreposición del área de distribución (km2) de huevos anómalos con respecto al total de huevos por especie,	
	zona y año (DHT: distribución de huevos totales; DHA: distribución de huevos anómalos	31
B .7.	Sobreposición del área de distribución (km2) de huevos anómalos con respecto al total de huevos por especie,	
	zona y año (DHT: distribución de huevos totales; DHA: distribución de huevos anómalos	32
C.1.	Efecto de la formalina en la longitud (\overline{L} , cm) y peso total promedio (\overline{P} , g) en el tiempo (día) de anchoveta y sardina común, donde <i>I</i> es la variación porcentual, σ_L es la desviación estándar de la longitud (cm), y σ_P es	
	la desviación estándar del peso (g) muestreadas en un período de muestreo.	42
E.1.	Descriptores de los datos.	48

Índice de figuras

Grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur. Se indica la distribución del veril de los 200 m. Los puntos azules representan lances con red Pairovet, y los puntos rojos estaciones en que se realizaron tanto lances de red Pairovet como perfiles verticales con CTD	18
Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total, serie histórica de evaluaciones por MPDH iniciadas el 2002.	31
Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las estaciones positivas por sector, serie histórica de evaluaciones por MPDH iniciadas el 2002.	33
Distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común registrados en los sectores norte, centro y sur, año 2012.	34
Distribución de los lances de pesca efectivos de sardina común (izquierda) y anchoveta (medio), durante el crucero de adultos 2012, y localización de los lances sin pesca (derecha).	36
Proporción de hembras maduras en función de la longitud total de sardina común, año 2012	39
Distribución temporal de los estadios madurez microscópica y FPO de la zona centro sur de Chile. Líneas azules verticales representan un período de 24 horas (18:00 h a 18:00 h). Línea roja representa un ajuste de distribución Gamma, con la hora acumulada a partir de las 12:00 h. Información acumulada del 2004 al 2010.	40
Edades medias de los estadios de FPO según ajuste por modelo de tipo Gamma en base a la hora acumulada a partir de las 12:00. Círculos: Edades medias. Líneas verticales: Desviación estándar. Líneas negras hori- zontales: Intervalo al 99 %. Flecha azul horizontal: Pico de desove (24:00). Líneas rojas horizontales: Indica período de 24 horas (18:00 a 18:00). En paréntesis se indica la hora del día en ciclo de 24:00 (Sin acumular)	43
Temperatura superficial del mar durante los cruceros de huevos, año 2010 al 2012	47
Características hidrográficas (temperatura (°C) salinidad y densidad (sigma-t) a 1 (nanel superior) 10 (me-	.,
dio) y 50 m (inferior) de profundidad, en el sector norte de la zona de estudio el año 2012.	49
Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 1 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio los años 2011 y 2012.	50
	Griffa de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur. Se indica la distribución del veril de los 200 m. Los puntos azules representan lances con red Pairovet, y los puntos rojos estaciones en que se realizaron tanto lances de red Pairovet como perfiles verticales con CTD

3.11.	Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 10 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio los años 2011 y 2012.	51
3.12.	Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 50 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio los años 2011 y 2012.	52
3.13.	Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t, obtenidas en 4 sectores de máxima abundancia de huevos de anchoveta en las zonas central (transectas 13 y 33) y sur (transectas 44 y 56) de muestreo, 2011	53
3.14.	Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t, obtenidas en 4 sectores de máxima abundancia de huevos de anchoveta en las zonas central (transectas 17 y 37) y sur (transectas 48 y 60) de muestreo, 2012	54
3.15.	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b) sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona centro, 2011.	55
3.16.	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b) sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona sur, 2011.	55
3.17.	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b) sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona centro, 2012.	56
3.18.	Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b) sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona sur, 2012.	56
3.19.	Diagramas en que la data del 2011 de Temperatura y Salinidad a 1 m (a) y 10 m (b) de profundidad de cada estación, se sobrepuso una representación escalada de la abundancia por estación de huevos de anchoveta y sardina común. Los círculos en negro corresponden a la abundancia de huevos en estaciones de la zona norte, en rojo a la central y, en azul, a la zona sur.	57
3.20.	Diagramas en que la data del 2012 de Temperatura y Salinidad a 1 m (a) y 10 m (b) de profundidad de cada estación, se sobrepuso una representación escalada de la abundancia por estación de huevos de anchoveta y sardina común. Los círculos en negro corresponden a la abundancia de huevos en estaciones de la zona norte, en rojo a la central y, en azul, a la zona sur.	58
3.21.	Imágenes satelitales de clorofila- <i>a</i> (mg Cloa m ⁻³) durante el periodo de muestreo 2011	59
3.22.	Imágenes satelitales de clorofila- <i>a</i> (mg Cloa m ⁻³) durante el periodo de muestreo 2012	59
3.23.	Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en junio de 2012	60
3.24.	Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en julio de 2012	60
3.25.	Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en agosto de 2012	61
3.26.	Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en septiembre de 2012	61
3.27.	Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en octubre de 2012	62
3.28.	Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en noviembre de 2012	62

3.29. Pr	romedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en diciembre de 2012	63
3.30. Pr	romedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en junio de 2012	64
3.31. Pr	romedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en julio de 2012	65
3.32. Pr	romedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en agosto de 2012	66
3.33. Pr	romedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en septiembre de 2012	67
3.34. Pr	romedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en octubre de 2012	68
3.35. Pr	romedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en noviembre de 2012	69
3.36. Pr	romedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en diciembre de 2012	70
3.37. Se	eries temporales de transporte de Ekman $(m^3 s^{-1})$ entre julio-diciembre de 2012: a) zona norte $(33^\circ a 37^\circ S)$,) zona centro-sur $(37^\circ a 40^\circ S)$ y c) zona sur $(40^\circ a 43^\circ S)$.	71
3.38. Se	eries temporales de anomalías de temperatura superficial del mar (°C) entre 2003 y 2012: a) zona norte (33° 37°S), b) zona centro-sur (37° a 40°S) y c) zona sur (40° a 43°S)	72
3.39. Se	eries temporales de anomalías de clorofila- <i>a</i> entre 2003 y 2012: a) zona norte (33° a 37°S), b) zona centro-sur 37° a 40°S) y c) zona sur (40° a 43°S).	74
3.40. Se su	eries temporales de transporte Ekman (m^3s^{-1}) entre 2003 y 2012: a) zona norte (33° a 37°S), b) zona centro- ur (37° a 40°S) y c) zona sur (40° a 43°S).	75
3.41. Es zc cc lo	Espectro de wavelet de la temperatura superficial del mar entre 2003-2012: a) zona norte (33° a 37°S), b) ona centro-sur (37° a 40°S) y c) zona sur (40° a 43°S). Solo son graficados los valores sobre al 95 % de onfianza. Las líneas negras segmentadas indican períodos de 6, 12, 30 y 54 meses. La línea curva negra en os extremos de la serie marca el cono de influencia.	76
3.42. Ca	Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de agosto de 2012 (a), y Transporte zonal (este-oeste n SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de agosto de 2012 (b).	77
3.43. Ca	Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de septiembre de 2012 (a), y Transporte zonal (este- este en SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de septiembre de 2012 (b)	77
3.44. Ca	Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de octubre de 2012 (a), y Transporte zonal (este-oeste n SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de octubre de 2012 (b)	78
3.45. Ca	Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de noviembre de 2012 (a), y Transporte zonal (este- este en SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de noviembre de 2012 (b)	78
3.46. Ca	Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de diciembre de 2012 (a), y Transporte zonal (este- este en SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de diciembre de 2012 (b).	79
3.47. Re	esultados de los modelos evaluados para anchoveta y sardina común en la zona centro y sur	81

4.1.	Biomasa desovante (SSB, miles de t) de anchoveta y sardina común entre 2002 y 2012 en el área de desove a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur.	83
4.2.	Abundancia de huevos de anchoveta () y sardina común (rojo) entre 2002 y 2012 en el área de desove a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur.	84
A.1.	Area de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur, indicando la posición de las estaciones y la presencia de huevos de anchoveta y sardina común, Septiembre-Octubre de 2011	3
A.2.	Distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común registrados en los sectores centro y sur, año 2011.	12
B.1.	Distribución y abundancia de huevos anómalos de anchoveta en los sectores centro y sur, durante el 2011	22
B.2.	Distribución y abundancia de huevos anómalos de anchoveta en los sectores centro y sur, durante el 2012.	23
B.3.	Distribución y abundancia de huevos anómalos de sardina común en los sectores centro y sur, durante el 2011.	25
B.4 .	Distribución y abundancia de huevos anómalos de sardina común en los sectores centro y sur, durante el 2012.	26
B.5.	Salida del modelo evaluado a través de GAM (Modelo 4) para la densidad de huevos anómalos de anchoveta en la zona centro-sur de Chile, años 2011 y 2012. La escala corresponde al logaritmo de la densidad observada (panel izquierdo) y estimada (panel derecho).	28
B.6.	Salida del modelo evaluado a través de GAM (Modelo 4) para la densidad de huevos anómalos de sardina común en la zona centro-sur de Chile, años 2011 y 2012. La escala corresponde al logaritmo de la densidad observada (panel izquierdo) y estimada (panel derecho).	29
B.7.	Variación temporal en el tamaño (volumen) del huevo de anchoveta y sardina común durante el 2011 y 2012.	33
C .1.	Efecto de la formalina en la longitud total promedio (± 1 s) de anchoveta (arriba) y de sardina común (abajo) en el tiempo (días).	37
C.2.	Efecto de la formalina en el peso total promedio (± 1 s) de anchoveta (arriba) y de sardina común (abajo) en el tiempo (días).	38
C.3.	Variación del peso total (%) de anchoveta (arriba) y de sardina común (abajo) en el tiempo (días).	40
C.4.	Variación de la longitud total (%) de anchoveta (arriba) y de sardina común (abajo) en el tiempo (días).	41
D.1.	Afiche convocatoria de la reunión.	44
D.2.	Afiche convocatoria de la reunión.	46
D.3.	Registro de Asistencia Taller de Difusión	47

Objetivos

Objetivo general

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

Objetivos específicos

- 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. 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.
- 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.
- 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.
- 5. Estimar la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común y su varianza asociada, incluyendo la covarianza de los parámetros de adultos.
- 6. Realizar un análisis de la distribución espacial de huevos asociada a variables oceanográficas.

Capítulo 1

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 su fuerte 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 más bien que el stock desovante. Asimismo, es bastante cuestionable utilizar solamente el criterio basado en la talla de primera madurez sexual para determinar la fracción adulta de la biomasa total evaluada por acústica. 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).

En la actualidad 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).

El 2002 se aplicó por primera vez el MPDH en anchoveta y sardina común de la zona centro sur de Chile, a través del 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 ha sido 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 2007-06), septiembre-octubre de 2008 (FIP 2008-09, Cubillos et al. 2009), en septiembre-octubre de 2009 (Cubillos et al. 2010), y septiembre-octubre de 2010 (FIP 2010-02, Cubillos et al. 2011).

En este informe se comunica los resultados logrados con la ejecución del proyecto realizado en el periodo septiembreoctubre de 2011 y de 2012.

Capítulo 2

Metodología general

2.1. Area de estudio y descripción del crucero

El área de estudio se localiza en el centro-sur de Chile $(33^\circ - 41^\circ 20'S)$, donde se ubica la zona de desove de anchoveta y sardina común. El área de estudio fue dividida en tres estratos:

- i) Zona Norte, de Valparaíso al norte de Constitución (33° 34°S).
- ii) Zona Centro, de Constitución al Golfo de Arauco (34°30'S 37°10'S).
- iii) Zona sur, de Lebu al sur de Corral $(37^{\circ}30' 41^{\circ}20'S)$ (Figura 2.1).

El crucero ictioplanctónico se realizó desde el 06 de octubre al 09 de noviembre de 2012, utilizando 4 embarcaciones que operaron en las zonas y periodos que se indican en la Tabla 2.1. Las estaciones de plancton fueron distribuidas regularmente en la plataforma continental, utilizando el veril de 200 m profundidad como límite occidental. En las zonas centro y sur, las estaciones fueron espaciadas cada 4 millas náuticas a lo largo de transectas este-oeste separadas cada 5 millas náuticas. En la zona centro se realizaron 33 transectas, con un total de 174 estaciones; y la zona sur, 36 transectas y 182 estaciones planctónicas. La zona norte se consideró como un área exploratoria, con 4 transectas espaciadas cada 20 millas náuticas y un total de 14 estaciones (Figure 2.1).

Las muestras de plancton fueron obtenidas mediante lances verticales con redes Pairovet, consistente en dos redes Cal-VET (California Vertical Egg Tow, Smith et al. 1985), cada una con 25 cm de diámetro y 0,150 μ m de malla, equipada con un depresor de 36 kg. Los lances se realizaron desde 70 m o cerca del fondo marino cuando la profundidad fue menor a 70 m. 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, la muestras de zooplancton fueron preservadas en una solución de formalina al 10 % de agua de mar neutralizada con borax (tetraborato de sodio).



Figura 2.1: Grilla de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur. Se indica la distribución del veril de los 200 m. Los puntos azules representan lances con red Pairovet, y los puntos rojos estaciones en que se realizaron tanto lances de red Pairovet como perfiles verticales con CTD.

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 de los huevos y larvas de peces, y se separó los huevos y larvas de anchoveta y sardina común y se contaron bajo lupa estereoscópica.

El crucero de adultos se realizó entre el 25 de septiembre y el 25 de octubre, con la participación de 8 embarcaciones de 18 m de eslora, equipadas con red de cerco para obtener las muestras de adultos de anchoveta y sardina común durante el período de estudio. La operación de pesca fue autorizada bajo la modalidad de Pesca de Investigación por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, según Resolución 2518 del 14 de Septiembre de 2012¹. Se asignó 4 embarcaciones para operar en la zona centro: "Don Daniel", "Don Demetrio II", "El Yeye", "Sixto Abraham"; y en la zona sur: "Linares", "Concepción", Çonstitución", y "Doña Carmela". La mayoría de los lances se realizaron de día, principalmente entre 6:30 y 18:00 h, cuyos lances de pesca fueron obtenidos al azar en cada estrato geográfico, y hasta 5 millas náuticas de la costa.

¹La autorización para operar fue resuelta con fecha 14 de Septiembre de 2012, lo que impidió contar con indicadores reproductivos previos ya que ambos recursos se encontraban en veda biológica

Embarcación	Sector	Latitudes	Periodo	Estaciones
María Elena	Norte	33°00′ <i>S</i> – 34°00′ <i>S</i>	07 Nov - 09 Nov	14
Gimar	Centro	$34^{\circ}30'S - 37^{\circ}10'S$	07 Oct - 14 Oct	174
YeYe	Sur	$37^{\circ}30'S - 38^{\circ}55'S$	18 Oct - 21 Oct	91
Noemi Simoney	Sur	$38^{\circ}60'S - 41^{\circ}20'S$	06 Oct - 13 Oct	91
Total				370

Tabla 2.1: Embarcaciones utilizadas en los muestreos de ictioplancton en cada sector, periodo de muestreo y número de estaciones por sector.

2.2. Huevos

2.2.1. Estadios de desarrollo y determinación de la edad de los huevos

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 m², y asignados a 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).

Se utilizó el programa *eggsplore* y *eggs* diseñados para R (http://www.cran.r-project.org), y que incluyen funciones para: a) el ajuste de modelos a datos provenientes de experimentos de incubación utilizando un modelo flexible multinomial; b) asignación de edades a datos de huevos por estadios de desarrollo observados utilizando un nuevo método Bayesiano de asignación de edades, sobre la base del modelo de desarrollo de los datos de incubación y función densidad de probabilidad para la sincronía del desove; c) agrupación de huevos en cohortes diarias y estimación de la abundancia promedio y edad promedio; d) ajuste de un modelo aditivo generalizado (GAM) para estimar la producción diaria de huevos y la mortalidad; y e) obtención de muestras bootstrap no paramétricas para la producción diaria de huevos, con incertidumbre asociada al procedimiento de asignación de edades. Otras funciones generales para obtener resúmenes estadísticos, gráficos, entre otras facilidades son también incluidas en el programa R.

2.2.2. Producción diaria de huevos

2.2.2.1. Area de estudio y área de desove

Para delimitar el área de crucero y el área de desove se siguió la metodología disponible en la biblioteca "geofun" y "spatstat" para R (http://www.cran.r-project.org). 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 m² por día, así el área de mar superficial representada por cada estación se necesita para obtener una estimación de la producción del área representada por cada estación dentro del área del crucero considera la distancia desde esa estación a cualquiera de las estaciones que la rodean y a los límites del área del crucero de tal manera que el área de cada estación no se sobreponga con otras, y la suma del área representada por cada estación sea igual al área total del crucero.

El programa *geofun*, es el programa que está diseñado para 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 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; e) provee funciones para graficar los resultados de un modelo espacial (mapeo).

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

El número de huevos se asume declina a una tasa exponencial constante, i.e.,

$$P_t = P_0 \times e^{-Z \times t} \tag{2.1}$$

donde P_t es la abundancia de huevos a edad t (huevos por 0,05 m² por día), P_0 es la producción diaria de huevos por 0,05 m² por día, y Z es la tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos. La producción diaria de huevos fue calculada solo para el estrato geográfico con presencia de huevos (área de desove), tanto en la zona centro como sur. El área de estudio corresponde al área que cubrió el crucero, mientras que el área de desove fue delimitada a través de polígonos utilizando el algoritmo 'geofun' disponible para el programa R (http://www.r-project.org).

En cada zona, el procedimiento de ajuste de la ecuación ((2.1)) a los datos observados se realizó con un modelo lineal generalizado (MLG), según la siguiente expresión:

$$E[P_t] = g^{-1}[log(P_0) - Z \times t]$$
(2.2)

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. La ecuación ((2.2)) es equivalente a la siguiente:

$$E[N_t] = g^{-1}[offset(log(a)) + \beta_0 + \beta_1 \times t]$$
(2.3)

donde $E[N_t]$ es el número de huevos a la edad *t*, of *f* set(log(a)) es una variable que se asume tiene coeficiente 1 y no se estima en el procedimiento, donde log(a) representa el área efectiva de arrastre de la red; y β_0 y β_1 son el intercepto y la pendiente del modelo lineal y son los estimadores de log(P_0) y de Z, respectivamente. En el procedimiento de ajuste, la función del enlace utiliza el logaritmo natural y la familia binomial negativa, 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). La producción diaria de huevos se estima utilizando el antilogaritmo del intercepto. Se utilizó el paquete MASS (Venables y Ripley 2002), escrito para R (R Core Team 2012). Por último, las estimaciones de estratificación de la producción diaria de huevos y la variación en el área de estudio total de cada estrato se calculan de acuerdo con los procedimientos descritos en Picquelle y Stauffer (1985).

2.3. Adultos

2.3.1. Muestreo de adultos y procedimientos de laboratorio

Se obtuvo una muestra aleatoria² de ejemplares adultos de anchoveta y sardina común desde la captura obtenida en cada lance de pesca. La longitud total (cm) de los peces adultos fue medida con el fin de obtener distribuciones de frecuencias de longitud por sexo (120 individuos por lance). Una sub-muestra aleatoria³ de 35 hembras maduras para cada especie fue obtenida en cada lance, y cada ejemplar fue diseccionado ventralmente y se conservó en una solución de formalina al 10 % tamponada para el 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 estima la fecundidad parcial de las 35 hembras maduras por lance. Por último, una sub-muestra al azar de 50 de peces fue preservada para determinar la proporción sexual en peso en el laboratorio.

Cada adulto preservado de la sub-muestra fue medido en su longitud total (cm), peso total y peso libre de gónada (peso corporal). Además, se determinó el sexo y los ovarios de las hembras maduras 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 maduras fueron cortados y teñidos con hematoxilina y eosina. El desarrollo y la maduración de ovocitos fue dividido en las siguientes etapas de acuerdo con las características descritas por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989), y Hunter y Macewicz (1985), i.e.

Estadio I: Virginal Ovario con numerosos nidos ovogoniales y ovocitos primitivos rodeados por tejido conectivo insterticial de donde destacan tabiques fibro-conectivos.

²La aleatoriedad de la muestra viene dada por la unidad básica de muestreo dada por un balde de 5 L, que se llena a partir de la captura del lance

³La aleatoriedad está representa al seleccionar las primeras 35 hembras desde la muestra de 120 individuos por lances

- **Estadio II: Inmaduro (reincidente)** Lamelas repletas con ovocitos no vitelados rodeados por delgadas células foliculares. Vesícula germinativa grande y de posición central, con prominentes nucléolos esféricos, próximos a la membrana nuclear. El citoplasma es escaso, finamente granular y fuertemente basófilo. En ovocitos previtelogénicos tardíos se observan pequeñas vesículas periféricas.
- **Estadio III: Parcialmente vitelado** Predominio de ovocitos en estado temprano de depositación de vitelo, abarcando no más de las 3/4 partes del citoplasma. Vesícula germinativa grande, central, con numerosos nucléolos periféricos. Se destaca la presencia de vesículas periféricas. La zona radiata es delgada, subyacente a células foliculares de poca altura.
- **Estadio IV: Vitelado** Ovocitos cargados de glóbulos de vitelo, desde la periferia a la región perinuclear. Vesícula germinativa mantiene su posición central permaneciendo los nucléolos en la periferia. La zona radiata bien desarrollada. Células foliculares rectangulares en sentido transversal con núcleo esférico, central y citoplasma ligeramente basófilo.
- **Estadio V: Próximo a la hidratación** Ovocitos cuyo citoplasma presenta grandes glóbulos de vitelo (término de la depositación de vitelo). Vesícula germinativa excéntrica migrante hacia el polo animal. Células foliculares altas claramente distinguibles, con núcleo ovoide desplazado a la base y citoplasma claro de aspecto espumoso.
- **Estadio VI: Hidratado** Ovocitos con o sin vesícula germinativa en el polo animal, según se haya iniciado la maduración, los cuales se han expandido incrementando considerablemente de tamaño por incorporación de fluídos. 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 depositación temprana de vitelo.
- Estadio VIII: Postdesovante de tanda Ovario con presencia de folículos postovulatorios y ovocitos vitelogénicos; eventualmente ovocitos próximos a la hidratación.
- **Estadio IX: Desovado** Predominio de ovocitos inmaduros. Se aprecia atresia folicular. Ovocitos vitelados residuales y eventualmente folículos postovulatorios.

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). Finalmente, se obtuvo un factor de corrección para convertir el peso del ejemplar preservado en formalina a peso húmedo. Para ello se utilizó una muestra de 30 peces por especie de acuerdo con los procedimientos descritos por Hunter (1985).

2.3.2. Parámetros reproductivos de los adultos

Los parámetros reproductivos de los adultos corresponden a la fracción diaria de hembras desovantes (S), la fecundidad parcial promedio (F), el peso promedio de las hembras maduras (W), y la proporción de hembras maduras en peso (R). De acuerdo con Picquelle y Stauffer (1985), los parámetros reproductivos se estiman con la siguiente expresión general:

$$\bar{\bar{y}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \times \bar{y}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$$
(2.4)

y varianza dada por:

$$Var(\bar{y}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i^2 (y_i - \bar{y})^2}{\bar{m}^2 n(n-1)}$$
(2.5)

donde \overline{y} es el promedio de los valores promedio de cada lance *i*, y m_i es el número de hembras maduras en el lance *i*, mientras que \overline{m} es el número promedio de hembras maduras, y *n* es el número de lances.

La expresión de varianza, Ecuación (2.5), solamente se aplicó a S, W y R, ya que la varianza para la fecundidad parcial incluye los términos de varianza asociados con la regresión lineal y número de hembras hidratadas utilizada para estimar la fecundidad parcial de las hembras maduras en cada lance (ver más adelante, Ec. (2.10)).

2.3.2.1. Fracción diaria de hembras desovantes

La fracción diaria de hembras desovante (*S*), es decir, la fracción de hembras maduras que desova por día, se calculó a través de la edad de los folículos postovulatorios (FPO) según los criterios desarrollados por Hunter y Goldberg (1980) y Hunter y Macewicz (1985). Los FPO de Día-0 son hembras que desovan en la noche (0-9 h), de Día-1 se refiere a la noche (9-32 h), y los FPO de Día-2 de 33-56 h después del pico de desove (Alheit et al. 1984). La fraccion desovante se estimó a partir de la proporción de FPO de Dia-1, a partir de las muestras capturadas. Se utilizó los FPOs de Día-1, porque es probable que los FPO de Día 2 demoren más tiempo en degenerar considerando que la temperatura de 10-12 °C 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, no se aplica ninguna corrección al número de hembras maduras, y de la fracción desovante se estima como la proporción entre el número de hembras con FPO de Día-1 y el total de hembras maduras (Cubillos et al. 2007).

Para conseguir una mayor definición del proceso de degeneración de los Folículos Postovulatorios (FPO) se construyó una clasificación de estadios de degeneración de estos, de acuerdo a lo planteado por Alday et al. (2008). El que consiste en subdividir el proceso de reabsorción de los FPO en varios estadios de degeneración. Claramunt et al. (2007) construyeron una nueva escala ajustada a los requerimientos específicos para anchoveta y sardina común, tomando en cuenta aspectos como la forma celular y nuclear (ubicación y grado de picnosis), aspecto del citoplasma, relación límites de células vecinas, presencia de vacuolas citoplasmáticas, láminas celulares y pliegues, aspecto del conjunto y características del lumen. Estos criterios morfohistológicos de clasificación han permitido 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, aun 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 aun 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 aun 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 picnoticos muy numerosos y algunos hiper-trofiados, 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 que permiten definir si la hembra desovará en el mismo día de la captura.

Para dilucidar la distribución horaria de los siete estadios FPO y los estados de madurez sexual de Núcleo migrante e Hidratado, se utilizó la información correspondiente a los años 2004 al 2010 con un total de 8588 hembras procesadas histológicamente. A la distribución horaria de los estadios ováricos y FPO se les ajustó una función de distribución probabilística utilizando la hora acumulada a partir del mediodía (12:00 AM) de forma de dilucidar las noches de desove y el desplazamiento de los estadios ováricos y de FPO.

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:

$$S_i = \frac{m_{h,i}}{m_i} \circ \frac{m_{1,i}}{m_i} \circ \frac{m_{2,i}}{m_i}$$
$$m_i = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$$

donde S_i es la fracción desovante del lance *i*, $m_{h,i}$ es el número de hembras hidratadas, $m_{1,i}$ es el número de hembras de día 1, $m_{2,i}$ es el número de hembras de día 2, $m_{a,i}$ es el número de hembras activas que no han desovando entre 9 y 56 h (incluidas aquellas con FPO con edad menor a 9 h), y m_i es el número de hembras activas.

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

$$m_{h,i} = \frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} \tag{2.6}$$

La fracción desovante del lance *i*, se estimó por:

$$\bar{S}_{h,i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_{1,i} + m_{2,i}}{2\sum_{i=1}^{n} m_{i}}$$
(2.7)

2.3.2.2. 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.

2.3.2.3. Fecundidad parcial

La fecundidad parcial (F, numero de huevos desovados por tanda) de las hembras con ovocitos hidratados fue estimada usando el método gravimétrico sugerido por Hunter et al. (1985). Sólo los ovarios con ovocitos hidratados (hidratación temprana, hidratado totalmente) fueron usados, descartándose aquellos con FPO que fueron detectados previamente mediante el análisis histológico del ovario. Tres sub-secciones fueron cortadas de un ovario, pesada, y contado en cada una el número de ovocitos hidratados. El número total de huevos por lote se calculó multiplicando el número medio de ovocitos por gramo de ovario de la sub-sección por el peso total de los ovarios.

La fecundidad parcial fue relaciona con el peso libre de ovario de las hembras considerando un modelo lineal, i.e.,

$$F_i = a + b \times W_i^* \tag{2.8}$$

donde F_j es la fecundidad parcial de la hembra hidratada j, 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:

$$\bar{F}_{i} = \frac{1}{m_{i}} \sum_{i=1}^{m_{i}} \hat{F}_{i,j}$$
(2.9)

donde $\hat{F}_{i,j}$ es la fecundidad estimada para la hembra *j* en el lance *i* con la Ecuación (2.8).

La fecundidad parcial media poblacional (\overline{F}) fue estimada a través del estimador de razón, Ec. (2.4), mientras la varianza de la fecundidad parcial fue estimada según Hunter et al. (1985), mediante la siguiente expresión:

$$Var(\bar{\bar{F}}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[\frac{(\bar{F}_{i} - \bar{\bar{F}})^{2}}{n-1} + \frac{s_{h}^{2}}{n_{h}} + (\bar{W}_{i}^{*} - \bar{W}_{h}^{*})s_{b}^{2} \right]}{\left(\sum_{i=1}^{n} (m_{i}/n)\right)^{2} n}$$
(2.10)

donde s_h^2 es la varianza de la regresión, Ec. (2.8), n_h es el número de hembras hidratadas usada para ajustar la regresión, W_i^* es el peso libre de ovarios promedio de las hembras hidratadas, n_h es el número de hembras hidratadas usadas en la regresión, y s_b^2 es la varianza de la pendiente de la regresión, Ec. (2.8).

2.4. Biomasa desovante

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

$$B = \frac{P_0 \times A \times W}{R \times S \times F} k \tag{2.11}$$

donde *B* es la biomasa del stock desovante (t), P_0 es la producción diaria de huevos (número de huevos por m² por día), *A* es el área total crucero (m²), *W* es el peso promedio de hembras maduras (g), *k* es el factor de conversión de gramos a toneladas, *R* es la fracción de hembras maduras por peso, *S* es la fracción de hembras maduras desovantes por día, y *F* es la fecundidad parcial (número promedio de huevos por hembras maduras por desove). El estimador de la varianza de la biomasa desovante se calcula por:

$$Var(B) \equiv \hat{B}^{2} \times \left(CV(P_{0})^{2} + CV(W)^{2} + CV(F)^{2} + CV(S)^{2} + CV(R)^{2} + 2 \times COVS \right)$$
(2.12)

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

$$COVS = \sum_{i=1}^{n} \sum_{i < j} sign \frac{COV(x_i, x_j)}{x_i x_j}$$
(2.13)

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 termino *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:

$$r(\bar{F},\bar{W}) = \frac{\sum\limits_{i} m_i(F_i - \bar{F})k_i(W_i - \bar{W})}{\bar{m}\bar{k}n(n-1)\sigma_F\sigma_W}$$
(2.14)

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

2.5. Distribución de huevos y su asociación con variables hidrográficas

2.5.1. Hidrografía

Las condiciones oceanográficas fueron evaluadas a partir del muestreo hidrográfico obtenido en las transectas impares del diseño planctónico (Figura 2.1), con un perfilador CTD Seabird 19 (sectores centro y sur), equipado además con un sensor de Oxígeno. 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 partir de una muestra de agua de mar superficial obtenida con un balde de 3 L utilizando un termómetro digital. La información correspondiente a los registros verticales continuos, se almacenó en Notebooks y fue procesada en el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción.

A partir de los registros hidrográficos, se describió la distribución horizontal y vertical (0, 10 y 50 m) de temperatura, salinidad, y densidad (sigma-t) en el área de estudio. El análisis cualitativo consideró describir las condiciones hidrográficas en áreas de mayor concentración de huevos, así como diagramas T-S (Checkley et al. 2000, Bernal et al. 2008).

2.5.2. Información satelital

Imágenes satelitales diarias de temperatura superficial del mar (TSM) y clorofila-*a* (CHL) fueron extraídas desde el Programa MODIS Aqua Level-3 Globales (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/ftp.html), con una resolución espacial de 4x4 km, correspondientes al periodo comprendido entre 01 de junio de 2012 y el 31 de diciembre de 2012, fueron procesadas, escaladas y corregirlas atmosféricamente con el software Matlab 6.1, obteniéndose unidades geofísicas en valores de temperatura (°C) y clorofila (mg m⁻³). Adicionalmente se procesaron imágenes satelitales de viento provenientes del IFREMER con el producto ASCAT y QUICKSCAT de resolución temporal diaria y espacial de 1/4 de grado expresado como transporte de Ekman (I_s) (Bakun 1975, Arcos y Navarro 1986, Pond y Pickard 1997).

Con el fin de solucionar la cobertura nubosa inherente de las imágenes de TSM y clorofila, se implementó una metodología de interpolación en tres dimensiones que considera la variabilidad en el espacio y el tiempo de los datos para su interpolación con cokriging (Marcotte1991, Navarro et al. 2004) con el propósito de mejorar la cobertura de información sin perder la variabilidad espacial y temporal propia del área de estudio.

Para obtener una mejor representación grafica y lograr una mejor caracterización en términos de los principales procesos y estructuras distinguibles tanto para la TSM y CHL, a partir de las imágenes diarias se obtuvo promedios semanales (siete

días) para ambas variables.

2.5.2.1. Análisis histórico

Imágenes satelitales de temperatura superficial del mar (TSM), clorofila-*a* (CHL) y viento de resolución temporal mensual y espacial de 4x4 km (TSM y CHL) y 1/4 de grado para el viento obtenidas desde el Programa MODIS Aqua Level-3 Globales y del IFREMER (Ascat-Qscat), correspondientes al periodo comprendido entre enero de 2003 y diciembre de 2012, fueron procesadas, escaladas y corregirlas atmosféricamente con el software Matlab 6.1, obteniéndose unidades geofísicas en valores de temperatura (°C), clorofila (mg m⁻³) y viento ms⁻¹.

Con el objeto de realizar una caracterización de las condiciones oceanográficas y meteorológicas históricas del área costera del área de estudio, a partir de las imágenes de viento, temperatura y clorofila, se construyó series temporales considerando tres zonas: norte (33° a 37°S), centro-sur (37° a 40°S) y sur (40° a 43°S). Además, para el viento, se calculó el transporte de Ekman para cada serie según la metodología de Arcos (1987).

Para analizar la distribución de la energía en el dominio tiempo-frecuencia se determinó el poder espectral de wavelet (Torrence y Compo 1998) a las serries de anomalía de la TSM, CHL y viento entre los años 2003-2012, extrayendo previamente el ciclo anual de cada serie, determinando las constantes armónicas utilizando el método de mínimos cuadrados. Se escogió una wavelet madre de Morlet (Torrence y Compo 1998), porque esta función permite identificar aspectos oscilatorios en la señal.

2.5.2.2. Advección

La obtención del campo advectivo superficial asociado a la zona costera, se implementó el método del máximo de la correlación cruzada (MCC, Emery et al. 1986), basado principalmente en la identificación de máximos coeficientes de correlación-cruzada en una matriz de rezago entre dos subáreas para un par de imágenes satelitales secuenciales de TSM. La primera imagen es dividida en sucesivas subáreas de 4 x 4 píxeles (ventanas plantillas). Para cada ventana plantilla, en la segunda imagen, se seleccionará una ventana de 8 x 8 píxeles de tamaño (ventanas de búsqueda), las cuales presentan el mismo centro espacial que la ventana plantilla correspondiente. La ventana plantilla recorre la ventana de búsqueda en la dirección x e y cada 1 píxel, calculando coeficientes de correlación-cruzada. El desplazamiento relativo entre la posición del centro de la ventana plantilla y el centro en la ventana de búsqueda donde la correlación-cruzada fue máxima, determina el vector de velocidad. Detalles de la metodología y su aplicación a imágenes de TSM se encuentran en Navarro et al. (2004). En el cálculo de la correlación-cruzada se ha considerado un máximo de un 30 % de datos que responden al código de nubes.

2.5.3. Dependencia espacial

La distribución espacial de la densidad de huevos se analizó con modelos aditivos generalizados (GAM), considerando como variables independientes la posición (latitud, longitud), profundidad de fondo, y temperatura superficial del mar. Se utilizó una familia binomial negativa con enlance "log" y parámetro de dispersión igual a 1 para la estructura de error de la densidad de huevos. Se usó el paquete 'mgcv' de Wood (2006) para R, porque realiza una selección automática de los paráme-

tros suavizadores asociados con cada término sobre la base de una validación cruzada generalizada (GCV). Basicamente, la validación cruzada involucra omitir uno de los datos, ajustar el modelo a los datos restantes, y calcular la diferencia cuadrada entre esos puntos. Este procedimiento se repite para todos los datos-puntos y para varias cantidades de suavizamiento, y entonces las diferencias cuadradas más pequeñas producen un buen modelo a ser seleccionado.

Capítulo 3

Resultados

3.1. Producción de huevos

3.1.1. Presencia, abundancia y distribución de huevos

3.1.1.1. Presencia de huevos

En la campaña 2012, de un total de 370 estaciones muestreadas en los 3 sectores, 53 tuvieron la presencia de huevos de anchoveta (14,3%) y 43 huevos de sardina común (11,6%) (Tabla 3.1). Se debe tener en cuenta que, a diferencia de años anteriores, el muestreo de huevos estuvo incompleto en la zona sur por razones de seguridad por condiciones meteorológicas adversas.

Tabla 3.1: Número de estaciones totales, sector, estaciones con huevos de anchoveta y sardina común, y fracción porcentual que representan las estaciones con huevos de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector.

		Anchoveta		Sardina común	
Sector	Estaciones	Estaciones	Estaciones		
	totales (n)	positivas (n)	(%)	positivas (n)	(%)
Norte	14	1	7	3	21
Centro	179	14	8	6	3
Sur	182	38	21	34	19
Total	370	53	14,3	43	11,6

Al comparar con años anteriores, en el sector norte hubo una estación con huevos de anchoveta al igual que en el 2010, y

3 estaciones con huevos de sardina (1 estación en el 2010). En el sector centro hubo un descenso desde 33 a 8 % de estaciones con huevos de anchoveta entre el 2011 y el 2012. Igualmente, hubo un descenso desde 19 a 3 % de estaciones con huevos de sardina común (20 % en el año 2010). En el sector sur, también hubo un descenso en las estaciones positivas con huevos de anchoveta desde 29 % en el 2011 a 21 % en el 2012. En el caso de los huevos de sardina común, el descenso fue desde 27 % estaciones positivas a 19 % de estaciones positivas en el 2012 (Figura 3.1).



Figura 3.1: Proporción de estaciones positivas con huevos de anchoveta y sardina común por sector y área total, serie histórica de evaluaciones por MPDH iniciadas el 2002.

Al analizar la serie de tiempo desde el 2002, se observa que la tendencia al aumento en el porcentaje de estaciones positivas con huevos de anchoveta en la zona centro desde el 2007 se revirtió con el descenso ocurrido en el 2012. Paralelamente, en la zona sur continuó el descenso en porcentaje de estaciones positivas con huevo de anchoveta que comenzó el 2007 (Figura 3.1). Para la sardina común, el repunte en la presencia de estaciones con huevos en todas las zonas ocurrido el 2009-2010 se ha mantenido en el sector norte pero ha sido cambiado a un descenso en la zonas centro y sur durante los dos últimos años.
3.1.1.2. Abundancia de huevos

En el crucero de 2012, la mayor abundancia promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas ocurrió en la zona centro (21,5 huevos por 0,05 m⁻²). En tanto, la máxima abundancia de huevos de sardina común por estación ocurrió en el sector sur (21,7 huevos por 0,05 m⁻², Tabla 3.2). Al comparar con años previos, el promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas en la zona centro, luego de su leve aumento del 2010, ha presentado un descenso durante esto dos últimos años. Paralelamente, las abundancias de huevos en las estaciones positivas del sector sur ha mantenido su decaimiento sostenido desde el 2007. Las abundancias en las estaciones positivas de la zona norte se han mantenido con muy pocas variaciones, pero siempre con valores mucho más bajos que en los sectores centro y sur (Figura 3.2). La abundancia promedio de huevos de sardina común en las estaciones positivas aumentó considerablemente en la zona central el año 2011. El año 2012, sin embargo, las abundancias promedio retornaron a su bajos niveles observados en esa zona durante los últimos 8 años. En la zona sur, las abundancias promedio de huevos de sardina común ha mantenido su constante disminución observable desde el 2007 (Figura 3.2).

Tabla 3.2: 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 sólo las estaciones positivas, máxima y mínima abundancia de huevos por estación (huevos por 0.05 m^{-2}) en cada sector.

Anchoveta:							
		Promedio	Desv.	Promedio	Desv.		
		total	estándar	estaciones	estándar	Máxima	Mínima
Sector	Total	estaciones		positiva			
Norte	4	0,29	1,07	4	-	4	4
Centro	301	1,68	9,55	21,5	28,13	87	1
Sur	286	1,57	6,55	7,53	12,81	69,1	1
Sardina:							
Norte	5	0,36	0,74	1,6	0,57	2	1
Centro	58	0,32	2,53	9,67	10,95	24	1
Sur	736	4,04	29,65	21,65	66,47	390	1

3.1.1.3. Distribución espacial

Los huevos de anchoveta se presentaron en una estación costera frente a San Antonio en el sector norte (33°40'S). En los sectores central y sur los huevos estuvieron cercanos a la costa y, si bien ocurrieron en las mismas zonas históricamente positivas para esta especie, variaron en distribución respecto al año anterior presentándose en zonas muy localizadas (menos extensas a lo largo de la costa en el sector central) y con pocas estaciones con altas abundancias. En el sector central, destacó también el muy bajo número de estaciones positivas y bajas abundancias en el Golfo de Arauco, zona típicamente de



Figura 3.2: Abundancia promedio de huevos de anchoveta y sardina común en las estaciones positivas por sector, serie histórica de evaluaciones por MPDH iniciadas el 2002.

alta concentraciones de huevos. Los huevos de sardina común presentaron una notoria disminución en el número de estaciones positivas y su extensión alrededor de las localidades históricamente positivas para esta especie (Figura 3.3). En el sector norte ocurrieron huevos en dos estaciones pero con bajas abundancias. En el sector central es probablemente donde se nota más los cambios en cuanto al bajo número de estaciones positivas frente a cabo Carranza y frente al Itata-Bahía Concepción y, más marcadamente, en la ausencias de huevos de sardina en el Gofo de Arauco, zona en que en el año anterior ocurrieron las más altas abundancias. En el sector sur, sector donde faltó muestrear algunas estaciones, a diferencia del año anterior los huevos en el 2012 se presentaron en la franja costera y altas abundancias solo en un par de estaciones. A diferencia de las anchovetas, hubo estaciones con huevos más al sur de Corral pero muy pocas y con muy bajas abundancias en ambos años (Figura 3.3).

3.1.2. Producción diaria de huevos

Los parámetros del modelo lineal generalizado que fueron ajustados a la curva de mortalidad de huevos para cada especie se resumen en la Tabla 3.3, según el procedimiento de determinación de la edad convencional (Modelo de Lo). Se observa que para ambas especies, los parámetros del intercepto fueron significativos y la pendiente asociada con la edad fue siempre negativa.



Figura 3.3: Distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común registrados en los sectores norte, centro y sur, año 2012.

Los coeficientes de la Tabla 3.3 permitieron estimar la producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.4. Dichas estimaciones están referidas al área de desove (A_1) , mientras que la estimación de estratificada considera el total de área de estudio. Al respecto, en el caso de la anchoveta se observó que la producción diaria de huevos ocurrió en el sector centro, siendo máxima en el caso de la sardina común. Asimismo, la sardina

Tabla 3.3: Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlance log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos por m^2) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h^{-1}).

Anchoveta					
Sector	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	$\Pr(> z)$
Centro	Intercepto	5,361	1,662	3,225	0,00126
	Pendiente	-0,032	0,036	-0,891	0,373
Sur	Intercepto	5,617	0,596	9,429	2×10^{-16}
	Pendiente	-0,021	0,014	-1,569	0,117
Sardina					
Sector	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	$\Pr(> z)$
Centro	Intercepto	7,252	0,862	8,415	2×10^{-16}
	Pendiente	-0,068	0,019	-3,515	0,00044
Sur	Intercepto	4,472	0,449	9,953	2×10^{-16}
	Pendiente	-0,017	0,010	-1,717	0,0859

común registró una pobre producción diaria de huevos en el sector sur. La tasa de mortalidad diaria de los huevos de sardina común fluctuó entre 0,414 y 1,644 d⁻¹, con la mayor mortalidad en la zona centro; mientras que en el caso de la anchoveta la tasa de mortalidad diaria fluctuó entre 0,512 y 0,774 d⁻¹.

3.2. Parámetros reproductivos de los adultos

3.2.1. Lances de pesca

Se realizó un total de 141 lances de pesca en la zona centro-sur de Chile entre el 25 de septiebre y 25 de ocubre del 2012, de los cuales se obtuvieron 133 efectivos y 8 sin pesca (SP), 95 corresponden a la zona centro, donde se obtuvieron 49 lances efectivos de sardina común, 44 de anchoveta y 2 SP, mientras que en la zona sur se realizaron 46 lances de pesca, 40 lances efectivos de sardina común (Tabla 3.5, Figura 3.4), ninguno de anchoveta y 6 lances S/P (Figura 3.4), a pesar de desplegar un significativo esfuerzo, los lances fueron nulos o sin pesca, situación que se ha repetido los ultimos tres años.

3.2.2. Composición por tallas

En la zona centro, se muestreo 5739 individuos en los 49 lances efectivos de sardina común, de los cuales 56,4 % fueron machos y 43,7 % hembras, con una longitud promedio de 13,1 cm de longitud total (LT). En el caso de la anchoveta, se analizaron 4749 individuos de 44 lances efectivos de anchoveta, de los cuales 53,5 % fueron machos y 46,5 % hembras, con

Tabla 3.4: 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 en el área de desove (A_1) de cada estrato geográfico. El coeficiente de variación se muestra entre paréntesis.

	Anchoveta		Sardina	
Parámetro	Centro	Sur	Centro	Sur
Area de estudio A (km ²)	11642	10698	11642	10698
Area de desove A_1 (km ²)	467,4	2183,8	1042,9	2748,3
P_0 (huevos 0,05 m ⁻² d ⁻¹)	10,64 (1,66)	13,75 (0,60)	70,53 (0,86)	4,38 (0,45)
$Z(d^{-1})$	0,774	0,512	1,644	0,414
P_0 (huevos m ⁻² d ⁻¹)	8,5 (8,32)	56,1 (1,32)	126,4 (2,89)	22,5 (0,89)



Figura 3.4: Distribución de los lances de pesca efectivos de sardina común (izquierda) y anchoveta (medio), durante el crucero de adultos 2012, y localización de los lances sin pesca (derecha).

una longitud promedio de 13,6 cm LT (Tabla 3.6). En la zona sur, en 40 lances efectivos de sardina común se muestreo 5141 individuos, de los cuales 56,4 % fueron machos y 43,6 % hembras, con una longitud promedio de 10,4 cm LT. En la anchoveta, no se registraron lances positivos para la zona, por lo que no se pudo obtener individuos (Tabla 3.6).

3.2.3. Estadios de madurez sexual

Como fué informado previamente, en la zona centro se contó con 49 lances de pesca de sardina y 44 de anchoveta, mientras que en la zona sur la información proviene de 40 lances efectivos de pesca solo con presencia de sardina común. No obstante, con el objeto de calcular los parámetros que alimentan el método de la producción diaria de huevos, solo lances

 Tabla 3.5: Número de lances efectivos para sardina común y anchoveta obtenidos durante el crucero de adultos en

 la zona centro-sur de Chile, año 2012. El asterísco indica las lanchas que realizaron lances una vez terminado el

 crucero de huevos.

		Lances	Lances
Sector	Lancha	Sardina	Anchoveta
Centro	Carla Agustini*	1	1
	Don Daniel	4	2
	Don Demetri III	12	12
	El Yeye	14	12
	Gimar I*	6	5
	Sixto Abraham	12	12
Sur	Linares	7	0
	Concepción	10	0
	Constitución	13	0
	Doña Carmela	7	0
	Noemí Simoney*	10	0

completos y con la información de hembras maduras y proporción sexual fueron utilizados para calcular los parámetros reproductivos y la varianza-covarianza de los parámetros. En tal sentido, para anchoveta se contó con 1182 hembras maduras provenientes de 40 lances de pesca. En el caso de la sardina común se contó con 690 hembras maduras provenientes de 20 lances de pesca en la zona centro, y 654 hembras de 20 lances en la zona sur.

La proporción de estadios de madurez microscópicos se resumen en la Tabla 3.7, para ambas especies y por estrato geográfico. El análisis histológico de los ovarios en anchoveta, indicó que el 98,7 % de las hembras se encontraban activas (EMM 3 al 7); mientras que en sardina común, el 100 % de las hembras se encontraba activas en la zona centro, pero en la zona sur hubo una alta incicencia de ejemplares virginales (66,9 %) y solamente 37,8 % de las hembras se encontraban activas (EMM 3 al 7). Al menos en la zona centro hubo una máxima actividad reproductiva, mietras que en la zona sur, la alta incidencia de viginales (histológicamente detectados) indica que hubo un contigente importante de juveniles en la zona de desove (ver también Tabla 3.7).

Al considerar la alta inciencia de hembras virginales (=inmaduras), con la información se estimó la talla de primera madurez sexual¹, que resultó ser de 10,7 cm de longitud total (IC de 95 % ±0,09). Los estimados máximo verosimiles del modelo logístico fueron α = 23,094 (Error Std. = 1,391) y β = 2,159 (Error Std. = 0,129) (Figura 3.5).

¹Estimación clásica ajustando un modelo logístico a datos de proporción de hembras maduras por método de máxima verosimilitud

Sardina							
		Centro		Sur			
Parámetro	Macho	Hembra	Total	Macho	Hembra	Total	
n	3234	2505	5739	2998	2143	5141	
Moda (cm)	12,5	14,0	14,0	10,0	10,0	10,0	
$L\bar{T}$ (cm)	13,0	13,3	13,1	10,3	10,5	10,4	
σ_{LT} (cm)	1,32	1,35	1,34	1,17	1,31	1,24	
CV (%)	10,2	10,2	10,2	11,4	12,5	11,9	
max(LT) (cm)	16,5	16,5	16,5	14,5	15,0	15,0	
min(LT) (cm)	9,0	9,0	9,0	6,5	7,0	6,5	
Anchoveta							
n	2541	2208	4749	-	-	-	
Moda (cm)	13,0	13,5	13,5	-	-	-	
LT (cm)	13,5	13,7	13,5	-	-	-	
$\sigma_{LT}~({ m cm})$	1,37	1,44	1,41	-	-	-	
CV (%)	10,2	10,5	10,4	-	-	-	
max(LT) (cm)	18,0	18,0	18,0	-	-	-	
min(LT) (cm)	9,5	9,5	9,5	-	-	-	

Tabla 3.6: Composición por tallas de sardina común y anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro-sur de Chile, año 2012.

3.2.4. Fracción diaria de hembras desovantes

3.2.4.1. Anchoveta

En el caso de la anchoveta, la distribución horaria de los estadios ováricos y FPO obtenidos en los proyectos del 2004 al 2010 de acuerdo a la metodología seguida por Claramunt et al (2007) se entrega en Tabla 3.8 y se representa en la Figura 3.6. El ajuste de un modelo de distribución horaria de los FPO indica que en general puede ser tratada como una distribución gamma, ya que si bien algunos estadios de FPO se ajustan mejor a un modelo tipo normal (i.e., Simetría), la suma acumulada de los errores es menor para el modelo de tipo Gamma (Tabla 3.8). La Figura 3.6 indica que el estadio de núcleo migrante (EMM 5) se manifiestan a partir de las 23:00 h y muestra un decaimiento hacia horas de la tarde, que coinciden con el incremento de las hembras hidratadas, las que tienen un máximo hacia las 12:00 h. Hay un claro pico en la incidencia de hembras con FPO I entre las 22:00 y 2:00 h. Esta moda de los FPO I se va desplazando en el tiempo en los FPO II; III y IV. La amplitud (desviación estándar) se incrementa en el estadio IV (Figura 3.6 y Tabla 3.9). La distribución del estadio FPO V presenta una gran amplitud, indicando un posible sobrelapo con una noche anterior de desove (i.e. > 24 h). La evolución

		Anchoveta				Sardina		
	Centro		Sur		Centro		Sur	
EMS	f	(%)	f	(%)	f	(%)	f	(%)
Virginal, I	0	0	n.d.	n.d.	0	0	431	65,90
Inmaduro, II	0	0	n.d.	n.d.	0	0	22	3,36
Parcialmente vitelado, III	15	1,27	n.d.	n.d.	14	2,03	120	18,35
Vitelado, IV	930	78,68	n.d.	n.d.	603	87,39	46	7,03
En hidratación, V	73	6,17	n.d.	n.d.	38	5,51	46	7,03
Hidratado, VI	148	12,52	n.d.	n.d.	13	1,88	0	0
En desove, VII	1	0,08	n.d.	n.d.	0	0	0	0
Postdesove, VIII	15	1,27	n.d.	n.d.	22	3,19	35	5,35

Tabla 3.7: Fracción de estadios de madurez sexual microscópicos de anchoveta y sardina común durante el período de estudio, año 2012.



Figura 3.5: Proporción de hembras maduras en función de la longitud total de sardina común, año 2012.

temporal de los estadios FPO V, VI y VII son casi similares, con un máximo relativo entre las 6:00 y 12:00 h, pero que correspondería al día 2 después del desove. Las edades medias predichas por el ajuste del modelo normal (Tabla 3.9, Figura 3.7) se observa claramente la progresión en el tiempo del estadio I al II. Del estadio IV al VI se estabiliza y luego decae hacia el estadio VII. Esto último sería evidencia que una alta proporción de los estadios V al VII provienen de una noche anterior de desove (i.e. edades superior a las 24 h). Incluso una pequeña proporción del estadio IV, un 4,2 % aprox. estimado

según ajuste y 8,3 % observado, provendría de la noche anterior de desove, esto es, las hembras con FPO IV capturadas entre las 18:00 PM y 2:00 h AM provendrían de la noche anterior de desove (i.e., tienen más de 24 horas), ya que en este lapso se está produciendo el desove (FPO I) y la degeneración no es tan rápida. Los FPO V a VII tendrían una edad mayor a 24 h, sin embargo queda la duda si pueden corresponder al grupo de 24 o 48 h de edad, especialmente los FPO VII pueden corresponder a edades mayores a 48 h, por lo que no se recomienda su utilización para efectos de cálculo.



Figura 3.6: Distribución temporal de los estadios madurez microscópica y FPO de la zona centro sur de Chile. Líneas azules verticales representan un período de 24 horas (18:00 h a 18:00 h). Línea roja representa un ajuste de distribución Gamma, con la hora acumulada a partir de las 12:00 h. Información acumulada del 2004 al 2010.

Al considerar a los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5); Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM 7) como pertenecientes al grupo de desove que desovará dentro de las próximas 24 horas, la fracción desovante se estima en 0,194, con

			Estadio	FPO				EMS	
Hora	1	2	3	4	5	6	7	V	VI
0	9,03	11,85	0,00	0,11	0,80	0,99	1,72	1,36	0,00
1	11,61	8,26	0,00	0,92	3,35	2,17	2,58	3,20	0,00
2	8,39	6,61	0,00	2,07	3,51	2,77	3,55	4,75	0,00
3	5,81	19,56	13,20	3,10	6,22	3,36	6,02	5,91	0,00
4	3,23	6,06	5,58	5,05	3,03	1,78	5,27	3,10	0,00
5	3,23	3,03	8,63	1,95	4,47	2,77	4,73	8,91	1,90
6	0,00	3,31	8,12	8,96	4,31	3,75	6,56	8,62	1,43
7	5,16	7,16	8,12	7,92	6,06	6,32	5,59	8,33	9,75
8	0,00	3,86	11,93	12,63	10,21	11,46	11,72	12,32	8,68
9	4,52	7,16	9,90	9,18	6,70	7,11	10,43	11,72	8,68
10	0,65	3,03	8,38	5,74	6,86	6,52	8,49	9,11	10,70
11	1,94	1,65	4,82	8,73	13,56	7,91	6,99	6,78	11,89
12	6,45	4,13	2,79	8,73	6,06	10,87	6,34	2,42	14,03
13	1,29	0,83	3,05	7,12	5,10	7,91	4,95	2,23	9,27
14	0,65	1,93	2,54	5,97	6,54	6,13	4,52	1,26	5,83
15	0,00	0,00	0,76	2,07	2,87	4,35	1,94	3,68	4,99
16	0,00	1,38	4,57	3,44	2,23	5,34	3,33	1,74	5,11
17	1,29	2,48	1,02	1,15	1,44	0,99	0,22	1,45	2,14
18	0,00	0,00	0,51	3,56	3,83	5,73	2,80	2,52	3,80
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	25,81	7,71	0,51	0,23	1,12	0,40	0,11	0,00	0,24
22	0,00	0,00	0,25	1,38	0,48	1,38	0,32	0,29	0,24
23	10,97	0,00	0,25	0,00	1,28	0,00	1,83	0,29	0,12
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabla 3.8: Distribución horaria de la frecuencia (%) de los estadios de Folículos Postovulatorios y Estadios de Madurez Ovárica (Núcleo Migrante e Hidratados). Información acumulada del 2004 al 2010.

una varianza de 0,00182 y un coeficiente de variación de 22,0%. 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, osea con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estima en 0,047 con una varianza de 0,00010 y un coeficiente de variación de 20,7\%. Test pareado indica que existen diferencias entre ambas estimaciones (tcalc = 3,42, ttabla = 2,1). Al combinar

Tabla 3.9: Parametros del ajuste de un modelo de distribución tipo Gamma y Normal a la frecuencia de FPO por
hora (Hora acumulada a partir de las 12:00 AM). a y b: Parámetros de la función Gamma. SCE: Suma de cuadrados
del error.

			Estadio	FPO				
Modelo	Parámetros	1	2	3	4	5	6	7
Gamma	а	11,80	13,72	24,39	28,06	20,87	26,94	21,51
	b	1,10	1,20	0,82	0,79	1,08	0,87	1,00
	Media	12,97	14,85	18,51	21,70	22,24	23,43	20,09
	Desv.Estd.	3,78	1,98	3,30	4,24	5,41	4,92	4,83
	SCE	555,75	288,64	99,04	58,04	88,74	70,58	43,37
Normal	Media	11,80	15,34	19,00	21,35	21,37	22,54	20,50
	Desv.Estd.	3,52	4,38	3,92	4,18	4,80	4,54	4,53
	SCE	581,61	305,30	104,38	58,99	78,10	64,70	36,79

ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,121, una varianza de 0,00046 y un coeficiente de variación de 17,8 %.

3.2.4.2. Sardina común

Al considerar a los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5), Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM 7) como pertenecientes al grupo de desove que desovará dentro de las próximas 24 horas, la fracción desovante se estimó en 0,105, con una varianza de 0,00033 y un coeficiente de variación de 17,4 %. 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, osea con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes de sardina común se estimó en 0,057 con una varianza de 0,00034 y un coeficiente de variación de 32,2 %. Test pareado indica que existen diferencias entre ambas estimaciones (tcalc = 2,46, ttabla = 2,02). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,081, una varianza de 0,00023 y un coeficiente de variación de 18,5 %.

Para la zona centro, aplicando los mismos criterios se llega a una fracción desovante de 0,073, con una varianza de 0,00034 y un coeficiente de variación de 25,2 % para las hembras que desovarán dentro de las próximas 24 horas. Para el grupo que desovó la noche anterior se llega a un estimado de 0,053 con una varianza de 0,00028 y un coeficiente de variación de 31,5 %. Test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones (tcalc = 1,51, ttabla = 2,09). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,063, una varianza de 0,00026 y un coeficiente de variación de 25,8 %.

Para la zona sur el 65,9 % (431 hembras) se encontraba en la fase de inmadurez (= virginal). Descartando la hembras inmaduras se estima una fracción desovante de 0,206 con una varianza de 0,00228 y un coeficiente de variación de 23,2 %



Figura 3.7: Edades medias de los estadios de FPO según ajuste por modelo de tipo Gamma en base a la hora acumulada a partir de las 12:00. Círculos: Edades medias. Líneas verticales: Desviación estándar. Líneas negras horizontales: Intervalo al 99 %. Flecha azul horizontal: Pico de desove (24:00). Líneas rojas horizontales: Indica período de 24 horas (18:00 a 18:00). En paréntesis se indica la hora del día en ciclo de 24:00 (Sin acumular).

para el grupo que desovará dentro de las próximas 24 horas. Para el grupo que desovó la noche anterior se estima en 0,072 con una varianza de 0,00314 y un coeficiente de variación de 78,1 %. Test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones (tcalc = 1,95, ttabla = 2,09). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,139, una varianza de 0,00103 y un coeficiente de variación de 23,1 %.

3.2.5. Fecundidad parcial

3.2.5.1. Anchoveta

Se contó con 28 hembras hidratadas para estimar la fecundidad parcial en función del peso corporal de anchoveta (Tabla 3.10). En el 2012, hubo un cambio en la pendiente de la relación comparada con años previos. Asimismo se observó que el intercepto de la relación no fue estadísticamente diferente de cero en los años analizados. La estimación de la fecundidad parcial promedio de las hembras maduras se estimó en 9494 ovocitos (CV=6,2%), y fluctúo entre 4979 y 13520 ovocitos.

	Intercepto	Error Std.		Pendiente	Error Std.		Error		
Año	а	σ_a	Pr[a=0]	b	σ_b	Pr[b=0]	típico	r^2	n
2002	-613,40	824,67	0,458	422,38	44,29	$2,85 \times 10^{-17}$	2156,15	0,37	158
2003	122,00	580,50	0,834	395,12	34,07	$4,34 \times 10^{-20}$	1877,71	0,58	100
2004	600,21	864,32	0,490	360,86	39,08	$1,86 \times 10^{-8}$	1787,19	0,56	68
2005	-311,16	677,80	0,651	331,17	40,18	$5,10 \times 10^{-8}$	1138,15	0,76	23
2007	-574,21	734,85	0,440	445,11	33,36	4,81×10 ⁻²³	1807,76	0,66	92
2009	896,29	717,11	0,230	266,90	38,98	9,07×10 ⁻⁷	1419,77	0,69	23
2010	925,94	1033,82	0,380	415,17	56,69	$2,48 \times 10^{-7}$	1408,88	0,71	24
2012	-1735,73	2892,22	0,550	660,96	130,60	$2,86 \times 10^{-5}$	2418,68	0,50	28
Periodo	-170,36	307,24	0,580	404,05	15,83	7,91×10 ⁻⁹²	1963,82	0,57	489

Tabla 3.10: Parámetros de la regresión lineal entre la fecundidad parcial y peso corporal (gr) de anchoveta en cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos.

3.2.5.2. Sardina común

No se contó con suficientes hembras hidratadas como para estimar la fecundidad parcial del año 2012, razón por la cual se utilizó la relación promedio de los últimos tres años (2009-2011), cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.11. Se observa que el intercepto no es significativo, y la pendiente de la relación fluctúa entre 343,46 y 474,2 ovocitos por gramo.

La fecundidad parcial promedio, utilizando el ajuste correspondiente a los 40 lances efectivos varió de 3886 a 11470 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional resultó en 7984 ovocitos, con una varianza de 136,5 y un coeficiente de variación de 4,6 %.

Para la zona centro, aplicando la misma regresión, se estimó una fecundidad media de 8729, con una varianza de 124,4 y un coeficiente de variación de 4,0 %.

Para la zona sur, aplicando la misma regresión, se estimó una fecundidad media de 5674, con una varianza de 125,6 y un coeficiente de variación de 6,2 %.

3.2.6. Peso promedio y proporción sexual

3.2.6.1. Anchoveta

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

El peso promedio del cuerpo de las hembras maduras, fluctuó de 8,89 a 25,06 gramos. El peso promedio de hembras

	Intercepto	Error Std.		Pendiente	Error Std.		Error		
Año	а	σ_a	Pr[a=0]	b	σ_b	Pr[b=0]	típico	r^2	n
2009	-629,76	568,83	0,270	460,13	25,83	8,64×10 ⁻²⁴	1601,33	0,86	54
2010	552,32	1021,54	0,59	343,46	48,89	3,04×10 ⁻⁸	1972,78	0,58	38
2011	447,82	2305,40	0,850	474,20	108,20	$1,12 \times 10^{-4}$	2051,32	0,37	35
Periodo	-141,34	587,07	0,810	438,12	27,31	3,93×10 ⁻³²	2090,67	0,67	127

Tabla 3.11: Parámetros de la regresión lineal entre la fecundidad parcial y peso corporal (gr) de sardina común en cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos.

maduras en el área investigada fue de 17,56 gramos, con una varianza de 0,511 y coeficiente de variación de 4,1 %.

La proporción sexual de las hembras de anchoveta fue estimada en 0,540 con un coeficiente de variación de 4,21 %.

3.2.6.2. Sardina común

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

Peso = -1,0128 + 1,116* (Peso corporal)

 $r^2 = 0,993$

n=900

El peso promedio del cuerpo de las hembras maduras, fluctuó de 9,25 a 29,05 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 19,64 gramos, con una varianza de 0,621 y un coeficiente de variación de 4,0 %.

Para la zona centro se estima un peso promedio de 21,6 g, con una varianza de 0,635 y un coeficiente de variación de 3,7 %.

Para la zona sur se estima un peso promedio de 13,71 g con una varianza de 0,468 y un coeficiente de variación de 5,0 %.

La proporción de hembras, en peso, de sardina común en la zona centro fue estimada en 0,484 con un coeficiente de variación de 5,02 %.

En la zona sur, la proporción en peso de sardina común fue de 0,506 con un coeficiente de variación de 3,3 %.

3.3. Biomasa desovante

La biomasa del stock desovante se sustenta en la producción diaria de huevos de cada estrato geográfico, los cuales se consideran independientes. Los estimadores puntuales permiten señalar que la mayor biomasa desovante fue de sardina común en la zona centro, con 141866 t (CV=2,91). La biomasa del stock desovante fue menor para la anchoveta en la zona centro, 7216 t (CV=8,32), y en la zona sur para la sardina común, 16027 t (CV=1,18). No se contó con muestras de adultos de anchoveta para la zona sur, de tal manera que se aplicó los parámetros de la zona centro, estimándose 43555 t (CV=1,33).

Al considerar los estratos geográficos independientes, la biomasa desovante de anchoveta se estima en 50772 t (CV=1,65); y en 157893 t (CV=2,62) para la sardina común (Tabla 3.12).

Tabla 3.12: Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común (Septiembre-Octubre 2012). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa (* se utiliza las estimaciones de la zona centro 2012).

	Anchoveta			Sardina
Parámetros	Centro	Sur *	Centro	Sur
Fracción desovante, S	0,047	0,047	0,053	0,072
Peso promedio, $W(gr)$	17,6	17,6	21,6	13,7
Proporción hembras, R	0,54	0,54	0,48	0,51
Fecundidad media, F (ovocitos)	9494	9494	8730	5675
Area de estudio, A (km ²)	11642	10698	11642	1069
Producción de huevos, P_0 (huevo m ⁻² d ⁻¹)	8,54	56,1	126,4	22,5
Biomasa desovante, $B(t)$	7216 (8,32)	43555 (1,33)	141866 (2,91)	16027 (1,18)
Biomasa total, $B(t)$		50772 (1,65)		157893 (2,62)

3.4. Distribución de huevos y condiciones hidrográficas

3.4.1. Hidrografía

a) Temperatura superficial del mar

La temperatura superficial del mar durante el periodo de muestreo del 2011 mostró valores más fríos en el sector centro (al norte de latitud 37°S) que en el sector sur (Figura 3.8). La zona con menor temperatura (< 10 °C) correspondieron al sector costero alrededor de Cabo Carranza ($35^{\circ}30^{\circ}S$) y la con mayores valores (> 12, 5 °C) al sector comprendido entre las latitudes 37°S a 40°S. Durante el 2012, la temperatura superficial del mar mostró el gradiente latitudinal típico con valores altos sobre los > 13 °C hacia el norte de los 37°S y con menores temperaturas ($11,5^{\circ}C$) hacia el sector sur; constituyéndose la

zona de Punta Lavapié - Lebu (37° - 37°30'S) como un sector que divide dos áreas con marcadas diferencias en temperatura. El patrón latitudinal de temperatura del 2012 fue más similar al del 2010 que el del 2011, y también más semejante a lo históricamente observado en la zona de estudio.



Temperatura Superficial (°C)

Figura 3.8: Temperatura superficial del mar durante los cruceros de huevos, año 2010 al 2012.

b) Hidrografía en los sectores de mayores abundancias de huevos

Un análisis más detallado de la hidrografía por sectores a distintas profundidades (1, 10 y 50 m), entregó los siguientes resultados:

Sector norte Este sector no fue muestreado durante la pesca de investigación de 2011. El 2012, las temperaturas a 1 m de profundidad mostraron notables variaciones latitudinales, con altos valores en la zona más al norte (32°S) y sur (34°S), y menores valores en la zona central (Figura 3.9). En esta zona se aprecia una pluma de agua fría extendiéndose en sentido nor-oeste desde la costa a los 33,8-34°S, zona en que se observó también menores temperaturas y mayores densidades a 10 m de profundidad, lo cual sugiere un procesos de surgencia muy localizado asociado a punta Topocalma (sur de Santo Domingo). La influencia de agua duces de origen en ríos fue muy baja en todo el sector norte de muestreo, a juzgar por la escasa variación en salinidad en los estratos someros en todo este sector.

Sector Centro En el periodo de muestreo del 2011, la temperatura a 1 m de profundidad fluctúo entre los 10 y 12 °C, con los menores valores en las proximidades de Cabo Carranza (Figura 3.10). Alrededor de esa zona y extendiéndose hasta los 35°30'S se observaron aguas de mayor salinidad y densidad, sugiriendo que las bajas temperaturas se debian a aguas de surgencia. Paralelamente, en una zona pequeña al norte de Península de Tumbes también se observó aguas de mayor salinidad y densidades. Justo al sur de Península de Tumbes y asociado a la desembocadura del BioBio, se presentaron aguas de menor salinidad y densidad que se extiende hacia el nor-oeste señalando la influencia del agua dulce. A 10 m de profundidad (Figura 3.11) se observó nuevamente aguas frías en la zona frente a Cabo Carranza, y una zona de aguas frías, de alta salinidad y densidad a lo largo de la Península de Tumbes y extendiendose hacia el norte la pluma de surgencia observada a 1 m. A 50 m de profundidad (Figura 3.12) la temperatura, salinidad y densidad fueron más homogéneas en toda la zona, con valores propios de aguas de surgencia (>10,5 °C, >34,5 psu y Sima-t >26).

En el 2012, no se observaron sectores de bajas temperaturas a 1 m de profundidad, pero sí se observó una zona costera de altas temperaturas dentro del Golfo de Arauco, justo al sur del río BioBio donde también se apreciaron densidades menores (Figura 3.9). A 10 m, en el Gofo de Arauco y Península Tumbes y luego a lo largo de toda la costa hacia el norte, se observó una flanja muy angosta de aguas frías (10-11°C) y mayores densidades (Figura 3.10). Finalmente, a 50 m de profundidad (Figura 3.12) y lo largo de toda la zona estudiada se observaron temperaturas bajas, y salinidades y densidades altas, lo que insinúa aguas de surgencia costera sobre la estrecha plataforma continental, excepto en el sector más alejado de la costa entre los 35° y 36°S. En resumen, las diferencias más notorias en el sector central entre los años 2011 y 2012 ocurrieron en los estratos más someros, ya que en el 2011 habría localidades costeras con surgencia muy intensa a juzgar por los bajos valores de temperatura, altas salinidades y densidades.

Sector Sur En el sector sur, en el 2011 se observaron temperaturas entre 12 y 13 °C en la zona al norte de Corral y levemente inferiores (11-12 °C) hacia el sur de este punto (Figura 3.10). La salinidad a 1 m mostró la influencia del agua dulce, desde Corral hacia el norte y extendiéndose sobre la plataforma continental; aspecto, que se aprecia muy claramente en los menores valores de sigma-t en toda esa zona. A 10 m se observaron aguas entre 12 y 13 °C sobre la plataforma continental y aguas con menores temperaturas cercanas a la costa y más salinas en el sector al sur de Corral (Figura 3.11). A 50 m, finalmente, la influencia del agua dulce no es evidente y se observaron temperaturas menores, salinidades y densidades mayores en la zona costera central (Figura 3.12).

En el 2012, el sector sur presentó diferencias respecto al 2011. A 1 m de profundidad, la zona de menores temperaturas que en el 2011 se ubicó al sur, ahora se extiende hasta la zona central de muestreo y, además, se aprecia una zona costera al norte (cercana a Lebu) también con bajas temperaturas (Figura 3.10). En esta zona costera y también a lo largo de la costa en la zona frente y al sur de Corral habría ocurrido aguas con alta salinidad y altas densidad. A 10 m de profundidad prácticamente toda la zona presentó temperaturas menores a 12 °C, excepto alrededor de los bajos cercanos a isla Mocha en que la temperatura fue levemente superior (Figura 3.11). A esta profundidad las zonas con mayor salinidad se extendieron por la costa desde Isla Mocha al norte y también en la zona frente a Corral coincidiendo con los lugares de menor temperatura y mayor densidad. Finalmente, a 50 m de profundidad, se observó que el agua de menor temperatura, mayor salinidad y densidad se extendió sobre la plataforma continental, a diferencia del año 2011 en que ésta estuvo más restringida hacia la costa (Figura 3.12). En resumen, ocurrieron diferencias en el sector sur entre los años 2011 y 2012 en todos los estratos, mostrándose los estratos más someros con agua calidad y de menor salinidad sobre la plataforma continental en el 2011, situación que cambio a aguas más frías y salinas en todos



los estratos el 2012, lo cual es lo comúnmente observable en esa zona en ese periodo del año.

Figura 3.9: Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 1 (panel superior), 10 (medio) y 50 m (inferior) de profundidad, en el sector norte de la zona de estudio el año 2012.

c) Secciones verticales

Las secciones verticales de hidrografía del 2011 muestran al norte de Cabo Carranza (transecta 13; 35°30'S) la presencia de una estructura frontal asociada al quiebre de la plataforma continental (72,8°W), con aguas de mayor temperatura, menor salinidad y densidad hacia el océano y aguas de menor temperatura, mayor salinidad y densidad sobre la plataforma continental hacia la costa (Figura 3.13). Las secciones vertical frente a Punta Lavapié (transecta 33; 37,17°S) muestran un escaso gradiente térmico de superficie a fondo pero estratos con contrastantes salinidades: en la parte inferior se observan aguas con mayor salinidad y en superficie se aprecian la influencia de aguas provenientes de ríos que producen menores salinidades (<32 psu). Más al sur, en la transecta 44 (38,33°S) frente a Isla Mocha se aprecia temperaturas mayores a 13 °C en superficie y un gradiente térmico y salino desde superficie a fondo pero que no alcanza valores de salinidad sobre 34 en el somero



Figura 3.10: Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 1 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio los años 2011 y 2012.

fondo (20-25 m). Finalmente, en la transecta 56 (39,33°S) frente a Corral se observa la influencia de aguas dulces de mayores temperaturas en la costa.

En el 2012, en la sección vertical de la transecta 17 (35,30°S) se muestra una surgencia muy costera evidenciada por el



Figura 3.11: Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 10 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio los años 2011 y 2012.

ascenso en la costa de aguas con menores temperaturas, altas salinidades y mayor densidad (Figura 3.14). En la sección 37 (37,17°S) se presentó una marcada estratificación térmica y salina en los primeros 20 m de profundidad con temperaturas en superficie mayores a 13,5 °C y salinidades menores a 33 psu, lo que insinúa de influencia de aguas dulces provenientes



Figura 3.12: Características hidrográficas (temperatura (°C), salinidad y densidad (sigma-t) a 50 m de profundidad, en el sector central de la zona de estudio los años 2011 y 2012.

desde la costa. En al somera Transecta 48 (38,33°S) se aprecia la influencia de aguas menos salinas y de mayor temperatura sobre la plataforma continental. Finalmente, en la transecta 60 (39,33°S) se aprecia que toda esa zona está bajo desarrollo de surgencia costera (isopicnas asciende en la costa), aunque en superficie aun se observa la presencia de aguas de menores



salinidades producto del aporte de ríos locales.

Figura 3.13: Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t, obtenidas en 4 sectores de máxima abundancia de huevos de anchoveta en las zonas central (transectas 13 y 33) y sur (transectas 44 y 56) de muestreo, 2011.

d) Relación de la distribución de huevos con variables ambientales

En el 2011, la sobreposición de la abundancia de huevos de ambas especies sobre los mapas de temperatura del mar a 10 m en el 2011 que las zonas de mayores abundancias de huevos ocurrieron en las 2 localidades de aguas más frías (<12 °C) del sector central (Figura 3.15) pero también en zonas de aguas de temperaturas intermedias (11,5-13 °C) como el Golfo de Arauco y sobre la plataforma continental en la zona media del sector sur (Figura 3.16). Durante el 2012, con una distribución más restringida que el año anterior en el sector central, los huevos de ambas especies se ubicaron preferentemente en la franja costera pero también de aguas de temperatura intermedias y frías (Figura 3.17). La utilización de zonas con estos tipos de agua se ve más claramente en el sector sur donde las más altas abundancias se encontraron justamente en aguas con ambos rangos de temperaturas (Figura 3.18). En resumen, la existencia de algún tipo de asociación entre la distribución de los huevos con ciertas temperaturas es probablemente poco clara por cuanto existen extensas zonas con aguas de ambas características que no presentan huevos lo que sugiere que más de un factor u otros factores podrían determinar la ubicación de los huevos.

Los diagramas T-S con las abundancias de huevos por especie y sector muestran los rangos de las variables (T,S) observadas a 1 y 10 m de profundidad (rectángulos punteados) y las abundancias escaladas (círculos) asociados a cada par de variable



Figura 3.14: Secciones verticales de temperatura, salinidad y sigma-t, obtenidas en 4 sectores de máxima abundancia de huevos de anchoveta en las zonas central (transectas 17 y 37) y sur (transectas 48 y 60) de muestreo, 2012.

a esas profundidades (Figuras 3.19 y 3.20). En ambos años, los rangos (máximo-mínimo) de los valores de temperatura y salinidad presentes en el ambiente a 1 y 10 m fueron más amplios en el sector sur que en el central. Comparando entre años, los rangos de temperatura fueron más amplios en el 2012 que el 2011 mientras que los de salinidad en el ambiente fueron más estrechos el 2012 que el 2011.

Los rangos de temperatura y salinidad el año 2011 entre los cuales variaron las máximas abundancias de huevos de anchoveta y sardina común fueron distintos entre sectores, presentándose los huevos en el sector central en aguas con valores de temperatura (10,8 - 13 °C) y salinidad (31,5 - 32,5 psu) más bajos que en el sector sur (12 - 13,2 °C) (Figura 3.19).

En el 2012, y a diferencia del año 2011, los valores de temperatura a 1 m de profundidad, entre los que se encontró huevos de anchoveta y sardina común fue más estrecho en el sector central que en el sur y con valores más altos (por ejemplo, anchoveta 11,0-13,3 °C) que en el sector sur (anchoveta: 10,8 - 13,0 °C)(Figura 3.20).

d) Clorofila superficial

La clorofila-*a* superficial fue obtenida de imágenes satelitales MODIS, con una resolución de 4 km (http://oceancolor. gsfc.nasa.gov/cgi/l3), promediadas cada 8 días a lo largo del periodo de estudio de cada año. Durante ambos años se



Figura 3.15: Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b) sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona centro, 2011.



Figura 3.16: Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b) sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona sur, 2011.

observó altas concentraciones de clorofila a (> 3 mg Cloa m⁻3) más cercanas a la costa y menores valores (< 1mg mg Cloa m⁻3) hacia mar abierto (Figuras 3.21 y 3.22. Comparativamente, no se observan diferencias claras en concentraciones de clorofila-*a* entre los sectores norte y sur. Sin embargo, si se observan claras diferencias entre años, siendo las concentracio-



Figura 3.17: Sobreposición de abundancia de huevos de anchoveta (a) y sardina común (b) sobre secciones horizontales de temperatura a 10 m de profundidad en la zona centro, 2012.





nes durante el 2011 más altas y más extendidas sobre la plataforma continental que en el 2012 en que los mayores valores estuvieron restringidos a la banda costera todo el periodo de estudio.



Figura 3.19: Diagramas en que la data del 2011 de Temperatura y Salinidad a 1 m (a) y 10 m (b) de profundidad de cada estación, se sobrepuso una representación escalada de la abundancia por estación de huevos de anchoveta y sardina común. Los círculos en negro corresponden a la abundancia de huevos en estaciones de la zona norte, en rojo a la central y, en azul, a la zona sur.



Figura 3.20: Diagramas en que la data del 2012 de Temperatura y Salinidad a 1 m (a) y 10 m (b) de profundidad de cada estación, se sobrepuso una representación escalada de la abundancia por estación de huevos de anchoveta y sardina común. Los círculos en negro corresponden a la abundancia de huevos en estaciones de la zona norte, en rojo a la central y, en azul, a la zona sur.

3.4.2. Las condiciones ambientales en invierno y primavera de 2012

3.4.2.1. Temperatura superficial del mar

Las imágenes de TSM para el mes de junio muestran aguas comparativamente más cálidas (> 16 °C) en el sector noroeste extendiéndose hacia el sector costero hasta la latitud de los 36°S (Figura 3.23), situación similar de evidencia en las imágenes del mes de julio (Figura 3.24) pero con valores más bajos en la temperatura y un repliegue de estas aguas mas cálidas hacia el norte, este repliegue con la consecuente baja de la temperatura aparece representada de la misma forma para



Figura 3.21: Imágenes satelitales de clorofila-a (mg Cloa m⁻³) durante el periodo de muestreo 2011.



Figura 3.22: Imágenes satelitales de clorofila-a (mg Cloa m⁻³) durante el periodo de muestreo 2012.

los meses de agosto, septiembre y octubre (Figuras 3.25, 3.26 y 3.27), dejándose ver el origen subtropical de esta masa de agua la que se ve acentuada durante los meses de noviembre y diciembre (Figuras 3.28 y 3.29). En términos generales, la banda costera no evidencia gradientes térmicos significativos con la zona oceánica adyacente, mostrando influencia de aguas de origen sub-antártico desde la zona sur y hasta los 38°S.



Figura 3.23: Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en junio de 2012.



Figura 3.24: Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en julio de 2012.

3.4.2.2. Clorofila-*a* superficial

Las imágenes de clorofila-*a* durante los meses de junio y julio (Figuras 3.30 y 3.31) asociadas a la banda costera muestran valores que no superan los 4 mg \times m⁻³ con escasas extensiones o filamentos que se extienden a la zona oceánica adyacente.



Figura 3.25: Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en agosto de 2012.





Desde el mes de agosto y hasta octubre (Figuras 3.32, 3.33 y 3.34) de evidencia un incremento en los valores de clorofila-a en la banda costera alcanzando los 10 mg×m⁻³ y con el desarrollo de filamentos que se extienden por más de 100 millas costa afuera con valores en torno a los 7 mg×m⁻³. Durante los meses de noviembre y diciembre (Figuras 3.35 y 3.36) los valores



Figura 3.27: Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en octubre de 2012.





de clorofila se incrementan en la banda costera (>10 mg \times m⁻³) también con el desarrollo de filamentos que se extienden por más de 100 millas costa afuera.



Figura 3.29: Promedios semanales de imágenes satelitales de temperatura superficial del mar en diciembre de 2012.

3.4.2.3. Transporte Ekman

El transporte Ekman calculado para el periodo de muestreo indican 5 eventos de gran intensidad (transporte costa afuera) en la zona norte (Figura 3.37) durante los meses agosto, septiembre, noviembre y diciembre siendo los de estos últimos dos meses los de mayor intensidad.

Las zonas centro-sur y sur (Figura 3.37) las intensidades son comparativamente menores que en la zona norte y al mismo tiempo aparece con mayor recirrencia el transporte hacia la costa.

3.4.3. Cambios ambientales 2003-2012

Las anomalías de temperatura superficial del mar (TSM) en las zonas entre Valparaíso - Talcahuano, Talcahuano - Puerto Montt, y Pto. Montt - Aysen (Figura 3.38), muestran que existe gran variabilidad temporal, la que está siendo modulado por procesos de forzamiento local como variabilidad del viento, así como también por procesos remotos como los eventos El Niño-Osilación del Sur (ENSO), asociados con ondas atrapadas a la costa, las cuales son las responsables de expandir la señal ecuatorial hacia el sur.

Por lo tanto, para describir la variabilidad de la TSM a lo largo de Chile, se considera necesario mencionar como ha sido la variabilidad de los eventos ENSO. Sobre la base del Índice de Oceánico Niño (The Oceanic Niño Index, ONI), el cual está siendo utilizado por la NOAA para identificar los eventos El Niño (cálido) y La Niña (frío) en el Pacífico tropical. Este es un promedio móvil de 3 meses de la anomalía de la TSM en la región Niño 3.4 (es decir, 5°N -5°S; 120°-170°W). Los



Figura 3.30: Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en junio de 2012.

eventos se definen como 5 meses consecutivos en o por encima de la anomalía de 0,5 para eventos cálidos (El Niño) y en o por debajo de la anomalía de -0,5 para los eventos fríos (La Niña). El umbral se subdivide eventos débil, cuando la anomalía de TSM se ubica entre 0,5 y 0,9; moderado, entre 1,0 y 1,4; y fuerte (\geq 1,5). Los eventos El Niño y La Niña que han ocurrido en los últimos 63 años², se se resumen según esta clasificación en la Tabla 3.13.

La zona entre Valparaíso y Talcahuano (Figura 3.38a), mostró anomalías positivas en la TSM, durante el año 2004, segunda mitad del 2006, entre el año 2008 y el primer semestre del 2009, y comienzos del año 2012. Estas anomalías positivas de TSM, más marcadas en la serie de tiempo, se asocian o reflejan los períodos cálidos de EL Niño en la zona tropical de los años 2004 (débil), 2006 (débil), 2009 (moderado). Las anomalías negativas más marcadas de la TSM, se observaron a comienzos del año 2006, durante el año 2007, fines del 2009 y entre 2010 y 2011, coincidiendo con los eventos La Niña de comienzos del 2005 (débil), 2007 (moderada), 2010 (fuerte) y 2011 (débil), respectivamente.

Entre Talacahuano y Puerto Montt (Figura 3.38b), se observa que la variabilidad de la anomalía TSM es un poco diferentes

²http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml



Figura 3.31: Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en julio de 2012.

comparada con la región más al norte. Se observa un incremento en la amplitud de las anomalías positivas del año 2004, el máximo de anomalía negativa observado previamente desaparece, mientras que el período frio del 2007 se mantiene de forma similar y por último a comienzos del año 2009 se observa un máximo negativo, que no se observó en el área más al norte.

La variabilidad de la anomalía de la TSM entre Puerto Montt y Aysén (Figura 3.38c), mostró un patrón similar a la variabilidad de la zona entre Talcahuano y Puerto Montt, sólo observándose una disminución en su amplitud. Por otro lado, no se observó el evento frío observado a comienzos del año 2009, ni tampoco el evento cálido del 2012. El hecho que sólo se observe el máximo negativo de comienzos del 2009 en el área de Talcachuano - Puerto Montt, puede estar reflejando, procesos o eventos locales del área de estudio.

La variabilidad de clorofila en términos de su anomalía, se muestra en la Figura 3.39. En el área, entre 33-37°S, se observó que la clorofila muestra muy poca variabilidad temporal, no así en las áreas más al sur (37.5-40°S y 40.1-43°S), donde se observó que las anomalías positivas de clorofila-a se relacionan con los eventos fríos de las anomalías negativas de la TSM, para las mismas áreas, por ende se relacionan con los eventos ENSO del Pacifico Tropical. Cabe destacar, que a



Figura 3.32: Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en agosto de 2012.

pesar de observar una relación entre los períodos fríos y los aumentos de clorofila, en la región más austral, esta relación se pierde un poco.

En términos generales, tanto la anomalía de TSM y clorofila de la región austral, pierden un poco su relación con los cambios observados más hacia el norte. Esto puede deberse a la influencia que ejercen los fiordos de la región, y a la influencia ejercida por la variabilidad antártica que se propaga hacia esta área.

El transporte de Ekman para las tres áreas en estudio se muestra en la Figura 3.40. Se observa que el transporte de Ekman muestra una clara variabilidad estacional en las tres áreas, siendo muy marcado en primavera-verano en las zonas norte (33-37,5°S y 37,5-40°S), y en verano para zona más austral. Por otro lado, la zona entre 33-37,5°S, presentó un transporte de Ekman más intenso comparado con las regiones más australes, alcanzando valores mayores a 1000 m³s⁻¹ (1000 m de costa), disminuyendo a *ca.* de 600 m³s⁻¹ en la zona entre Talcahuano y Pto. Montt y a valores menores de *ca.* 200 m³s⁻¹ en la zona más austral. Además, en la zona entre Valparaíso y Talcahuano, se observó que el transporte de Ekman es permanente, no así hacia la zona austral, donde durante el período de invierno este cambia de dirección en sentido hacia la costa.



Figura 3.33: Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en septiembre de 2012.

En cuanto a la relación con los eventos ENSO, no se observa una señal clara en su variabilidad. El análisis de ondeletas (wavletes) para la TSM (Figura 3.41), para las mismas áreas mencionadas anteriormente, muestra las variaciones de la ocurrencia y amplitud de los eventos cálidos y frios durante el período de estudio. En la zona entre Valparaíso-Talcahuano (33- 37.5°S) se observa que entre en el periodo 2006-2008, existe una banda entre 1 a 2 años aproximadamente, indicando que podrían haber muchos eventos calidos y frios de gran amplitud, los cuales, si observamos la Tabla 3.12, podrían estar asociados a los eventos calidos de El Niño. Por otro lado, se observa que entre la banda de 2,5 a 3,5 años, durante el periodo 2008-2011 aproximadamente se observó otra señal significativa, la cual se asocia a los evento fríos La Niña, que se observa en la serie de anomalías de TSM (3.37).

En el área entre Talcahuano y Puerto Montt (Figura 3.41), se observó un patron diferente, ya que la señal fue significativa sólo en la banda entre 1,5-2,5 años, en el período 2004-2008. Esta señal refleja, que durante este período extieron fuertes períodos de eventos calidos y frios, en esta área, no así durante el restante período, donde las anomalías de TSM, son mucho menores (Figura 3.38).


Figura 3.34: Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en octubre de 2012.

El área más austral presentó durante el período 2005-2010, una banda entre 1,5 y 3 años aproximadamente. Esta señal refleja, al igual que en el caso anterior, que hubo eventos más intensos de periódos calidos y frios, como se observa en las anomalías de TSM.

Este análisis indico que la variabilidad observada a través del ánalisis de ondeletas de la TSM, a lo largo de la costa centro sur de Chile, esta reflejando diversos forzantes en su variabilidad. En el área de Vaparaíso-Talcahuano, la señal del Pacífico Tropical aún se refleja en esta zona, más claramente, no así hacia la zona más austral, la cual puede estar respondiendo a forzantes locales o forzantes remotos desde el región Antartica.

3.4.4. Advección

Para el periodo de estudio (agosto y diciembre de 2012) se contó con 306 imágenes satelitales secuenciales (dos imágenes diarias) de TSM, generándose 305 imágenes de campos vectoriales advectivos por medio del método de MCC las cuales



Figura 3.35: Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en noviembre de 2012.

fueron promediadas mensualmente. A partir de los promedios mensuales se seleccionó la banda entre la costa y 50 Km desde cualquier punto de ésta, obteniéndose promedios zonales, tanto para la componente meridional como zonal de las corrientes. Con los promedios de la banda costera y, asumiendo que las corrientes en la columna de agua son coherentes en la capa de mezcla, se estimó el transporte de volumen de agua zonal dentro de esta banda considerando una profundidad de capa de mezcla promedio en la costa de 20 metros.

El promedio de velocidad advectiva para la banda costera del mes de agosto (Figura 3.42), muestra corrientes con dirección nor-oeste al norte de los $37^{\circ}30$ 'S con velocidades entorno a los $10 \text{ cm}\times\text{s}^{-1}$, registrándose corrientes en dirección sur-oeste y sur-este desde los $37^{\circ}45$ 'S hasta los $39^{\circ}30$ 'S con valores entorno a los $10 \text{ cm}\times\text{s}^{-1}$, así mismo, el transporte esteoeste para el mismo mes (3.42b), evidencia para el área flujos con alta variabilidad pero con una componente dominante hacia el oeste (fuera de la costa), registrando un promedio de 0,4 Sv en dirección fuera de la costa.

Los meses de septiembre y octubre (Figura 3.43a y 3.44a), presenta alta variabilidad en las corrientes promedio costeras y menos intensas que las del mes de agosto, con valores que no superaron los 8 cm \times s⁻¹, destacándose las corrientes más



Figura 3.36: Promedios semanales de imágenes satelitales de clorofila-a superficial en diciembre de 2012.

intensas en dirección hacia fuera de la costa en los 34°00' y 37°00'S; además de flujos en dirección norte y nor-este al sur de los 39°00'S. En términos de transporte este-oeste, los valores no superaron en promedio los 0,4 Sv en dirección fuera de la costa (Figura 3.43b y 3.44b).

Finalmente, el escenario durante los meses de noviembre y diciembre se aprecia un fuerte incremento del trasporte costa afuera entre los $39^{\circ}00$ 'S y $30^{\circ}00$ 'S, esto es, un transporte neto en dirección costa afuera con valores superiores a $10 \text{ cm}\times\text{s}^{-1}$, intensificándose entre los $36^{\circ}00$ ' - $37^{\circ}30$ 'S y $30^{\circ}00$ ' - $32^{\circ}00$ 'S donde los registros alcanzan los 15 cms^{-1} . El transporte zonal alcanza un valor medio de 0,45 Sv en dirección costa afuera y un fuerte incremento del transporte hacia la costa para el mes de diciembre entre los $40^{\circ}00$ 'S – $42^{\circ}00$ 'S.

Lo descrito anteriormente muestra consistencia con lo reportado en la Figura 3.37, donde la principal componente del transporte de Ekman es costa afuera intensificandose en los meses de noviembre-diciembre y disminuyendo en intensidad hacia el sur.



Figura 3.37: Series temporales de transporte de Ekman (m^3s^{-1}) entre julio-diciembre de 2012: a) zona norte (33° a 37°S), b) zona centro-sur (37° a 40°S) y c) zona sur (40° a 43°S).

3.5. Dependencia espacial

El análisis espacial de la densidad de huevos de anchoveta y sardina común consideró como covariables explicativas a la temperatura superficial del mar y la profundidad de fondo. Estas variables necesitan ser modeladas con el objeto de ser utilizadas en una grilla de predicción cuando los modelos seleccionados consideran explícitamente a estas variables. Los resultados del análisis espacial de la temperatura y profundidad se resumen en la Tabla 3.14.

Los modelos utilizados para relacionar la densidad total de huevos de anchoveta y sardina común se resumen en la Tabla 3.15. Se observa que la dependencia conjunta de la interacción latitud-longitud logró por lo general la más baja devianza explicada para ambas especies en las dos zonas de estudio. En la zona centro, tanto para sardina común como para anchoveta, el modelo que incluye la temperatura entregó los mejores resultados en devianza explicada; así como el puntaje del Criterio de Información de Akaike (AIC). No obstante, tal situación se puede deber al bajo número de estaciones positivas encontradas



Figura 3.38: Series temporales de anomalías de temperatura superficial del mar (°C) entre 2003 y 2012: a) zona norte (33° a 37° S), b) zona centro-sur (37° a 40° S) y c) zona sur (40° a 43° S).

para ambas especies (Figura 3.47). En el sector sur, los modelos evaluados con la temperatura y la profundidad de fondo explican satisfactoriamente la densidad de huevos en el área de desove paera ambas especies (Tabla 3.15).

El Niño			La Niña		
Débil	Moderado	Fuerte	Dévil	Moderado	Fuerte
1953	1951	1957	1950	1970	1955
1958	1968	1965	1954	1998	1973
1963	1986	1972	1956	2007	1975
1969	1987	1982	1964	-	1988
1976	1994	1991	1971	-	1999
1977	2002	1997	1974	-	2010
2004	2009	-	1983	-	-
2006	-	-	1984	-	-
-	-	-	1995	-	-
-	-	-	2000	-	-
-	-	-	2005	-	-
-	-	-	2011	-	-
-	-	-	2012	-	-

Tabla 3.13: Años de ocurrencia de eventos El Niño y La Niña, clasificcados según el Indice Oceánico de El Niño (NOI), NOAA, en la Región Niño 3.4 del Pacífico Ecuatorial.

Tabla 3.14: Resumen de los modelos GAM utilizados para la temperature superficial del mar y la profundidad de fondo.

	Crucero	Zona	n	Spline	r^2	Devianza
Variable	(año)				(adj.)	explicada (%)
TSM	2012	Centro	174	s(x, y)	0,711	81,9
	2012	Sur	182	s(x, y)	0,737	81,2
Fondo	2012	Centro		s(x, y)	0,716	74,4
	2012	Sur	1440	s(x, y)	0,797	81,9



Figura 3.39: Series temporales de anomalías de clorofila-*a* entre 2003 y 2012: a) zona norte (33° a 37° S), b) zona centro-sur (37° a 40° S) y c) zona sur (40° a 43° S).



Figura 3.40: Series temporales de transporte Ekman (m^3s^{-1}) entre 2003 y 2012: a) zona norte (33° a 37°S), b) zona centro-sur (37° a 40°S) y c) zona sur (40° a 43°S).



Figura 3.41: Espectro de wavelet de la temperatura superficial del mar entre 2003-2012: a) zona norte (33° a 37°S), b) zona centro-sur (37° a 40°S) y c) zona sur (40° a 43°S). Solo son graficados los valores sobre al 95 % de confianza. Las líneas negras segmentadas indican períodos de 6, 12, 30 y 54 meses. La línea curva negra en los extremos de la serie marca el cono de influencia.



Figura 3.42: Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de agosto de 2012 (a), y Transporte zonal (este-oeste en SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de agosto de 2012 (b).



Figura 3.43: Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de septiembre de 2012 (a), y Transporte zonal (este-oeste en SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de septiembre de 2012 (b).



Figura 3.44: Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de octubre de 2012 (a), y Transporte zonal (este-oeste en SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de octubre de 2012 (b).



Figura 3.45: Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de noviembre de 2012 (a), y Transporte zonal (este-oeste en SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de noviembre de 2012 (b).



Figura 3.46: Campo de velocidades advectivas promedio para el mes de diciembre de 2012 (a), y Transporte zonal (este-oeste en SV) de la banda costera de 50 mn para el mes de diciembre de 2012 (b).

Tabla 3.15: Resumen de los modelos aplicados (GAM) para la densidad de huevos de anchoveta y sardina común (huevos m⁻²) en función de la longitud (*x*), latitud (*y*), temperatura (*T*) y profundidad de fondo (*Z*) en el 2012. AIC es el Criterio de Información de Akaike, se asumie una distribución binomial negativa, con parámetros de dispersión 1, (Sector centro: n=174; sur: n=182).

		Suavizador		Devianza
Especie	Zona	spline	AIC	explicada (%)
Anchoveta	Centro	s(x,y)	56,6	99,5
		s(x, y) + s(T)	58,79	99,9
		s(x, y) + s(Z)	53,9	99,9
		s(x, y) + s(T) + s(Z)	56,83	99,9
	Sur	s(x,y)	364,95	80,0
		s(x, y) + s(T)	344,62	83,9
		s(x, y) + s(Z)	365,07	80,5
		s(x, y) + s(T) + s(Z)	347,97	83,5
Sardina	Centro	s(x,y)	216,33	80,7
		s(x, y) + s(T)	177,39	90,5
		s(x, y) + s(Z)	205,40	84,7
		s(x, y) + s(T) + s(Z)	158,58	96,5
	Sur	s(x,y)	339,11	70,3
		s(x, y) + s(T)	315,78	80,1
		s(x, y) + s(Z)	334,17	73,4
		s(x, y) + s(T) + s(Z)	316,75	80,3



Figura 3.47: Resultados de los modelos evaluados para anchoveta y sardina común en la zona centro y sur.

Capítulo 4

Análisis de los resultados

El crucero de evaluación del stock desovante se desarrolló entre fines de septiembre y octubre, básicamente debido a que por razones administrativas la autorización de pesca en periodo de veda fue con fecha 12 de septiembre de 2012. Sin embargo, de acuerdo con el diagnóstico histológico de los ovarios de las hembras colectadas, se puede aceptar que durante las hembras se encontraban activas el periodo del crucero. Sin embargo, algunos parámetros reproductivos que se registraron en el 2012 fueron bajos, tal como la fracción diaria de hembras desovantes en anchoveta y sardina común. Sin embargo, valores tan bajos como 0,05 ya habían sido registrados en años previos (Tablas 4.1 y 4.2).

La estructura de tamaños de sardina común demuestra la alta incidencia de juveniles y adultos primerizos sustentando el stock desovante, particularmente en la zona sur, situación que está ocurriendo desde el año 2008 (Cubillos et al. 2009¹. En ese año, el muestreo de adultos no fue exitoso en la zona centro debido a una baja disponibilidad y accesibilidad del recurso en las zonas de pesca. En el 2009 y 2010, una vez más la fracción de hembras primerizas también sustentó el stock desovante de sardina común en el sector sur (Cubillos et al., 2010, 2011²); situación que se repitió en el 2011³. Sin embargo, tanto en el 2011 como en el 2012 la incidencia de hembras juveniles virginales en la zona sur fue excesiva; lo que se puede explicar por los altos niveles de reclutamiento que ocurrieron a comienzos de 2011 (Castillo et al., 2013) y de 2012 (J Castillo, comm. pers.).

Se destaca que la temporada de pesca del 2012, desde marzo a julio, la estructura de tallas de sardina común en las capturas se caracterizó por la excesiva incidencia de juveniles bajo los 11 cm de longitud total. En el 2012, además, el área de desove de la zona sur mostró por primera vez una distribución del desove hacia el sur, la más baja abundancia de huevos y la más baja producción diaria de huevos. En consecuencia, a juzgar por la baja magnitud del desove en la zona sur, y la baja producción de huevos en dicha zona, es probable que las hembras adultas repetitivas de 2 y más años no hayan contribuido en forma significativa al desove ya sea porque fueron capturadas antes o ya sea porque se encontraban en la fase de término de la época reproductiva. Por otra parte, se conoce que la fracción de hembras desovante diarias es función del tamaño (Claramunt et al., 2007), entonces la menor talla promedio de las hembras de sardina común en la zona sur podría explicar el bajo valor

¹Estudio FIP 2008-09, http://www.fip.cl

²Estudio FIP 2009-08 y FIP2010-02, http://www.fip.cl

³Ver resultados en el Apéndice A

para la fracción de hembras desovantes encontrado tanto en el 2011, como en el 2012.

Los cambios interanuales en la biomasa desovante muestran que la biomasa desovante de anchoveta comenzó a disminuir desde 2007, y se mantuvo en niveles bajos entre 2008 y 2010, para disminuir una vez más en el 2012. En cambio, en la sardina se observó aumentos en la biomasa desovante en 2010 y 2011, y una disminución en el 2012 (Tabla 4.3, Figura 4.1). Esta disminución, es una consecuencia directa de la baja producción diaria de huevos. Aunque hubo un stock de juveniles significativo durante el año -producto de un buen reclutamiento-, dichos juveniles debieron haber crecido y haber aportado significativamente a la reproducción durante la estación reproductiva como individuos de edad 1.



Figura 4.1: Biomasa desovante (SSB, miles de t) de anchoveta y sardina común entre 2002 y 2012 en el área de desove a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur.

Hasta el 2011, la distribución de la abundancia 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 al sector comprendido entre Lebu y 39°10'S, para la zona sur. Sin embargo, 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. En la zona sur, a pesar del muestreo incompleto, la abundancia de huevos se distribuyó hacia la costa y desde el sur de Puerto Saavedra hasta el norte de Corral. Este patrón es diferente a la de años previos en que la mayior magnitud del desove ocurría entre el sur de la Isla Mocha y Puerto Saavedra.

En un contexto histórico, las zonas de desove de anchoveta y sardina común han sido características y con persistencia interanual (Zuñiga 2011). En el caso de la anchoveta, se identifica una zona de desove que se presenta en 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 (Figura 4.2). 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°S y 40°S. En ambas especies se identifica el sector sur, esto es entre 38°20'S y 40°S como la principal área de desove (Figura 4.2). Esta área presenta la mayor abundancia de huevos durante el pico de desove principal y que ha sido evaluado regularmente entre agosto y septiembre de cada año. En la zona norte, la abundancia de huevos de sardina común ha sido variable interanualmente, y virtualmente ausente en el 2004, 2005 y 2009. No obstante, en el 2010 y 2012 se identificó presencia de huevos en baja abundancia para este estrato geográfico.



Figura 4.2: Abundancia de huevos de anchoveta () y sardina común (rojo) entre 2002 y 2012 en el área de desove a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur.

La serie de tiempo de huevos de anchoveta en la zona centro muestra que la tendencia a un aumento en el porcentaje de estaciones positivas desde el 2007 al 2011 se revirtió con el descenso ocurrido el 2012. La zona sur continuó con el descenso

en porcentaje de las estaciones positivas que comenzó el 2007. En sardina común, el repunte en el número de estaciones positivas en todas las zonas ocurrido el 2009-2010 cambió a un descenso en la zonas centro y sur durante los dos últimos años.

Durante el 2011, el promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas fue mayor en el sector sur, siguiendo el patrón histórico. Durante el año 2012, sin embargo, las mayores abundancias promedio en las estaciones positivas ocurrieron en la zona central revirtiendo el patrón histórico. En sardina común, el promedio de huevos por estación positiva el 2011 fue menor en la zona sur que en el centro, revirtiendo también la tendencia histórica. Durante el 2012, sin embargo, los más altas abundancias de huevos de sardina común por estación volvieron a ocurrir en el sector sur.

Durante el 2011 y 2012, las áreas de mayor abundancia de huevos de anchoveta en el sector central correspondieron a las históricamente registradas. Sin embargo, durante le 2012, la distribución fue menos extensa latitudinalmente, restringiéndose a los puntos históricos.

Los huevos de sardina común ocurrieron el 2011 en las mismas zonas históricamente positivas para ambas especies. Durante el 2012 no hubo huevos de sardina común en el Golfo de Arauco y en la zona sur se ubicaron en la franja más costera, a diferencia de la tendencia histórica de presentarse separados de la costa.

En términos de las condiciones ambientales, y en función a la información utilizada y analizada para construcción de las series temporales para el periodo 2003-2012, tanto de temperatura superficial del mar, clorofila como viento, muestran un cambio en la tendencia de las series a partir del años 2007-2009, observandose prevalencia de anomalías negativas para las tres zonas analizadas: a) norte (33°S a 37°S), b) centro-sur (37°S a 40°S), y c) sur (40°S a 43°S). Esta tendencia al decremento de los valores podría traducirse como en el descenso de la temperatura superficial del mar y de los valores de clorofila, además de un debilitamiento de los vientos considerando su componente paralela a la costa, siendo estos últimos, en gran parte vía los procesos de surgencia costera, los responsables, de los incrementos o decrementos de la producción primaria asocia a la zona costera del área de estudio.

El análisis del transporte advectivo presenta un componente promedio de transporte costa afuera para el periodo de muestreo 2012, lo que es esperable para los meses en los cuales se realizó el análisis con valores promedios entorno a los 0,5 Sv, en contraste con el mimo análisis realizado el año 2010 (FIP 2010-02) en el cual los valores promedios fueron registrados en torno a los 0,03 y 0,06 Sv, lo cual podría ser explicado por el intensificación del forzante atmosférico a pesar que la tendencia en el largo plazo (análisis 2003-2012) muestra lo contrario, esto sería la respuesta de la alta variabilidad y puntualidad de estos eventos.

Las condiciones ambientales se mostraron normales durante la trancisión invierno-primavera, pero entre agosto y diciembre se observó un fuerte incremento del trasporte costa afuera entre los 39°00'S y 30°00'S, esto es, un transporte neto en dirección costa afuera con valores superiores a 10 cms⁻¹, intensificándose entre los 36°00' - 37°30'S y 30°00' - 32°00'S donde los registros alcanzan los 15 cms⁻¹.

Anchoveta									
Año	Zona	S	W	R	F	F/R	DS F	n	т
2002	Centro	0,15 (0,22)	14,2 (0,11)	0,49 (0,04)	4989 (0,12)	351	26	14	459
	Sur	0,07 (0,15)	22,2 (0,04)	0,52 (0,06)	8239 (0,05)	371	13	18	702
2003	Centro	0,05 (0,18)	14,1 (0,04)	0,48 (0,07)	5399 (0,05)	384	9	29	1007
	Sur	0,17 (0,09)	19,2 (0,03)	0,53 (0,03)	7260 (0,04)	378	34	39	1271
2004	Centro	0,20 (0,12)	19,1 (0,07)	0,28 (0,07)	7004 (0,07)	367	21	27	840
	Sur	0,17 (0,25)	19,7 (0,03)	0,38 (0,09)	7317 (0,04)	371	24	16	549
2005	Centro	0,10 (0,16)	11,7 (0,07)	0,44 (0.03)	4283 (0,07)	367	16	31	930
	Sur	0,09 (0,50)	22,0 (0,04)	0,58 (0,06)	8059 (0,04)	367	20	9	217
2007	Centro	0,21 (0,09)	22,7 (0,03)	0,50 (0,05)	8837 (0,04)	390	41	28	1118
	Sur	0,27 (0,16)	22,8 (0,06)	0,51 (0,07)	8903 (0,06)	390	54	22	873
2008	Centro	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sur	0,06 (0,90)	14,4 (0,20)	0,50 (0,00)	5559 (0,00)	385	12	11	385
2009	Centro	0,21 (0,21)	12,2 (0,05)	0,53 (0,05)	3997 (0,08)	327	36	14	547
	Sur	0,14 (0,21)	17,5 (0,11)	0,60 (0,04)	5404 (0,11)	308	26	25	928
2010	Centro	0,21 (0,08)	16,9 (0,03)	0,50 (0,00)	7449 (0,05)	441	46	36	830
	Sur	-	-	-	-	-	-	-	-
2011	Centro	0,09 (0,37)	15,7 (0,05)	0,50 (0,00)	5813 (0,05)	371	16	18	411
	Sur	-	-	-	-	-	-	-	-
2012	Centro	0,05 (0,21)	17,6 (0,05)	0,54 (0,04)	9494 (0,06,)	539	14	39	1182
	Sur	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.1: Resumen de los parámetros reproductivos de anchoveta para el método de producción diaria de huevos en el periodo 2002-2012.

Tabla 4.2: Resumen de los parámetros reproductivos de sardina común para el método de producción diaria de huevos en el periodo 2002-2012.

Sardina									
Año	Zona	S	W	R	F	F/R	DS F	n	т
2002	Centro	0,14 (0,17)	19,5 (0,05)	0,51 (0,04)	8497 (0,05)	436	30	32	771
	Sur	0,03 (0,43)	24,6 (0,03)	0,40 (0,06)	10414 (0,03)	424	5	20	494
2003	Centro	0,03 (0,55)	11,3 (0,06)	0,48 (0,07)	5901 (0,08)	524	7	15	340
	Sur	0,10 (0,29)	18,2 (0,04)	0,53 (0,03)	9800 (0,05)	539	29	21	490
2004	Centro	0,10 (0,21)	15,3 (0,12)	0,45 (0,08)	6990 (0,12)	456	20	21	695
	Sur	0,12 (0,20)	16,5 (0,04)	0,59 (0,05)	7716 (0,05)	467	32	12	380
2005	Centro	0,07 (0,20)	12,1 (0,06)	0,53 (0,03)	5980 (0,07)	495	18	31	1322
	Sur	0,08 (0,21)	14,0 (0,05)	0,47 (0,09)	7069 (0,05)	506	19	4	75
2007	Centro	0,26 (0,11)	24,3 (0,05)	0,53 (0,05)	9267 (0,06)	381	53	24	945
	Sur	0,15 (0,23)	21,5 (0,03)	0,51 (0,04)	8214 (0,04)	382	29	26	1033
2008	Centro	-	-	-	-	-	-	-	-
	Sur	0,05 (0,57)	11,8 (0,12)	0,50 (0,00)	5587 (0,00)	473	11	30	990
2009	Centro	0,10 (0,20)	17,3 (0,11)	0,48 (0,05)	6825 (0,12)	395	20	18	632
	Sur	0,03 (0,44)	12,3 (0,05)	0,45 (0,04)	4844 (0,07)	394	6	32	1141
2010	Centro	0,09 (0,22)	20,3 (0,09)	0,51 (0,13)	7161 (0,09)	352	17	32	780
	Sur	0,04 (0,50)	12,9 (0,07)	0,51 (0,16)	4829 (0,09)	374	7	20	487
2011	Centro	0,17 (0,26)	22,5 (0,03)	0,50 (0,00)	10318 (0,05)	459	40	20	611
	Sur	0,04 (0,64)	8,6 (0,12)	0,50 (0,00)	4426 (0,14)	515	11	20	49
2012	Centro	0,05 (0,32)	21,6 (0,04)	0,48 (0,05)	8730 (0,04)	404	10	20	690
	Sur	0,07 (0,78)	13,7 (0,05)	0,51 (0,03)	5675 (0,06,)	414	15	20	654

Tabla 4.3: Resumen de las estimaciones de biomasa desovante de anchoveta y sardina común por el MPDH convencional, periodo 2002-2012.

	Anchoveta		Sardina	
Años	Biomasa (t)	CV (%)	Biomasa (t)	CV (%)
2002	112323	28,9	498337	58,1
2004	153150	36,8	5186	56,7
2005	637223	44,1	125008	55,7
2007	255016	38,0	168611	5,7
2008	313432	105,0	109162	111,5
2009	73983	57,8	213762	102,4
2010	77613	49,4	579715	74,4
2011	109348	39,0	649985	60,0
2012	50772	165,0	157893	262,0

Capítulo 5

Conclusiones

- 1. El mayor área de desove de sardina común y anchoveta ocurrió en la zona sur con 2748 y 2184 km², respectivamente.
- 2. La producción diaria de huevos por estrato geográfico, indica una mayor producción de huevos de anchoveta en la sector sur, con 56 huevos m² d⁻¹, y fue muy baja en el sector centro (8,5 m² d⁻¹). La mayor producción diaria de huevos de sardina ocurrió en la zona sur (126,4 m² d⁻¹), pero tambien con una alta tasa de mortalidad diaria de huevos ($Z = 1.64 d^{-1}$).
- 3. Los parámetros reproductivos de los adultos están dentro del rango de los valores que han sido estimados para ambas especies, pero en la sardina común se destaca una alta incidencia de ejemplares juveniles inmaduros y una fracción diaria de hembras desovantes baja en el sector sur.
- 4. El estimado estratificado de biomasa desovante fue de 50772 toneladas de anchoveta y de 157893 toneladas de sardina común. En ambos recursos se registró una disminución de la biomasa desovante respecto de 2011 y 2010.
- En el periodo junio-octubre de 2013, la banda costera no mostró gradientes térmicos significativos con la zona oceánica adyacente, mostrando influencia de aguas de origen sub-antártico desde la zona sur y hasta los 38°S.
- 6. Las imágenes de clorofila-a durante los meses de junio y julio de 2013 mostraron valores que no superaron 4 mg m⁻³, y desde el mes de agosto hasta octubre se observó un incremento en los valores de clorofila-a en la banda costera alcanzando los 10 mg m⁻³ y con filamentos que se extendieron por más de 100 millas costa afuera con valores en torno a los 7 mg m⁻³.
- 7. Se observaron cinco eventos de gran intensidad de transporte costa afuera en la zona norte durante los meses agosto, septiembre, noviembre y diciembre de 2013 siendo los de estos últimos dos meses los de mayor intensidad.
- 8. Los meses de septiembre y octubre de 2013, presentaron alta variabilidad en la advección promedio costeras y menos intensas que las del mes de agosto, con valores que no superaron los 8 cm s⁻¹, destacándose la advección más intensas en dirección hacia fuera de la costa en los 34°00' y 37°00'S.

9. Durante los meses de noviembre y diciembre de 2013 se observó un fuerte incremento del trasporte costa afuera entre los 39°00'S y 30°00'S; esto es, un transporte neto en dirección costa afuera con valores superiores a 10 cm s⁻¹, intensificándose entre los 36°00' - 37°30'S y 30°00' - 32°00'S donde los registros alcanzan los 15 cm s^{-1} .

Bibliografía

- Alday A, Uriarte A, Santos M, Martín I, Martínez de Murguia A, Motos L (2008) Degeneration of postovulatory follicles of the Bay of Biscay anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.). Scientia Marina 72, 565-575.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Bernal M, Borchers DL, Valdéz 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.
- [8] 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.
- [9] Blaxter JHS, Hunter JS (1982) The biology of the clupeoid fishes. Adv Mar Biol 20, 201-223.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.

- [13] 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
- [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.
- [15] Castillo J, Saavedra A, Gávez P, Barría P, Espejo M, Baribieri 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. Preinforme final FIP 2003-08.
- [16] 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.
- [17] Castro L, Roa R, Figueroa D, Arancibia H, Sobarzo M, Quiñones R, Retamal M (1997) Áreas de desove de anchoveta y sardina comun. Proyecto FIP 96-11. Áreas de desove de la anchoveta y sardina común en Chile central. Universidad de Concepción. Chile.
- [18] Castro LR, Hernández EH (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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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
- [23] Cochran WG (1980) Técnicas de muestreo. Compañia Editorial Continental SA de CV México.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] Cubillos L, Canales M, Bucarey D, Rojas A, Alarcón R (1999) Epoca 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.

- [27] 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 Resour 14, 115-124.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] Eilers PHC, Marx BD (1996) Flexible smoothing with B-splines and penalties (with discussion). Statistical Science 11, 89-121.
- [35] Emery WJ, Thomas AC, Collins MJ, Crawford WR, Mackas DL (1986) An objetive method for computing advective surface velocities from sequencial infrared satellite images. J of Geophys Res 91, C11 12865-12878, Nov 15.
- [36] Fitzhugh GR, Hettler WF (1995) Temperature influence on postovulatory follicle degeneration in Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus*. Fish Bull 93, 568-572.
- [37] 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.
- [38] Ganias K (2008) Ephemeral spawning aggregations in the Mediterranean sardine, Sardina pilchardus: a comparison with other multiple-spawning clupeoids. Mar Biol 155, 293–301.
- [39] Garcia CAE, Robinson IS (1989) Sea surface velocities in shallow seas extracted from sequencial coastal zone color scanner satellite data. J Geophys Res 94, C9, 12681–12691, Sep 15.
- [40] 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.
- [41] Hunter JR, Goldberg SR (1980) Spawning incidence and batch fecundity in northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish Bull 77, 641-652.
- [42] 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.

- [43] Hunter JR, Macewicz BJ (1985) Rates of atresia in the ovary of captive and wild northern anchovy, *Engraulis mordax*. Fish Bull 83, 119-136.
- [44] 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.
- [45] Hunter J, Lo NC-H (1993) Ichthyoplankton methods for estimating fish biomass introduction and terminology. Bulletin of Marine Science 53, 723-727.
- [46] Hunter J, Lo NC-H (1997) The daily egg production method of biomass estimation: some problems and potential improvements. Ozeanografika 2, 41-69.
- [47] 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
- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] Macewicz B, Hunter JR (1993) Spawning frequency and batch fecundity of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, off California durig 1991. CalCOFI Rep 34, 112-121.
- [52] Macewicz BJ, Castro-González JJ, Cotero-Altamirano CE, Hunter JR (1996) Adult reproductive parameters of Pacific sardine (*Sardinops sagax*) during 1994. California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports 37, 140-151.
- [53] Marcotte D (1991) Cokrigeage with MATLAB. Computers and Geosciences 17, 1265-1280.
- [54] Miranda A, Cal RM, Iglesias J (1990) Effect of temperature on the development of eggs and larvae of sardina *pilchardus* (Walbaum) in captivity. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 140, 69-77.
- [55] 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.
- [56] Motos L (1994) Estimación de la biomasa desovante de la población de anchoa del golfo de Viscaya, *Engraulis encrasicolus*, a partir de su producción de huevos. Bases metodológicas y aplicación. PhD Thesis, Leioa, Spain.
- [57] 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.

- [58] 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.
- [59] 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.
- [60] 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.
- [61] Pepin P (1991) Effect of temperature and size on development, mortality and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. Can J Fish Aquat Sci 48, 503-518.
- [62] Petitgas P (2001) Geostatistics in fisheries survaye design and stock assessment: models, variances and applications. Fish and Fisheries 2, 231-249.
- [63] 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.
- [64] Picquelle SJ, Stauffer G (1985 Parameter estimation for an egg production method of northern 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, 7-15.
- [65] 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.
- [66] Seber GHF (1973) The estimation of animal abundance and related parameters. Hafner Press NY, 506 p.
- [67] Selman K, Wallace R (1989) Cellular aspects of oocyte growth in teleosts. Zoological Science 6, 211-231.
- [68] 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.
- [69] 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.
- [70] 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.
- [71] 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.
- [72] 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.

- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] 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
- [76] Venables WN, Ripley BD (2002) Modern Applied Statistics with S, 4th ed. Springer-Verlag, NY.
- [77] Wahva 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.
- [78] Wallace R, Selman K (1981) Cellular and dynamic aspects of oocyte growth in teleosts. Amer Zool 21, 325-343.
- [79] Wood SN (2002) Modelling and smoothing parameter estimation with multiple quadratic penalties. Journal of the Royal Statistical Society (B) 62, 413-428.
- [80] Wood SN (2003) Thin plate regression splines. Journal of the Royal Statistical Society (B) 62, 95-114.
- [81] 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.

APÉNDICES

Apéndice A

Producción diaria de huevos y biomasa desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur, año 2011

LA Cubillos, L Castro, G Claramunt, M Pedraza, H Rebolledo, MaC Pérez-Cuesta

Resumen

Se estimaron los parámetros del Método de Producción Diaria de Huevos para estimar la biomasa desovante de anchoveta y sardina común en la zona centro-sur de Chile. El área de estudio estuvo comprendida entre $34^{\circ}50$ 'S y $41^{\circ}20$ 'S, la que se evaluó cubriendo la plataforma continental en dos estratos geográficos; a saber, el sector centro ($34^{\circ}50$ 'S- $37^{\circ}10$ 'S) y el sector sur ($38^{\circ}30$ 'S- $41^{\circ}20$'s) durante septiembreoctubre de 2011. El desove cubrió gran parte del área de estudio, entre Constitución y la desembocadura del río Itata, Bahía Concepción, y Golfo de Arauco en la zona centro. En el sector sur, el desove cubrío la zona más costera entre el sur de la Isla Mocha y norte de Corral. La producción diaria de huevos de sardina común fue alta en la zona centro, y auque en a zona sur fue más baja se estimó una mayor biomasa desovante. La estructura de tallas del stock de sardina común mostró una alta incidencia de juveniles virginales en el sector sur, una baja proporción de adultos, que aunque activos, la fracción diaria de hembras desovantes fue baja. La biomasa desovante de anchoveta se estimó en 109348 t (CV=0,39) y la de sardina común en 649985 t (CV=0,60).

A.1. Introducción

La evaluación del stock desovante de anchoveta, *Engraulis ringens*, y sardina común, *Strangomera bentincki* en la zona centro-sur (33°S-41°30'S) se ha realizado anualmente a través del Método de la Producción Diaria de huevos (MPDH) desde el 2002, a excepción de 2006 y 2011. El 2006 y 2011 no fue priorizado en la cartera de proyectos del Fondo de Investigación

Pesquera¹, y en atención a la importancia que los cambios de abundancia de estos peces pelágicos pequeños tiene para el sector pesquero artesanal e industrial de la zona centro-sur, el equipo de profesionales y técnico del Laboratorio de Evaluación de Poblaciones Marinas (EPOMAR²) del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción decidió realizar un muestreo en forma independiente con la colaboración de pescadores artesanales y de Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. La campaña de evaluación se realizó siguiendo los protocolos del diseño muestral y de análisis que han sido considerados en cada campaña del MPDH. Por lo tanto, el objetivo principal de este estudio es determinar la biomasa desovante de anchoveta y sardina común en el 2011.

A.2. Materiales y Métodos

A.3. Area de estudio y descripción del crucero

El área de estudio se localiza en el centro-sur de Chile $(34^\circ - 41^\circ 20^\circ S)$, donde se ubica la zona de desove de anchoveta y sardina común. El área de estudio fue dividida en tres estratos:

- i) Zona Centro, de Constitución al Golfo de Arauco (34°50'S 37°10'S).
- ii) Zona sur, de Lebu al sur de Corral (37°30' 41°20'S) (Figura A.1).

El crucero ictioplanctónico se realizó desde el 28 de septiembre al 15 de octubre de 2011, utilizando las embarcaciones que operaron en las zonas y periodos que se indican en la Tabla A.2. Las estaciones de plancton fueron distribuidas regularmente en la plataforma continental, utilizando el veril de 200 m profundidad como límite occidental. En las zonas centro y sur, las estaciones fueron espaciadas cada 4 millas náuticas a lo largo de transectas este-oeste separadas cada 5 millas náuticas. En la zona centro se realizaron 29 transectas, con un total de 158 estaciones; y la zona sur, 39 transectas y 199 estaciones planctónicas.(Figure A.1).

Las muestras de plancton fueron obtenidas mediante lances verticales con redes Pairovet, consistente en dos redes Cal-VET (California Vertical Egg Tow, Smith et al. 1985), cada una con 25 cm de diámetro y 0,150 μ m de malla, equipada con un depresor de 36 kg. Los lances se realizaron desde 70 m o cerca del fondo marino cuando la profundidad fue menor a 70 m. 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, la muestras de zooplancton fueron preservadas en una solución de formalina al 10 % de agua de mar neutralizada con borax (tetraborato de sodio).

Posteriormente, en el Laboratorio de Oceanografía Pesquera y Ecología Larval (LOPEL) de la Universidad de Concepción, las muestras de zooplancton fueron analizadas, extrayéndose la totalidad de los huevos y larvas de peces, y se separó los huevos y larvas de anchoveta y sardina común y se contaron bajo lupa estereoscópica.

¹www.fip.cl

²http://www.udec.cl/ lucubillos/epomar.html



Figura A.1: Area de muestreo a lo largo de la plataforma continental de Chile Centro-Sur, indicando la posición de las estaciones y la presencia de huevos de anchoveta y sardina común, Septiembre-Octubre de 2011.

El crucero de adultos se realizó entre el 28 de septiembre y el 15 de octubre, con la participación de 8 embarcaciones de 18 m de eslora, equipadas con red de cerco para obtener las muestras de adultos de anchoveta y sardina común durante el período de estudio. La operación de pesca fue autorizada bajo la modalidad de Pesca de Investigación por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Se asignó 4 embarcaciones para operar en la zona centro: Don Renato, Yenny, Ruby Francisca, Don Daniel; y cinco en la zona sur: Río Tolté I, Río Queule, Don Borney, Ebenezer II, y Samaritano I. La mayoría de los lances se realizaron de día, principalmente entre 6:30 y 18:00 h, cuyos lances de pesca fueron obtenidos al azar en cada estrato geográfico, y hasta 5 millas náuticas de la costa.

A.4. Huevos

A.4.1. Estadios de desarrollo y determinación de la edad de los huevos

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).

Embarcación	Sector	Latitudes	Periodo	Estaciones
Don Julio	Centro	$34^{\circ}50'S - 37^{\circ}10'S$	01 Oct - 15 Oct	158
Gimar I	Sur	$37^{\circ}30'S - 38^{\circ}55'S$	28 Sep - 30 Sep	87
Noemí Simoney	Sur	$39^{\circ}00'S - 41^{\circ}20'S$	05 Oct - 09 Oct	112
Total				357

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

Los huevos fueron contados y su abundancia estandarizada a número por 0,05 m², y asignados a 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).

Se utilizó el programa *eggsplore* y *eggs* diseñados para R (http://www.cran.r-project.org), y que incluyen funciones para: a) el ajuste de modelos a datos provenientes de experimentos de incubación utilizando un modelo flexible multinomial; b) asignación de edades a datos de huevos por estadios de desarrollo observados utilizando un nuevo método Bayesiano de asignación de edades, sobre la base del modelo de desarrollo de los datos de incubación y función densidad de probabilidad para la sincronía del desove; c) agrupación de huevos en cohortes diarias y estimación de la abundancia promedio y edad promedio; d) ajuste de un modelo aditivo generalizado (GAM) para estimar la producción diaria de huevos y la mortalidad; y e) obtención de muestras bootstrap no paramétricas para la producción diaria de huevos, con incertidumbre asociada al procedimiento de asignación de edades. Otras funciones generales para obtener resúmenes estadísticos, gráficos, entre otras facilidades son también incluidas en el programa R.

A.4.2. Producción diaria de huevos

A.4.2.1. Area de estudio y área de desove

Para delimitar el área de crucero y el área de desove se siguió la metodología disponible en la biblioteca "geofun" y "spatstat" para R (http://www.cran.r-project.org). 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 m² 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 considera

la distancia desde esa estación a cualquiera de las estaciones que la rodean y a los límites del área del crucero de tal manera que el área de cada estación no se sobreponga con otras, y la suma del área representada por cada estación sea igual al área total del crucero.

El programa *geofun*, es el programa que está diseñado para 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 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; e) provee funciones para graficar los resultados de un modelo espacial (mapeo).

A.4.2.2. Producción diaria de huevos y tasa de mortalidad diaria de huevos

El número de huevos se asume declina a una tasa exponencial constante, i.e.,

$$P_t = P_0 \times e^{-Z \times t} \tag{A.1}$$

donde P_t es la abundancia de huevos a edad t (huevos por 0,05 m² por día), P_0 es la producción diaria de huevos por 0,05 m² por día, y Z es la tasa instantánea de mortalidad diaria de huevos. La producción diaria de huevos fue calculada solo para el estrato geográfico con presencia de huevos (área de desove), tanto en la zona centro como sur. El área de estudio corresponde al área que cubrió el crucero, mientras que el área de desove fue delimitada a través de polígonos utilizando el algoritmo 'geofun' disponible para el programa R (http://www.r-project.org).

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

$$E[P_t] = g^{-1}[log(P_0) - Z \times t]$$
(A.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. La ecuación ((A.2)) es equivalente a la siguiente:

$$E[N_t] = g^{-1}[offset(log(a)) + \beta_0 + \beta_1 \times t]$$
(A.3)

donde $E[N_t]$ es el número de huevos a la edad *t*, of *f* set(log(a)) es una variable que se asume tiene coeficiente 1 y no se estima en el procedimiento, donde log(a) representa el área efectiva de arrastre de la red; y β_0 y β_1 son el intercepto y la pendiente del modelo lineal y son los estimadores de log(P_0) y de Z, respectivamente. En el procedimiento de ajuste, la función del enlace utiliza el logaritmo natural y la familia binomial negativa, 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). La producción diaria de huevos se estima utilizando el antilogaritmo del intercepto. Se utilizó el paquete MASS (Venables and Ripley 2002), escrito para R (R Core Team 2012). Por último, las estimaciones de estratificación de la producción diaria de huevos y la variación en el área de estudio total de cada estrato se calculan de acuerdo con los procedimientos descritos en Picquelle y Stauffer (1985). El detalle metodológico se describe en el **Anexo 2**, tanto para la estimación estratificada de la producción de huevos, como la delimitación del área del crucero y del área positiva.

A.5. Adultos

A.5.1. Muestreo de adultos y procedimientos de laboratorio

Se obtuvo una muestra aleatoria de ejemplares adultos de anchoveta y sardina común desde la captura obtenida en cada lance de pesca. La longitud total (cm) de los peces adultos fue medida con el fin de obtener distribuciones de frecuencias de longitud por sexo (120 individuos por lance). Una sub-muestra aleatoria de 35 hembras maduras porespecie fue obtenida en cada lance, y cada ejemplar fue diseccionado centralmente y se conservó en una solución de formalina al 10 % tamponada para el 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 estima la fecundidad parcial de las 35 hembras maduras por lance. Por último, una sub-muestra al azar de 50 de peces fue preservada para determinar la proporción sexual en peso en el laboratorio.

Cada adulto preservado de la sub-muestra fue medido en su longitud total (cm), peso total y peso libre de gónada (peso corporal). Además, se determinó el sexo y los ovarios de las hembras maduras 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 maduras fueron cortados y teñidos con hematoxilina y eosina. El desarrollo y la maduración de ovocitos fue dividido en las etapas de acuerdo con las características descritas por Wallace y Selman (1981), Selman y Wallace (1989), y Hunter y Macewicz (1985), i.e.

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). Finalmente, se obtuvo un factor de corrección para convertir el peso del ejemplar preservado en formalina a peso húmedo. Para ello se utilizó una muestra de 30 peces por especie de acuerdo con los procedimientos descritos por Hunter (1985).

A.5.2. Parámetros reproductivos de los adultos

Los parámetros reproductivos de los adultos corresponden a la fracción diaria de hembras desovantes (S), la fecundidad parcial promedio (F), el peso promedio de las hembras maduras (W), y la proporción de hembras maduras en peso (R). De acuerdo con Picquelle y Stauffer (1985), los parámetros reproductivos se estiman con la siguiente expresión general:
$$\bar{\bar{y}} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} m_i \times \bar{y}_i}{\sum\limits_{i=1}^{n} m_i}$$
(A.4)

y varianza dada por:

$$Var(\bar{y}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i^2 (y_i - \bar{y})^2}{\bar{m}^2 n(n-1)}$$
(A.5)

donde \bar{y} es el promedio de los valores promedio de cada lance *i*, y m_i es el número de hembras maduras en el lance *i*, mientras que \bar{m} es el número promedio de hembras maduras, y *n* es el número de lances.

La expresión de varianza, Ecuación (A.5), solamente se aplicó a S, W y R, ya que la varianza para la fecundidad parcial incluye los términos de varianza asociados con la regresión lineal y número de hembras hidratadas utilizada para estimar la fecundidad parcial de las hembras maduras en cada lance (ver más adelante, Ec. (A.10)).

A.5.2.1. Fracción diaria de hembras desovantes

La fracción diaria de hembras desovante (*S*), es decir, la fracción de hembras maduras que desova por día, se calculó a través de la edad de los folículos postovulatorios (FPO) según los criterios desarrollados por Hunter y Goldberg (1980) y Hunter y Macewicz (1985). Los FPO de Día-0 son hembras que desova en la noche (0-9 h), de Día-1 se refiere a la noche (9-32 h), y los FPO de Día-2 de 33-56 h después del pico de desove (Alheit et al. 1984). La fraccion desovante se estimó a partir de la proporcion de FPO de Dia-1. Se utilizó los FPOs de Día-1, porque es probable que los FPO de Día 2 demoren más tiempo en degenerar considerando que la temperatura de 10-12 °C 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, no se aplica ninguna corrección al número de hembras maduras, y de la fracción desovante se estima como la proporción entre el número de hembras con FPO de Día-1 y el total de hembras maduras.

Para conseguir una mayor definición del proceso de degeneración de los Folículos Postovulatorios (FPO) se construyó una clasificación de estadios de degeneración de estos, de acuerdo a lo planteado por Alday et al. (2008). El que consiste en subdividir el proceso de reabsorción de los FPO en varios estadios de degeneración. Claramunt et al. (2007) construyeron una nueva escala ajustada a los requerimientos específicos para anchoveta y sardina común, tomando en cuenta aspectos como la forma celular y nuclear (ubicación y grado de picnosis), aspecto del citoplasma, relación límites de células vecinas, presencia de vacuolas citoplasmáticas, láminas celulares y pliegues, aspecto del conjunto y características del lumen. Estos criterios morfohistológicos de clasificación han permitido mejorar la asignación de edad a los FPO, tanto de anchoveta como de sardina común (Claramunt et al. 2007)

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 que permiten definir si la hembra desovará en el mismo día de la captura.

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:

$$S_{i} = \frac{m_{h,i}}{m_{i}} o \frac{m_{1,i}}{m_{i}} o \frac{m_{2,i}}{m_{i}}$$
$$m_{i} = m_{h,i} + m_{1,i} + m_{2,i} + m_{a,i}$$

donde S_i es la fracción desovante del lance *i*, $m_{h,i}$ es el número de hembras hidratadas, $m_{1,i}$ es el número de hembras de día 1, $m_{2,i}$ es el número de hembras de día 2, $m_{a,i}$ es el número de hembras activas que no han desovando entre 9 y 56 h (incluidas aquellas con FPO con edad menor a 9 h), y m_i es el número de hembras activas.

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

$$m_{h,i} = \frac{m_{1,i} + m_{2,i}}{2} \tag{A.6}$$

La fracción desovante del lance *i*, se puede estimar por:

$$\bar{S}_{h,i} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_{1,i} + m_{2,i}}{2\sum_{i=1}^{n} m_{i}}$$
(A.7)

A.5.2.2. 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.

A.5.2.3. Fecundidad parcial

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

de ovocitos hidratados. El número total de huevos por lote se calculó multiplicando el número medio de ovocitos por gramo de ovario de la sub-sección por el peso total de los ovarios.

La fecundidad parcial fue relaciona con el peso libre de ovario de las hembras considerando un modelo lineal, i.e.,

$$F_j = a + b \times W_j^* \tag{A.8}$$

donde F_j es la fecundidad parcial de la hembra hidratada j, 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:

$$\bar{F}_{i} = \frac{1}{m_{i}} \sum_{i=1}^{m_{i}} \hat{F}_{i,j}$$
(A.9)

donde $\hat{F}_{i,j}$ es la fecundidad estimada para la hembra *j* en el lance *i* con la Ecuación (A.8).

La fecundidad parcial media poblacional (\bar{F}) fue estimada a través del estimador de razón, Ec. (A.4), mientras la varianza de la fecundidad parcial fue estimada según Hunter et al. (1985), mediante la siguiente expresión:

$$Var(\bar{\bar{F}}) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[\frac{(\bar{F}_{i} - \bar{\bar{F}})^{2}}{n-1} + \frac{s_{h}^{2}}{n_{h}} + (\bar{W}_{i}^{*} - \bar{W}_{h}^{*})s_{b}^{2} \right]}{\left(\sum_{i=1}^{n} (m_{i}/n)\right)^{2} n}$$
(A.10)

donde s_h^2 es la varianza de la regresión, Ec. (A.8), n_h es el número de hembras hidratadas usada para ajustar la regresión, W_i^* es el peso libre de ovarios promedio de las hembras hidratadas, n_h es el número de hembras hidratadas usadas en la regresión, y s_b^2 es la varianza de la pendiente de la regresión, Ec. (A.8).

A.6. Biomasa desovante

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

$$B = \frac{P_0 \times A \times W}{R \times S \times F} k \tag{A.11}$$

donde *B* es la biomasa del stock desovante (t), P_0 es la producción diaria de huevos (número de huevos por m² por día), *A* es el área total crucero (m²), *W* es el peso promedio de hembras maduras (g), *k* es el factor de conversión de gramos a toneladas, *R* es la fracción de hembras maduras por peso, *S* es la fracción de hembras maduras desovantes por día, y *F* es la fecundidad parcial (número promedio de huevos por hembras maduras por desove). El estimador de la varianza de la biomasa desovante se calcula por:

$$Var(B) \equiv \hat{B}^{2} \times \left(CV(P_{0})^{2} + CV(W)^{2} + CV(F)^{2} + CV(S)^{2} + CV(R)^{2} + 2 \times COVS \right)$$
(A.12)

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

$$COVS = \sum_{i=1}^{n} \sum_{i < j} sign \frac{COV(x_i, x_j)}{x_i x_j}$$
(A.13)

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 termino *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:

$$r(\bar{F},\bar{W}) = \frac{\sum_{i} m_i (F_i - \bar{F}) k_i (W_i - \bar{W})}{\bar{m}\bar{k}n(n-1)\sigma_F \sigma_W}$$
(A.14)

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

A.7. Resultados

A.7.1. Producción de huevos

A.7.1.1. Presencia y abundancia de huevos

En la campaña 2011, de un total de 357 estaciones muestreadas en 2 sectores, 109 tuvieron la presencia de huevos de anchoveta (30,5%) y 84 huevos de sardina común (23,5%) (Tabla A.2). Comparativamente, con el 2010, durante el 2011 hubo un número relativamente mayor de estaciones totales positivas para anchoveta (2010 = 28%), y menor de sardina común (2010 = 27%). Si se compara solamente la suma de los sectores centro y sur del 2010 (ya que el 2011 solo se cubrió esos 2 sectores), los porcentajes de estaciones positivas del 2011 siguen siendo levemente mayores que el 2010 (anchoveta = 28,9\%) el 2010) y menores (sardina = 27,3\% el 2010) en el 2011.

En el crucero de 2011, tanto el promedio de huevos de anchoveta en las estaciones positivas como las máximas abundancias de huevos por estación (302 huevos por 0.05 m^{-2}) ocurrieron en el sector sur. En tanto, el promedio de huevos de sardina común por estación positiva el 2011 fue menor en la zona sur que en la zona centro (Tabla A.3.

A.7.1.2. Distribución espacial

En el sector centro, las áreas de mayor abundancia de huevos de anchoveta correspondieron a las históricamente registradas, estas son: frente a Cabo Carranza (35°25'-35°45'S), la zona entre la desembocadura del río Itata a Bahía Concepción

Tabla A.2: Número de	estaciones totales,	sector, estaciones	s con huevos de a	nchoveta y sardin	a común, y fracción
porcentual que represe	entan las estacione	s con huevos de	cada especie del	total de estacion	es muestreadas por
sector.					

		Anchoveta		Sardina común	
Sector	Estaciones	Estaciones		Estaciones	
	totales (n)	positivas (n)	(%)	positivas (n)	(%)
Centro	158	52	33	30	19
Sur	199	57	29	54	27
Total	357	109	30,5	84	23,5

(36°30'S), y en el Golfo de Arauco (37°S). En el sector sur, la mayor y más extensa agregación de huevos de anchoveta se ubicó entre lo 38°20'S y los 39°40'S (zona históricamente de mayor abundancia de huevos) pero separadas de la costa, sobre la plataforma continental. No se observaron huevos de anchoveta al sur de la zona de Corral (39°40'S) (Figura A.2).

Los huevos de sardina común ocurrieron el 2011 en las mismas zonas históricamente positivas para esta especie (Cabo Carranza, 35°25'-35°45'S, desembocadura del río Itata a Bahía Concepción (36°30'S), y Golfo de Arauco (37°S), siendo las mismas que de los huevos de anchoveta. La abundancia entre estas 3 localidades, sin embargo, fue diferente presentándose los mayores valores en el sector del Golfo de Arauco, seguido de la zona Itata - Bahía Concepción y, finalmente con menores abundancias, la zona frente a Carranza. Al igual que la anchoveta, los huevos en el sector sur ocuparon el mismo rango latitudinal y no estuvieron en la franja pegada a la costa (Figura A.2).

Tabla A.3: 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 sólo las estaciones positivas, máxima y mínima abundancia de huevos por estación (huevos por $0,05 \text{ m}^{-2}$) en cada sector.

Anchoveta:							
		Promedio	Desv.	Promedio	Desv.		
		total	estándar	estaciones	estándar	Máxima	Mínima
Sector	Total	estaciones		positiva			
Centro	1101	6,97	23,01	21,2	36,4	203	1
Sur	1510	7,59	32,4	26,5	56,6	302	1
Sardina:							
Centro	3029	19,2	111,5	100,9	242,4	1252	1
Sur	1501	7,5	40,7	27,8	74,8	477	1



Figura A.2: Distribución y abundancia de huevos de anchoveta y sardina común registrados en los sectores centro y sur, año 2011.

A.7.2. Producción diaria de huevos

Los parámetros del modelo lineal generalizado que fueron ajustados a la curva de mortalidad de huevos para cada especie se resumen en la Tabla A.4, según el procedimiento de determinación de la edad convencional (Modelo de Lo). Se observa que para ambas especies, los parámetros del intercepto fueron significativos y la pendiente asociada con la edad fue siempre negativa.

Tabla A.4: Coeficientes del modelo lineal generalizado, familia binomial negativa y enlance log. El intercepto representa el logaritmo de la producción diaria de huevos (huevos por m^2) y la pendiente a la tasa de mortalidad por hora (h^{-1}).

Anchoveta					
Sector	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	$\Pr(> z)$
Centro	Intercepto	5,533	0,410	13,495	$< 2 \times 10^{-16}$
	Pendiente	-0,020	0,009	-2,164	0,031
Sur	Intercepto	5,417	0,438	12,375	2×10^{-16}
	Pendiente	-0,017	0,010	-1,783	0,117
Sardina					
Sector	Parámetro	Estimado	Error Std.	Valor z	$\Pr(> z)$
Centro	Intercepto	8,150	0,795	10,26	$< 2 \times 10^{-16}$
	Pendiente	-0,044	0,017	-2,593	0,0095
Sur	Intercepto	7,207	0,406	17,738	$< 2 \times 10^{-16}$
	Pendiente	-0,054	0,009	-6,046	$1,49\times10^{-9}$

Los coeficientes de la Tabla A.4 permitieron estimar la producción diaria de huevos y la tasa de mortalidad diaria de huevos, cuyos resultados se muestran en la Tabla A.5. Estas estimaciones están referidas al área de desove (A_1), mientras que la estimación de estratificada considera el total de área de estudio. Al respecto, en el caso de la anchoveta se observó que la producción diaria de huevos ocurrió en el sector centro, siendo máxima en el caso de la sardina común. Asimismo, la sardina común registró una pobre producción diaria de huevos en el sector sur. La tasa de mortalidad diaria de los huevos de anchoveta fluctuó entre 0,414 y 1,644 d⁻¹ para sardina común, con la mayor mortalidad en la zona centro; mientras que en el caso de la anchoveta la tasa de mortalidad diaria fluctuó entre 0,512 y 0,774 d⁻¹.

A.7.3. Parámetros reproductivos de los adultos

Se realizó un total de 73 lances de pesca en la zona centro-sur de Chile, de los cuales se obtuvieron 41 fueron en la zona centro y 32 en la zona sur. En la zona centro, 37 corresponden a lances efectivos de sardina común y 19 de anchoveta. En la zona sur, se registraron 28 lances efectivos de sardina común y no se registraron lances de anchoveta.

En la zona centro, se muestrearon 5003 individuos, de los cuales 4085 fueron de sardina común y 918 de anchoveta. Hubo un número importante de ejemplares indeterminados, y se reporta aquí la composición de tallas por sexo (Tabla A.6). En la sardina común, la longitud total fluctúo entre 7,5 y 18,0 cm de longitud total (LT); mientras en anchoveta el rango de tallas fluctúo entre 9,0 y 17,5 cm LT (Tabla A.6). En la zona sur, se colectó un total de 3544 ejemplares de sardina común comprendidos entre los 7,5 y 14,5 cm de LT (Tabla A.6).

	Anchoveta	Sardina		
estrato geográfico. El coeficiente de	variación se muestra en	tre paréntesis.		
y sardina común utilizando GLM c	con familia binomial neg	gativa y enlace log en el área de	desove (A_1) de c	cada
Tabla A.5: Estimaciones de la prod	ucción diaria de huevos	(P_0) y tasa de mortalidad diaria ((Z) para la anchov	veta

	Anchoveta		Sardina	
Parámetro	Centro	Sur	Centro	Sur
Area de estudio A (km ²)	10431	11691	10430	11691
Area de desove A_1 (km ²)	3420	3903	2174	3594
P_0 (huevos 0,05 m ⁻² d ⁻¹)	12,65 (0,41)	11,26 (0,44)	173,08 (0,80)	67,45 (0,41)
$Z(d^{-1})$	0,470	0,410	1,066	1,296
P_0 (huevos m ⁻² d ⁻¹)	253,03 (8,32)	225,16 (1,32)	3461,68 (2,89)	1348,94 (0,89)

A.7.3.1. Estadios de madurez

Se analizaron 428 hembras de anchoveta correspondientes a 18 lances para el 2011. El análisis histológico de los ovarios indicó que el 100 % de las hembras se encontraban activas (EMM 3 al 7). El comportamiento reproductivo de la anchoveta evidencia que el Crucero se efectuó durante el máximo proceso de desove (Tabla A.7). En el caso de la sardina común, se analizaron 1332 hembras, correspondientes a 40 lances provenientes de la Pesca de Investigación. Sin embargo, el análisis histológico de los ovarios indicó que 647 (48,5 %) hembras del total se encontraba en estado inmaduro (EMM 1, inmaduro o virginal). De estas hembras inmaduras, el 93,5

Al considerar la alta inciencia de hembras virginales (=inmaduras) de sardina común, con la información se estimó la talla de primera madurez sexual³, que resultó ser de 11,3 cm de longitud total (IC de 95 % ±0, 15). Los estimados máximo verosimiles del modelo logístico fueron α = 22, 494 (Error Std. = 1,319) y β = 1,998 (Error Std. = 0,121).

A.7.3.2. Fracción diaria de hembras desovantes

En la anchoveta, al considerar a los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5); Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM 7) como pertenecientes al grupo de desove que desovará dentro de las próximas 24 horas, la fracción desovante se estimó en 0,072, con una varianza de 0,00044 y un coeficiente de variación de 29,1 %. 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, osea con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estima en 0,086 con una varianza de 0,00010 y un coeficiente de variación de 37 %. El test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones ($t_{calc} = 0, 42, t_{tabla} = 2, 1$). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,079, una varianza de 0,00046 y un coeficiente de variación de 27,2 %.

En la sardina común, al considerar a los estadios de Núcleo Migrante (EMM 5); Hidratado (EMM 6) y En Desove (EMM

³Estimación clásica ajustando un modelo logístico a datos de proporción de hembras maduras por método de máxima verosimilitud

Sardina						
		Centro			Sur	
Parámetro	Macho	Hembra	Total	Macho	Hembra	Total
n	1218	770	2000	926	352	1348
$L\bar{T}$ (cm)	12,4	13,3	12,7	9,5	10,1	9,6
σ_{LT} (cm)	1,9	1,7	1,9	0,7	0,8	0,8
CV (%)	15,3	12,8	14,8	7,1	7,7	7,8
max(LT) (cm)	16,5	17,8	17,8	12,5	13,5	13,5
min(LT) (cm)	8,4	8,8	8,8	8,2	8,0	8,0
Anchoveta						
n	327	246	573	-	-	-
$L\bar{T}$ (cm)	12,9	13,4	13,1	-	-	-
σ_{LT} (cm)	1,2	1,2	1,2	-	-	-
CV (%)	9,2	9,3	9,4	-	-	-
max(LT) (cm)	16,0	17,1	17,1	-	-	-
min(LT) (cm)	9,6	9,7	9,6	-	-	-

Tabla A.6: Composición por tallas de sardina común y anchoveta obtenidas durante el crucero de adultos en la zona centro-sur de Chile, año 2011.

7) como pertenecientes al grupo de desove que desovará dentro de las próximas 24 horas, la fracción desovante se estimó en 0,204, con una varianza de 0,00091 y un coeficiente de variación de 14,8 %. 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, osea con edades menores a 24 horas, la fracción diaria de hembras desovantes se estima en 0,165 con una varianza de 0,00177 y un coeficiente de variación de 25,6 %. El test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones ($t_{calc} = 0, 68, t_{tabla} = 2, 02$). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,184, una varianza de 0,00053 y un coeficiente de variación de 12,5 %.

Para la zona centro, aplicando los mismos criterios se llega a una fracción desovante de 0,214, con una varianza de 0,00105 y un coeficiente de variación de 15,1 % para las hembras que desovarán dentro de las próximas 24 horas. Para el grupo que desovó la noche anterior se llega a un estimado de 0,174 con una varianza de 0,0021 y un coeficiente de variación de 26,2 %. El test pareado indica que no existen diferencias entre ambas estimaciones ($t_{calc} = 0, 65, t_{tabla} = 2,09$). Al combinar ambas estimaciones para aumentar los grados de libertad, se estima una fracción diaria de hembras desovantes de 0,194, una varianza de 0,00060 y un coeficiente de variación de 12,6 %.

Para la zona sur, se estimó una fracción diaria de hembras desovantes de sólo 0,041, varianza de 0,00069 y coeficiente de variación de 0,648 %, con gran imprecisión debido al alto número de ejemplares inmaduros, que alcanzó a un 92,5 % (605 hembras de un total de 654).

		Anchoveta				Sardina		
	Centro		Sur		Centro		Sur	
EMS	f	(%)	f	(%)	f	(%)	f	(%)
Virginal, I	0	0	n.d.	n.d.	42	6,19	605	92,51
Inmaduro, II	1	0,23	n.d.	n.d.	0	0	0	0
Parcialmente vitelado, III	6	1,41	n.d.	n.d.	38	5,60	5	0,76
Vitelado, IV	377	88,29	n.d.	n.d.	430	63,42	9	1,38
En hidratación, V	16	3,75	n.d.	n.d.	118	17,40	3	0,46
Hidratado, VI	16	3,74	n.d.	n.d.	25	3,69	0	0
En desove, VII	0	0	n.d.	n.d.	0	0	0	0
Postdesove, VIII	11	2,58	n.d.	n.d.	25	3,69	32	4,89

Tabla A.7: Fracción de estadios de madurez sexual microscópicos de anchoveta y sardina común durante el período de estudio, año 2011.

A.7.3.3. Fecundidad parcial

En la anchoveta no se pudo estimar la fecundidad parcial debido a la ausencia de hembras hidratadas en las muestras. Por esta razón, se utilizó la relación promedio del periodo 2002-2010 (Tabla A.8).

La fecundidad parcial promedio, utilizando el ajuste correspondiente a todos los años (2002 al 2010) varió de 3620 a 7398 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional fue estimada en 5813 ovocitos, con una varianza de 86534 y un coeficiente de variación de 5,1 %.

En la sardina común, el ajuste de la fecundidad parcial en función del peso corporal, para las 35 hembras que efectivamente clasificaron microscópicamente como hidratadas se muestra en la Tabla A.9.

La fecundidad parcial promedio, utilizando el ajuste correspondiente a los 40 lances efectivos varió de 2055 a 11908 ovocitos por hembra. La fecundidad media poblacional fue estimada en 9889 ovocitos, con una varianza de 307076 y un coeficiente de variación de 5,6 %.

Para la zona centro, aplicando la misma regresión, se estimó una fecundidad media de 10318, con una varianza de 201420 y un coeficiente de variación de 4,5 %.

Para la zona sur, aplicando la misma regresión, se estima una fecundidad media de 4426, con una varianza de 403179 y un coeficiente de variación de 14,3 %. Sin embargo este estimado debe tomarse con precaución debido al bajo número de hembras maduras (49).

	Intercepto	Error Std.		Pendiente	Error Std.		Error		
Año	а	σ_a	Pr[a=0]	b	σ_b	Pr[b=0]	típico	r^2	n
2002	-613,40	824,67	0,458	422,38	44,29	$2,85 \times 10^{-17}$	2156,15	0,37	158
2003	122,00	580,50	0,834	395,12	34,07	$4,34 \times 10^{-20}$	1877,71	0,58	100
2004	600,21	864,32	0,490	360,86	39,08	$1,86 \times 10^{-8}$	1787,19	0,56	68
2005	-311,16	677,80	0,651	331,17	40,18	$5,10 \times 10^{-8}$	1138,15	0,76	23
2007	-574,21	734,85	0,440	445,11	33,36	4,81×10 ⁻²³	1807,76	0,66	92
2009	896,29	717,11	0,230	266,90	38,98	9,07×10 ⁻⁷	1419,77	0,69	23
2010	925,94	1033,82	0,380	415,17	56,69	$2,48 \times 10^{-7}$	1408,88	0,71	24
Periodo	-170,36	307,24	0,580	404,05	15,83	7,91×10 ⁻⁹²	1963,82	0,57	489

Tabla A.8: Parámetros de la regresión lineal entre la fecundidad parcial y peso corporal (gr) de anchoveta en cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos.

Tabla A.9: Parámetros de la regresión lineal entre la fecundidad parcial y peso corporal (gr) de sardina común en cada año de aplicación del Método de Producción de Huevos.

	Intercepto	Error Std.		Pendiente	Error Std.		Error		
Año	а	σ_a	Pr[a=0]	b	σ_b	Pr[b=0]	típico	r^2	n
2009	-629,76	568,83	0,270	460,13	25,83	8,64×10 ⁻²⁴	1601,33	0,86	54
2010	552,32	1021,54	0,59	343,46	48,89	3,04×10 ⁻⁸	1972,78	0,58	38
2011	447,82	2305,40	0,850	474,20	108,20	$1,12 \times 10^{-4}$	2051,32	0,37	35
Periodo	-141,34	587,07	0,810	438,12	27,31	3,93×10 ⁻³²	2090,67	0,67	127

A.7.3.4. Peso promedio y proporción sexual

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

El peso promedio del cuerpo de las hembras maduras, fluctuó de 9,57 a 19,96 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 15,68 gramos, con una varianza de 0,585 y un coeficiente de variación de 4,8 %.

La proporción sexual de las hembras de anchoveta fue estimada en 0,50 con un coeficiente de variación de 4,21 %.

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

Peso = -0,595 + 1,103* (Peso corporal)

 $r^2 = 0,998$

n = 1307

El peso promedio del cuerpo de las hembras maduras, fluctuó de 5,98 a 26,09 gramos. El peso promedio de hembras maduras en el área investigada fue de 21,49 gramos, con una varianza de 0,481 y un coeficiente de variación de 3,2%.

Para la zona centro se estima un peso promedio de 22,5 g, con una varianza de 0,399 y un coeficiente de variación de 2,8 %.

Para la zona sur se estima un peso promedio de 8,59 g con una varianza de 1,027 y un coeficiente de variación de 11,8 %.

La proporción de hembras, en peso, de sardina común en la zona centro fue estimada en 0,5 con un coeficiente de variación de 3,02%.

En la zona sur, la proporción en peso de sardina común fue asumida igual a 0,50 debido al alto numero de juveniles virginales.

A.8. Biomasa desovante

La biomasa del stock desovante se sustenta en la producción diaria de huevos de cada estrato geográfico, los cuales se consideran independientes. Los estimadores puntuales permiten señalar que la mayor biomasa desovante fue de sardina común en la zona sur, con 460956 t (CV=0,773). La biomasa del stock desovante para la anchoveta fue de 54245 t (CV=0,55) en la zona centro, y al asumir los mismos parámetros reproductivos para la zona sur, la biomasa desovante se estimó en 55103 t en dicha zona.

Al considerar los estratos geográficos independientes, la biomasa desovante de anchoveta se estima en 109348 t (CV=0,39); y en 649985 t (CV=0,60) para la sardina común (Tabla A.10).

A.9. Discusión

El periodo de estudio, el desove cubrío gran parte del área de estudio, extendiéndose en núcleos de mayor abundancia desde Constitución hasta la desembocadura del río Itata, Bahía Concepción, y el Golfo de Arauco. En la zona sur, el desove se distribuyó desde el sur de la Isla Mocha hasta el norte de Corral, entre la isobata de 50 y 100 m principalmente. La producción diaria de huevos de anchoveta fue similar entre ambas zonas, pero la sardina común mostró una producción de huevos alta en el sector centro.

La estructura de tallas de sardina común en la zona sur se caracterizó por la alta incidencia de ejemplares juveniles inmaduros en el sector sur (92,5%), con una baja proporción de ejemplares adultos activos y solo 4,9% de ejempalres en postdesove. A su vez, por segundo año consecutivo no fue posible capturar ejemplares de anchoveta en el sector sur, debido ya sea a su baja abundancia o por problemas de disponibilidad. La baja roporción de jempalres adultos activos determinó una

Tabla A.10: Parámetros del Método de la Producción Diaria de Huevo y estimación de la biomasa del stock desovante de anchoveta y sardina común (Septiembre-Octubre 2011). El coeficiente de variación se muestra en paréntesis para las estimaciones de biomasa (* se utilizan las estimaciones de la zona centro 2011, excepto S en que se usó la de 2012).

	Anchoveta			Sardina
Parámetros	Centro	Sur *	Centro	Sur
Fracción desovante, S	0,086	0,086	0,174	0,041
Peso promedio, $W(gr)$	15,7	15,7	22,5	8,6
Proporción hembras, R	0,5	0,5	0,5	0,5
Fecundidad media, F (ovocitos)	5813	5813	10318	4426
Area de estudio, A (km ²)	10430	11691	10430	11691
Producción de huevos, P_0 (huevo m ⁻² d ⁻¹)	82,96	75,18	721,5	414,7
Biomasa desovante, $B(t)$	54245 (0,55)	55103 (0,57)	189029 (0,84)	460956 (0,773)
Biomasa total, $B(t)$		109348 (0,39)		649985 (0,60)

alta incertidumbre en la fracción diaria de hembras desovantes de sardina común, y asimismo en el valor bajo encontrado. No obstante, se estimó una mayor biomasa desovante de sardina en el sector sur, la que se debe esencialmente a desovantes primerizos con peso promedio de 8,6 g y de baja fecundidad.

Apéndice B

Variabilidad intra e interanual en malformaciones de huevos en áreas de máxima abundancia, relación con el ambiente y variabilidad temporal en el tamaño de los huevos

Leonardo R. Castro, Samuel Soto

Resumen

La descripción de las potenciales asociaciones entre el hábitat y la presencia de huevos anómalos de anchoveta y sardina común en la zona de estudio, fue desarrollada a través de los modelos aditivos generalizados (GAM). También se evaluó el tamaño de los huevos a través de test de Kruskal-Wallis. Los resultados mostraron que existen relaciones significativas entre las variables respuesta y predictora en los distintos años. Se observó que las mayores densidades de huevos anómalos tanto de anchoveta como de sardina común se presentaron principalmente a nivel costero y ocasionalmente asociados a la desembocadura de ríos, bahías y golfo. La zona centro presenta la mayor área de distribución de huevos anómalos y de sobreposición, tendencia que se observó para ambas especies. El tamaño de los huevos de anchoveta y sardina común presento cambios estacionales significativos.

B.1. Introducción

Entre los factores a que afectan la sobrevivencia y distribución de huevos y larvas se cuentan aquellos de tipo exógenos (ambientales) y endógenos (asociados a la biología de la especie). En peces los factores endógenos están asociados a la calidad de los huevos producidos por las hembras (tamaño, composición bioquímica). A su vez, la calidad de los huevos puede variar espacial y temporalmente, por ejemplo, entre localidades de desove, a lo largo del periodo de desove e interanualmente (Llanos y Castro 2004, Leal et al. 2010, Castro et al. 2010, Castro et al. 2011). Huevos deficientes en calidad pueden conllevar al desarrollo de malformaciones embrionarias que finalmente afectan las tasas de eclosión o finalmente de mortalidad de los primero estadios de desarrollo (Castro et al. 2010, Vásquez et al. 2011).

En la presente sección se busca determinar si existen diferencias en: i) la frecuencia de ocurrencia de malformaciones embrionarias entre las zonas de desove del área Constitución-Golfo de Arauco y entre la Isla de Mocha y Corral, ii) la variación interanual en los meses de máximo desove (cruceros MPH 2011 y 2012); y iii) su posible asociación con características ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto). Adicionalmente, se explora si existe alguna relación entre la presencia de malformaciones de los huevos de los cruceros MPH 2011 y 2012 colectados distintos meses del desove (típicamente entre septiembre y noviembre) y el tamaño de los huevos colectados como parte de una serie de tiempo de muestreos de ictioplancton en un grupo de estaciones costeras de la VIII región.

B.2. Ocurrencia de malformaciones y variabilidad interanual

En el 2011, de un total de 357 estaciones muestreadas se encontraron huevos de anchoveta en un total de 109 estaciones. De éstas, 26 estaciones presentaron embriones con malformaciones (23,8 % de estaciones con huevos de anchoveta) (Tabla B.1; Figura B.1). En el 2012, de un total de 375 estaciones muestreadas se encontraron 53 estaciones con huevos de anchoveta, de las cuales 7 presentaron embriones con malformaciones (13,2 % de estaciones con huevos de anchoveta) (Figura B.2).

Tabla B.1: Número de estaciones totales desarrolladas por año, sector, estaciones con huevos anómalos de anchoveta y sardina común, y el porcentaje que representan las estaciones con huevos anómalos (HA) de cada especie del total de estaciones muestreadas por sector

			Anchoveta	Sardina común		
		Estaciones	Estaciones	HA	Estaciones	HA
Año	Sector	totales (n)	positivas HA (n)	(%)	positivas HA (n)	(%)
2011	Centro	158	14	9	10	6
	Sur	199	12	6	3	2
Sur	Norte	14	0	0	0	0
	Centro	179	4	2,2	3	1,7
	Sur	182	3	1,6	6	3,3



Figura B.1: Distribución y abundancia de huevos anómalos de anchoveta en los sectores centro y sur, durante el 2011.

En la sardina común, en el año 2011 se registraron 84 estaciones con huevos de esta especie de las cuales 13 presentan embriones malformes (15,4% de estaciones con huevos de sardina común) (Tabla B.1, Figura B.3). En el año 2012 se presentó un total de 43 estaciones con huevos de sardina común de las cuales 9 presentaron embriones con malformaciones (20,9% de estaciones con huevos de sardina común) (Figura B.4).

Considerando el número total de huevos de anchoveta colectados sumando ambos sectores cada año (total 2011: 2616 huevos; total 2012: 591 huevos), 4,23 % presentó malformaciones en el 2011 y 1,69 % el 2012, mientras que los huevos de sardina común (total 2011: 4530 huevos; total 2012: 799 huevos) presentaron 0,83 % de malformaciones en el 2011 y 3,50 % en el 2012 (Tabla S2a, S2b). El porcentaje de malformaciones detectados en ambas especies a lo largo de los dos años de muestreo coincide con lo cuantificado para otras especies de clupeidos (Klumpp et al. 2002, Yannopoulos y Yannopoulos 1981) y que han sido registrados en ambientes con escasa contaminación por lo que su presencia podría ser atribuible a factores endógenos de las especies.



Figura B.2: Distribución y abundancia de huevos anómalos de anchoveta en los sectores centro y sur, durante el 2012.

B.3. Distribución de huevos anómalos asociados a variables ambientales

Se utilizó la información de las densidades de huevos totales y anómalos de anchoveta y sardina común y las variables oceanográficas, correspondiente a las zonas centro-sur de Chile en los años 2011 y 2012. La data oceanográfica, temperatura (°C), salinidad (psu) y oxígeno disuelto (ml/L) fue analizada a través del algoritmo Data Interpolating Variational Análisis (DIVA) con el fin de generar información de las estaciones que no presentaban registros. A continuación, se relacionó la densidad de los huevos anómalos de los distintos años con las variables predictoras (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto) a través de los modelos aditivos generalizados (GAM), con el fin de ser aplicadas en la predicción y la caracterización del hábitat de ambas especies.

El modelo aditivo generalizado se presenta de la siguiente forma:

$$Y = \alpha + \sum_{i}^{n} f(X_i) + \epsilon$$
(B.1)

donde Y es la variable respuesta, X_i es el predictor, α es el intercepto, f es un suavizador, y ϵ es el error aleatorio. El análisis de los GAM se realizó con el programa R (http://www.r-project.org) e integra paquetes computacionales que permiten incluir modelos GAM (http://www.cran.r-project.org). Los paquetes utilizados fueron el *mgcv* y *mass*, estos progra-

mas en conjunto seleccionan en forma automática el modelo, utilizando el Método de Validación Cruzada General (GCV) o Método de Akaike (AIC), además utiliza los suavizadores multidimensionales (Wood 2003). Los criterios metodológicos utilizados en los GAM se basan en lo reportado por Cubillos et al. (2011).

La visualización de las salidas de los modelos GAMs y datos reales de abundancia de huevos anómalos de anchoveta y sardina común, se utilizó el programa Ocean Data View (ODV, versión 4.2.1).

B.3.1. Distribución de huevos anómalos

Los resultados de la modelación utilizados en la relación de la densidad de huevos anómalos de anchoveta y sardina común con las variables predictora se resumen en la Tabla B.3. En general, no se observo un claro proceso isotrópico en relación a la interacción longitud-latitud, por lo habitual presentaron la más baja desvianza explicada (VE) para ambas especies. En anchoveta, se encontró que el modelo 4 constituido por las variables temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en forma conjunta, entregan los mejores resultados en el coeficiente de determinación (> 80), desvianza explicada (> 75 %); así como el puntaje de la validación cruzada general (GCV). En sardina común tanto para el año 2011 como 2012, los mode-los evaluados que incluyeron principalmente las interacciones entre la temperatura, salinidad y oxígeno, entregaron la mejor

Tabla B.2: Número total de huevos anómalos de anchoveta por año, sector, promedio (y desviación estándar) de huevos considerando el número total de estaciones y considerando sólo las estaciones positivas, y máxima abundancia de huevos por estación (huevos $0,05 \text{ m}^{-2}$) en cada sector.

Anchoveta:								
			Promedio	Desv.	Promedio	Desv.		
			total	estándar	estaciones	estándar	Máxima	Mínima
Año	Sector	Total	estaciones		positiva			
2011	Centro	50	0,32	1,27	3,57	2,65	8	1
	Sur	62	0,31	2,08	5,17	7,11	26	1
2012	Norte	-	-	-	-	-	-	-
	Centro	7	0,04	0,32	1,75	1,50	4	1
	Sur	3	0,02	0,13	1,00	0,00	1	-
Sardina:								
2011	Centro	33	0,21	1,03	3,30	2,67	9	1
	Sur	7	0,04	0,32	2,33	1,53	4	1
2012	Norte	-	-	-	-	-	-	-
	Centro	3	0,02	0,13	1,00	0,00	1	-
	Sur	25	0,14	0,92	4,60	3,36	10	1



Figura B.3: Distribución y abundancia de huevos anómalos de sardina común en los sectores centro y sur, durante el 2011.

explicación de la densidad de huevos anómalos en el área de estudio (Tabla B.3).

En las Figuras B.5 y B.6, se presentan los resultados de la data real (2011 y 21012) y estimada (GAMs) para la densidad de huevos anómalos de anchoveta y sardina común. En general, en ambas especies las distribuciones (real-estimada) exhibieron similitud y persistencia interanual (2011 -2012), sin embargo para la zona centro del 2012 la data estimada de sardina común, no presentó de manera satisfactoria la densidad de huevos anómalos (Figura 6). Los principales núcleos de huevos anómalos de ambas especies distribuidos en la zona centro (norte constitución a golfo Arauco), se asociaron a zonas adyacente a la desembocadura de ríos, tales como el río Maule (35.18°S, Constitución), río Itata (36.26°S) y río Bío-Bío (36.49°S). También se presentaron frente a la bahía Concepción (36.34°S) y golfo de Arauco (36.34°S). En la zona sur (norte de Lebu a sur del río Llico (41.17°S)), se asociaron a la desembocadura del río Imperial (38.47°S), río Budi (38.49°S), río Toltén (39.15°S), río Queule (39.22°S), río Mehuin (39.26°S) y río Valdivia (39.50°S) (Figura B.5 y B.6).

B.4. Relación de la densidad de huevos anómalos y el medioambiente

El ajuste de los distintos GAMs para anchoveta y sardina común durante el 2011 y 2012, se muestra en las Tabla B.4. En general, se encontró que los coeficientes de los distintos modelos entre la variable respuesta y predictora fueron significativos



Figura B.4: Distribución y abundancia de huevos anómalos de sardina común en los sectores centro y sur, durante el 2012.

(p < 0, 05).

Los rangos de las variables predictoras evaluadas en relación con la densidad de huevos anómalos de anchoveta y sardina común se muestran en la Tabla B.5. En anchoveta, se observó que los núcleos de los diferentes años (2011-2012), se asocian a temperaturas desde 10,82 a 13,36 °C, donde los menores valores de esta relación positiva se presentó en el 2011 (10,82 - 12,32 °C) y los mayores en el 2012 (11,96 - 13,36 °C). La salinidad entre los 33,54 y 34,50 psu, presentó un efecto positivo en la presencia de huevos anómalos durante el 2011 y 2012. El rango de salinidad fue más estrecho en el 2012 (33,93 a 34,47 psu) en comparación con el 2011 (33,54 a 34,50 psu). Los valores de oxígeno disuelto en los distintos años, mostraron una consecuencia positiva en la densidad de huevos anómalos de anchoveta (2,28 a 6,58 ml/L), donde esta relación positiva se asocia a aguas bien oxigenadas (4,46 a 6,58 ml/L) para el 2011, y aguas menos oxigenadas para el 2012 (2,28 a 5,05 ml/L) (Tabla B.5). En sardina común, la temperatura entre los 10,41 a 11,92 °C, tiene un efecto positivo en la presencia de huevos anómalos de temperatura de esta relación positiva es levemente mayor (10,43 a 11,92 °C) en comparación con el 2011 (10,41 a 11,85 °C). La salinidad en los diferentes años, mostró una relación positiva entre los 32,34 a 34,54 psu. En el 2012, se presento los mayores valores de salinidad (32,97 a 34,54 psu), con respecto a lo obtenido en el 2011 (32,34 a 34,50 psu). El oxígeno disuelto cuyos valores fluctuaron entre 1,12 a 5,89 ml/L, tiene un efecto positivo en la densidad huevos anómalos. En el 2011, la relación se presento en valores de oxígeno levemente más altos (2,43 a 5,89 ml/L) en comparación a lo observado durante el 2012 (1,12 a 4,75 ml/L) (Tabla B.5).

Tabla B.3: Resumen de los modelos aplicados (GAM) para la densidad de huevos anómalos de anchoveta y sardina común (huevos m⁻²) en función de la longitud (*x*), latitud (*y*), temperatura (*T*), salinidad (*S*) y oxígeno disuelto (*O*) en 2011 y 2012; r^2 : Coeficiente de determinación, VE: Varianza explicada en porcentaje, GVC: Validación cruzada general, (2011: n=357; 2012: n=361).

Año	Especie	Modelo	Fórmula	r^2	VE (%)	GCV
2011	Anchoveta	1	s(x,y)	0,558	77,4	0,513
		2	s(x, y) + s(T)	0,647	64,8	0,826
		3	s(x, y) + s(T) + s(S)	0,715	65,7	0,801
		4	s(x, y) + s(T) + s(S) + s(O)	0,837	75,4	0,612
2012	Anchoveta	1	s(x,y)	0,369	65,5	0,088
		2	s(x, y) + s(T)	0,489	46,3	0,135
		3	s(x, y) + s(T) + s(S)	0,581	60,2	0,103
		4	s(x, y) + s(T) + s(S) + s(O)	0,893	81,7	0,049
2011	Sardina	1	s(x,y)	0,222	51,3	0,426
		2	s(x, y) + s(T)	0,414	44,0	0,469
		3	s(x, y) + s(T) + s(S)	0,554	73,1	0,242
		4	s(x, y) + s(T) + s(S) + s(O)	0,928	89,9	0,094
2012	Sardina	1	s(x,y)	0,218	54,6	0,313
		2	s(x, y) + s(T)	0,495	64,9	0,243
		3	s(x, y) + s(T) + s(S)	0,508	71,8	0,198
		4	s(x, y) + s(T) + s(S) + s(O)	0,932	89,8	0,075

B.5. Sobreposición del área de distribución de huevos anómalos de anchoveta y sardina común

La determinación del área de los cruceros, y el área de distribución de huevos anómalos y totales, fueron obtenidos a través del programa R, en el cual se utilizaron principalmente las librerías "*PBSmapping*" y "*mapTools*". Posteriormente, se calculo el porcentaje (%) del área de distribución de huevos anómalos y totales de ambas especies, con respecto al área efectiva de los cruceros. Finalmente, los valores de la sobreposición de la distribución (%) se obtuvo de la relación entre el área ocupada por los huevos anómalos y totales.

Los valores resultantes del área de distribución de huevos totales y anómalos, y la sobreposición se muestran en la Tabla B.6. En el 2011, área de distribución de los huevos totales y anómalos fue mayor en anchoveta para ambas zonas (centro-sur). La zona sur, presentó una menor área de distribución de huevos anómalos de anchoveta (3,4%) y sardina común (2,6%) y a la vez una menor sobreposición de huevos anómalos sobre los huevos totales (< 13,6\%). En el 2012, la zona sur presento



Figura B.5: Salida del modelo evaluado a través de GAM (Modelo 4) para la densidad de huevos anómalos de anchoveta en la zona centro-sur de Chile, años 2011 y 2012. La escala corresponde al logaritmo de la densidad observada (panel izquierdo) y estimada (panel derecho).

la mayor área de distribución de huevos totales tanto para anchoveta como sardina común. El área de huevos anómalos fue similar en ambas especies y zona (2,1 a 2,4%), excepto para sardina común de la zona centro donde fue menor (0,4%). La sobreposición del área fue mayor en la zona centro para ambas especies.



Figura B.6: Salida del modelo evaluado a través de GAM (Modelo 4) para la densidad de huevos anómalos de sardina común en la zona centro-sur de Chile, años 2011 y 2012. La escala corresponde al logaritmo de la densidad observada (panel izquierdo) y estimada (panel derecho).

B.6. Variación temporal del tamaño de los huevos de anchoveta y sardina común

Se realizó una comparación mensual del tamaño de los huevos para los años 2011 y 2012, a través del test de Kruskal-Wallis. Los resultados señalan que la variación del volumen del huevo de anchoveta y sardina común presento diferencias

Tabla B.4: Parámetros de los modelos aditivos generalizados seleccionados para describir la distribución espacial de la densidad de huevos anómalos de anchoveta y sardina común (huevos m⁻²) en función de la longitud (x), latitud (y), temperatura (T), salinidad (S) y oxígeno disuelto (O) en 2011 y 2012.

					Valor	Error	Valor	Valor
Año	Especie	Modelo	Parámetro	Estimado	F	Estd.	t	р
2011	Anchoveta	4	α	-13,06	-	2,29	-5,71	$2,6 \times 10^{-8}$
			s(x, y)	10,96	11,14	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$
			s(T)	9,94	11,74	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$
			s(S)	10,80	10,71	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$
			s(O)	10,60	8,945	-	-	$7,12\times10^{-14}$
2012	Anchoveta	4	α	-147,8	-	19,63	7,53	$4,9 \times 10^{-13}$
			s(x, y)	7,58	15,43	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$
			s(T)	8,00	18,90	-	-4,075	$< 2 \times 10^{-16}$
			s(S)	1,00	104,9	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$
			s(O)	7,98	22,96	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$
2011	Sardina	4	α	-476,7	-	56,27	-8,47	$8, 2 \times 10^{-16}$
			s(x, y)	7,00	25,97	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$
			s(T)	6,39	17,18	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$
			s(S)	7,00	23,28	-	-	$1, 1 \times 10^{-13}$
			s(O)	7,00	23,29	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$
2012	Sardina	4	α	-2131	-	373,4	-5,70	$2,6 \times 10^{-8}$
			s(x, y)	6,99	8,20	-	-	$3, 1 \times 10^{-9}$
			s(T)	6,99	21,26	-	-	$2, 1 \times 10^{-9}$
			s(S)	6,98	14,14	-	-	$4,5 \times 10^{-16}$
			s(O)	6,94	14,66	-	-	$< 2 \times 10^{-16}$

significativas (p < 0,05) en los distintos meses de estudio, situación que se dio tanto para el año 2011 como 2012 (Tabla B.7 y Figura B.7). En anchoveta, se presentaron los mayores tamaños (*ca*. 3,8 a 4,5 mm³) entre los meses de septiembre y octubre de cada año. En el 2011, se encontraron huevos de mayor tamaño en comparación al 2012, misma situación se presento en sardina común. En sardina común, el mayor tamaño se presentó en septiembre del 2011 (*ca*. 6,8 mm³), en cambio para el 2012 fue en junio (*ca*. 5,4 mm³) (Figura B.7).

		Temperatura	Salinidad	Oxígeno
Año	Especie	$(^{\circ}C)$	(psu)	(ml/L)
2011	Anchoveta	10,82-11,29	33,54-33,70	4,46-5,04
		12,06-12,35	34,09-34,50	5,98-6,58
	Sardina	10,41-11,85	32,34-32,37	2,43-2,93
			33,57-33,70	3,36-4,79
			34,13-34,50	5,00-5,89
2012	Anchoveta	11,96-12,41	33,93-34,00	2,28-2,89
		13,22-13,36	34,02-34,47	4,01-5,05
	Sardina	10,43-10,97	32,97-33,26	1,12-2,88
		11,00-11,92	34,37-34,54	3,62-3,64
				4,07-4,75

Tabla B.5: Límite inferior y superior de las variables predictoras obtenidas de los GAMs, asociados a la densidad de huevos anómalos de anchoveta y sardina común por año.

Tabla B.6: Sobreposición del área de distribución (km2) de huevos anómalos con respecto al total de huevos por especie, zona y año (DHT: distribución de huevos totales; DHA: distribución de huevos anómalos

-				Area (km ²)			Sobreposición
	Año	Zona	Especie	total	DHT (%)	DHA (%)	DHA/DHT (%)
·	2011	Centro	Anchoveta	7946,2	1745,2 (22,0)	412,2 (5,2)	23,6
			Sardina		897,4 (11,3)	448,2 (5,5)	48,8
)		Sur	Anchoveta	11387,7	2860,6 (25,1)	388,4 (3,4)	13,6
).			Sardina		2348,6 (20,6)	298,7 (2,6)	12,7
	2012	Centro	Anchoveta	8944,5	410,5 (4,6)	188,4 (2,1)	45,9
			Sardina		203,8 (2,3)	39,8 (0,4)	19,0
		Sur	Anchoveta	9862,4	1619,6 (16,4)	234,4 (0,4)	14,5
			Sardina		1407,7 (14,3)	210,8 (2,1)	15

B.7. Referencias

Castro LR, G Claramunt, MC Krautz, A Llanos-Rivera, P Moreno. 2009. Egg trait variations in anchoveta *Engraulis ringens*: A maternal effect to changing environmental conditions in contrasting spawning habitats. Marine Ecology Progress Series 381: 237-248.

	Año	Especie	Chi - 2	g.l.	Valor- <i>p</i>
	2011	Anchoveta	382,00	9	$< 2 \times 10^{-16}$
).		Sardina	98,06	9	$< 2 \times 10^{-16}$
	2012	Anchoveta	329,00	7	$< 2 \times 10^{-16}$
		Sardina	122,60	7	$< 2 \times 10^{-16}$

Tabla B.7: Sobreposición del área de distribución (km2) de huevos anómalos con respecto al total de huevos por especie, zona y año (DHT: distribución de huevos totales; DHA: distribución de huevos anómalos

- Castro LR, G Claramunt, H González, MC Krautz, A Llanos-Rivera, J Méndez, W Schneider, S Soto. (2010). Fatty acids in anchoveta eggs, *Engraulis ringens*, during two contrasting winter spawning seasons. Marine Ecology Progress Series. 420: 193–205.
- Cubillos, L., L. Castro, G. Claramunt. 2011. Evaluación de stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 20010. Informe Final FIP2010-02.
- Cubillos L, P Ruiz, G Claramunt, S Gacitúa, S Núñez, L Castro, K Riquelme, C Alarcón, C Oyarzún, A Sepúlveda. 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.
- Klumpp D, C Humphrey, H Huasheng, F Tao. 2002. Toxic contaminants and their biological effects in coastal waters of Xiamen, China. II. Biomarkers and embryo malformation rates as indicators of pollution stress in fish. Marine Pollution Bulletin 44: 761-769.
- Leal E, LR Castro, G Claramunt. 2009. Variability in oocyte size and batch fecundity of two anchovy stocks (*Engraulis ringens*, Jenyns 1842) off the Chilean coast. Scientia Marina 73(1): 59-66.
- Llanos, A., LR Castro. 2004. Latitudinal and seasonal egg size variations of the anchoveta *Engraulis ringens* off the Chilean Coast. Fishery Bulletin 102: 207-212
- Vásquez P, A Llanos-Rivera, L Castro. 2010. Anormalidades durante el desarrollo embrionario de sardina común, *Strangomera bentincki*, en el ambiente natural. Revista de Biología Marina y Oceanografía 45(1): 177-185.
- Wood, S.N. 2003. Thin plate regression splines. Journal of the Royal Statistical Society (B) 62: 95-114.
- Yannopoulos A, C Yannopoulos. 1981. Fish egg mortality and abnormal embryogenesis. Rapports et Proces et Verbaux des Reunions Commission Internationale pour l'Exploration de la Mer 27:143-146.



Figura B.7: Variación temporal en el tamaño (volumen) del huevo de anchoveta y sardina común durante el 2011 y 2012.

Apéndice C

Factores de corrección de la longitud y peso de anchoveta y sardina común debido a la fijación por formalina

S Curin-Osorio, MaC Pérez-Cuesta

Resumen

Se determina la variación en la longitud y peso promedio de la anchoveta y sardina común debido al efecto del fijador, que consistió en formalina al 10%. La variación fue de -2,21 a -3,21% para la longitud y de -13 a -18,2% para el peso, después de 132 días.

C.1. Introducción

Para preservar el estado de las células y los tejidos, es indispensable frenar en forma temprana dichos procesos, lo cual se lleva a cabo mediante la acción del fijador.

La fijación es el proceso mediante el cual los elementos constitutivos de las células, y por tanto de los tejidos, son fijados en su estado físico y parcialmente en su estado químico, lo cual permite resistir el tratamiento sucesivo con diversos reactivos sin que ocurra pérdida, distorsión o descomposición significativas. Su objetivo es detener el proceso autolítico de las células y conservarlas, en la medida de lo posible, en el estado en que se encontraban durante la vida. Esta metodología consiste en sumergir el tejido o perfundir el órgano en compuestos químicos denominados fijadores, que corresponden a soluciones líquidas como el: formaldehído, cloruro de mercurio, ácido pícrico, alcohol etílico, ácido tricloroacético, acetona, formalina ó el glutaraldehído, que son denominados fijadores simples. También puede emplearse la combinación de una o más sustancias fijadoras, que en función de las características del espécimen

incrementan la calidad de la fijación como ocurre con la solución de Bouin, que contiene ácido pícrico, formalina, ácido acético y agua.

El fijador que más se utiliza es el formaldehído, y se recomienda diluirlo al 10% con buffer de fosfatos, sin embargo la utilización de estos fijadores conduce a errores en la estimación de parámetros reproductivos empleados para el método de producción de huevos, razón por la cual se hace necesario cuantificar el efecto del medio utilizado para preservar las muestras antes de que estas sean analizadas. Esto debido a que una variación en las mediciones debido al uso del fijador el cual provoca endurecimiento tisular, puede sesgar los estimados y por ende la estimación final. Es por ello necesario la cuantificación de las variaciones producidas con la finalidad de obtener un factor de corrección par la solución de almacenamiento.

En base a esto se planteo una actividad similar a lo planteado por Hunter (1985) para la anchoveta (*Engraulis ringens*) y sardina común (*Strangomera bentincki*), la cual consiste en la medición sistemática de una muestra aleatoria de 52 individuos recolectadas de la capturas de una embarcación artesanal, individualizados por especie.

El tratamiento se refiere a la solución utilizada para la preservación de los ejemplares y considera una solución de aldehído fórmico al 40% en agua destilada. De esta solución se tomaron 10 ml y se le agregaron 10 ml de agua destilada (10%), esta solución esta preparada según la metodología propuesta por Hunter (1985) para la preservación de la anchoveta del norte (formalina o formol al 10%).

C.2. Metodología

Los ejemplares de sardina común *Strangomera bentincki* y anchoveta *Engraulis ringens* fueron recolectados a partir de muestras aleatorias de la captura de embarcaciones artesanales y fueron trasladados hasta el Laboratorio de EPOMAR (Evaluación de Poblaciones Marinas, http://www.ude.cl/~lucubillos/EPOMAR.htm) del Departamento de Oceanografía de la Universidad de Concepción. En el laboratorio, cada ejemplar fijado se secó con papel absorbente con el objetivo de extraer el excendete de formol al 10 % y se procedió a medirlo en su longitud total (LT) utilizando un ictiómetro con 0,1 cm de precisión, y se determinó el peso total (PT); con una balanza monoplato de 0,01 g de precisión, con el objeto de determinar el efecto del fijador en la longitud y peso, se realizó el mismo procedimiento durante 3 meses, el primer intervalo fue de siete días por un periodo de siete semanas. El segundo intervalo fue cada 15 días y finalmente cada un mes, haciendo un total de 11 muestreos con 19 semanas de mediciones. Este procedimiento se realizó tanto para hembras de sardina común como para hembras de anchoveta. Una vez obtenida las mediciones se estimó la desviación estándar, promedio y variación en la longitud total (%) y peso por especie.

El promedio para longitud y peso total por fecha de muestreo se estimó como:

$$\bar{x_j} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \tag{C.1}$$

donde x_j corresponde a la longitud total o peso, *i* es el especimen, *j* el tiempo (días), y *n* es el número total de individuos muestreados.

La desviación estándar por fecha de muestreo se estimó por

$$\sigma_j = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n} \tag{C.2}$$

donde \bar{x} es el promedio de las longitudes totales o peso en una fecha de muestreo dada de una de las especies. La variación (I_j) en la longitud o el peso total, expresado en porcentaje (%), se estimó por:

$$I_j = \frac{(\bar{x}_{j+1} - \bar{x}_j)}{\bar{x}_j} * 100$$
(C.3)

donde \bar{x}_j es la longitud o peso promedio en la fecha de muestreo j.

C.3. Resultados

Los resultados de este experimento señalan que hay una variación en la longitud total promedio en ambas especies (Figura C.1). En la anchoveta se observa una leve pero constante disminución en la longitud total promedio (cm) para el primer intervalo de muestreo (1-40 días), con una longitud promedio inicial de 13,8 cm llegando a los 13,45 cm el día 29 del muestreo, en el segundo intervalo de muestreo (41-81 días) se aprecia una estabilización de la longitud total, sin embargo en el último período (81-132 días) se observa la misma tendencia en la longitud, disminuyendo de los 13,56 a 13,3 cm de longitud (132 días), observándose una disminución total en la longitud promedio de 0.45 cm de la fecha inicio del experimento (Fig C.1, Tabla C.1).

La sardina común presentó un patrón similar, disminuyendo desde los 14,4 cm longitud hasta los 14,2 cm durante los primeros 20 días, y una estabilidad en la longitud total en el último intervalo de muestreo estabilizándose en los 14,0 cm de longitud total. Sin embargo el efecto de la fijación en la longitud total de la sardina común fue menor disminuyendo en 0,3 cm de la fecha de inicio al culmine del período de muestreo en comparación con la anchoveta que con el mismo tiempo de muestreo donde la longitud total disminuyó en 0,45 cm (Fig C.1, Tabla C.1).

En cuanto al efecto del formol al 10% en el peso total promedio de la sardina común y anchoveta, los resultados señalan que hay una variación en el peso en ambas especies (Figura C.2). En el primer intervalo de muestreo (1-40 días), la anchoveta mostró una disminución en el peso total promedio de 19,1 g a 17.9 g, en el segundo intervalo de muestreo (41-81 días) el peso siguió disminuyendo levemente llegando de los 17,4 g a los 17,0. y finalmente para el ultimo muestreo el peso total promedio final alcanzo los 15,69 g, lo que resulta en una disminución total en el peso promedio de 3,49 g de la fecha inicio del experimento (Figura C.2, Tabla 1). La sardina común presentan un patrón similar a la anchoveta, observándose una disminución del peso promedio en el primer intervalo de muestreo (28,5 g - 25,7 g), disminuyendo en 2,8 g del peso promedio total, en el segundo intervalo de muestreo el peso siguió decreciendo llegando a los 24,5 g y finalmente para el ultimo muestreo el peso total en el peso promedio de 3,64 g de la fecha inicio del experimento (Fig C.2, Tabla C.1).

En cuanto a la variación del peso en porcentaje (Figura C.3), para ambos casos este fue en aumento a medida que pasaron los primeros meses. Se observa que la anchoveta presenta una disminución progresiva del peso hasta llegar al 10 % durante el primer intervalo de muestreo (1-40 días), aumentando con menor velocidad hasta un 15 % en el segundo intervalo de muestreo, para posteriormente llegar al 18 % después del día 120. Similar es la variación en el caso de sardina común, la que presenta un rápido aumento en la variación del peso durante el primer intervalo llegando



Figura C.1: Efecto de la formalina en la longitud total promedio $(\pm 1 \text{ s})$ de anchoveta (arriba) y de sardina común (abajo) en el tiempo (días).





al 10 %, en el segundo intervalo sigue disminuyendo hasta un 12 % para llegar a una variación del 13 % después del día 120. Cabe destacar que las variaciones tanto en peso como en longitud suelen ser muy variables los primeros dos meses y posteriormente se estabilizan.

En ambos casos la variación de la longitud en porcentaje ocurrió durante los primeros meses de muestreo para ambas especies (Figura C.4). Para el caso de la anchoveta, los mayores cambios ocurren en los primeros 20 días, encontrándose variaciones de hasta un 2,7 %, posteriormente estas variaciones disminuyen durante el segundo intervalo de muestreo y vuelven a hacerse importantes en el último intervalo después de los 80 días. La sardina común presenta variaciones similares alcanzando poco más del 2 % de variación hasta el día 30, en el segundo intervalo de muestre este valor disminuye a un 1 % y finalmente se encuentra la estabilización después del día 100, que corresponde al último intervalo de muestreo.

C.4. Referencias

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.







Figura C.4: Variación de la longitud total (%) de anchoveta (arriba) y de sardina común (abajo) en el tiempo (días).

-	all pese (g) mae	streades t	n en pen	000 00 1110			
	Tiempo (días)	\bar{L} (cm)	I (%)	σ_L (cm)	$\bar{P}\left(\mathrm{g} ight)$	I (%)	$\sigma_P(g)$
	Anchoveta:						
	1	13.8	0	0.73	19.18	0	3.79
	8	13.56	-1.72	0.80	18.04	-5.96	3.72
	15	13.53	-1.95	0.80	18.11	-5.61	3.70
	22	13.44	-2.59	0.74	17.73	-7.59	3.63
	29	13.45	-2.48	0.86	17.90	-6.68	3.73
	36	13.57	-1.64	0.85	17.48	-8.89	3.6
	44	13.56	-1.672	0.79	17.67	-7.89	3.63
	58	13.56	-1.672	0.77	17.20	-10.36	3.64
	72	13.53	-1.923	0.79	17.02	-11.29	3.59
	103	13.37	-3.09	0.76	16.01	-16.53	3.01
	132	13.35	-3.205	0.77	15.69	-18.20	3.37
	Sardina:						
	1	14.39	0	0.82	28.05	0	4.71
	8	14.19	-1.38	0.83	26.97	-3.84	4.57
	15	14.2	-1.33	0.83	26.02	-7.22	4.40
	22	14.16	-1.54	0.80	25.68	-8.46	4.39
	29	14.09	-2.08	0.82	26.23	-6.47	4.35
	36	14.17	-1.52	0.82	25.77	-8.13	4.35
	44	14.23	-1.12	0.81	25.66	-8.50	4.37
	58	14.12	-1.87	0.79	24.81	-11.55	4.31
	72	14.14	-1.69	0.86	24.55	-12.48	4.33
	103	14.08	-2.13	0.87	24.52	-12.57	4.17
	132	14.07	-2.21	0.82	24.41	-12.97	4.17

Tabla C.1: Efecto de la formalina en la longitud (\bar{L} , cm) y peso total promedio (\bar{P} , g) en el tiempo (día) de anchoveta y sardina común, donde I es la variación porcentual, σ_L es la desviación estándar de la longitud (cm), y σ_P es la desviación estándar del peso (g) muestreadas en un período de muestreo.
Apéndice D

Taller de Difusión y Discusión de Resultados

D.1. Término de Referencia

Con el objeto de difundir y discutir los resultados del *Proyecto FIP 2012-09 Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2012*, el día viernes 6 de septiembre de 2013 se realizó un taller tipo seminario en el Auditorio Claudio Gay, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción (Figura D.1).

D.2. Participantes

D.2.1. Expositores

Grupo Ejecutor	Universidad de Concepción
Dr. Luis Cubillos	Jefe Proyecto e Investigador principal.
Dr. Leonardo castro	Coinvestigador.
Sr. Eduardo Navarro	Coinvestigador.
Invitado	Instituto de Investigación Pesquera
MSc Marcos Arteaga	Invitado

D.2.2. Asistentes

Se realizó una invitación amplia y pública a través de correo electrónico, páginas web institucionales, i.e., http:// sur-austral.udec.cl/taller-de-difusion-y-discusion-proyecto-fip-2012-09/, y en la agenda universitaria (https://www.udec.cl/intranet2/node/38?id_evento=7846). El número de asistentes fue del orden de 30 personas, destacando profesionales provenientes del la Dirección Zonal de Subsecretaría de Pesca, Instituto de Investigación Pesquera, Instituto de Fomento Pesquero, Universidad Arturo Prat, estudiantes de pre y postgrado.



Figura D.1: Afiche convocatoria de la reunión.

D.3. Desarrollo de la reunión

D.3.1. Programa

La reunión se desarrollo según el siguiente programa de contenidos.

09:30 - 09:45	Bienvenida, Luis A. Cubillos
09:45 - 10:30	Abundancia y distribución de huevos de anchoveta
	y sardina común 2011-2012, Leonardo Castro
10:30 - 11:15	Condiciones ambientales durante el periodo de
	desove 2011-2012, Eduardo Navarro
Café	
11:30 - 12:15	Producción diaria de huevos, fecundidad específica
	diaria y biomasa desovante de anchoveta y sardina
	común, Luis A. Cubillos
12:15 - 13:00	Indicadores biológico-pesqueros y estatus de sardina
	común y anchoveta de Chile centro-sur, Marcos Arteaga
11:00 - 11:15	FODA
11:15 - 12:00	Discusión ampliada

D.3.2. Síntesis de las presentaciones

La bienvenida y presentación de los objetivos y metodología general del Proyecto FIP 2012-09 estuvo a cargo del Dr Luis Cubillos.

El Dr. Leonardo Castro expuso sobre la abundancia y distribución horizontal del desove de la anchoveta y sardina común en los años 2011 y 2012. Se identificó que en el año 2011 por primera vez la abundancia de huevos de sardina fue mayor en el sector centro (34°30'S-37°10'S), pero volvió a disminuir en el 2012. Tanto la abundancia promedio de huevos de anchoveta como de sardina común diminuyen después del año 2007 en la zona sur (37°20'S-41°30'S), siendo más fuerte en el caso de la anchoveta.

El Sr Eduardo Navarro expuso sobre las fluctuaciones en las condiciones ambientales durante la época de desove de sardina común y anchoveta, considerando la temperatura superficial del mar, clorofila-*a* superficial, y vientos superficiales. El viento se utilizó para calcular el transporte Ekman perpendicular a la cosa. Los modos de variabilidad indican que en el periodo 2007-2009 hubo cambios en la tendencia de las condiciones ambientales, registrándose un calentamiento relativo en la primavera de 2012 y una disminución de la clorofila. Asimismo, se calculó la advección de temperatura superficial, observándose que durante la primavera de 2012 hubo mayor transporte fuera de la costa.

El Dr. Luis Cubillos presentó los resultados de la producción diaria de huevos y la mortalidad diaria de huevos, la fecundidad promedio, peso promedio y proporción de hembras en peso. La producción diaria de huevos de anchoveta fue alta en el 2011, y disminuyó en el 2012. Los parámetros reproductivos indicaron una alta presencia de juveniles virginales e inmaduros en el 2011 y 2012, y la fracción diaria de hembras desovante fue baja. La biomasa desovante se estimó en el orden de 158 mil toneladas de sardina común en el 2012, lo que implica una disminución respecto del 2011

en que se estimó una biomasa de 650 mil toneladas. En el caso de la anchoveta, la biomasa desovante disminuyó desde cerca de 110 mil toneladas en el 2011 a 51 mil toneladas en el 2012. La estimación de la biomasa fue imprecisa tanto por la producción diaria de huevos como por la fracción diaria de hembras desovantes.

El MCs Marcos Arteaga comunicó resultados de indicadores biológicos y pesqueros de sardina común y anchoveta, considerando el desempeño operacional semanal de la actividad de la flota artesanal e industrial durante el 2012. Asimismo, comunicó resultados de la evaluación de stock mostrando evidencia de sobreexplotación en la anchoveta y de una disminución de la abundancia de sardina común. La estimación de la biomasa desovante de sardina común estimada por los modelos de evaluación de stock no fueron consistentes ni con la magnitud ni con la tendencia de los estimados de biomasa desovante obtenidas por el MPH. En cambio, hubo cierta consistencia en el caso de la anchoveta, principalmente en términos de la disminución observada desde el 2007.

D.4. Difusión del evento

El evento tuvo una difusión local en la Revista Panorama de la Universidad de Concepción (Figura D.2, http://www.udec.cl/panoramaweb2/2013/09/presentan-resultados-de-evaluacion-de-stock-de-anchoveta-y-sardina/), y fue promocionado en el blog del EPOMAR (http://pesquerias-chilenas.blogspot.com/2013/09/la-biomasa-deso html) y en Pesca Pelágica (http://pescapelagica.wordpress.com/2013/09/06/nuevos-antecedentes-sobre-el-de



Figura D.2: Afiche convocatoria de la reunión.

	Universidad de Concepción		C PAS Sur - Austral
	LISTA	DE PARTICIPANTES	
	PRO "Evaluación del stock de entre la V 06 d	YECTO FIP 2012-09 sovante de anchoveta y sardin y X Regiones, año 2012" le septiembre 2013	a común
Nro	Nombre	Institución	Firma
1	FIONUSCO Santa Cuit	INPESCA	porosa
2	Claudia Setien 1	Inpesa	1200
3	wier Chong.	VCSC.	Carry
4	Antriel Daramunt	UNAP	Talant
5	L'da VILVERON	INPESCA	Rida Vien
6	Carolina alaran	11dec .	V Starces In
Y	Upino Human	UNEC	Augen
8	MYRCA LOSE GERIAS	UDER	Hal.
9	spestor Jesonez Paster	INATSCA	
10	Benjamin Svarez A.	Udec	Ben-S.
M	PARDO MAKMO	Velee	
12	Lenno Cuta	Cafe	1 Cut
13	CEaux Polumer	IFOR	90
14	SERGIS MORA	IFOP	Anthul
15	CHUDIO GARRASCO	UDER	Alton
16	Joyce Neudre S.	Uder.	Hender S.
17	Pable Manizer A	Ude (- Greno Rie T.F.Le	0 22
18	Sanda Caluin	Udec	Sandta
19	histich a Parral.	Uder.	Alia
20	Fidelina Guzelez	Udec	1 del
0	11	1.6.	the C

Figura D.3: Registro de Asistencia Taller de Difusión

Apéndice E

Informe y base de datos

El informe y la base de datos que contiene toda la información básica que se obtuvo durante la ejecución del Proyecto FIP 2012-09 "Evaluación del stock desovante de anchoveta y sardina común entre la V y X Regiones, año 2012", se encuentra almacenada en:

FIP2012-09 CD-2: Disco compacto conteniendo la base de datos, según lo solicitado en las bases administrativas y especiales, con la siguiente estructura y descripción de los archivos:

Ruta	Arch	Descriptor
Basededatos-FIP2012-09	Bitacora2012.xls	Bitacora de pesca.
	EGGSANC2012.xls	Abundancia de huevos de anchoveta.
	EGGSC2012.xls	Abundancia de huevos de sardina.
	HMANC2012.xls	Hembras de anchoveta.
	HMSC2012.xls	Hembras de sardina común.
	PSEXUAL2012.xls	Proporción sexual en peso.
	DescriptorBitacora.xls	Descriptor de los campos.
	DescriptorEGGSANC2012.xls	Descriptor de los campos.
	DescriptorEGGSSC2012.xls	Descriptor de los campos.
	DescriptorHMANC2012.xls	Descriptor de los campos.
	DescriptorHMSC2012.xls	Descriptor de los campos.
	DescriptorPSEXUAL2012.xls	Descriptor de los campos.

Tahla	$F 1 \cdot$	Descri	ntores	de	105	datos
rabia	L.I.	DUSCH	piores	uc	105	ualos

